



**ЕКОЛОГІЯ. ДОВКІЛЛЯ.  
ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ. 2023**



**2023**

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ПОЛТАВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА  
ІМЕНІ ЮРІЯ КОНДРАТЮКА»**

**ЕКОЛОГІЯ. ДОВКІЛЛЯ.  
ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ. 2023**

**Колективна монографія**

**Полтава 2023**

## **РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:**

### **Відповідальний редактор**

**СТЕПОВА Олена**, завідувачка кафедри прикладної екології та природокористування Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», доктор технічних наук, професор.

### **Технічний редактор**

**СМОЛЯР Наталія**, кандидат біологічних наук, доцент кафедри прикладної екології та природокористування Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка».

### **Члени редакційної колегії**

**ГОЛІК Юрій**, завідувач кафедри теплогазопостачання, вентиляції та теплоенергетики, професор Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», кандидат технічних наук, доцент.

**ІЛЛЯШ Оксана**, доцент кафедри прикладної екології та природокористування Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», кандидат технічних наук, доцент.

**СМОЛЯР Наталія**, доцент кафедри прикладної екології та природокористування Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», кандидат біологічних наук, доцент.

**ГАНОШЕНКО Олена**, доцент кафедри прикладної екології та природокористування Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», кандидат технічних наук, доцент.

**БРЕДУН Віктор**, доцент кафедри прикладної екології та природокористування Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», кандидат технічних наук.

**ВНУКОВА Наталія**, завідувачка кафедри, професор кафедри екології Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, доктор технічних наук, професор.

**НЕКОС Алла**, завідувачка кафедри екологічної безпеки та екологічної освіти Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, доктор географічних наук, професор.

**ПЕТРУК Василь**, директор інституту екологічної безпеки та моніторингу довкілля Вінницького національного технічного університету, доктор технічних наук, професор, заслужений природоохоронець України.

**ТРОХИМЕНКО Ганна**, завідувачка кафедри екології та природоохоронних технологій Національного університету кораблебудування імені Адмірала Макарова, доктор технічних наук, професор.

**ЧУГАЙ Ангеліна**, декан природоохоронного факультету Одеського державного екологічного університету, доктор технічних наук, професор.

**ШМАНДІЙ Володимир**, професор кафедри екології та біотехнології Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського, доктор технічних наук, професор.

УДК 502/504+620.9](2.064)

**Рецензенти:**

**САФРАНОВ Тамерлан**, завідувач кафедри екології та охорони довкілля Одеського державного екологічного університету, доктор геолого-мінералогічних наук, професор.

**МАЛЬОВАНІЙ Мирослав**, завідувач кафедри екології та охорони навколишнього середовища Національного університету «Львівська політехніка», доктор технічних наук, професор.

*Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» (протокол № \_\_ від \_\_\_\_ .03.2023 року)*

**ЕКОЛОГІЯ. ДОВКІЛЛЯ. ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ. 2023** : колективна монографія / під ред. О. В. Степової. Полтава: НУПП імені Юрія Кондратюка. 2023. 246 с.

У колективній монографії з позицій забезпечення екологічної безпеки викладено результати екологічних досліджень навколишнього середовища із акцентуванням на технологіях захисту навколишнього середовища, раціонального використання природних ресурсів, напрацюваннях у галузі відновлювальної енергетики, проблемах збереження біорізноманіття та реалізації сучасних природоохоронних концепцій і стратегій. Наведено деякі розвідки щодо наслідків для довкілля воєнних дій, пов'язаних із вторгненням РФ в Україну.

Розраховано на науковців, викладачів, керівників і спеціалістів органів державного управління, екологів, аспірантів, студентів і всіх, хто цікавиться питаннями збереження, відновлення та раціонального використання ресурсів навколишнього середовища.

*Матеріали друкуються мовами оригіналів. За викладення, зміст і достовірність матеріалів відповідають автору.*

ISBN 978-617-7915-94-1

© Колектив авторів, 2023

**РОЗДІЛ І**  
**ТЕХНОЛОГІЇ**  
**ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ**  
**ТА УПРАВЛІННЯ**  
**ЕКОЛОГІЧНОЮ**  
**БЕЗПЕКОЮ**



## CALCULATION OF STEEL PIPELINE CORROSION DEPTH FOR VARIOUS CONDITIONS OF ELECTROLYTE SOLUTIONS IN CRACKS

Stepova O., Stepovyi Ye.

*National University «Yury Kondratyuk Poltava Polytechnic», Ukraine*

**Abstract.** On the basis of the electrochemical corrosion mathematical pipeline model in the insulating coating crack under the action of an aggressive electrolytic medium towards the pipeline metal, the dependence was obtained that allows to calculate the corrosion depth of the pipeline wall during the work of macrogalvanic corrosion couples in the conditions of stable and periodic stay of the aggressive solution in the damaged zone. The advantage of this model is the ability to predict the development of corrosion over time regardless of the corrosive electrolyte chemical composition, the possibility of obtaining necessary design parameters for operated structures. The developed dependencies of the pipeline section corrosion depth make it possible to plan rationally the repair work, to predict the real terms of the structure work, to review the operation mode, etc. The obtained results allow us to more reliably evaluate the bearing capacity of structures that operate in conditions of aggressive medium with cracks.

Keywords: steel oil pipeline, electrochemical corrosion, galvanic element, corrosion rate, corrosion depth, residual life.

Ukraine has a developed network of main oil pipelines, petroleum product pipelines and gas pipelines, the average life of which is more than 30 years. The first built oil pipelines have been operating for more than 48 years [1, 2]. The long-term interaction of the metal pipe with the environment leads to the intensification of corrosion processes, to the degradation of the wall material physical and mechanical properties of the steel pipe. The lifetime of Ukrainian main gas and oil pipelines system is in many cases approaching the planned one. The numerous corrosion damage of the outer surfaces of pipes has been found that aggravates the problem of further reliable and safe operation. Oil pipelines operate under influence of various factors, which include temperature fluctuations, corrosive – aggressive media with a wide spectrum of their parameters, dynamic loads, etc. The most negative influence on the life of pipelines is corrosion – aggressive media [4, 5, 6]. Corrosion-hazardous sections regardless of the medium corrosive aggressiveness indicators and the presence of earth currents include: floodplain; irrigated land; swamps and waterlogged soils; underwater

transitions; industrial and household drains; rubbish and slag dumps; field warehouses of mineral fertilizers [7]. Corrosion may be aggravated by the occurrence of galvanic couples in the case of alternation of different composition soils under the influence of temperature factors, technology-related human activity, due to the development of microbiological organisms.

The analysis of the causes of pipeline failures shows that the most frequent damage of steel tubes are blowholes, caused by corrosion of pipes [8, 9]. The process of working out the design service life takes place against the backdrop of the metal pipe electrochemical corrosion development, which causes a decrease in the structure wall thickness, and therefore a gradual decrease in the structural life.

The question of evaluating the actual technical condition of technological equipment and pipeline networks in the oil and gas industry is particularly relevant because of the need to extend the life of the objects that have finished off their guideline life, as well as to ensure reliable and safe operation of such facilities [10].

As it was proved by Severnev M. M. [6], in the case of two-sided corrosion, the average losses per year for carbon steels are  $\sim 140 \text{ g / m}^2$ , which corresponds to a value of 0.035 mm, for processes of corrosion damage development, the speed is insignificant, while actual and necessary consideration is given to the possibilities of local corrosion, as well as other types of corrosion damage development. Especially dangerous is the combination of corrosion and mechanical factors, because their joint action may result in corrosion cracking, corrosion fatigue and fretting oxidation.

One of the ways to improve environmental safety and durability of oil pipeline exploitation is taking into account factors that characterize corrosion processes on metal pipes, thus preventing the formation of cracks on the surface and oil leaking.

Some methods for assessing the residual life and durability of steel transport structures that work in aggressive environments are based on calculations that do not include characteristics of corrosion processes in sections of structures. Corrosive processes in steel sections are mainly presented by empirical relationships that are associated with the presence of cracks in the insulating coating.

Proceeding from the above-said, the ecological safety provision of the oil pipeline section exploitation by monitoring the corrosion electrochemical parameters in the pipeline sections is relevant. The issue of residual life of existing steel pipes correlates to the definition of pipeline wall thickness. The urgency of such tasks is beyond doubt in many regions of the world. Moreover, one of the priorities of the XXI century is the problems of



environmental safety and environmental monitoring. Hence, the main task is to provide the reliability and safety of pipeline systems.

**1. Main body.** When studying the oil transportation system of Ukraine, authors [11] noted that its reliable work and safe operation is possible only with appropriate scientific and technical support. The problem of reliability should take the main place in international and national legislation.

In the works [12, 13] the reliability factors of oil pipelines and resources of the underground geological space, the corrosion process of main oil pipelines in soil conditions were investigated, operation problems of underground objects, the state of the oil transportation system linear part, in particular, in Ukraine, were analyzed. The results of researches point to the research line importance.

As it is known, the reliability of pipelines is formed at the design stage. The calculation of the structural strength on the basis of the building mechanics methods with the use of stock factors cannot fully take into account the variety of the structure operation conditions.

Application of aerospace methods for controlling the condition of the pipeline, the magnetic and ultrasonic flaw inspection pigs of the new generation definitely gives a picture of the structure actual state, and allows to prevent the possible emergency situations. On the other hand, to carry out such monitoring is quite costly.

Periodic diagnostic survey of oil pipelines allows to predict the growth of the corrosion damage depth and to prevent possible emergency situations at certain linear sections [14].

The main role under providing the environmental safety of pipeline operation in the development of corrosion damage (cracks) belongs to the study of corrosion depth and dynamics.

There is a known method [15] for forecasting the dynamics of the pipeline corrosion depth, which is carried out on the basis of two or more measurements of the wall thickness according to the formula

$$\Pi_e = \frac{365 \sum_i \Delta S_i + \Delta S_2 + \dots + \Delta S_n}{n T_e} \quad (1)$$

where  $\Pi_e$  is corrosion speed in the section of the pipeline which is controlled in the operation conditions, mm / year;

$\Delta S$  is the difference of wall thicknesses at points in the period of control measurements mm, indexes 1, 2, ...  $n$  denote control point numbers;

$T_e$  is the operation time between the control measurements, days;

$n$  is the number of measurement control points (not less than three).

However, this model does not take into account the corrosion process conditions.

The authors [16] use the expression to determine the thickness of the wall and calculate the depth of corrosion

$$\ln \Delta S = \alpha - \beta T^{-1} + (\gamma + \varepsilon T) \ln \tau, \quad (2)$$

where  $\Delta S$  is corrosion depth per hour  $\tau$ , mm (mm),

$\tau$  – is time, (hours)

$T$  – is an absolute temperature of metal on the pipe surface, K,

$\alpha, \beta, \gamma, \varepsilon$  are coefficients depending on the material of the pipes, the type of raw materials, etc.

Such methods for assessing the corrosion depth damage on sections of transport structures that operate under aggressive media are based on calculations that do not take into account the characteristics of corrosion processes. Corrosive processes in steel sections are mainly represented by empirical dependencies, which are not associated with the availability of cracks in the insulating coatings.

In publications containing the description of methods for calculating the corrosion wear rates on the basis of operational control data, it is noted that the calculation is empirical. In the investigated methods, factors that considerably increase the calculation error [17-21] are taken into account.

Scientists have proven that the main role in assessing the safety of pipeline operation in the presence of cracks in the insulating coating belongs to the study of the corrosion speed and depth.

Well-known methods for assessing the metal state by the results of corrosion tests suggest the use of quantitative indicators [22, 23]. The weight corrosion index is defined as the ratio of mass loss to the sample surface per unit time. The deep corrosion rate is used for the assessment of both continuous and local corrosion. The actual corrosion rate can be determined by the volume of the evolved gases relatively to the surface of the sample for a definite period of time.

Taking into account that the corrosion of steel with cracks is electrochemical, recent developments, on calculations of corrosion losses, are more oriented to the use of electrochemical and electrical parameters such as corrosion current density, electrode potential, metal polarization in cracks, electrical resistance of insulating coating. The advantage here is that these parameters can be obtained directly from the structures that are being in operation.

The way to accident-free operation of the pipeline technology can be in monitoring and controlling the electrochemical parameters characterizing the development of steel electrochemical corrosion process.

The practical electrochemistry says that the search for corrosion characteristics in a metal in the electrolytic medium can be reduced to the determination of the electric potential and current distribution on its surface. This makes it possible, when investigating pipeline steel corrosion in cracks, to use general approaches to calculations of stationary electric fields, which are developed in theoretical electrical engineering and sections of mathematical physics.

Hence, despite numerous studies, the need to develop new dependencies for the assessment of corrosive processes that take into account local environmental influences, special features of the exploitation of underground steel pipelines, remains relevant.

The purpose of this work is to develop dependencies that allow to calculate the loss of the cross section in the crack of the insulating coating under the action of an aggressive electrolytic medium towards the metal pipeline.

To achieve this goal the following tasks were solved:

- on the basis of the mathematical model of a local corrosion element to develop a dependence that will allow to calculate the steel pipeline corrosion depth in the crack of the insulating coating, which would be based on real parameters obtained during the examination of structures;
- to develop a method for calculating the pipeline section corrosion depth in the crack of the insulating coating in the conditions of the aggressive solution periodic action, which is focused on the periodic monitoring of electrochemical parameters in real structures.

The long-term interaction of the metal pipe with the environment leads to the intensification of corrosion processes, to the degradation of the physical and mechanical properties of the pipe wall material [3]. Pipelines designed and manufactured in accordance with the requirements of the normative documents must be resistant to the environment. However, defects in the manufacture and damage contribute to the beginning and development of pipeline corrosion processes [4]. As a result, the risk of accident hazards increases, which adversely affects the environmental safety of the operation of oil pipelines. Exploitation of oil pipelines is inextricably linked with the corrosive destruction of oil and gas equipment, industrial pipelines, in particular.

The study of the operation conditions of pipelines in the soil environment shows that, despite the use of various measures, the number of pipeline accidents due to corrosion is about 27% of the total.

An important factor in providing the accident free operation of underground oil pipelines is the protection of their surface from soil corrosion with high-quality insulating coatings. Among the wide range of insulating

materials, the dominant positions in the oil and gas complex of Ukraine belong to less effective in terms of anticorrosion but cheaper mastic coatings on the petroleum bitumen basis. Though, in the course of their operation, there is a significant damage to the insulating coatings.

The frequent defects of the insulating coating are rust-through damage and insulation layer separation.

In underground pipelines with sections where insulation is damaged, the anode and cathode polarization characteristics of steel are significantly changed, and as a consequence, the steel potentials in these points. Such sections greatly influence the pipeline corrosion development, creating the conditions for the emergence of macrocorrosion couples. In view of the fact that the exploitation of the oil pipeline with sections where the broken insulation is provided with the metal pipeline electrochemical corrosion, attention should be given to the corrosion process characterization when examining the pipeline. The current of galvanic coupling data is a universal indicator for calculating metal losses in cracks.

So article is devoted to the question of calculating the corrosion damage degree of the pipeline section, namely, the definition of the corrosion damage depth due to the electrochemical corrosion development.

Being a capillary-porous material, insulating coating is a second class conductor, therefore the steel corrosion process in it can be considered from the standpoint of ordinary electrochemical corrosion of metals in electrolytes. In most cases, which can include the pipeline corrosion in the crack, the heterogeneous mechanism of the metal destruction prevails. Herewith, certain parts of the metal surface are cathodes (pipeline under the insulation layer), and the other - anodes (pipeline in the crack).

The main characteristic of the electric field is the potential for which it is possible to find the corrosion current density according to the known Ohm law in the differential form:

$$i = \gamma \frac{\partial \varphi}{\partial N}, \quad (3)$$

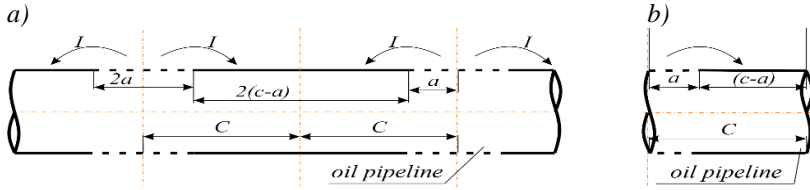
where  $\gamma$  – is the electrolytic medium electrical conductivity;

$N$  – is the normal line to the corrosive metal surface;

$\varphi$  is the potential.

Let us consider an electric field near a heterogeneous electrode whose model consists of 2 sections of arbitrary width that differ in stationary potentials.

The local corrosion element is represented by a pipeline section under an insulating coating (cathode) and a section with a pipeline in a crack under an electrolyte (anode) (Fig. 1)..



**Fig. 1 – Scheme of a local corrosion element on a pipeline in an insulating coating with a crack: a – general form; b – calculation model, c – distance between the middle of the sections; 2a – width of the anode section; 2(c - a) – width of cathode section; 1 – pipeline; 2 – insulating coating; 3 – crack; 4 – electrolytic medium (aggressive liquid).**

The definition of the electric field potential distribution in this case can be reduced to the solution of the two-dimensional Laplace equation:

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = 0, \quad (4)$$

where  $\varphi$  is the potential;

$x, y$  are the current coordinates.

The solution of equation (4) under certain boundary conditions can be obtained by the Euler-Fourier method and taking into account that

$$i = -\gamma \left( \frac{d\varphi}{dy} \right)_{y=0}$$

we obtain an equation for determining the current density distribution on the surface of a single local element:

$$i(x) = \frac{2(E_a - E_k)\gamma}{c} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{\pi k a}{c} \cos \frac{\pi k x}{c}}{k(1 + \frac{\pi k L}{c})}. \quad (5)$$

The current density on the local element surface varies in length.

Integrating the expression from 0 to  $a$ , we find the anode current of a single element [24]:

$$I = \frac{2(E_a - E_k)\gamma}{\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\frac{1 - \cos 2 \frac{\pi k a}{c}}{2}}{k(1 + \frac{\pi k L}{c})}. \quad (6)$$

Thus, the problem of modeling the steel electrochemical corrosion in the crack of the insulating coating during the action of an aggressive metal electrolytic medium, which comes down to the determination of the heterogeneous electrode stationary electric field, is solved. The advantage of this model is the ability to predict the valve corrosion development over time, which is important in determining the reinforced concrete structure residual life.

The pipe wall thickness is one of the main parameters that affects the changes in the stress-strain state of the structure, but also, therefore, on its

residual life. The pipeline cross-section changing leads to a change in the distribution of stresses in the pipeline and contributes to the development of environmentally hazardous situations. The pipe wall thickness depends on the working pressure of loads, structural characteristics and strength redundancy, including allowance to uniform corrosion loss.

In order to calculate the cross section area loss under the constant being of an aggressive electrolytic solution in the damaged insulation zone, the pipeline corrosion depth dynamics during the operation of the galvanic element "pipeline having damaged insulation – the pipeline under the insulating coating" is considered [25].

$$h = \frac{V}{\pi D_0 a_y} = \frac{K I t}{7,87 \pi D_0 a_y} \quad (7)$$

where  $V$  is the volume of the corroded metal in the crack,  $\text{cm}^3$ ;

$D_0$  is the initial diameter of the reinforced bar,  $\text{cm}$ ;

$K$  is the electrochemical equivalent,  $\text{g} / \text{A h}$ ;

$t$  – is corrosion time,  $\text{h}$ ;

$7,87$  – is specific gravity of metal reinforcement density,  $\text{g} / \text{cm}^3$ ;

$I$  – is galvanic couple current,  $\text{A}$ ;

$a_y$  is the of the valve section length under the normal crack to be damaged,  $\text{cm}$ .

Consequently, taking into account (5) from formula (6), we have

$$h = \frac{K}{7,87 \pi D_0 a_y} \left( \frac{2(E_a - E_k) \gamma}{\pi} \sum_{i=1}^{\infty} \frac{\frac{1 - \cos 2 \frac{\pi k a}{c}}{2}}{k(1 + \frac{k \pi L}{c})} \right) t. \quad (8)$$

The frequency of penetration into the crack of an aggressive solution will affect the hourly average current strength of the galvanic couple, and hence the steel corrosion rate in the crack.

The hourly average current strength increases with the increase in the frequency of penetration aggressive solution into a crack, but until the cathodic limitation of the process occurs, as solution saturation stops the oxygen inflow.

The pipeline section corrosion in the crack reaches the most active phase when on its surface a moisture film is formed. Herewith, the moisture film thickness is that the anode process in it is not yet slowed down, and there are the most favorable conditions for the cathode process development in the pipeline section under the insulation coating.

On the basis of the above said it is possible to assume that the steel corrosion process in the cracks of insulating coatings is a special kind of electrochemical corrosion, where the features of both atmospheric and electrochemical corrosion of steel which is completely immersed in a liquid

electrolyte are manifested. With regular periodic moisturization, it is possible to predict further steel losses proceeding from the next calculation.

The instantaneous wall thickness loss  $V = \Delta D / \Delta t$  is defined as the limit of the average velocity, provided that the time interval  $\Delta t$  is unlimited, that is,

$$V = \lim_{\Delta t} \frac{\Delta D}{\Delta t} = \frac{dD}{dt} \quad (9)$$

Thus, the velocity of change in the pipeline wall thickness is the time derivative of the initial wall thickness size. It is also clear that the rate of change in the wall thickness will be proportional to its size.

Consequently, the dependence of the change in the wall thickness of the pipeline section from time  $t$  can be regarded as a derivative in time

$$\frac{dD}{dt} = -rD \quad (10)$$

where  $r$  – is the relative rate of wall thickness decrease, which depends on the grade of steel, the original wall thickness aggressiveness of environment.

After integration we get

$$\ln D = -rt + \ln a$$

where integration constant  $A = \ln a$ .

From the last equation after exponentiation we have

$$D = ae^{-rt} \quad (11)$$

If the initial thickness of the wall of the pipeline  $D = D_0$  is known at the initial time  $t = 0$  (at the beginning of the structure operation), then substituting these values in (11), we obtain:  $D_0 = a \times e^{-r \times 0}$ , from which

$$a = D_0$$

Then (11) is

$$D = D_0 e^{-rt}. \quad (12)$$

To determine  $r$  (specific velocity of wall thickness reduction), we take logarithm of the both parts of equation (12)

$$\ln D = \ln D_0 - rt. \quad (13)$$

Using equation (13) it is possible to calculate the values of  $r$  for two known values of the cross sections  $D1$  and  $D2$ .

The thickness  $D1$  is determined at the time of the tests  $t_1$  at the maximum current of the galvanic couple (when moistening), and the

thickness  $D_2$  is determined by the time  $t_2$  before the next wetting when the stable minimum value of the galvanic couple current is reached

$$D_2 = D_0 e^{rt_2}. \quad (14)$$

Then:

$$\begin{aligned} \ln D_1 &= \ln D_0 - rt_1, \\ \ln D_2 &= \ln D_0 - rt_2. \end{aligned} \quad (15)$$

We subtract the second equation of system (15) from the first one

$$\ln D_1 - \ln D_2 = -rt_1 - (-rt_2) = r(t_2 - t_1)$$

from which

$$r = \frac{\ln D_1 - \ln D_2}{t_2 - t_1} \quad (16)$$

Consequently, the formula (12) can be written as follows:

$$D = D_0 e^{-\left(\frac{\ln D_1 - \ln D_2}{t_2 - t_1}\right)t}. \quad (17)$$

The pipeline wall thickness in the crack after the time interval  $t_1$  is

$$D_1 = D_0 - \frac{2KI_1}{7,87\pi D_0 a_y} t_1. \quad (18)$$

Similarly, it is possible to find the wall thickness the over time  $t_2$

$$D_2 = D_0 - \frac{2KI_2}{7,87\pi D_0 a_y} t_2. \quad (19)$$

The residual wall thickness of the pipeline at any time  $t$  from the operation beginning or preliminary examination is

$$\Delta D = D_0 - D_0 e^{-\left(\frac{\ln D_1 - \ln D_2}{t_2 - t_1}\right)t}, \quad (20)$$

or

$$\Delta D = D_0 \left(1 - e^{-\left(\frac{\ln D_1 - \ln D_2}{t_2 - t_1}\right)t}\right).$$

In the case of irregular periodic moisturization of the structure, steel corrosion calculations are also performed according to the average value of the galvanic couple current.

On the basis of the sample data of the measurements, the average current value, the mean square deviation, are found, and further, assuming that the law of the sample data distribution is normal, with a probability of 0,997, according to the rule of "three sigmae", the mean value of scattering limits is obtained:

$$\varepsilon = \bar{I} \pm 3\sigma,$$

where:  $\bar{I}$  – is the average value of galvanic couple current;

$\sigma$  – is the mean square deviation.



On the basis of the developed mathematical model of the galvanic corrosion element work in the steel pipeline section, the dependence is obtained that allows us to calculate the corrosion damage depth of the pipeline section with a constant and periodic penetration of an aggressive electrolytic solution into the area of damaged insulation.

Dependencies make it possible to predict the development of corrosion in time, regardless the aggressive electrolyte chemical composition, the possibility of obtaining the required calculation parameters from the structures which are used.

By studying the dynamics of the pipeline section loss in the crack of the insulating coating, it is planned to develop a methodology for assessing the residual life of the pipeline sections for bearing capacity and suitability for further operation.

**2. Conclusion.** Based on the mathematical model of the work of a local corrosion element, the dependence has been developed that allows calculating the loss of the cross-sectional area of the steel pipeline in the crack of the insulation coating under different conditions of the aggressive solution penetration. Dependencies are based on real parameters obtained by a non-destructive method during the structure examination. The calculation study of the cross-sectional area relative loss of the steel pipe during its corrosion in the crack of the insulating coating showed that direct corrosion tests are compliant with the current values of the macro-galvanic couples. The developed dependencies of the pipeline cross-section area losses make it possible to plan rationally the repair work, to predict the real terms of the structure work, to review the operation mode, etc. The obtained results allow us to more reliably estimate the bearing capacity of cracked structures operating in aggressive media conditions.

#### *Used information sources:*

1. Polyakov, S., Klimenko, A., Malkova, O. Electrochemical monitoring pipelines for corrosion hazardous areas, *Fiziko-chimichna mekhnika materialov*, No. 7, Vol.2, (2008). Pp.761–766.

2. Zhdek, A., Hrudz, M. (2012). Determination of residual life long exploited oil, taking into account existing defects and corrosion conditions. *Naukovy visnyk Ivano-Phrankivskogo natsionalnogo universytetu naphty I hazu*, no. 2(32), 58–66.

3. Rihan Omar Rihan Electrochemical Corrosion Behavior of X52 and X60 Steels in Carbon Dioxide Containing Saltwater Solution (2013). Vol.16(1). 227–236 DOI: 10.1590/S1516-14392012005000170

4. Held P. V., Riabov R. A. Vodorod v metallakh. M. : Metallurhiya. 1974. 272 s.

5. Romanyv O. N., Yarema S. Ya., Nykyforchyn H. N., Makhutov N. A., Stadnyk M. M. Ustalost y tsyklycheskaia treshchynostoikost konstruksyonykh

materyalov. K. : Naukova dumka. 1990. 680 p.

6. Severnev M. M. , Podlekarev N. N., Sokhadze V. Sh., Kytykov V. O. Yznoz y korroziiya selskokhoziaistvennykh mashyn // *Belarus. navuka*. Mynsk, 2011. 333 p.

7. Iedyna sistema zakhystu vid korozii ta starinnia. Metody otsinky biokoroziiinoi aktyvnosti gruntiv i vyiavlennia naiavnosti mikrobnoi korozii na poverkhni pidzemnykh metalevykh sporud : DSTU 3291-95. – [Chynnyi vid 1997-01-01]. K. : *Derzhstandart Ukrainy*, 1995. 33 s. – (Natsionalnyi standart Ukrainy).

8. Stepova O. (2011). Technological safety operation of main oil pipelines. Zbirnyk naukovykh prac (galuzeve mashynobydyvannja, budibnytsitvo), issue. 2(30), *Poltava: Poltava National Technical University named after Yuri Kondratyuk*. 266–269.

9. Stepova, O. (2011). Ensuring environmental safety of oil exploitation by monitoring electrochemical parameters. Zbirnyk naukovykh prac (tekhichni nauky), issue. 1(53), *Rivne: Natsionalny universitet vodnogo gospodarstva*, 201–207.

10. Dosvid provedennia tekhnichnoho diahnostuvannia tekhnolohichnoho obladdannia i truboprovodiv naftoperekachuvalnykh stantsii /Ia.B. Danyliak, N.L. Tatsakovych, O.M. Karpash, R.M. Basarab // *Nadezhnost y bezopasnost mahystralnoho truboprovodnoho transporta: materyaly VII Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsyy (Novopolotsk, 22-25noiabria 2011 h.)*. Novopolotsk : PHU, 2011. S. 138–141.

11. Becker, M. (2007). Ensuring reliable operation of the system oil transportation. *Sbornuk dokladov nauchno-prakticheskogo semunara* [collection of scientific and practical seminar] Kyiv, Institute elektrocvaruku umenu E.O. Patona, April, 17-18, 2007, 3–5.

12. Rohoznyuk, B., Gujov, Yu. and Kuzmenko, Yu. (2000). Technical operation of underground corrosion protection of oil pipelines. [Technical operation of underground corrosion protection of oil pipelines], Kyiv: Tehdiagaz.

13. Kornienko, S. and Kortubyak, O. (2008). Resources space underground geological Ukraine. *Visnyk Kyivskogo universytetu. Seriya: Geologiya* no. 43, 35–37.

14. Miniyailo, I.V. (2009) Determination of corrosion rate of metal pipes on the Urengoy-Chelyabinsk gas pipeline. *News of Higher Educational Establishments. Oil and gas. Publisher: Tyumen Industrial University*. №6, 52–58.

15. Instructions for determining the corrosion rate of the metal of the walls of the hulls of vessels and pipelines at the enterprises of the Ministry of Oil and Gas Industry of the USSR (1983) Publisher: Volgograd. 124 p. URL: <http://meganorm.ru/Data2/1/4293801/4293801208.htm>

16. URL: <https://all4study.ru/proizvodstvo/raschet-utoneniya-stenki-za-schet-korrozii.html>

17. Bridgeman, J. and Shankar, R. (1991) Erosion-corrosion data handling for reliable NDE. *Nuclear Eng. And Design*. №131. 285–297.

18. H. Lee (2003) Thinned Pipe Management Program of Korean NPPs. S / *Trans. of the 17th Inter. Conf. on Structure Mech. in Reactor Technology (SmiRT 17) Prague, Czech Republic. August 17-22*, 1–8.

19. Moolayil T.M. (2007) Mitigation of degradation of high energy secondary

cecle piping due to FAC and life management in Indian NPPs. *Second international Symposium on Nuclear Power Plant Life Management from 15-18th October, 2007 at Shanghai China*, 48 p.

20. Moulayil .M. (2008) o the question of corrosion under the influence of flow. *Nuclear technology abroa*. no 12, 16–21.

21. Baranenko V.I. (2010) Calculation of the rate of erosion-corrosion wear and residual life of pipelines AES. *Proceedings of Higher Educational Institutions. Nuclear energy*. №2, 55–63

22. Vorobeva G. (1975). Corrosion resistance of materials in aggressive environments of chemical industries. *Handbook of Chemistry*. M. : Chemistry, 816.

23. Romanov V. V. Methods for studying corrosion of metals (1965) M.: *Metallurgy*, 280.

24. Stepova, O. and Paraschienko, I (2017) Modeling of the corrosion process in steel oil pipelines in order to improve environmental safety *Eastern-European journal of enterprise technologies, industrial and technology systems*. Vol. 2, No 1 (86), 15-20. URL: <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/96425> DOI: 10.15587/1729-4061.2017.96425

25. Stepova, O. and Paraschienko, I (2018) Calculation of steel pipeline corrosion depth at the work of galvanic corrosion element operating /O. Stepova, Iryna Parashchiienko<sup>2</sup>, Iryna Lartseva<sup>3</sup>// *International Journal of Engineering & Technology*. Vol.7, №3.2.- 2018/- P.431-435 Міжнародна науко метрична база Scopus. DOI: 10.14419 / ijct.v7i3.2.14566 <http://www.sciencepubco.com/index.php/ijct/article/view/14566/596>

## **СУЧАСНІ ПІДХОДИ ТА ОСНОВИ МЕТОДОЛОГІЇ РОЗРОБКИ Й ПРОГНОЗУВАННЯ РОЗВИТКУ ЛОГІСТИЧНОЇ СТРУКТУРИ РЕГІОНАЛЬНИХ СИСТЕМ ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ**

**Бредун В. І.**, канд. техн. наук

*Національний університет «Полтавська політехніка  
імені Юрія Кондратюка», Україна*

**Анотація.** Питання щодо збору, утилізації та захоронення відходів виробництва та споживання актуальні практично для всіх регіонів України. Збір, транспортування та видалення є взаємопов'язаними етапами процесу рекультивативної населених пунктів. У рамках розроблення Регіонального плану поводження з відходами в Полтавській області до 2030 року (далі – РПУВ або регіональний план) необхідно створити та забезпечити ефективне функціонування системи поводження з відходами в Полтавській області. Техніко-логістична складова системи поводження з відходами є суттєвою основою, яка визначає ефективність усієї системи поводження з відходами. Особливого значення набувають логістичні питання на довгострокові періоди планування при впровадженні багатоетапних транспортних концепцій. Але, по-перше, перспективний період, закладений в регіональному плані, становить лише 9 років. По-друге, регіональний план передбачає різноманітну реалізацію. По-третє, існує ряд факторів, які впливають на структуру та перспективи розвитку логістичної складової системи поводження з відходами. Ці обставини обґрунтовують необхідність розробки чіткої методики проведення комплексного аналізу технічної та матеріально-технічної складової регіональної системи поводження з відходами для кожного територіального утворення як невід'ємної частини регіональної системи управління відходами, а також можливих перспектив її розвитку.

## **MODERN APPROACHES AND FUNDAMENTALS OF THE DEVELOPMENT METHODOLOGY AND FORECASTING THE DEVELOPMENT OF THE LOGISTICS STRUCTURE OF REGIONAL WASTE MANAGEMENT SYSTEMS**

**Bredun V.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

*National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Ukraine*

**Abstract.** Issues related to the collection, disposal and disposal of production and consumption waste are relevant for almost all regions of Ukraine. Collection,

transportation and disposal are interrelated stages of the settlement reclamation process. As part of the development of the Regional Waste Management Plan in the Poltava Region until 2030 (hereinafter referred to as the Regional Waste Management Plan or Regional Plan), it is necessary to create and ensure the effective functioning of the waste management system in the Poltava Region. The technical and logistical component of the waste management system is an essential basis that determines the effectiveness of the entire waste management system. Logistics issues for long-term planning periods are of particular importance when implementing multi-stage transport concepts. But, firstly, the prospective period laid down in the regional plan is only 9 years. Secondly, the regional plan provides for various implementation. Thirdly, there are a number of factors that affect the structure and development prospects of the logistics component of the waste management system. These circumstances justify the need to develop a clear methodology for conducting a comprehensive analysis of the technical and logistical component of the regional waste management system for each territorial entity as an integral part of the regional waste management system, as well as possible prospects for its development.

Для регіонального рівня поводження з відходами визначальними факторами економічної, технологічної та екологічної ефективності системи поводження з відходами є питання розробки концепцій логістики збору комунальних відходів, у тому числі побутових. Ми зупинимось на логістично-технологічних факторах організації систем управління відходами регіонального та місцевого рівнів.

В Україні та світі регулярно проводяться дослідження щодо різних аспектів поводження з твердими побутовими відходами. Так, у роботі [1] досліджено застосування принципів системності, цільової ієрархії, економічної та екологічної ефективності при розробці систем управління збиранням та захороненням ТПВ.

Так, загальні аспекти забезпечення ефективності систем управління відходами, що забезпечуються логістичною складовою розглянуті у роботах різних авторів. Автори [2, 3] на основі загального аналізу підходів до моделювання та імітації як етапів проектування стверджують, що комплекс заходів заснованих на моделях інноваційного поводження з матеріалами, застосуванні оперативної координації та оптимізації маршрутів забезпечують вирішення проблеми міських відходів. Співпраця державного, приватного і громадського секторів у сфері розробки рішень сприятимуть сталому управлінню відходами, особливо в країнах, що розвиваються, допоможуть оптимізувати загальну систему регіонального та місцевого управління відходами. На даному етапі становлення регіональних систем поводження з відходами ці положення актуальні і для України.

У роботі [4] автори розглядають загальні концепції планування систем збирання відходів. За їх думкою, стратегія збору відходів має базуватись на наступних принципах:

- основні характеристики стратегії управління відходами (наприклад, кількість окремо зібраних фракцій відходів);
- цілі, встановлені в стратегії управління відходами (наприклад, частка окремо зібраних відходів від загальної кількості зібраних відходів, рівень домішок окремо зібраних фракцій, доходи від вторинної сировини);
- характеристики території збору (наприклад, щільність населення та основні типи житла);
- поточне екологічне ставлення та уявлення мешканців;
- будь-які інші специфічні умови, що впливають на збирання відходів (наприклад, відповідна присутність туристів/мандрівників та ін.).

В якості основних шляхів оптимізації логістики збору відходів автори роботи [5] пропонують:

- встановлення, де це доцільно, альтернативних системи збору, такої як пневматична система в міських районах;
- використання технології комп'ютеризованої маршрутизації та планування режиму роботи транспортних засобів;
- вивчення можливостей співпраці з сусідніми організаціями з утилізації відходів;
- порівняльний аналіз споживання палива/енергії та/або викидів CO<sub>2</sub>;
- включення одного або кількох показників навколишнього середовища, таких як кумулятивний попит на енергію та/ або викиди CO<sub>2</sub>, у процес розробки маршрутної мережі та алгоритмів оптимізації маршруту;
- встановлення телематичного обладнання в сміттєзбиральні автомобілі для оптимізації маршруту в режимі реального часу на основі GPS та навчання водіїв техніці екологічного водіння.

Ряд робіт присвячено дослідженню управління транспортними потоками при управлінні відходами на регіональному рівні. Автори акцентують увагу на різних складових: економічній складовій утилізації відходів [6] та логістично-технологічній [7].

Важливу роль у забезпеченні ефективності місцевих та регіональних систем поводження з відходами відіграє раціональність використання спеціалізованого транспорту. Методика визначення раціональної вантажопідйомності сміттєвезів з наявного модельного

ряду автомобілів [8] дозволяє підібрати марку автомобіля, що відповідає можливому об'єму перевезень через визначення цільової функції з урахуванням витрат для кожної схеми організації захоронення твердих побутових відходів.

Автори роботи [9] доводять необхідність комплексної оцінки транспортного процесу з урахуванням експлуатаційних витрат і капітальних вкладень. На їх думку, єдиним критерієм, за яким можна охарактеризувати всі групи операцій, є час виконання. Крім того, розподіл операцій за часом є основною ознакою надійності транспорту.

Із точки зору надійності обладнання та ефективності логістичної складової системи управління відходами важливу роль відіграють питання експлуатації сміттевозів. Так, у роботі [10] проаналізовано власні дослідження та дослідження інших авторів стосовно процесів, що відбуваються в системі «Сміттевози – умови експлуатації», забезпечення максимального ресурсу двигунів спецавтомобілів, алгоритми оптимізації періодичності технічного обслуговування та ремонтів із мінімальними витратами на планове обслуговування та відновлення працездатного стану.

Сучасні наукові погляди на транспортне обслуговування систем збору побутових відходів, позитивні, так і негативні сторони характеризування технологічних процесів збору твердих побутових відходів та передумови для подальшого вивчення транспортного обслуговування систем збирання побутових відходів розглянуто в роботі [11].

Аналізуючи технологічну ефективність використання сміттевозів багато авторів доходять висновку, що найбільший вплив на ефективність має об'єм кузова сміттевоза. Також, вантажопідйомність маніпулятора відіграє важливу роль, оскільки потужний маніпулятор дозволяє піднімати великі контейнери для побутових відходів, сприяючи зменшенню кількості завантажувальних операцій. Маса сміття, що перевозиться сміттевозом, не має істотного впливу на його ефективність, оскільки в основному залежить від коефіцієнта ущільнення сміття в кузові.

Максимальна дальність перевезення, при якій використання транспортного засобу стає пріоритетним за рентабельністю порівняно з іншими видами техніки є одним з основних технологічних аспектів вибору транспортного засобу для відповідних умов експлуатації за максимальною продуктивністю [12].

Актуальним питанням для України є оновлення спеціалізованого транспортного парку. Це складне питання, яке має ряд технологічних [13], архітектурно-планувальних [14], організаційно-концептуальних

умов [15, 16]. Наприклад, у статті [10] проаналізовано роботи в галузі створення методики визначення економічної доцільності переходу на оновлену структуру парку спеціалізованого сміттєзбирального автотранспорту. В основу методики покладено розрахунок різниці між витратами на експлуатацію наявного транспортного парку та запланованими до введення в експлуатацію, а також витратами на розміщення ТПВ на полігоні. В роботі [17] наведено аналіз перспектив використання різних типів спеціалізованої сміттєзбиральної і сміттєтранспортної техніки, означено перспективи використання багатосекційних сміттєвозів. Одним із проблемних аспектів, особливо при плануванні регіональних систем управління відходами є дуже низька представленість на ринку України спеціалізованої техніки для магістральних перевезень ТПВ.

В умовах нового адміністративного поділу важливою для регіонів України є тема міжмуніципальної співпраці. Цікавий досвід, напрацьований європейськими країнами, висвітлений у роботі [18]. На думку авторів для малих і середніх муніципалітетів найбільш ефективною практикою є запровадження міжмуніципального співробітництва, яке дозволяє впроваджувати заходи, реалізація яких поодиноці була б занадто дорогою для окремих муніципалітетів. Як результат такої співпраці – покращення економічних та екологічних показників системи управління відходами.

Міжмуніципальна співпраця дає можливість залученим муніципалітетам:

- розподілити адміністративні витрати;
- зменшити собівартість одиниці продукції та підвищити якість;
- залучати інвестиційні кошти, зарезервовані для проектів визначеного мінімального розміру (наприклад, структурні фонди ЄС та інші інвестиційні механізми) та підвищити економічні показники шляхом скоординованого планування, забезпечуючи при цьому кращий захист навколишнього середовища.

Міжмуніципальне співробітництво в регіональних системах управління ТПВ дозволяє уникнути дублювання роботи і покращити ефективність використання ресурсів, зменшити витрати, пов'язані з управлінням відходами. Автори роботи в інших своїх публікаціях відмічають характерний ефект міжмуніципального співробітництва в невеликих муніципалітетах, який полягає в наступному: вартість поводження з відходами при збільшенні частоти збирання не завжди збільшується. На думку авторів, цей ефект походить від концепції економії масштабів територій, оскільки, наприклад, одна вантажівка може обслуговувати кілька муніципалітетів (особливо актуально для



невеликих сільських поселень).

Муніципалітети, які співпрацюють у сфері поводження з відходами, відносно добре відомі в Європі. Так, за даними [19] 63% мерій великих міст Франції передали управління відходами консорціуму міст. Таким чином, міжмуніципальна співпраця дозволяє впроваджувати найкращі практики, які є можливими лише для організацій певного розміру, бо для невеликих сусідніх муніципалітетів така співпраця може обходитись значно дешевше, ніж кожному реалізувати управління ТПВ самостійно.

Прикладом міжмуніципального співробітництва в Полтавській області може слугувати співпраця Опішнянської й Диканської громад, Полтавської та розташованих поруч Терешківської та інших громад.

Як фактори оптимізації логістичних процесів зі збору відходів виділяють автори роботи [20]: тип, кількість і розташування об'єктів обробки чи захоронення, контейнерів, вибір концепції та засобів транспортування, вибір швидкості транспортування, вибір маршруту та вибір часу збору.

Аспекти забезпечення екологічної безпеки логістичних систем [21], є невід'ємною складовою формування систем управління відходами різного рівня як елементу формування екологічно безпечного розвитку територій [22]. В цьому сенсі цікаві результати [23]. Авторами доведено, що ступінь економії палива та рівень навантаження на навколишнє середовище, досягнуті завдяки оптимізації логістики, значною мірою залежать від ефективності операцій зі збору відходів. Так, дослідження щодо застосування систем на основі GPS та геоінформаційних систем для оптимізації збирання ТПВ у Великобританії показало, що такі комплексні рішення можуть скоротити транспортні відстані та пов'язане з цим споживання палива на 15% та, відповідно, до супутнього скорочення виснаження викопних ресурсів та викидів у повітря викидів одночасно збільшуючи продуктивність до 9%.

Активний круїз-контроль на транспортних сміттєвозах дозволяє знизити використання палива та викиди парникових газів на 1-2% для систем регіональної логістики [24].

Існує ряд технологічних способів зменшення викидів від спеціалізованого транспорту. Пріоритетні варіанти технологій включають [25]:

- стоп/старт і відключення холостого ходу;
- шини з низьким опором коченню;
- гібридні транспортні засоби;
- спеціалізовані транспортні засоби на природному газі /

біометані або двопаливні транспортні засоби (дизель/газ);

– транспортні засоби з електроприводом.

Комплексне багаторівневе (територіальний або місцевий та регіональний рівні) логістично-технологічне планування систем поводження з відходами в умовах сучасної України має ряд своїх особливостей. Основними практичними завданнями логістичного планування регіональних/територіальних систем збору відходів є:

- забезпечення всіх населених пунктів необхідними санітарно-побутовими приміщеннями;
- визначення оптимальних рішень щодо методів збирання відходів;
- забезпечення економічно та екологічно обґрунтованих нормативно регламентованих систем санітарного очищення територій;
- визначення необхідної матеріально-технічної бази;
- визначення необхідного персоналу.

У Полтавській області у рамках розроблення Регіонального плану управління відходами [26] (РПУВ) реалізовано перший етап вирішення всього комплексу вищевказаних завдань. Регіональним планом передбачається поступове збільшення частки населення, охопленого централізованою системою збору побутових відходів (із завданням до 90% населення області до 2030 року), з одночасним переходом до багаторівневої структури системи збору та транспортування побутових відходів (зменшення кількості полігонів, збільшення кількості сортувально-перевантажувальних станцій, робота регіональних сміттєпереробних комплексів). На даний час, безумовно, змінюються певні поточні цілі, але загальна концепція, передбачена регіональним планом, залишається.

Перший етап – збір побутових відходів на територіях ТГ (відповідає сценарію №1 – основний). Другий етап – транспортування ТПВ від місцевих до регіональних РООВ (еквівалент сценарію №3 – перспективний або сценарію №2 – альтернативний).

Оптимальний прогноз логістичної структури можливий за умови розуміння тенденцій її розвитку в прогнозованому періоді з огляду на специфіку регіональних факторів. На цей період існують методики розвитку регіональних систем поводження з ТПВ за відомими показниками [27]. Проте актуальним є питання прогнозування розвитку логістичних структур за рахунок взаємодії комплексу соціально-технологічних факторів, що виникли під впливом регіональних умов.

Аналіз концепцій розвитку логістичної організації регіональної системи управління відходами є одним із підходів до вирішення задачі

щодо зниження ризиків реалізації регіональних проєктів системи управління відходами та підвищення їх ефективності. Завдяки цьому вдається налагодити найбільш перспективні види та технології організації матеріально-технічного забезпечення поводження з відходами в регіоні.

Відповідно до поставленого завдання нами розроблено структурно-логічну схему процесу прогностичного дослідження розвитку регіональної системи поводження з ТПВ (рис. 1). Особливістю даної схеми є врахування всіх аспектів формування логістичної складової регіональної системи поводження з відходами.

Дослідження перспектив розвитку логістичної організації регіональних систем управління відходами базуються на: детальному структурно-генетичному та факторному аналізі концепцій розвитку логістичної організації регіональних систем управління відходами, передбачених регіональними планами; визначенні типу логістичної організації системи поводження з відходами з огляду на містобудівну структуру регіону; дослідження демографічного розвитку регіону та визначення критеріїв включення населених пунктів у логістичні концепції; прогноз трафіку; встановлено критерії вибору транспортних засобів, визначення перспективної видової бази сміттевозів; аналіз основних транспортних шляхів, критеріїв використання дорожньої мережі, процесів створення дорожньої мережі області та планів її модернізації.

Аналіз концепцій розвитку логістичної організації регіональної системи поводження з відходами дозволяє встановити найбільш перспективні види та технології логістичної організації поводження з відходами в регіоні.

Аналітичний огляд топології сміттевозів, їх основних характеристик та особливостей використання дозволяє встановити найпоширеніші типи сміттевозів, що зустрічаються на сьогоднішній день в Україні, визначити перспективні типи та скласти видову базу сміттевозів для подальшого аналізу.

Важливим елементом логістичної структури є дорожня мережа. Комплексний аналіз транспортних маршрутів, доріг, що входять до них (створення переліку доріг, їх категорій та параметрів, стану пошкодженості доріг), планів модернізації вулично-дорожньої мережі дозволяє визначити найбільш критичні ділянки мережі доріг у регіоні пропозиції щодо їх модернізації та ремонтних робіт та запобігання технологічним небезпекам у реалізації регіональних стратегій управління відходами.

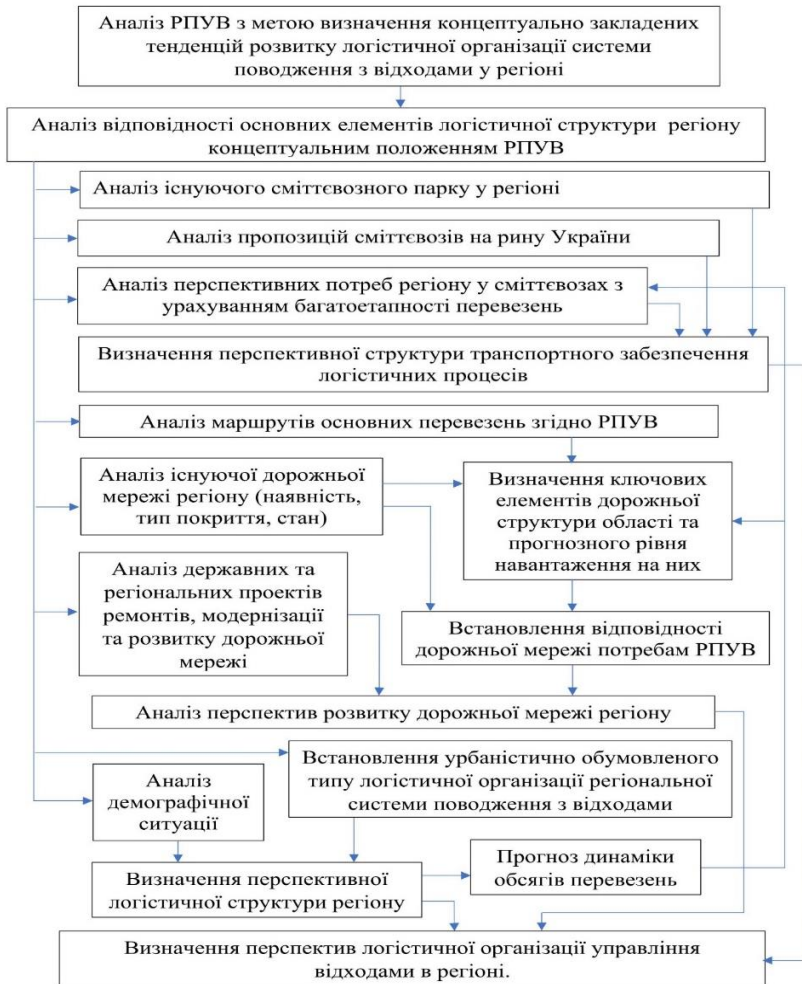


Рисунок 1 – **Методологія прогностичних досліджень розвитку логістичної структури регіональних систем поводження з відходами**

Демографічна ситуація в регіоні є фактором, який визначає обсяги утворення та транспортування відходів та відповідні вимоги до мережі доріг. Визначення перспектив логістичної організації поводження з відходами базується на аналітичних дослідженнях

попередніх етапів та встановленні критеріїв включення населених пунктів до логістичних схем на основі аналізу прогнозних демографічних показників населених пунктів.

Системи видалення відходів з населених пунктів можуть реалізовуватися за різними сценаріями залежно від місцевих умов (найбільш населені пункти, щільність і тип забудови районів, кількість жителів, які обслуговуються системою, наявність і тип місць компактного утворення відходів, віддаленість). інфраструктури поводження з відходами від місць їх утворення, наявності резервних територій, економічних, соціальних та інших умов тощо) у формі як прямого, так і двоступеневого та змішаного розміщення відходів. Таким чином, формування регіональної системи управління відходами на регіональному рівні значною мірою визначається особливостями окремих громад.

Більшість громад області має селищно-сільський тип логістичної організації, яка суттєво впливає на фактори формування логістичної структури системи поводження з відходами. Одним із таких факторів є демографічна ситуація в суспільстві. Це безпосередньо впливає на прогнозовані обсяги утворення та транспортування ТПВ. За даними [26], коефіцієнт зміни чисельності населення з 2022 року до 2025 та 2030 років у Полтавській області становить 0,964 та 0,921 відповідно. Тому чисельність населення регіону невпинно скорочується.

Ще одним важливим аспектом, зумовленим демографічними факторами, є зменшення кількості перспективних населених пунктів. Цей спад відображає наслідки урбаністичних процесів, які відбувалися в Україні протягом останніх десятиліть. Наслідком цього стало зменшення чисельності сільського населення. Нині на території Полтавської області є значна кількість сіл, в яких майже немає населення.

Наприклад, за даними [28], із 30 населених пунктів на території Опішнянського товариства 9 мають населення менше 10 осіб, і це переважно люди похилого віку. Ці села не мають ані промислової, ані соціальної інфраструктури. Тому при плануванні системи поводження з відходами на муніципальному рівні в сучасний час включення цих населених пунктів до систем водовідведення є економічно та екологічно недоцільним. На етапі довгострокового планування системи поводження з відходами Опішнянського територіального товариства, в рамках реалізації ПЗП [26], вищевказані 9 сіл мають бути виключені з системи. Основними наслідками цього рішення є:

- практично повна відсутність його впливу на показник обсягу транспортування ТПВ;

- через просторове розташування цих населених пунктів у межах муніципалітету їх виключення з логістичної структури призводить до значного скорочення довжини сміттєвозів.

Ще одним важливим чинником можливого скорочення вивезення побутових відходів є використання їх окремих компонентів у власному господарстві в сільській місцевості. В межах області, за даними [26], вага цього фактору може становити до 12,33% від загальної кількості побутових відходів.

Процес логістичного планування маршрутів збору побутових відходів є інформаційно-аналітичним. Для забезпечення його оптимальності важливо раціонально організувати інформаційні потоки в системі планування (рис. 2).

Основними інформаційними елементами цієї структури є нормативно-правова база, база даних соціально-демографічної інформації, база даних побутових відходів, база спецтехніки, державна програма поводження з відходами та геобаза даних.

У структурі програмного комплексу ГІС всі компоненти взаємопов'язані. Робоче середовище програмного забезпечення ГІС працює з двома базами даних: базою регіональної системи управління відходами та базою геоданих по регіону. В результаті комплексної обробки даних у програмному середовищі ГІС користувач отримує кінцеву інформацію у вигляді розрахунково-зображувального матеріалу логістичної складової регіонального проекту поводження з ТПВ.

Звернемо увагу на діаграму вище. На підставі нормативних документів планується вид руху спецавтомобілів (вибирається тривалість зміни). Тоді цей параметр може бути скоригований за результатами розрахунку, але відповідно до нормативів, встановлених КЗПП України.

На підставі [29] попередньо вибрано інтервал руху сміттєвозів.

Дані про соціальний склад і чисельність населення, яке проживає в районі планового ремонту, відбираються з бази даних із соціально-демографічною інформацією. На основі цих даних та з урахуванням бази даних побутових відходів формується інформація про приблизний якісний та кількісний склад побутових відходів, яка є основою для визначення кількості відходів у зоні постачання або [29]. Отримані таким чином дані служать основою для розрахунку кількості контейнерів. Результати розрахунків є рекомендаціями щодо вибору оптимального контейнерного забезпечення для зони обслуговування або запровадження безконтейнерного способу збору відходів.

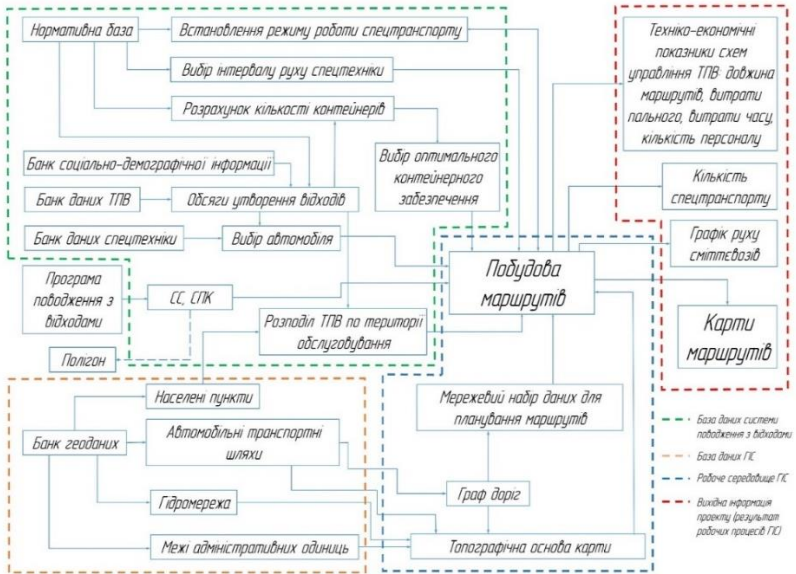


Рисунок 2 – Структурно-логічна схема інформаційного забезпечення процесу планування маршрутів збору ТПВ

База даних додаткового обладнання містить інформацію про:

1. Наявність сміттєзбиральної техніки, її стан, техніко-експлуатаційні характеристики, адміністративна приналежність.
2. Спеціальне обладнання, яке пропонує спеціалізований магазин - стан, техніко-експлуатаційні характеристики, вартість, виробник, досконалість системи гарантії та післягарантійного обслуговування.

На підставі інформації про кількість утворених побутових відходів та розподіл побутових відходів на території постачання приймається рішення про те, чи достатньо наявного обладнання, чи необхідно придбати додатковий або навіть замінити транспортний парк.

Важливим елементом, який визначає стратегію побудови логістичних концепцій, є програма управління відходами, наприклад [30]. Цей документ, заснований на ретельному комплексному аналізі соціальних, економічних та екологічних характеристик регіону, становить основну концептуальну основу логістики твердих побутових відходів у регіоні. Ці положення регулюють вибір методів і систем збору відходів (єдина система або система роздільного збору, система розподіленого або централізованого збору, контейнерний або

безконтейнерний, одноступеневий або багатоступеневий збір).

Наведена схема (рис. 2) передбачає можливість централізованого збору ТПВ до сміттєсортувальної станції з подальшим транспортуванням залізницею до регіонального сміттєпереробного комплексу.

Оскільки процес збору ТПВ безпосередньо геоприв'язаний, база геоданих є невід'ємною частиною інформаційної структури проекту розробки маршруту. Зараз широко поширені відкриті та комерційні електронні бази геоданих. Перевага їх використання полягає в можливості автоматизації процесу проектування за допомогою прикладних програмних комплексів на базі геоінформаційних технологій.

Як видно з рисунку 2, база геоданих містить інформацію про всі елементи географічного середовища, які беруть участь у проектуванні маршруту. На основі інформації про розташування населених пунктів складається схема розподілу ТПВ по території обслуговування. Дані про межі адміністративних одиниць визначають площу зони обслуговування. До речі, існуючий адміністративний поділ території не завжди має сенс з точки зору логістики відходів. Часто виникають ситуації, коли доцільніше запровадити субрегіональний підхід або принцип концентрації агломерацій, як на прикладі планування маршрутів збору твердих побутових відходів у Козельщанському районі Полтавської області, про який йдеться нижче.

Оскільки основним видом транспорту для збору твердих побутових відходів є автомобіль, то для побудови схеми вулиць використовуються дані про елементи автотранспортної мережі. Схема вулиць містить інформацію про всі лінійні елементи вуличної мережі, їх тип, дані про їх перетин у горизонтальній і вертикальній площинах, варіанти поворотів, напрямки та обмеження руху.

Процес побудови маршруту відбувається в спеціалізованому програмному середовищі, в якому зв'язуються необхідні елементи бази даних, розраховуються маршрути та генеруються результати.

Результатами розрахунків є маршрутні карти, інформація про тип та кількість необхідного спецтранспорту, графік їх роботи, техніко-економічні показники розроблених систем збору ТПВ (довжина маршрутів, витрата палива, час, витрачений на технічне обслуговування, площа, необхідна чисельність персоналу тощо).

Вирішення проблем оптимізації систем поводження з відходами на рівні окремого муніципалітету має здійснюватися в рамках оптимізації всієї системи управління відходами регіону.

Відповідно до наведеної методології можна визначити перелік



базової інформації, необхідної для прогнозування:

1. Перелік чинних та планованих регіональних і місцевих нормативно-правових актів у сфері поводження з твердими побутовими відходами (побутовими відходами) та іншими побутовими відходами (див. бібліографію).

2. Діючі норми накопичення побутових відходів.

3. Генеральні плани або плани територіального розвитку муніципалітетів.

4. Технічний регламент утилізації відходів.

5. Інформація про наявність спеціального транспорту та обладнання.

6. Особливість об'єктів РООВ.

7. Організації, які займаються збором твердих побутових відходів і вивезенням їх на полігони.

8. Характеристика пунктів збору твердих побутових відходів.

9. Особливість дорожньої мережі регіону.

10. Інформація про стан дорожньої мережі та плани щодо її модернізації.

Отже, проблема комплексної логістично-технологічної оптимізації систем поводження з ТПВ різних рівнів є актуальною для України багатofакторною задачею. В Україні такі дослідження присвячені або економічній складовій, або технологічній надійності спецтранспорту. Практично відсутні дослідження екологічної складової. Українськими виробниками слабо представлений асортимент спеціалізованих транспортних машин, що породжує певні складнощі при проектуванні логістики регіонального рівня. Важливими аспектами у проектуванні регіональних систем поводження з відходами є інтегрований підхід, за якого державний, приватний і громадський сектори працюють разом і забезпечують запровадження міжмуніципального співробітництва.

Планування, прогнозування і оптимізація логістично-технологічної структури систем управління відходами різних рівнів варіюється від проектування інфраструктури та мереж збору відходів до оптимізації маршруту в режимі реального часу на основі програмного забезпечення GPS. Найбільш ефективним інструментом техніко-логістичного проектування є використання геоінформаційних систем. З однієї сторони, це вимагає створення обширних та детальних баз даних. Але з іншої – робить процеси планування, оптимізації та управління в системах поводження з відходами більш технологічними, гнучкими, адаптивними і ефективними.

### **Використані інформаційні джерела:**

1. Абрамова М. В., Османов І. Х. Формування раціональної системи управління твердими побутовими відходами // Вісник економічної науки України. 2011. №2 (20). С. 6–10.
2. Sarkis J., Helms M. M., Hervani A. A. Reverse logistics and social sustainability, Corporate Social Responsibility and Environmental Management 17 (2010), 337–354.
3. Barker T. J., Zabinsky Z. B. Reverse logistics network design: A conceptual framework for decision making, International Journal of Sustainable Engineering 1 (2008), 250–260.
4. ACR+ (2014). The EU Capital Cities waste management benchmark. ACR+, Brussels.
5. AMEC (no date). Design of New Alternate Week Waste Collection Rounds: Sefton Metropolitan Borough Council. AMEC website: [http://www.amec-ukenvironment.com/logistics/Downloads/pp\\_1207.pdf](http://www.amec-ukenvironment.com/logistics/Downloads/pp_1207.pdf).  
Київського нац.університету імені Тараса Шевченка. 2007. Випуск 74. С. 7–10.
6. Корпан Р. В. Логістика в системі екологічного менеджменту. Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Логістика. 2004. №6. С. 67–76.
7. Ілляш О. Е., Бредун В. І. Особливості формування кластерної моделі системи управління побутовими відходами для Полтавської області. Вісник Хмельницького національного університету : Технічні науки : наук. журн. / Хмельниц. нац. ун-т. Хмельницький: Вид-во ХНУ, №5 (301), 2021. С.7–12. – ISSN 2307-5732 DOI: <https://www.doi.org/10.31891/2307-5732-2021-301-5-7-12>
8. Методика вибору раціональної схеми при доставке твердих бытовых отходов / [А. В. Павленко, В. Н. Нефёдов, Д. А. Музылёв, Р. Н. Гришаточкин]. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. № 6/3 (60). 2012. С.8–11.
9. Процик О. П., Коцюк О. Я. Аналіз ефективності роботи сміттєвозів // Вісник КДПУ. 2006. Випуск 6 (41). Ч. 1. С. 52–54.
10. Попович Н. П. Екологічно безпечний збір, транспортування та знешкодження твердих побутових відходів : дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) : 21.06.01 – екологічна безпека (101 «Екологія») /Наталія Пилипівна Попович; Міністерство освіти і науки України, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності Державної служби України з надзвичайних ситуацій. Львів, 2019. 209 с.
11. Горяинов А. Н., Стариенко О. Е. Транспортное обслуживание систем сбора бытовых отходов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. №1/3 (31). 2008. С. 34–37.
12. Герелиця Р. О., Герелиця Н. Є. Управління транспортною логістикою в сільськогосподарських підприємствах // Всеукр. наук.-виробн. журнал «Інноваційна економіка». Житомир, 2010. С. 292–298.
13. Бредун В. І., Попельников В. В. Аналіз технологічної ефективності логістичної схеми збору ТПВ, «Екологія. Довкілля. Енергозбереження»: Матеріали І Всеукраїнській науково-практичній конференції з міжнародною

участю «Екологія. Довкілля. Енергозбереження», присвяченій 90-річчю Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» (3-4 грудня 2020року). Полтава : НУПП, 2020. С.241–243.

14. Бредун В. І. Проблеми збору твердих побутових відходів у населених пунктах Полтавської області, пов'язані з їх архітектурно-планувальними особливостями. Архітектура: естетика + екологія + економіка: матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції = Architecture: Aesthetic+Ecology +Economics : IV International Scientific Practical Conference Proceedings / Полт. націон. Техн. ун-т імені Юрія Кондратюка. Полтава : ПолтНТУ, 2019. 229 с.

15. Bredun V., Smoliar N., Sarkarli A. (2022). Logistic Component of Regional Waste Management Systems Efficiency Improvement. In: Onyshchenko V., Mammadova G., Sivitska S., Gasimov A. (eds) Proceedings of the 3rd International Conference on Building Innovations. ICBI 2020. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 181. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-85043-2\\_44](https://doi.org/10.1007/978-3-030-85043-2_44)

16. Бредун В., Дубина К., Бурда А. Основні проблеми та завдання перспективного логістичного планування регіональної системи поводження з відходами // Тези 74-ї наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка». Том 1. (Полтава, 25 квітня – 21 травня 2022 р.). Полтава : Національний університет імені Юрія Кондратюка, 2022. С.267–269.

17. Бредун В. І. Тенденції розвитку технологічної складової логістики ТПВ у Полтавській області. Вісник Хмельницького національного університету : Технічні науки : наук. журн. / Хмельниц. нац. ун-т. – Хмельницький: Вид-во ХНУ, №3 (309), 2022. – С.205-205. – ISSN 2307-5732 DOI: 10.31891/2307-5732-2022-309-3-205-208

18. Bel, G., Warner, M. (2015). Inter-municipal cooperation and costs: Expectations and evidence. *Public Administration*, 93(1), 52–67.

19. Djemaci, B. (2009). Public waste management services in France: National analysis and case studies of Paris, Rouen and Besançon. CIRIEC Report, 2009/2. Available at [www.ciriec.ulg.ac.be](http://www.ciriec.ulg.ac.be),

20. Dekker, R., Bloemhof, J., Mallidis, I. (2012). Operations Research for green logistics – An overview of aspects, issues, contributions and challenges. *European Journal of Operational Research*, Volume 219, Issue 3, 16 June 2012, Pages 671–679, ISSN 0377-2217.

21. Бредун В. І. Техніко-логістичне планування екологічно безпечних схем збору твердих побутових відходів // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. Кременчук : КрНУ, 2020. Випуск 3(122). С.60–66.

22. Скороход І. С., Ребрина Н. Г. Роль логістики в забезпеченні екобезпечного розвитку регіону // Науковий журнал «Логістика: теорія та практика» Луцького національного технічного університету. 2011. №1. С. 105–110.

23. WRAP (2010). Use of Vehicle Routing and Scheduling Software in CDE Waste Collection. Report written by Entec for WRAP, Oxon.

24. Ricardo-AEA (2012). Opportunities to overcome the barriers to uptake of low emission technologies for each commercial vehicle duty cycle. Ricardo-AEA Ltd, London.
25. Di Maria F., Micale C. (2013). Impact of source segregation intensity of solid waste on fuel consumption and collection costs. Waste management (33) 2170-2176.
26. Регіональний план управління відходами у Полтавській області до 2030 року. Полтава, 2021.
27. Наказ Міністерства екології та природних ресурсів №142 від 12.04.2019 зі змінами від 10.09.2021 Наказ №586 «Про затвердження Методичних рекомендацій з розроблення регіональних планів управління відходами». [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0142737-19#Text>
28. Опішнянська громада. Картка громади. Режим доступу: <http://opishnya.gromada.org.ua/structure>
29. Правила визначення норм надання послуг з вивезення побутових відходів. Затверджені Наказом Міністерства з питань ЖКГ України від 30.07.2010 р. №259.
30. «Комплексна програма поводження з твердими побутовими відходами у Полтавській області на період 2017-2021 роки». Полтава, 2017. 154 с.

**ТВЕРДІ ПОБУТОВІ ВІДХОДИ ЯК РЕЗЕРВ  
ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ МІСТА**

**Голік Ю. С.**, канд. техн наук, професор, **Крот О. П.**,  
доктор техн наук, професор, **Серга Т.М.**, аспірантка

*Національний університет «Полтавська політехніка  
імені Юрія Кондратюка». Україна*

**HOUSEHOLD SOLID WASTE AS A RESERVE  
ENERGY POTENTIAL OF THE CITY**

**Holik Yu.**, Candidate of Technical Sciences, Professor, **Krot O.**, Doctor of  
Technical Sciences, Professor, **Serha T.**, graduate student

*National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»,  
Ukraine*

**Анотація.** Відходи є одним із найбільш вагомих факторів забруднення навколишнього середовища. Значні обсяги промислових та побутових відходів становлять реальну небезпеку для суспільства та навколишнього природного середовища (атмосферного повітря, ґрунту, поверхневих, підземних вод тощо), що сьогодні є складною проблемою та потребує невідкладного вирішення. Проблема відходів в Україні відізняється особливою масштабністю і значимістю як наслідок домінування в національній економіці ресурсоемних багатовідхідних технологій, так і через відсутність протягом тривалого часу адекватного реагування на її виклики. Значні масштаби ресурсокористування та енергетично-сировинна спеціалізація національної економіки разом із застарілою технологічною базою визначали й далі визначають високі показники утворення відходів. Сьогодні Україна відчуває дефіцит первинних енергоресурсів і сильно залежить від їх зовнішніх поставок, але ситуація погіршується на тлі воєнного стану. Доцільно раціонально використовувати ресурси, в основному вітчизняний природний газ, енергетичне вугілля, які разом з паливом розглядаються як важливий елемент забезпечення національної енергетичної безпеки та створення сприятливих умов для стабільного розвитку паливного комплексу і енергетики в складні часи. Ці обставини обґрунтовують важливість використання твердих побутових відходів з місцевих звалищ, оскільки останній фактор має залишкові енергетичні ресурси. Особливості даного дослідження більш доречні в післявоєнний період, коли виникла потреба в недорогих енергоресурсах, які б дозволили отримати доступ до теплової енергії.

**Abstract.** Waste is one of the most important factors of environmental pollution. Significant volumes of industrial and household waste pose a real danger to society and the surrounding natural environment (atmospheric air, soil, surface, underground water, etc.), which today is a complex problem that requires an urgent solution. The problem of waste in Ukraine is characterized by a particular scale and significance as a consequence of the dominance of resource-intensive multi-waste technologies in the national economy, as well as due to the lack of an adequate response to its challenges for a long time. Significant scale of resource use and energy and raw material specialization of the national economy, together with an outdated technological base, determined and continue to determine high rates of waste generation. Today, Ukraine experiences a shortage of primary energy resources and is highly dependent on their external supplies, but the situation worsens against the background of martial law. It is advisable to rationally use resources, mainly domestic natural gas and thermal coal, which, together with fuel, are considered an important element of ensuring national energy security and creating favorable conditions for the stable development of the fuel complex and energy industry in difficult times. These circumstances justify the importance of using solid household waste from local landfills, since the latter factor has residual energy resources. The features of this study are more relevant in the post-war period, when there was a need for inexpensive energy resources that would allow access to thermal energy.

Перед людством постає проблема: чи продовжувати перетворювати нашу планету на звалище відходів і зробити її непридатною до життя або ж змінити своє ставлення до природи і навчитися по-господарському ставитися до неї. У осяжній перспективі ми не зможемо відмовитися від захоронення відходів на полігонах, проте необхідно до мінімуму звести цю частину. Сьогодні очевидно, що всі види паливних ресурсів на планеті зменшуються, і лише об'єм відходів, які створює людина, постійно збільшується.

За Законом України «Про відходи» від 05.03.1998 № 187/98-ВР відходи – це будь-які речовини, матеріали і предмети, що утворилися у процесі виробництва чи споживання, а також товари (продукція), що повністю або частково втратили свої споживчі властивості і не мають подальшого використання за місцем їх утворення чи виявлення і від яких їх власник позбувається, має намір або повинен позбутися шляхом утилізації чи видалення [3]. Кількість відходів збільшується з ростом населеного пункту та доходом населення.

Одними з найгостріших екологічних проблем у Полтавській області, зокрема місті Полтава, залишаються питання, що пов'язані з побутовими відходами: їх утворення, накопичення, відсутність належного рівня переробки, переважне видалення відходів, зокрема на несанкціоновані сміттєзвалища [4, 5].

Сучасні полігони твердих побутових відходів (ТПВ) – це спеціалізовані інженерні споруди, які обладнані захисним протифільтраційним екраном, системами збору та утилізації інфільтратів та біогазу, системою технічної та біологічної рекультивациі, системою збору та відведення умовно чистих атмосферних вод. Однак, більш ніж 80% полігонів ТПВ, що експлуатуються сьогодні в Україні не відповідають санітарним та технічним нормам, тобто фактично є звалищами та створюють техногенне навантаження на складові навколишнього середовища [6]. Відходи, що там розміщені, зазнають складних фізико-хімічних та біохімічних змін під впливом атмосферних явищ, специфічних умов, що формуються у товщі відходів, а також в результаті взаємодії між собою. Це призводить до утворення різних токсичних сполук, які, потрапляючи до навколишнього середовища, негативно впливають на його компоненти [7].

Звалища ТПВ несуть також значну санітарну небезпеку, тому що є сприятливим середовищем для розвитку паразитичної фауни та патогенної мікрофлори. Зараження підземних та поверхневих вод, ґрунту продуктами інфільтрації, безконтрольне утворення метану, яке спричиняє самовільне самозаймання полігонів, є лише частиною тих техногенних загроз, із якими борються відповідні органи та служби.

Європейське законодавство в системі поводження з відходами окреслює такі пріоритетні напрями: запобігання утворенню відходів; повторне використання; відновлення енергії з відходів; біологічні процеси з набуттям енергоносіїв; вивіз на полігон. Переробка відходів означає, що відходи будуть використовуватися для заміни інших матеріалів. Переробка сировини зменшує вплив на навколишнє середовище, економить енергію та природні ресурси [4, 10].

Тверді відходи являють собою багатofракційну (практично невизначеного хімічного та фізичного складу, навіть за умови попереднього сортування) суміш неорганічних та органічних речовин (пластмаси, паперу, деревини, гуми, текстилю, харчових відходів тваринного й рослинного походження тощо), що ускладнює вибір універсальної технології переробки й знешкодження всіх складових, а з іншого, накладає жорсткі вимоги з екологічної безпеки як до самого технологічного процесу, так і до кінцевих продуктів утилізації [8].

Фізико-хімічні властивості визначають ступінь небезпеки багатокомпонентних сумішей та вплив на довкілля, біосферу в цілому і організм людини зокрема: можуть представляти хімічну, біологічну, токсичну, корозійну, вогне- та вибухонебезпечність, але можуть бути

потенційно використані як сировина в інших галузях господарства або в ході утилізації.



Рисунок 1 – Ієрархія пріоритетів поводження з відходами

Необхідно розглядати політику, пов'язану з системами управління відходами, разом з питаннями національної енергетичної незалежності, політики екологічної безпеки та економічного зростання [9]. Основними засадами державної політики є пріоритетний захист навколишнього природного середовища та здоров'я людини від негативного впливу відходів, забезпечення економічного використання матеріально-енергетичних ресурсів, наукова адаптація екологічних, економічних і соціальних благ суспільства. використовувати їх для забезпечення сталого розвитку.

Розглядаючи основні принципи [10] керування відходами, потрібно відзначити, що найголовнішим є попередження утворенню відходів, потім повторне використання та рециклінг відходів, біологічні методи переробки компостування або зброджування, спалювання, а також інші методи термічної утилізації ТПВ з утворенням енергії.

Доречним є звести до мінімуму вивезення відходів на сміттєзвалища та їх негативний вплив на навколишнє природне середовище. З іншого боку тверді побутові відходи (ТПВ) можуть бути альтернативним джерелом енергетичних ресурсів, яке не вимагає



добування, транспортування та підготовки. Підприємства з термічного знешкодження відходів досить широко експлуатуються у країнах Європейського Союзу, США, Японії тощо [11]. Проблема низького відсотку використання таких підприємств в Україні обумовлена відсутністю відповідної достовірної інформації про технології і обладнання. Отже, проведення дослідження, пов'язаного з оцінкою енергетичного потенціалу відходів і його можливим застосуванням у різних галузях, може бути використано в якості платформи для переходу управління відходами до більш сучасних, які є загальноприйнятими у високорозвинених країнах. Для використання відходів у якості альтернативного палива необхідно розробити комплекс методів термічної обробки твердих побутових відходів, з урахуванням їх хімічних та фізичних властивостей. Термічні методи знешкодження відходів, спрямовані на скорочення обсягу відходів, перетворення відходів у нешкідливі матеріали та генерування теплової або електричної енергії, з мінімальним впливом на навколишнє середовище [12]. Для багатьох відходів термічне знешкодження (спалювання) є привабливим або необхідним елементом системи управління відходами. Термічне знешкодження відходів надає такі переваги: зменшення обсягу відходів, особливо це важливо для громіздких твердих речовин або відходів з високим вмістом пального; руйнування і знешкодження різних токсичних речовин, особливо – горючих канцерогенів, патологічно забрудненого матеріалу, токсичних органічних сполук або біологічно активних речовин; зменшення кількості полігонів та неорганізованих звалищ відходів, і, як наслідок, зменшення впливу на навколишнє середовище, через жорсткі вимоги до викидів забруднюючих речовин в атмосферу від сміттєспалювальних установок; рекуперація енергії, за умови, коли є великі кількості відходів і споживачі тепла або електроенергії знаходяться поблизу.

Утилізація відходів, згідно [13] з вимогами Директиви ЄС про відходи від 19 листопада 2008 р. (далі – Директива про відходи) – це будь-які операції, в результаті яких відходи приносять користь, замінюючи інші матеріали. Додаток II Директиви подає перелік операцій із утилізації – це, зокрема, використання відходів як палива або інші засоби вироблення енергії, регенерація розчинників, переробка металів та металевих сплавів, регенерація кислот чи основ, відновлення компонентів, що використовуються для зменшення забруднення, відновлення компонентів з каталізатору, повторна очистка мастил та інші види повторного вживання мастил, обробка землі з користю для сільського господарства чи екології та інші. Використання відходів як

палива може застосовуватися як додатковий метод управління до тих відходів, які не піддаються переробці і повторному використанню.

Усі Директиви про відходи, прийняті Європейською комісією, поділяють стратегії управління відходами на операції по відновленню і операції з видалення (ліквідації). У цьому контексті важливо зазначити, що «відновлення» означає будь-яку діяльність, основним результатом якої є технологічна обробка відходів, що включає вилучення та відновлення цінних компонентів відходів з поверненням їх для повторного використання або отримання енергії [14].

У Європі застосовується термін – «відходи в енергію», що відображає різні види технологій обробки відходів для отримання енергії у формі теплової, електричної чи альтернативного палива. Цей термін може включати технології збір метану із сміттєзвалищ, термальну обробку відходів на сміттєспалювальних заводах, спалювання RDF (твердого відновленого палива) на цементних заводах чи газифікацію.

Термін «спалювання відходів з відновленням енергії» охоплює технології, які безпосередньо спалюють відходи, а потім відновлюють енергію для вироблення електро- і/або теплової енергії. Цей процес застосовується в більше, ніж 450 енергетичних об'єктах по всій Європі і багатьох інших країнах в іншій частині світу [15, 16].

Технології, які використовують потоки відходів для виробництва енергії, визначаються як «енергія з відходів» («energy from waste»). Але «відходи в енергію» – це термін, який стосується при виробництві енергії за допомогою термічної обробки безпечних відходів. Хоча нові термічні процеси, такі як газифікація і піроліз, стають все більш популярними, термін «відходи в енергію» в основному належать до спалювання твердих побутових відходів.

Паливом називають горючу речовину, яку спеціально спалюють для одержання тепла і подальшого його використання для інших потреб у сільськогосподарському виробництві. Воно повинно мати певні властивості, тобто відповідати таким основним вимогам: порівняно легко займатися; при згорянні виділяти якомога більше теплоти; бути поширеним у природі, доступним при видобуванні та дешевим при виробництві; не змінювати свої властивості при транспортуванні та зберіганні; бути нетоксичним і при згорянні не виділяти шкідливих та отруйних речовин [17]. Цим вимогам найбільш повно відповідають речовини органічного походження: нафта, природний газ, тверді горючі копалини тощо.

Як вже зазначалося вище, основним завданням установки термічного знешкодження відходів, є забезпечення ефективного

спалювання цих відходів в заданій кількості. При спалюванні відходів вивільняється теплота, яка повинна бути корисно використана. Перед початком проектування такої установки необхідно з'ясувати з достатнім ступенем точності, яка кількість ТПВ утворюються протягом року, визначається кількість відходів на одного мешканця за добу. Проводиться аналіз ТПВ з визначенням їх морфологічного і гранулометричного складу, а також теплотехнічних характеристик, зокрема теплоти згоряння, з межами коливань її значень.

Дослідження компонентного і фракційного складу ТПВ є важливим аспектом при плануванні заходів щодо поводження з відходами. Ресурсний потенціал відходів залежить від їх складу і теплотехнічних властивостей і визначає ефективність застосування різних технологій [11, 18].

Морфологічний склад твердих побутових відходів визначають за джерелами їх утворення – житлові будинки (багатоквартирні та одноквартирні) та невиробнича сфера, установи та організації. У таблиці 1 морфологічний склад відходів Полтавської області за чотирима категоріями [19].

Наведені результати дозволили розрахувати та оцінити вищу та нижчу теплоти згоряння відходів на сухій основі. Результати розрахунку нижчої теплоти згоряння ТПВ Полтави на робочу масу: для багатоповерхових будинків - 19870 кДж/кг, приватний сектор - 18983 кДж/кг. Теплота згоряння ТПВ приблизно на 2000 кДж/кг більше, ніж теплота згоряння торфу. Теплота згоряння дещо підвищується при наявності надлишку полімерних та шкіряних матеріалів.

Спалювання використовується, коли теплотворна здатність вихідної сировини становить не менше 7 МДж/кг. Коли немає складних методів збору або коли вміст води вище, слід звернути увагу на біохімічні методи. Перетворення теплової енергії від спалювання може використовуватися для приведення в рух парової турбіни для виробництва електроенергії, але тільки з ККД 15-27%. Застосування газифікації дозволяє збільшити ефективність до 30%. Вироблення тепла може бути збільшена на 90%, завдяки застосуванню газу. Комбіновані теплоелектроцентралі (ТЕЦ) можуть мати ККД 40% при належному використанні.

Проблеми ефективності використання традиційних джерел енергії в Україні стоять ще гостріше, ніж у світі чи країнах ЄС. Причинами цього є застарілі технології, вичерпання ресурсів використання основних фондів генерації електроенергії і тепла, що разом з низькою ефективністю використання палива призводить до значних обсягів викидів шкідливих речовин. Значні втрати при

транспортуванні, розподілі та використанні електроенергії і тепла, а також монопольна залежність від імпорту енергоносіїв ще більш ускладнюють ситуацію на енергетичних ринках країни [20, 22].

Таблиця 1 – **Морфологічний склад відходів Полтавської області [19]**

№	Категорія відходів, %	Велика щільність населення	Одноповерхові будинки	Населені пункти (1000-5000) жителів	Населені пункти мен. 1000 жителів
1	Органічні відходи	29	19	14	19,3
2	Папір, картон	9	7	8	1,4
3	Пластик	13	13	13	7
4	Скло	15	21	17	24
5	Чорні, кольорові метали	0,8	1,1	2	3,8
6	Одяг (текстиль і взуття)	3,5	3,5	5,9	2,1
7	Дерево	0,4	1,9	1,7	1,6
8	Небезпечні	0,5	0,6	0,8	0,7
9	Кістки, шкіра, гума	1,8	4,4	5	3,1
10	Мінерали частинки	27	28,5	32,6	37

Необхідність розвитку альтернативних джерел енергії в Україні зумовлює сучасний аналіз використання енергоресурсів. Структура споживання енергоресурсів середньостатистичної європейської країни (у тому числі України) має такий вигляд: газ – 45%; вугілля – 20%; електроенергія – 20%; нафтопродукти – 15%; альтернативні джерела – 5% [21].

Варто відзначити [23], що в Україні енергетичну утилізацію сміття потрібно зробити економічно вигідним проектом, враховуючи такі важливі завдання: забезпечити енергетичну утилізацію твердих побутових відходів в екологічно безпечний спосіб у відповідності до європейських стандартів та врегулювати питання використання RDF як потенційного джерела енергії.

Зокрема, пропонується ввести у законодавство поняття відновлювального палива з побутових відходів як альтернативного джерела енергії та окреслити основні вимоги щодо його використання, особливо екологічні. Все це забезпечить визначення правового статусу палива, виробленого з побутових відходів як альтернативного джерела енергії, а впровадження законодавчих ініціатив дозволить досягти цілей Національної стратегії управління відходами до 2030 р. [24], зокрема:

- скоротити обсяг захоронення твердих побутових відходів (ТПВ) до 30%;
- отримати 50% перероблення ТПВ;
- досягти рівня 10% енергетичної утилізації ТПВ;
- забезпечити гарантований ринок збуту для відновлювального палива зі сміття (RDF-паливо).

Необхідність економії природних ресурсів в умовах глобальних змін клімату і загострення екологічних проблем стає чи не найважливішою умовою екологізації природокористування. Концепція екологічно збалансованого (стійкого) розвитку ґрунтується на збільшенні використання відновлювальних джерел енергії, серед яких енергетика відіграє все більш значимішу роль. Використання енергетичного потенціалу у багатьох країнах здійснюється на основі Кіотського протоколу [25, 26].

Підбиваючи підсумок, можна однозначно стверджувати, що проблему відходів треба розв'язувати, виходячи з трьох принципів: по-перше, необхідність зниження до мінімуму забруднення довкілля відходами, по-друге, здобуття додаткового джерела теплової і електричної енергії, і, по-третє, здоров'я і безпека громадян, що є головним критерієм у вирішенні будь-якого завдання в країні. Водночас, збільшення використання палива у регіонах України здатне диверсифікувати виробництво теплової та електричної енергії, сприяти ресурсозбереженню, утилізації відходів і значному зменшенню викидів забруднюючих речовин у атмосферу.

### **Використані інформаційні джерела:**

1. Holik Y., Illsash O., Maksiuta N.. Household waste management system Planning in the Poltava region // Ecological problems. 2021. Vol. 6. №4. Pp. 258–263.
2. Черп О. М., Вініченко В.Н. Проблема твердих побутових відходів: комплексний підхід. – [http:// www.ecologia.nier.org](http://www.ecologia.nier.org).
3. Закон України «Про відходи» (м. Київ, 04.10.2018 р., № 187/98-ВР). [Електронний ресурс] — Режим доступу: [http:// zakon.rada.gov.ua/go/187/98-вр](http://zakon.rada.gov.ua/go/187/98-вр)
4. Регіональний план управління відходами у Полтавській області до 2030 року. Полтава, 2021.
5. «Комплексна програма поводження з твердими побутовими відходами у Полтавській області на період 2017–2021 роки». Полтава, 2017, 154 с.
6. Мислюк Є. В., Мислюк О. О. До питання про утилізацію твердих побутових відходів // Хімічні технології і екологія : Вісник ЧДТУ. 2008. №3. С.177–182.
7. Корінько І. В., Горох М. П., Вороненко В. О. Екологізація технологій регенерування та утилізації відходів : навч. посіб. / під заг. ред. І. В. Корінька.

Х. : КП «ХБК». ХНУМГ, 2015. 492 с.

8. Wilson D. C., Rodic L., Scheinberg A. Comparative analysis of solid waste management in 20 cities. *Waste Management & Research*. 2012. №30(3), 7. P. 237–254.

9. *Waste to Energy: A Technical Review of Municipal Solid Waste Thermal Treatment Practices – Final Report*, Stantec, 2011. 88 p.

10. Talus K. Waste-to-Energy through gasification: an EU law assessment and critique. *Waste-to-Energy*. 2016. №3. P. 14.

11. Крот О. П. Моделювання та оптимізація процесів термічного знешкодження побутових і промислових відходів у теплогенеруючих установках : дис. док. техн. наук: Харків, 2019. 348 с.

12. Скрипник А. П. Аналіз морфологічного складу твердих побутових відходів України як складова підходу до вирішення проблеми відходів. *Вісник Одеського державного екологічного університету*. 2007. Випуск 04. С. 78–86.

13. Директиви ЄС про відходи від 19 листопада 2008 р. 22.11.2008. Л 312. С. 3–30.

14. Попович Н. П. Екологічно безпечний збір, транспортування та знешкодження твердих побутових відходів : дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) : 21.06.01 – екологічна безпека (101 «Екологія») / Наталія Пилипівна Попович; Міністерство освіти і науки України, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності Державної служби України з надзвичайних ситуацій. Львів, 2019. 209 с.

15. Горобець О. В., Щербина І. Б. Екологічні, економічні та соціальні аспекти термічних методів утилізації відходів.

URL : [http://ir.znau.edu.ua/bitstream/123456789/8160/5/NME\\_2016\\_179-183.pdf](http://ir.znau.edu.ua/bitstream/123456789/8160/5/NME_2016_179-183.pdf)

16. Білопільська О. О. Еколого-економічні основи управління системою поводження з твердими побутовими відходами : дис. канд. економ. наук: 08.00.06/СДУ. Суми, 2014. 246 с.

17. Харченко Т., Сагайдак Ю. Удосконалення системи переробки твердих побутових відходів в Україні. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. 2014. №12(165). С. 41–46.

18. Горбулін В. П., Качинський А. Б. Системно-концептуальні засади стратегії національної безпеки України. К. : Євроатлантикінформ. 2007. 592 с.

19. Комплексна програма поводження з твердими побутовими відходами у Полтавській області на 2017 - 2021 роки. URL: [https://www.adm-pl.gov.ua/sites/default/files/programma\\_vidhodu\\_2017\\_2021.pdf](https://www.adm-pl.gov.ua/sites/default/files/programma_vidhodu_2017_2021.pdf) (дата звернення: 25.02.2023).

20. Дрозд І. П., Скляренко В. І. Огляд методів утилізування твердих побутових відходів. URL : <http://waste.com.ua/cooperation/2008/theses/drozd.html>

21. Душкін С. С., Дегтяр М. В. Технологія утилізації твердих побутових відходів. *Харк. нац. акад. міськ. госп-ва*. Х. : ХНАМГ, 2011. 86 с.

22. Іванюта С. П., Качинський А. Б. Екологічна та природньо-техногенна безпека України. Регіональний вимір загроз і ризиків : монографія. К. : НІСД, 2012. 308 с.

23. Рижков С. С., Маркіна Л. М., Рудюк М. В. Аналіз теплового

потенціалу технологій піролізу твердих побутових відходів і шляхи його реалізації. Збірник наукових праць НУК. 2012. № 1 (442), С. 124–127.

24. Постанова Кабінету Міністрів України Про схвалення Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року від 08.11.2017 р. №820-р. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80>

25. Тверді побутові відходи в Україні : потенціал розвитку. Сценарії розвитку галузі поводження з твердими побутовими відходами. Підсумковий звіт. URL <https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/504c5765-89d4-4be1-916e-ea27aa94feaf/>

26. Трофімов І. Л., Яковлева А. В., Іванченко О. В., Верягіна Л. С. Аналіз потенціалу твердих побутових відходів як сировини для виробництва альтернативних палив в Україні. Енергетика: економіка, технології, екологія : 376 науковий журнал. 2016. №2 (44). С. 105–111.

## МАГНІТОКЕРОВАНІ СОРБЕНТИ НА ОСНОВІ ХІТИНУ КОМАХ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ВІД ЗАБРУДНЮВАЧІВ РІЗНОЇ ПРИРОДИ

**Калінкевич О. В.**, мол. наук співр., **Калінкевич О. М.**, канд. фіз.-матем. наук, старш. наук. співроб., **Кулик О. М.**, мол. наук. співоб., **Чіванов В. Д.**, канд. біол. наук, старш. наук. співроб., **Коченко О. В.**, мол. наук. співроб.

*Інститут прикладної фізики НАН України, м. Суми, Україна*

**Анотація.** Стратегічна ціль повоєнного відновлення України-чисте та безпечне довкілля. (план відновлення України) Сорбенти на основі хітозану – недорога, екологічно чиста альтернатива для видалення забруднюючих речовин з стоків. Використання «зелених» продуктів – ключовий елемент циркулярної економіки, яка очевидно є пріоритетною з огляду на зелений курс України. В останні десятиліття широкомасштабні підприємства з розведення комах та для утилізації органічних відходів виникли в усьому світі. На жаль в Україні на даний момент не вдалося організувати таке виробництво, хоча ідеї були. Ферми комах генерують велику кількість біомаси (оболонки після линяння, дорослі комахи), багату хітином. В нашій роботі представлені характеристики магнітомодифікованих сорбентів на основі хітозану (деацетилюваного похідного хітину) *Hermetia illucense* та продемонстрована перспектива їх використання для очищення водних стоків від забруднювачів різної природи. Наявність магнітних властивостей дозволяє легко відділяти сорбент від розчину під впливом зовнішнього магнітного поля.

## MAGNETICALLY CONTROLLED SORBENTS BASED ON INSECT CHITIN FOR CLEANING THE ENVIRONMENT OF VARIOUS POLLUTANTS

**Kalinkevich O. V.**, junior researcher, **Kalinkevich A. N.**, PhD, senior researcher, **Kulik A. N.**, junior researcher, **Chivanov V. D.**, PhD, senior researcher, **Kochenko A. V.**, junior researcher

*Institute of applied physics, NAS of Ukraine, Sumy, Ukraine*

A clean and safe environment is the strategic goal of Ukraine's post-war recovery. (Ukraine recovery plan) Chitosan-based sorbents are an inexpensive, environmentally friendly alternative for removing pollutants from sewage. The use of «green» products is a key element of the circular economy, which is obviously a



priority given Ukraine's green course. In recent decades, large-scale insect breeding and organic waste disposal facilities have sprung up all over the world. Unfortunately, at the moment, it was not possible to organize such a production in Ukraine, although there were ideas. Insect farms generate large amounts of biomass (shells after molting, adult insects) rich in chitin. Our work presents the characteristics of magneto-modified sorbents based on chitosan (deacetylated derivative of chitin) from *Hermetia illucens* and demonstrates the prospect of their use for cleaning wastewater from pollutants of various nature. The presence of magnetic properties makes it easy to separate the sorbent from the solution under the influence of an external magnetic field.

Хітин є природним біополімером, який широко поширений на Землі (це другий за поширеністю в біосфері полісахарид після целюлози). Це – лінійний полімер N-ацетил-D-глюкозаміну, структурно подібний до целюлози, від якої він відрізняється наявністю ацетамідних груп в C2 положенні ланки глюкози. За допомогою процедури деацетилювання з хітину можна отримати кислоторозчинний хітозан. Хітозан і композити на його основі є широко вживаними зеленими сорбентами, вони біосумісні, здатні до біодеградації, нетоксичні та мають високу сорбційну здатність щодо ряду сполук [1, 2]. Традиційним джерелом хітину і хітозану є ракоподібні. В той же час, зростаючий запит на хітин і хітозан стимулював ринок до пошуку більш стійких альтернатив поточному комерційному джерелу (ракоподібним). Комахи-біоперетворювачі є найбільш відповідними кандидатами, оскільки хітин є побічним продуктом «комашиних ферм». Приблизно на 80% європейських комашиних ферм вирощується чорна львинка (*Hermetia illucens*) через її чудову здатність до біоконверсії. Личинки чорної львинки здатні харчуватися гниючими органічними субстратами, перетворюючи їх на біомасу високої біологічної цінності, що містить високу долю білка. Личинка *H. illucens* може розвиватися на відходах сільського господарства й використовуватися не тільки як джерело білка і ліпідів, але й для отримання хітину. Процедура виділення хітину з личинок чорної львинки не складна. На відміну від хітину ракоподібних, хітин комах не потребує тривалої демінералізації.

Магнітні матеріали можна використовувати як сорбенти для аналізу мікроелементів в екологічних і біологічних зразках [3], а також для очищення промислових стічних вод від барвників і важких металів [4, 5]. Особливий інтерес у цьому плані представляє магнітна модифікація біополімерів. Методи такої модифікації постійно вдосконалюються [6].

У нашій роботі різні зразки хітозану/сорбентів (Литва) були отримані з оболонки *H. illucens* і охарактеризовані методами SEM, XRD

і TPDMS. Проведено їх магнітну модифікацію (за допомогою нанокристалічного магнетиту). Нашою метою було дослідження можливості й перспективи їх використання для очищення води від органічних/неорганічних забруднювачів.

У роботі використовували оболонки личинок *H. illucens*, отриманих із інсектарію Харківського національного педагогічного університету, та оболонки личинок промислового виробника *H. illucens* («Insectum», Литва).

Використовували також два сорбенти (FLS1 та FLS2) на основі оброблених кислотою оболонок личинок *H. illucens*, виготовлених у Центрі фізико-технічних наук, Вільнюс, Литва, які відрізняються процедурою деацетилювання.

Наночастинки магнетиту були отримані з гептагідрату сульфату заліза при високому рН, як описано в [6]. Для магнітної модифікації хітинові матеріали були змішані з охолодженою суспензією магнітних наночастинок в органічному розчиннику, а потім висушені при 60 °С.



**Рис. 1. Сорбенти на основі оболонок личинок *Hermetia illucens* (Литва, спільний проект FlyChitin, програма Eureka)**

Кристалічна структура матеріалів досліджена методом рентгенівської дифракції (XRD), морфологія – методом скануючої електронної мікроскопії (SEM). Електронно-мікроскопічні дослідження проводили на скануючому мікроскопі РЕММА-102 (ВАТ «СЕЛМІ», Україна). Рентген-дифракційні дослідження проводили на дифрактометрі ДРОН-4-07, випромінювання  $\text{CoK}\alpha$  (довжина хвилі

0,179 нм), фокусування Бреґґа-Брентано. Температурно-програмована десорбційна мас-спектрометрія (ТПДМС) була використана для вивчення виділення води та карбонатів. Вміст Cu та Cd у сорбційних дослідах вимірювали методом атомно-абсорбційної спектроскопії (КАС-120, ВАТ «СЕЛМІ», Україна).

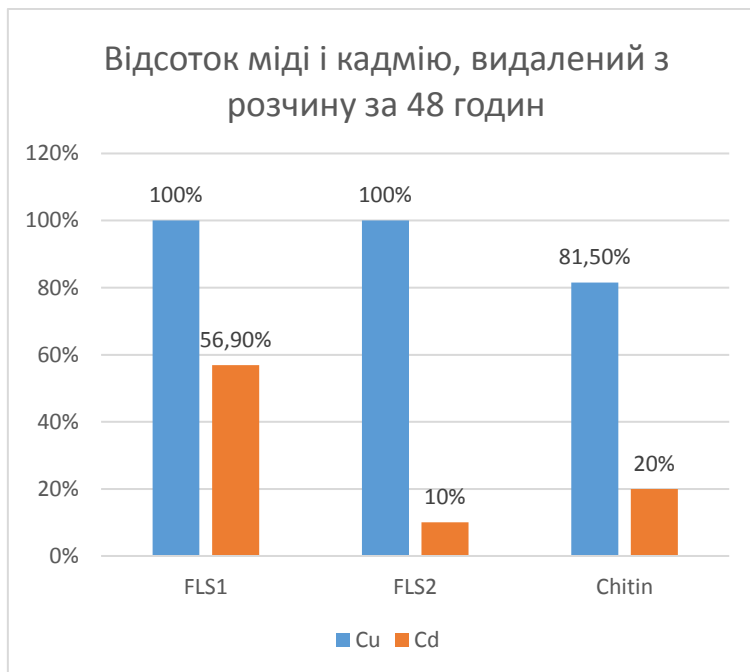
Електронно-мікроскопічні дослідження свідчать про те, що хітин комах певною мірою зберігає структуру панцирів. Обробка нанорозмірним магнетитом істотно не впливає на структуру хітинового матеріалу, але надає йому магнітних властивостей (рис. 2).



**Рис.2. Сорбент FLA2 на основі хітину, модифікований магнетитом (ліворуч, світлова мікроскопія, 10x) та хітин, отриманий із пупаріїв *H. illucens* (праворуч, електронна мікроскопія, 100x).**

В експериментах із сорбції важких металів сорбенти та хітиновий матеріал піддавалися дії 0,1 мг/л водного розчину Cu та Cd. Результати через 48 годин наведені на рис. 2.

Матеріали показують значно кращі результати щодо Cu, сорбенти адсорбують всю Cu в розчині через 48 год., хітин демонструє гіршу активність. Однак у випадку Cd найкращий результат показує сорбент FLS1, але навіть цей результат не можна вважати хорошим. Сорбційна активність щодо важких металів потребує подальших досліджень.



**Рис. 3. Сорбція міді і кадмію матеріалами FLS1, FLS2 та хітином**

Дифракційну картину, яку видно на дифрактограмах, можна віднести до магнетиту (JCPDS 88-315). Розмір кристалітів магнетиту оцінюється в 20-30 нм згідно з формулою Шеррера.

Метод ТПДМС використовувався для вивчення термічно індукованого вивільнення газоподібних речовин із зразків. За низьких температур його можна використовувати для дослідження місць сорбції в зразках, більш високі температури дають інформацію про різні стадії піролізу, що корелює з молекулярним складом матеріалу. Наші зразки

виділяють тільки речовини, що відповідають піролізу органічної частини композитів, і адсорбовану воду. Найцікавішими є профілі водовіддачі.

Дані ТПДМС демонструють різні профілі десорбції води спеціальними сорбентами FLS1 і FLS2, виготовленими з оболонки личинок *H. illucens* і хітинового матеріалу з цих оболонки. Вода з хітинових матеріалів виділяється при 200 °С, тоді як сорбенти демонструють два піки виділення води, один при 200 °С і другий високотемпературний пік ближче до 300 °С, що вказує на різний зв'язаний стан води в цих матеріалах. І тому спостерігається суттєва різниця в місцях поверхневої сорбції.

Отримані результати показують можливість отримання дешевих та ефективних сорбентів на основі природного хітинового матеріалу з чорної львинки *Hermetia illucens* та можливість дешевої та простої магнітної модифікації цих сорбентів, що дозволяє легко видаляти їх із середовища, коли це необхідно, за допомогою зовнішнього магнітного поля.

*Ми вдячні спільному чесько-українському проекту «Дешеві та прості у виготовленні магнітні композити на основі хітозану для іммобілізації хітину, ферментів, біосорбції, біосенсорів та біомедицини» та особливо проекту EUREKA E!13636 «Flychitin» та нашим колегам із Литви (Центр фізичних наук і технологій, Вільнюс) за підтримку цієї роботи.*

### **Використані інформаційні джерела:**

1.Khan A., Ali N., Malik S., Bilal M., Munir H., Fernando L., Ferreira R., Iqbal H. M. N. Chapter 13 - Chitosan-based green sorbents for toxic cations removal, Sorbents Materials for Controlling Environmental Pollution Current State and Trends, pp. 323-352, 2021, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820042-1.00014-6>

2.D.C. da Silva Alves, B. Healy, L.A.A. Pinto, T.R.S. Cadaval Jr, C.B. Breslin Recent developments in chitosan-based adsorbents for the removal of pollutants from aqueous environments, *Molecules*, vol. 26(3) , art. 594, 2021, <https://doi.org/10.3390/molecules26030594>

3.M. He, Zh. Chen, Ch. Xu, B. Chen, B. Hu, Magnetic nanomaterials as sorbents for trace elements analysis in environmental and biological samples, *Talanta*, vol. 230, art. 122306, August 2021, <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2021.122306>

4.S.K. Panda, I. Aggarwal, H. Kumar, L. Prasad, A. Kumar, A. Sharma, D.-V.N. Vo, D.V. Thuan, V. Mishra Magnetite nanoparticles as sorbents for dye removal: a review, *Environ. Chem. Lett.*, vol. 19, pp. 2487-2525, 2021, <https://doi.org/10.1007/s10311-020-01173-9>

5.M.I.A. Abdel Maksoud, R.A. Fahim, A.G. Bedir, A.I. Osman, M.M. Abouelela, G.S. El-Sayyad, M.A. Elkodous, A.S. Mahmoud, M.M. Rabee, A.H. Al-Muhtaseb, D.W. Rooney Engineered magnetic oxides nanoparticles as efficient sorbents for wastewater remediation: a review, *Environmental Chemistry Letters*, vol. 20(1), pp. 519–562, 2022, <https://doi.org/10.1007/s10311-021-01351-3>

6.I. Safarik, J. Prochazkova, K. Pospiskova Rapid magnetic modification of diamagnetic particulate and high aspect ratio materials, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, vol. 518, art. 167430, January 2021, <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2020.167430>

## **ЕКОЛОГІЯ І ДЕКАРБОНІЗАЦІЯ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ**

**Коберник В. С.**, інженер 1 категорії, **Маляренко О. Є.**, канд. техн. наук, старш. наук. співроб., **Майстренко Н. Ю.** канд. техн. наук, старш. наук. співроб.

*Інститут загальної енергетики НАН України, Україна*

**Анотація.** Проаналізовано сучасний стан з викидами парникових газів у енергетиці світу, перспективи розвитку вугільних електростанцій та проведене порівняння показників різних технологій теплової енергетики з урахуванням очищення від діоксиду вуглецю. Зробити виробництво електроенергії більш екологічним можна завдяки впровадженню технології уловлювання і зберігання вуглецю (CCUS). Для теплових електростанцій (ТЕС), що працюють на кам'яному та бурому вугіллі у різних країнах, проаналізовано показники наступних технологій: паротурбінні установки надкритичного тиску та ультранадкритичного тиску без уловлювання і зберігання вуглецю (CCUS) та з CCUS. Для ТЕС, що працюють на природному газі, проаналізовано наступні технології: газотурбінні установки, парогазові установки без CCUS та з CCUS. CCUS в електроенергетиці знаходиться на ранній стадії розвитку, при її застосуванні значно збільшується собівартість електроенергії. Для широко впровадження CCUS потрібно вводити високий податок на викиди вуглекислого газу. Технологія вважається необхідною для продовження використання вуглеводнів, тому нафтогазові компанії активно інвестують в її впровадження.

## **ECOLOGY AND DECARBONIZATION OF THERMAL ENERGY**

**Kobernyk V. S.**, engineer of the 1st category, **Maliarenko O. Ye.**, candidate technical sciences, senior research, **Maistrenko N. Yu.** candidate technical sciences, senior research,

*Institute of General Energy of the National Academy of Sciences  
of Ukraine, Ukraine*

**Abstract.** The current state of greenhouse gas emissions in the world's energy sector, prospects for the development of coal-fired power plants was analyzed, and the indicators of various thermal energy technologies were compared, taking into account the removal of carbon dioxide. It is possible to make electricity production more environmentally friendly thanks to the introduction of carbon capture and storage technologies (CCUS). For thermal power plants (TPPs) operating on hard and

brown coal in different countries, the indicators of the following technologies were analyzed: supercritical pressure and ultra-supercritical pressure steam turbine units without carbon capture and storage (CCUS) and with CCUS. For TPPs operating on natural gas, the following technologies were analyzed: gas turbine units, steam-gas units without CCUS and with CCUS. CCUS in the power industry is at an early stage of development, and its application significantly increases the cost of electricity. For CCUS to be widely implemented, a high carbon tax would be required. The technology is considered necessary for the continued use of hydrocarbons, so oil and gas companies are actively investing in its implementation.

Викиди парникових газів є проблемою, яку вирішують в усьому світі. На сьогодні 70% викидів парникових газів (ПГ) у світі припадає на енергетичний сектор (видобування й споживання вуглеводнів та викопних видів палива). 62 % ПГ продукують Китай, США, ЄС, Індія, РФ та Японія [1]. Для зменшення викидів парникових газів у багатьох країнах посилюють вимоги до їх концентрації у викидах електростанцій. Уловлювання та зберігання діоксиду вуглецю (CCUS) є однією з ключових низьковуглецевих технологій, необхідних для зменшення викидів CO<sub>2</sub>, пов'язаних із тепловою енергетикою.

Метою цієї роботи є аналіз сучасного стану з викидами парникових газів у тепловій енергетиці світу, перспектив розвитку вугільних електростанцій та порівняння показників різних технологій теплової енергетики з урахуванням очищення від діоксиду вуглецю. Використані методи аналізу відкритих джерел інформації щодо сучасних та прогнозних викидів діоксиду вуглецю та розвитку вугільних електростанцій. International Energy Agency (IEA) рекомендує проводити техніко-економічне порівняння за середньою собівартістю енергії (LCOE) за життєвий цикл, яка забезпечує самоопкупність за весь цикл. Цей показник враховує всі витрати – інвестиційні, паливні, експлуатаційні та інші.

Для вирішення глобальної кліматичної проблеми у 2015 році прийнято Паризьку угоду до Рамкової конвенції ООН про зміну клімату. Угода є продовженням Кіотського протоколу, починаючи з 2021 року, сьогодні її підписали 190 країн світу. Україна ратифікувала Паризьку угоду у 2017 році [2].

Майбутнє енергетики України неможливе без інтеграції до спільного європейського енергетичного ринку, у тому числі в частині протидії змінам клімату. Останнім часом актуальність вирішення проблеми значно загострилась у зв'язку з приєднанням України до Договору про заснування Енергетичного співтовариства. Україна підтримала Європейський зелений курс у напрямку розвитку низьковуглецевої енергетики країни. Перехід України до



низьковуглецевої економіки визначено у Стратегії низьковуглецевого розвитку до 2050 року [3].

Багато країн на рівні національного законодавства закріпили заходи з протидії змінам клімату. Більш ніж 90 держав, які продукують 65% ПГ, активно впроваджують заходи з декарбонізації. Їх оцінюють за індексом Climate Change Performance Index 2021 (CCPI), який враховує: емісію ПГ; частку відновлюваних джерел енергії (ВДЕ); рівень енергетичної ефективності; кліматичну політику.

Прогнози для 15 найбільших економік світу свідчать, що викиди діоксиду вуглецю (CO<sub>2</sub>) будуть зростати до 2030 року, а потім має бути скорочення. В той же час за оцінками Міжнародного енергетичного агентства (IEA) значне використання вуглеводнів у світовому паливно-енергетичному комплексі гарантоване до 2050 року [4]. Основними напрямками з протидії змінам клімату сьогодні є: використання ВДЕ; обмеження видобутку корисних копалин; зменшення частки вугільної генерації; уловлювання та зберігання CO<sub>2</sub>; воднева енергетика. Розглянемо приклади національних стратегій та програм з протидії змінам клімату.

Стратегія чистого зростання економіки Великобританії «Clean Growth Strategy» була затверджена у 2017 році. У стратегії прийнята концепція чистого повітря та визначені заходи для стимулювання виробництва електричної енергії з низьким вмістом вуглецю: імплементація стандартів щодо більш ефективного спалювання палива; підтримка виробництва біометану та ін. На початку 2021 року в країні введена система торгівлі квотами на викиди ПГ («UK ETS»).

Екологічність є і буде одним із пріоритетних напрямів діяльності уряду США за програмою енергетичної революції («Clean Energy Revolution»). Серед її ключових пріоритетів: розробка законодавства щодо сприяння виходу країни на нульовий рівень викидів ПГ до 2050 року; посилення відповідальності за забруднення навколишнього природного середовища; інвестиції у альтернативну енергетику.

Європейське співтовариство (ЄС) послідовно проводить політику вуглецевої нейтральності. Мета політики полягає у прискоренні глобального енергетичного переходу шляхом зменшення викидів вуглецю, розвитку і впровадженню новітніх технологій та поширенню енергоефективних заходів. Основні завдання: перехід від викопного палива до нейтральних щодо вуглецю джерел енергії; запобігання імпорту електроенергії з країн, які не відповідають рівням безпеки у ЄС. Приклади: Греція спростила вимоги ліцензування виробників енергії з відновлюваних джерел; Іспанія і Франція

підтримують виробників біогазу; Хорватія стимулює розвиток когенераційних технологій.

За останні роки енергетичний баланс країн ЄС дуже змінився у 2020 році порівняно з 2015 роком, а саме частки у генерації зменшились: вугільної на 20%, атомної на 10%, газової на 4%; а частка альтернативних джерел енергії збільшилась. Це призвело до зменшення вуглецевої ємності виробництва електричної енергії з 317 г CO<sub>2</sub>/кВт·год (2015 р.) до 226 г CO<sub>2</sub>/кВт·год (2020 р.). Таким чином, електроенергія у європейських державах стала на 30% чистішою [1].

Міжнародні «зелені» сертифікати (I-REC) застосовують для моніторингу переміщення електроенергії, яка вироблена з альтернативних джерел. Цей інструмент поширюється лише на ВДЕ і обмежує можливість фінансового стимулювання для атомних електростанцій та гідроелектростанцій.

Обмеження видобутку корисних копалин, у тому числі вихопного палива, на законодавчому рівні закріплено в ряді країн світу. Приклади. В Данії – відмова від видобутку нафти і газу до 2050 року, а з 2020 року – заборона видачі ліцензій на видобуток вуглеводнів у Північному морі. В Іспанії – відмова від видобутку нафти і газу до 2042 року. У Франції – відмова від видобутку нафти і газу до 2040 року, а з 2017 року – заборона видачі ліцензій на видобуток вуглеводнів [1].

Впровадження нових екологічних нормативів щодо викидів парникових газів призводить до збільшення капітальних і експлуатаційних витрат на очищення, екологічних платежів та до зростання собівартості виробництва електроенергії за життєвий цикл.

Зробити виробництво електроенергії більш екологічним можна завдяки впровадженню технології уловлювання і зберігання вуглецю (CCUS). Ця технологія полягає у видаленні діоксиду вуглецю (CO<sub>2</sub>) з промислових і енергетичних джерел викидів, транспортуванні до місця зберігання та ізоляції від атмосфери. На початок 2021 року реалізовано лише 50 комерційних проєктів з технологією CCUS. Загальний бюджет проєктів становив 5 млрд. дол. США, а собівартість уловлювання і зберігання вуглецю складала від 20 дол. США/т CO<sub>2</sub> до 150 дол. США/т CO<sub>2</sub> [1].

Один із реалізованих проєктів CCUS у вугільній генерації електричної енергії – реконструкція теплової електростанції Boundary Dam в Канаді. Енергоблок ТЕС потужністю 130 МВт був модернізований і оснащений установкою CCUS (частка уловлювання 90%). Видалений вуглекислий газ використовується на найближчому нафтовому родовищі для інтенсифікації видобутку. Вартість проєкту складала 1,4 млрд. дол. США [1].

Європейська Комісія у вересні 2020 року оголосила введення транскордонного вуглецевого податку (ТВП) в рамках Європейського зеленого курсу з метою зниження викидів ПГ на 55% до 2030 року. ТВП передбачено введення мита на імпортні товари, а також на електроенергію. Розрахунок ТВП здійснюватиметься з урахуванням вуглецевого сліду імпортованої продукції. Існує три його варіанти: 1) облік прямих викидів ПГ при виробленні товару; 2) часткове урахування непрямих викидів, наприклад емісії ПГ при генерації електроенергії для виготовлення товару; 3) повне урахування непрямих викидів по всьому виробничому ланцюгу, який проходить імпортний товар. ТВП у ЄС має бути запроваджений з 2023 року і орієнтовно складатиме 30 дол. США/т CO<sub>2</sub> [4]. За даними Світового Банку на цей час ставки податку на вуглець в ЄС становлять (дол. США/т CO<sub>2</sub>): 1,0 у Польщі; 10,0 – у Португалії, Латвії та Естонії; 55,0 у Франції; 64,0 у Норвегії; 77,0 у Фінляндії; 101,0 у Швейцарії та Ліхтенштейні; 139,0 у Швеції [4].

Прогнозовані витрати на виробництво електроенергії за різними технологіями на теплових електростанціях в світі надано у «Projected Costs of Generating Electricity 2020» [5]. В нашій роботі за вихідними даними зі звіту і за попередніми розрахунками з [6] для ТЕС, що працюють на кам'яному та бурому вугіллі у різних країнах, проаналізовано показники наступних технологій: паротурбінні установки (ПТУ) надкритичного тиску (НКТ) та ультранадкритичного тиску (УНКТ) без уловлювання і зберігання вуглецю (CCUS) та з CCUS. Для ТЕС, що працюють на природному газі, проаналізовано наступні технології: газотурбінні установки (ГТУ), парогазові установки (ПГУ) без CCUS та з CCUS. Розглянуті такі показники: встановлена потужність (МВт), коефіцієнт корисної дії (ККД) (%), питомі капітальні витрати (дол. США на кВт встановленої потужності, які включають проектування, закупки, спорудження), інвестиційні витрати окрім капітальних включають дисконтну ставку при спорудженні (10%).

Інвестиційні витрати значно відрізняються для різних країн світу. Різні значення пояснюються як використанням установок різних виробників, так і різними роками вводу в експлуатацію. На ТЕС, що працюють на кам'яному вугіллі, вони складають (дол. США/кВт): для ПТУ НКТ в Австралії 2961, а в США 4267, що на 44% більше; для ПТУ НКТ з CCUS в Австралії 5463, а в США 5633. Таким чином впровадження технології CCUS збільшує інвестиційні витрати на 84% в Австралії і на 32% в США.

За даними ККД для кожної установки з різних країн були розраховані питомі витрати умовного палива та визначені середні для

різних технологій. Середні значення питомих витрат умовного палива для ТЕС найменші для ПГУ на газі, а найбільші при спалюванні бурого вугілля. Впровадження технології CCUS додає до питомих витрат (г у.п./кВт·год): для ПГУ на газі 62; для ПТУ НКТ (кам'яне вугілля) 90; для ПТУ НКТ (буре вугілля) 217.

Визначені середні питомі інвестиційні витрати і середні питомі витрати умовного палива технологій теплової енергетики надано у таблиці.

**Таблиця – Питомі інвестиційні витрати і питомі витрати умовного палива технологій теплової енергетики**

Технології / паливо	Інвестиційні витрати, дол. США/кВт		Питомі витрати умовного палива, г у.п./кВт·год	
	ТЕС	ТЕЦ	ТЕС	ТЕЦ
ГТУ / газ	8140	986,5	318	267,1
ПГУ / газ	939	1264	215	215,6
ПГУ з CCUS / газ	3031		278	
ПТУ НКТ / кам'яне вугілля	3052		300	
ПТУ НКТ з CCUS / кам'яне вугілля	5548		391	
ПТУ НКТ / буре вугілля	3618	1235	373	245,7
ПТУ НКТ з CCUS / буре вугілля	4769		585	
ПТУ УНКТ / кам'яне вугілля	2188	2726	282	215,6
ПТУ / біомаса		913,3		241,3

Розрахунки авторів

Аналіз методів порівняння енергетичних технологій показує, що в умовах зростання цін на енергоносії найбільш надійним із них є метод оцінювання витрат життєвого циклу, який дозволяє відслідковувати ці зміни. В роботі «Levelised Cost of Electricity Calculator» [7] надано інтерактивні таблиці оцінок приведеної вартості виробництва електроенергії (LCOE) різних технологій на ТЕС і ТЕЦ у 2020 році. Повзунки дозволяють коригувати допущення, а саме ставку дисконтування та витрати на паливо. Податок на вуглець складає 30 дол. США/т. Нижче визначені показники за встановленої потужності установок 325 МВт.

Розглянуті наступні технології – для ТЕС на газовому паливі: ПГУ без CCUS і з CCUS; ГТУ; для ТЕС на твердому паливі установки на кам'яному й бурому вугіллі: ПТУ НКТ та ПТУ УНКТ з CCUS і без. Для ТЕЦ розглянуті ПГУ, ГТУ, ПТУ УНКТ та установки на бурому

вугіллі та біомасі. Надані наступні показники: потужність установки (МВт), інвестиційні, постійні експлуатаційні, паливні, вуглецеві витрати та LCOE (дол. США/МВт·год виробленої електроенергії).

Для ТЕС (потужністю 325 МВт) розраховані середні значення LCOE для технологій, що працюють на газовому і твердому паливі. Значення LCOE (цент/кВт·год) найменші для ПГУ (5,92), а найбільші для ГТУ (10,42) і ПТУ НКТ з CCUS (12,23). Використання з ПТУ НКТ технології CCUS додає до LCOE 3,22 цент/кВт·год, а з ПТУ УНКТ 0,6 цент/кВт·год.

Частка паливних витрат в LCOE у різних країнах складає (%): 33-64 для ПГУ; 31-67 для ГТУ; ПТУ НКТ 19-21; ПТУ НКТ з CCUS 16-21; ПТУ УНКТ 29-36. При спалюванні кам'яного вугілля частка вуглецевих витрат в LCOE складає від 10% до 32%.

У грудні 2020 року вийшло дослідження, присвячене розвитку технологій уловлювання та зберігання вуглецю (Carbon Capture and Storage, CCS) [8]. В Австралії Центр енергетичної політики випустив доповідь «Перевірка в реальних умовах: Чому CCS не грає ролі в енергетичній системі Австралії». Газова генерація у цій роботі не розглядалася. Результати аналізу показали, що будувати нові вугільні електростанції, оснащені CCUS, не має економічного сенсу. Вартість виробленої на них електричної енергії виходить дорожчою, ніж від вітрових електростанцій (ВЕС) і сонячних електростанцій (СЕС), навіть з урахуванням накопичення енергії на ВДЕ. Підраховано, що вартість виробництва електроенергії становитиме (австралійських доларів за МВт·год.): на нових теплових електростанціях з CCUS, що працюють на кам'яному вугіллі, 280-322; для буровугільних електростанцій – 314-363. Але CCUS знижує вуглецевий слід не до нуля. У 2017 р. питомі викиди вугільної генерації з CCUS оцінювали в 109 г CO<sub>2</sub>, а газової з CCUS в 78 г CO<sub>2</sub> (для життєвого циклу).

Глобальний інститут CCS (Global CCS Institute) випустив доповідь про світовий розвиток технологій уловлювання і зберігання вуглецю (Global Status of CCS 2020). Згідно з доповіддю, загальна потужність діючих і розроблюваних проєктів CCUS за останній рік зросла в світі на 33% (на 2020 р. їх 65, з них 26 це ті, що функціонують (найбільше в газовій промисловості), які вловлюють 40 млн т CO<sub>2</sub> / рік. За сценарієм сталого розвитку, розробленим ІЕА, до 2050 р. в світі за допомогою CCUS необхідно вловлювати понад 5 млрд. т CO<sub>2</sub>.

Проведені в світі дослідження показали, що технологія CCUS є досить енергоємною та дорогою. В першу чергу це стосується обладнання для уловлювання CO<sub>2</sub>, на яке припадає 60–80% загальних витрат. Зі зменшенням парціального тиску CO<sub>2</sub> в газовій суміші та

потужності установки уловлювання вартість вилучення CO<sub>2</sub> різко зростає. Особливо це стосується теплових електростанцій. За даними [9] забезпечення їх системами уловлювання CO<sub>2</sub> збільшує питомі капітальні витрати в 1,6-2,3 рази та вартість виробленої електроенергії в 1,4-1,6 рази. Потужність, необхідна для роботи цих систем, становить приблизно 9-12% загальної потужності установки, а за окремими технологіями – до 20%. Питома вартість уловлювання CO<sub>2</sub> стає набагато більшою, якщо потужність енергоблоку менше 200 МВт. Розгортання галузі CCS вимагатиме будівництва розгалуженої системи трубопроводів для транспортування великих обсягів CO<sub>2</sub>. Це розширить потенціал застосування технологій CCUS. Питомі витрати на трубопровідне транспортування CO<sub>2</sub> залежать від його кількості та фазового стану. Збільшення кількості CO<sub>2</sub> з 0,1 до 5,0 млн. т/рік майже на порядок знижує собівартість транспортування. Витрати на зберігання CO<sub>2</sub> дуже залежать від характеристик геологічних резервуарів. Найдешевший варіант зберігати CO<sub>2</sub> у виснажених нафтогазових родовищах на суші. Розвиток технологій CCUS потребує значної державної підтримки.

Із вищенаведеного аналізу та порівняння можливо зробити такі висновки:

1) Технологія уловлювання і зберігання діоксиду вуглецю – CCUS в електроенергетиці знаходиться на ранній стадії розвитку та значно збільшує вартість електроенергії.

2) Для широко впровадження CCUS потрібно вводити високий податок на викиди вуглекислого газу.

#### Світові тенденції та перспективи розвитку вугільних ТЕС.

Незважаючи на те, що ІЕА прогнозувало зростання попиту на енергетичне вугілля навіть після 2030 року, виробництво електроенергії на вугільному паливі знижується. В даний час в усьому світі спостерігається зниження споживання енергетичного вугілля. В результаті аналізу Інституту економіки енергетики та фінансового аналізу (IEEFA, США) встановлено, що світове виробництво електроенергії з вугілля в 2019 році знизилося приблизно на 3% (300 ТВт·год), що є найбільшим падінням після десятиліть безперервного зростання [6].

Хоча у світі додаються нові електростанції, що працюють на вугіллі, їх світовий середній коефіцієнт використання встановленої потужності (КВВП) зменшується. Після піку в 62% у 2011 році вугільні електростанції в 2019 році працювали 54% часу [6]. Вугільна інфраструктура у багатьох країнах світу старіє. Майбутнє вугільної генерації в світі обмежено через те, що ВДЕ стають все більш

дешевими. Світова електрична генерація зараз знаходиться на стадії змін, які прискоряться, особливо у зв'язку з досягненнями в області акумулювання енергії.

Країни Західної Європи з екологічних міркувань приймають рішення про припинення використання вугілля в енергетиці: Великобританія – з 2025 р.; Італія – з 2025 р.; Франція – з 2023 р.; Нідерланди – з 2030 р.; Швеція – з 2022 р.; Австрія – з 2025 р.; Фінляндія – з 2029 р.; Німеччина – з 2038 р. Зниження частки вугільної генерації буде відбуватися за рахунок збільшення потужностей інших видів генерації електричної енергії.

У США в 2019 р. відбулося рекордне зменшення виробництва електричної енергії електростанціями, що працюють на вугіллі. Потужність вугільних ТЕС знизилась на 13,9% у порівнянні з 2018 р., а виробництво електроенергії зменшилось на 13,0%. У 2019 р. закрито вугільні електростанції загальною потужністю 14,0 ГВт [6].

Але у деяких країнах Європи розвинута вуглевидобувна промисловість стримує й навіть блокує рух щодо відмови від виробництва електроенергії при спалюванні вугілля. Це є характерним для Болгарії, Греції, Іспанії, Польщі, Румунії, Угорщини, Чехії. Незважаючи на загальноєвропейські екологічні цілі, в ЄС немає єдності щодо відмови від вугільної енергетики. Вугілля продовжує займати чільне місце в енергетиці деяких країн, але в довгостроковій перспективі можна очікувати поступового скорочення частки вугілля у виробництві електроенергії. 79% вугільних електростанцій ЄС у 2019 році працювали зі збитками. Аналіз економічної ефективності вугільних електростанцій в ЄС довів, що вугілля не є найдешевшим джерелом енергії. Конкуренція з боку сонячної і вітрової енергетики призводить до того, що фінансове становище вугільних електростанцій стає все гіршим [10, 11].

Собівартість виробництва електроенергії від нових вугільних і газових електростанцій (за даними IEA [3]) прогнозується більшою, ніж від нових ВДЕ, наприклад у 2026 р. LCOE буде складати (цент/кВт·год): СЕС – 3,3; ВЕС на суші – 3,7; ПГУ – 3,7; ГЕС – 5,5; АЕС – 6,9; ПТУ УНКТ – 7,3; ПТУ на біомасі – 8,9. Додавання систем очищення на ТЕС призведе до збільшення витрат. Таким чином буде дешевше побудувати ВЕС або СЕС.

У даний час ніхто в світі повністю не відмовляється від генерації електричної енергії при спалюванні вугілля, але частка її зменшуватиметься. Нові екологічні норми будуть стимулювати впровадження більш ефективних і екологічно чистих технологій виробництва електроенергії. Пріоритетні завдання з протидії змінам

клімату в секторі енергетики можуть бути вирішені шляхом побудови нових ВДЕ, а на діючих ТЕС заміною існуючого устаткування на нове, що відповідає сучасним екологічним вимогам.

### **Використані інформаційні джерела:**

1. Білявський Максим. Україна і глобальна політика декарбонізації. Центр Разумкова. 2021. 53 с. URL: [https://razumkov.org.ua/Проект\\_аналітичного\\_огляду\\_другого\\_національно\\_визначеного\\_внеску\\_України\\_до\\_паризької\\_угоди](https://razumkov.org.ua/Проект_аналітичного_огляду_другого_національно_визначеного_внеску_України_до_паризької_угоди). Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. Квітень 2021. URL: [https://mepr.gov.ua/files/docs/klimatychna\\_polityka/](https://mepr.gov.ua/files/docs/klimatychna_polityka/)
2. Стратегія низьковуглецевого розвитку до 2050 року. Київ. 2017. 53 с. URL: [https://menr.gov.ua/files/docs/Проект\\_Стратегії\\_низьковуглецевого\\_розвитку\\_України.pdf](https://menr.gov.ua/files/docs/Проект_Стратегії_низьковуглецевого_розвитку_України.pdf)
3. Чекунова Світлана. Прикордонне вуглецеве коригування ЄС та виклики для української економіки/енергетики. Центр Разумкова. 07.04.2021. URL: <https://razumkov.org.ua/statti/prykordonne-vugletseve-koryguvannia-yes-ta-vyklyky-dlia-ukrainskoi-ekonomiky-energetyky>
4. Projected Costs of Generating Electricity 2020. MEA. 2020. 243 p. URL: [https://www.oecd-nea.org/upload/docs/application/pdf/2020-12/egc-2020\\_2020-12-09\\_18-26-46\\_781.pdf](https://www.oecd-nea.org/upload/docs/application/pdf/2020-12/egc-2020_2020-12-09_18-26-46_781.pdf)
5. Коберник В. С. Декарбонізація енергетичного сектору. «Екологія. Довкілля. Енергозбереження» –2022». Збірник матеріалів III Міжнародної науково-практичної конференції «Екологія. Довкілля. Енергозбереження» (1-2 грудня 2022 року, Полтава). Полтава : НУПП, 2022. С. 102–104. URL: [https://nupp.edu.ua/uploads/files/0/events/conf/2022/3mnpk/zbirnik\\_ede\\_2022.pdf](https://nupp.edu.ua/uploads/files/0/events/conf/2022/3mnpk/zbirnik_ede_2022.pdf)
6. Levelised Cost of Electricity Calculator. – 2020. URL: <https://www.iea.org/articles/levelised-cost-of-electricity-calculator>
7. О развитии и экономике технологий улавливания и хранения углерода (CCS). Электровести. 25.12.2020. URL: [https://elektrovesti.net/73916\\_o-razvitii-i-ekonomike-tehnologiy-ulavlivaniya-i-khraneniya-ugleroda-ccs](https://elektrovesti.net/73916_o-razvitii-i-ekonomike-tehnologiy-ulavlivaniya-i-khraneniya-ugleroda-ccs)
8. Filippov S. P. The Economics of Carbon Dioxide Capture and Storage Technologies (Review). Thermal Engineering. 2022, volume 69. P. 738–750. URL: <https://link.springer.com/article/10.1134/S0040601522100020>
9. Buckley T. IEEFA update: Global coal power set for record fall in 2019. URL: <https://ieefa.org/ieefa-update-global-coal-power-set-for-record-fall-in-2019/>
10. Wamsted D. IEEFA U.S.: PacifiCorp’s transition to renewables and battery storage sets a new industry pace. URL: <http://ieefa.org/ieefa-u-s-pacificcorps-transition-to-renewables-and-battery-storage-sets-a-new-industry-pace/>
11. Солнечные электростанции в сочетании с системами хранения электроэнергии расшатывают экономику американских угольных электростанций. URL: [https://elektrovesti.net/65830\\_solnechnye-elektrostantsii-v-sochetanii-s-sistemami-khraneniya-elektroenergii-rasshatyvayut-ekonomiku-amerikanskikh-ugolnykh-elektrostantsiy](https://elektrovesti.net/65830_solnechnye-elektrostantsii-v-sochetanii-s-sistemami-khraneniya-elektroenergii-rasshatyvayut-ekonomiku-amerikanskikh-ugolnykh-elektrostantsiy)



**ОЦІНКА ТА ВИБІР ПРОМИСЛОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
У ПРОЦЕСІ ПІСЛЯВОЄННОГО ЇХ ВІДНОВЛЕННЯ  
ЗА КРИТЕРІЄМ ІНТЕГРАЛЬНОЇ ЕКОЛОГІЧНОЇ  
РЕСУРСОЄМНОСТІ**

**Копач П. І.**, канд. техн. наук, ст. наук. співр.,  
**Якубенко Л. В.**, канд. техн. наук, ст. наук. співр.,  
**Мормуль Т. М.**, канд. техн. наук, ст. наук. співр.,  
**Данько Т. Т.**, провідний інженер,  
**Горобець Н. В.**, провідний інженер,  
**Гальченко З. С.**, провідний інженер,  
**Лубинський Р. С.**, інженер I категорії

*Інститут геотехнічної механіки НАН України, м. Дніпро, Україна*

**EVALUATION AND SELECTION OF INDUSTRIAL  
TECHNOLOGIES IN THE PROCESS OF THEIR POST-WAR  
RECONSTRUCTION ACCORDING TO THE CRITERIA OF  
INTEGRAL ENVIRONMENTAL RESOURCE CAPACITY**

**Kopach P.**, Candidate of Technical Sciences, senior researcher,  
**Yakubenko L.**, Candidate of Technical Sciences, senior researcher,  
**Mormul T.**, Candidate of Technical Sciences, senior researcher,  
**Danko T.**, Leading engineer, **Horobets N.**, Leading engineer,  
**Halchenko Z.**, Leading engineer,  
**Lubynskyi R.**, engineer of the 1st category

*Institute of Geotechnical Mechanics of the National Academy of Sciences  
of Ukraine, Dnipro, Ukraine*

**Анотація.** Сучасні технології характеризуються великою кількістю показників, які відрізняються між собою, за якими оцінити та порівняти різні технології неможливо. Нами розроблена система екологічних оцінок технологій з використанням критерію інтегральної екологічної ресурсоемності. Розроблена методика оцінки технологій природокористування оснований на застосуванні повної екологічної ресурсоемності з використанням вперше запропонованого інтегрального показника екологічного впливу, визначення якого відбувається шляхом приведення показників якості компонентів довкілля за ступенем їхнього пошкодження до нормативних системоутворюючого компоненту техноекосистеми та зведення їх до єдиного показника інтегральної екологічної

ресурсоємності з урахуванням вартісних витрат можливого повного відновлення природних компонентів в межах природної екосистеми функціонування цієї технології. Методику оцінки технологій природокористування апробовано на екологічно- та ресурсовитратних сферах господарювання гірничодобувного комплексу і енергогенеруючих підприємств.

**Abstract.** Modern technologies are characterized by a large number of indicators that differ among themselves, by which it is impossible to evaluate and compare different technologies. We have developed a system of environmental assessments of technologies using the criterion of integral ecological resource intensity. The developed method of assessing nature management technologies is based on the application of full ecological resource intensity using the first proposed integral indicator of ecological impact, which is determined by bringing the quality indicators of environmental components according to the degree of their damage to the normative system-forming component of the techno-ecosystem and reducing them to a single indicator of integral ecological resource intensity, taking into account valuable costs of a possible full restoration of natural components within the natural ecosystem of the functioning of this technology. The methodology for assessing nature management technologies has been tested on ecological and resource-consuming areas of management of the mining complex and energy-generating enterprises.

У сучасних умовах життя диктує нові орієнтири та напрями розвитку промислових виробництв, насамперед, у процесі їхнього післявоєнного відновлення, що стає імпульсом для впровадження нових технологічних рішень та нових тенденцій у взаємодії виробництва та природи. Але досягнути цього можливо лише у випадку, коли буде побудована система та механізми управління екологічними процесами, які будуть орієнтуватися не просто на удосконалення технологій, але, в першу чергу, на екологізацію виробництв. Післявоєнне відновлення економіки має відбуватися за умови здійснення прориву саме у створенні системи технологічних інновацій, де за основу обрано виробництво, яке буде гармонійно вписане у природне середовище.

Метою післявоєнного розвитку науково-технічної системи України має бути формування нової технологічної інноваційної системи, базовим елементом якої повинні стати виробники високотехнологічної екологічно чистої продукції у поєднанні з дослідницькими, освітніми та суміжними виробничими структурами. Саме орієнтація на виробничі підприємства забезпечить умови для підтримки ринкової спрямованості технологічних нововведень та застосування результатів наукових розробок, збільшення реальних конкурентних переваг.

Нині існує достатня кількість методичних прийомів, методів та способів оцінки вартості природних ресурсів та екологічних витрат. При проведенні оцінки та аналізу технологій у сучасних умовах виробництва використовуються традиційні методи експертних оцінок, порівняльний аналіз, факторний аналіз, використання фінансових коефіцієнтів, а також аналіз екологічних витрат та прибутків.

Проте пошук нових підходів до оцінки промислових технологій та вибору оптимальних варіантів з урахуванням базових критеріїв, які б сприяли збалансованому вирішенню екологічних та економічних проблем досі залишається актуальним.

Виходячи з цього, виникла необхідність у створенні методології оцінки різних сфер господарювання за показником екологічних і ресурсних витрат із урахуванням енергетичної та економічної оптимальності, які мають сприяти їхньому подальшому розвитку.

На даний час ступінь екологічного впливу технологій суб'єктів господарювання визначається певним переліком кількісних та якісних показників, які виступають критеріями для оцінки функціонування промислового підприємства. Це є підставою для використання комплексного та систематизованого підходу щодо формування системи показників.

Екологічна оцінка технологій проводиться за екологічного обґрунтування вибраного способу виробництва і технологій із урахуванням всіх екологічних наслідків даної технології. При комплексній екологічній оцінці технологій визначається ступінь екологічності способів виробництва і технологічних переділів, оцінюються виходи технології в природне середовище, виконується оцінка екологічної небезпеки отриманої продукції, її використання і зберігання, а також оцінюється небезпека зберігання та використання утворених відходів.

Екологічна ефективність природокористування характеризує співвідношення між розміром витрат природних ресурсів та величиною корисного продукту, отриманого в результаті цих витрат. Необхідність використання екологічного критерію при ухваленні управлінських рішень, що стосуються екологічної оптимізації природокористування, необхідно розглянути детальніше. Природно, що технічні критерії найбільш повно відображають інженерно-технологічні особливості і специфіку технологічних систем; економічні критерії враховують тільки ту фактичну ефективність, яку можливо представити у вартісному виразі, при цьому багато екологічних аспектів залишаються поза увагою; соціальні критерії розглядають тільки статус технологічних процесів в контексті задоволення певних суспільних

потреб; юридичні критерії співвідносять процес функціонування технології з системою існуючого законодавства; існуючі екологічні критерії (землеємність, питомі викиди, обсяги скидів та ін.) також відображають тільки окремих, вузько виділених аспекти і не можуть бути використані при екологічній оптимізації в контексті сталого розвитку. Тому очевидною є необхідність розробки і введення нового критерію, що дозволяє оцінити в узагальненій формі екологічні наслідки функціонування тієї чи іншої технології природокористування. Основним принципом розробки такого сукупного критерію є облік усіх задіяних у процесі виробництва ресурсів (трудових, матеріальних, енергетичних, природних, які використовуються у цьому виробництві як безпосередньо, так і опосередковано) з подальшим їхнім перерахунком на природні ресурси.

Розрахунок інтегрального показника екологічного впливу реалізує процес приведення показників різних компонентів природного середовища до єдиного інтегрального показника. Таке приведення необхідно здійснити на підставі науково обгрунтованого методологічного принципу, що базується на глибокому аналізі взаємодії технологічних процесів та компонентів природного середовища території, де здійснюється природокористування.

Для обгрунтування показника ефективності технологій найбільшою мірою підходить методика екологічних оцінок, яка б дозволила за рахунок використання спеціальних оціночних критеріїв отримувати однозначні числові значення оціночних показників. Нами розроблена система екологічних оцінок з використанням критерію інтегральної екологічної ресурсоємності.

Оптимізація стосується, перш за все, ситуації, коли виникає конфлікт інтересів між економічним зростанням і необхідністю збереження якості навколишнього середовища. У зв'язку з цим для оцінки показників ефективності різних природоохоронних технологій встановлюється залежність ресурсоспоживання в системі «витрати ресурсів – екологічний ефект». Економічні збитки від забруднення навколишнього середовища зростають зі збільшенням навантаження на нього. При цьому перші порції забруднення поглинаються навколишнім середовищем, і збиток природі, хоча й існує, але, як правило, не враховується в економічних показниках. Кожна наступна порція забруднення зазвичай приносить непропорційно більшу шкоду, тому залежність збитків середовищу від забруднення є нелінійною. Збитку можна запобігти, якщо вкладати кошти в технологічні заходи, що знижують викиди забруднень. Функція цих витрат є нелінійною, оскільки витрати на технологічні поліпшення зростають непропорційно

швидко порівняно зі зниженням викидів. Домогтися ж повної ліквідації забруднення можливо лише за рахунок безкінечно великих витрат, що практично є нереальним.

Відповідно до сучасних уявлень, умовою оптимальності є рівність екологічного збитку і витрат на зниження забруднення, тобто коли сумарні грошові витрати на вирішення проблеми контролю забруднення досягають мінімуму. Це називається точкою економічного оптимуму забруднення навколишнього середовища, і в ній теоретично досягається рівність витрат і збитків. Однак, в дійсності, враховуючи, що величина екологічного збитку у вартісному вираженні істотно занижена, даний економічний оптимум не є оптимумом екологічним, а скоріше еколого-економічним оптимумом (рис. 1).



Рисунок 1 – Знаходження оптимального рішення, яке найкращим можливим чином задовольняє інтересам як екології, так і економіки [1]

У теоретичному плані процес оптимізації природокористування розглядається, з урахуванням концепції «найкращих можливих» та «найкращих доступних технологій», де оптимальні рішення, найкращим чином задовольняють інтересам як екології, так і економіки, знаходяться на кривій, позначеній суцільною лінією, менш вигідні рішення знаходяться всередині області, що обмежена цією лінією і осями координат, а рішення в області, яка обмежена лінією оптимуму і точкою з координатами поки є неможливими [2].

Вище наведено ідею та умови визначення ідеального промислового виробництва. Зазначено, що воно може слугувати в якості точки відліку (одиниці виміру) міри досяжності існуючого виробництва до екологічно прийнятого його стану (рис. 1). На цьому ж рисунку позначено параметр, що символізує «умовну відстань», яка його відділяє від зразкового. Подолання цієї відстані здійснюється за рахунок впровадження природоохоронних технологій. За міру такої «відстані» приймемо величину вартісних витрат  $C_z$ ,  $C_w$ ,  $C_A$ , які необхідно було б понести цьому підприємству на природоохоронні заходи для досягнення такого ж екобезпечного стану.

Із урахуванням величини цих витрат, на основі аналізу статистичних даних, виходячи з величини вартісних витрат, які необхідно понести при здійсненні повної реабілітації, обґрунтовано коефіцієнти приведення компонентів доквілля до  $I_{ПЕВ}$ . Отже, для повного відновлення одного гектара знищених і непридатних до використання земель, необхідно витратити  $C_z$  умовних вартісних одиниць (у.о.). Витрати для повної очистки скидів забруднених вод та їх доведення до рибогосподарської якості становить –  $C_w$ , у.о. Витрати для повної очистки викидів в атмосферне повітря від пилу та газових забруднень складають –  $C_A$ , у.о.

Зведення попередньо визначених критичних показників впливу на компоненти природного середовища здійснюється відповідно до завдань оцінки з урахуванням системоутворюючого компоненту [3].

При оцінці технологій, для яких пошкодження земельних ресурсів є основним та суттєвим фактором, за вимірну одиницю екологічного еквіваленту приймаємо одиницю площі земельних ресурсів (ар або гектар).

При оцінці технологій, для яких суттєвими є пошкодження атмосфери чи гідросфери, за одиницю екологічного еквіваленту виміру приймаємо відповідно тонни викидів або м<sup>3</sup> скидів.

Розрахунок коефіцієнтів інтегрального приведення (екологічний еквівалент – земельні ресурси) здійснюється за формулами:

$$K^A = \frac{C_A}{C_z}, \quad K^Z = \frac{C_z}{C_z}, \quad K^W = \frac{C_w}{C_z}, \quad (1)$$

де  $K^A$ ,  $K^Z$ ,  $K^W$  – коефіцієнт інтегрального приведення відповідно для атмосфери, земель та гідросфери.

Інтегральний показник екологічного впливу визначається за формулою:

$$I_{нев} = A^{kp} \cdot K^A + Z^{kp} \cdot K^Z + W^{kp} \cdot K^W. \quad (2)$$

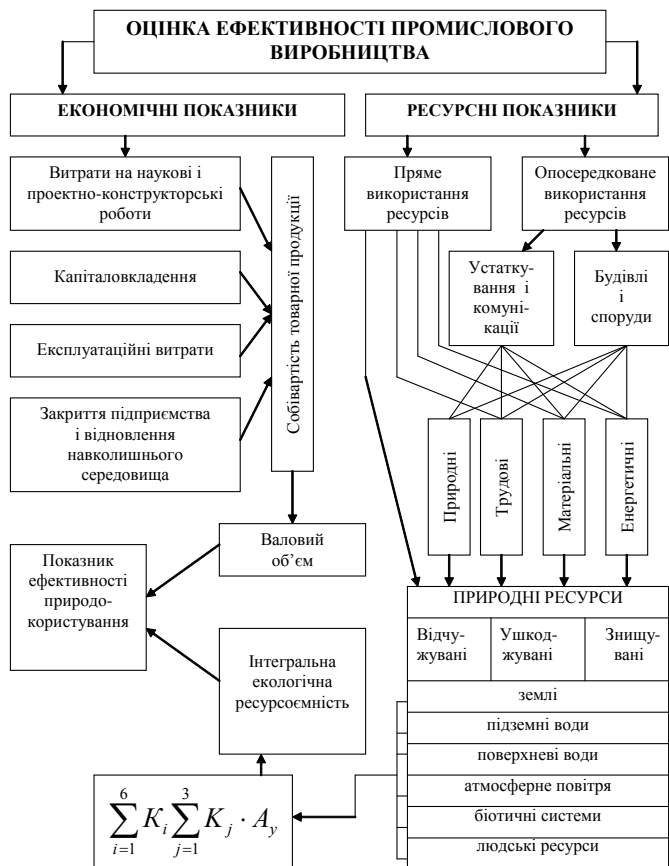
Таким чином, інтегральний показник екологічного впливу  $I_{ПЕВ}$  є показником, який у зведеному до одного числа вигляді відтворює техногенні впливи на усі природні компоненти, який характеризує технології за рівнем екобезпеки, що дозволяє досягти ефективності у прийнятті оптимальних управлінських рішень.

Із точки зору методології оцінки технологій природокористування на сучасному етапі самі механізми оцінки і планування є недосконалими, тому що багато природних ресурсів, особливо ресурси спільного користування, ціни не мають. Крім того, в процесі оцінки виникає необхідність порівнювати непорівнянні показники, до того ж, не всі їх можна виразити у грошовому вимірі. Особливо це стосується, наприклад, гірничодобувного регіону, де відбувається масштабний, тривалий у часі, інтенсивний вплив на усі компоненти природного середовища. Тому, пропонується витрати ресурсів на впровадження природоохоронних заходів та екологічні збитки враховувати в одних і тих же натуральних показниках, які відображають втрати природних ресурсів, а саме, в одиницях екологічної ресурсоемності.

Для вирішення цієї проблеми розроблено методикау приведення показників ресурсоспоживання та впливу технологій на компоненти довкілля до єдиного показника інтегральної екологічної ресурсоемності, основні положення якої наведено нижче (рис.2).

Функціонування технологій слід розглядати в рамках конкретної техноекосистеми, під якою мається на увазі сукупність технічних, технологічних та природних структур і елементів (об'єктів) на усіх стадіях функціонування. Основним принципом гармонізації ресурсоемних технологій промислових виробництв є мінімізація використання природних ресурсів.

За еколого-економічними параметрами всі ресурси поділяються на дві групи: 1 – ресурси, які мають свою економічно визначену вартість і які використовуються у технологічних процесах промислових виробництв (атмосферні, земельні, водні ресурси, надра і трудові ресурси); 2 – ресурси, які мають соціальну та обраховану екологічну цінність і на які здійснюється екологічний вплив (атмосфера, підземні і поверхневі води, ґрунти, біота, стан здоров'я населення).



**Рисунок 2 – Схема екологічної оцінки ефективності промислових технологій**

Методологічно оцінка технологій базується на визначенні та врахуванні показника інтегральної екологічної ресурсоемності. Критерієм оцінки ефективності технології промислового виробництва є наскрізна повна ресурсоемність конкретного виду діяльності, яка приведена до природних ресурсів і позначена як «інтегральна екологічна ресурсоемність», що враховує витрати ресурсів як прямі, так і опосередковані (у вигляді устаткування, будівель і споруд, соціальної інфраструктури тощо).



При цьому природні ресурси за ступенем екологічного впливу на них технологій поділяються на три групи: 1 – використані; 2 – пошкоджені; 3 – знищені.

Загальновідомо, що будь-яка довільна технологія природокористування впливає на компоненти довкілля: атмосферу –  $A$ ; землі –  $Z$ ; гідросферу –  $W$ , трудові ресурси –  $G$ . Впливи на ці природні компоненти і людські ресурси різняться між собою за своєю інтенсивністю та характером.

Для атмосфери – це забруднення різними газоподібними хімічними сполуками та твердими (зваженими) частинками ( $A_{N_{ox}}$ ,  $A_{SO_2}$ ,  $A_{CO}$ ,  $A_{зр}$  тощо).

Для земель – це використання за нетрадиційним призначенням, забруднення різноманітними речовинами, які негативно впливають на їхню продуктивність та механічне пошкодження родючого шару ( $Z_e$ ,  $Z_z$ ,  $Z_y$ ).

Для гідросфери – це забруднення (хімічне, санітарно-токсикологічне, біологічне тощо), пошкодження чи зміна гідрологічного або гідрогеологічного режиму системи ( $W_e$ ,  $W_z$ ,  $W_y$ ).

Для трудових ресурсів – це професійні захворювання, виробничий травматизм, в тому числі – смертельні випадки ( $G_z$ ,  $G_m$ ,  $G_c$ ).

Методологія передбачає приведення показників техногенного впливу на кожен з компонентів до єдиного значення з урахуванням їхнього екологічного стану (відносно дотехногенного). Для приведення до єдиного показника застосовуються нормуючі коефіцієнти  $K_A^N$ ,  $K_Z^N$ ,  $K_W^N$ ,  $K_G^N$  – при цьому для спрощення розрахунків запропоновано ступінь пошкодження природних компонентів систематизувати за трьома категоріями.

За *критичний показник* техногенного впливу прийнято такий стан природного компоненту, який відповідає повній втраті його природних функцій, тобто його *знищенню*. Показником діаметрально протилежного стану є *вилучення* природного компоненту з системи традиційного природокористування без змін (втрати) якісного стану. Проміжний стан природного компоненту класифікується як *пошкоджений* [4].

Землі розглядаються як природний ресурс, який так чи інакше використовується в будь-яких технологіях виробництва. Систематизація *земель* за характером їхнього використання буде

здійснюватися за таблицею 1:

- I категорія – використання земель без погіршення їх якості;
- II категорія – пошкодження з можливістю відновлення для традиційного землекористування;
- III категорія – повна неможливість традиційного використання та відновлення.

Таблиця 1 – Коефіцієнти приведення до критичного показника за ступенем пошкодження природного компоненту (земля)

Стан приведених компонентів	Категорія за ступенем пошкодження	Коефіцієнт приведення до критичного показника $K_{np}^z$
Вилучення	I категорія	0,01
Пошкодження	II категорія	0,1
Знищення	III категорія	1,0

Коефіцієнти приведення до критичного показника за ступенем пошкодження земельних ресурсів  $K_{np}^z$  орієнтовно визначено з урахуванням енерговитратності на їх ревіталізацію.

Для *скидів* за основний фактор, який характеризує ступінь негативного впливу, приймаємо мінералізацію використаних природних вод. Тому граничними станами для скидів є такі параметри (табл. 2).

- 1,0-25,0 мг/л – I категорія (вилучення);
- 25,1-50,0 мг/л – II категорія (пошкодження);
- > 50,0 мг/л – III категорія (знищення).

Таблиця 2 – Коефіцієнти приведення до критичного показника за ступенем пошкодження природного компоненту (вода)

Стан приведених компонентів	Категорія за ступенем пошкодження	Мінералізація використаних вод	Коефіцієнт приведення до критичного показника $K_{np}^w$
Вилучення	I категорія	1,0 - 25,0	0,01
Пошкодження	II категорія	25,1 - 50,0	0,1
Знищення	III категорія	> 50,0	1,0

Для *викидів* основним показником негативного впливу виробництв є показник відносної токсичності забруднюючих речовин, які надходять в природне середовище. Визначення коефіцієнтів

приведення до одного знаменника при різних забруднювачах здійснюється з урахуванням показника відносної токсичності. Ідеологія оцінки вимагає застосування єдиного підходу при зведенні компонентів з різним станом порушення природного компоненту до нормативних (критичних) показників.

За критичний показник забруднення атмосферного повітря приймаємо двоокис азоту,  $ГДК_{NO_2} = 0,04$  мг/м<sup>3</sup>. До I категорії забруднення атмосферного повітря належать забруднюючі речовини 4-го класу небезпеки, до II категорії – речовини 3-го класу небезпеки, до III категорії – 1-го і 2-го класів небезпеки. Показник відносної токсичності викидів визначається за формулою:

$$K_i^t = \frac{ГДК_{NO_2}}{ГДК_i} \quad (3)$$

У цьому випадку коефіцієнти відносної токсичності будуть відповідно корелювати з коефіцієнтами приведення до нормуючого показника (таблиця 2).

Для показників забруднення атмосферного повітря при точному розрахунку коефіцієнти приведення  $K_{np}^A$  відповідають коефіцієнтам відносної токсичності  $K_i^t$ . При наближених розрахунках можна використовувати коефіцієнти приведення до критичного показника забруднення атмосферного повітря ( $K_{np}$ ), дані таблиці 3.

**Таблиця 3 – Коефіцієнти приведення до критичного показника за ступенем пошкодження природного компоненту (атмосферне повітря)**

Стан приведених компонентів	Категорія за ступенем пошкодження	Коефіцієнт відносної токсичності забруднювачів, $K_i^t$	Коефіцієнт приведення до критичного показника $K_{np}^A$
Вилучення	I категорія	< 0,2	0,01
Пошкодження	II категорія	0,2 – 4,0	0,1
Знищення	III категорія	> 4,0	1,0

Коефіцієнти приведення для трудових ресурсів встановлено на основі аналізу численних літературних джерел, законодавчих нормативних документів, статистичних матеріалів науково-дослідних робіт. Для трудових ресурсів показники характеризують професійні захворювання, виробничий травматизм, в тому числі – смертельні випадки ( $G_z, G_m, G_c$ ).

Задіяні у виробництві працівники розглядаються як трудовий

ресурс, без якого неможливе функціонування будь-яких технологій будь-якого виробництва. Отже, систематизація *трудових ресурсів* за характером їх використання здійснюється згідно з таблицею 4:

I категорія – використання трудових ресурсів без погіршення їхнього стану;

II категорія – пошкодження з можливістю відновлення для традиційного використання (оздоровлення);

III категорія – повна неможливість традиційного використання та відновлення (смертельні випадки).

Критичним коефіцієнтом приведення за ступенем пошкодження природного компоненту для трудових ресурсів є смертельні випадки. Коефіцієнти приведення до критичного показника за ступенем пошкодження трудових ресурсів наведено в таблиці 4.

Таблиця 4 – Коефіцієнти приведення до критичного показника за ступенем пошкодження природного компоненту (трудові ресурси)

Стан приведених компонентів	Категорія за ступенем пошкодження	Коефіцієнт приведення до критичного показника $K_{np}^G$
Вилучення/залучення	I категорія	0,00001
Пошкодження	II категорія	0,001
Знищення	III категорія	1,0

У загальному вигляді формули приведення до критичного показника для компонентів довіклія будуть мати наступний вигляд:

$$A^{sp} = \left(\sum A_i^I \cdot K_i^I\right) \cdot K_{np}^{AI} + \left(\sum A_i^{II} \cdot K_i^{II}\right) \cdot K_{np}^{AII} + \left(\sum A_i^{III} \cdot K_i^{III}\right) \cdot K_{np}^{AIII}, \quad (4)$$

$$Z^{sp} = Z_I \cdot k^{ZI} + Z_{II} \cdot k^{ZII} + Z_{III} \cdot k^{ZIII}; \quad (5)$$

$$W^{sp} = W_I \cdot k^{WI} + W_{II} \cdot k^{WII} + W_{III} \cdot k^{WIII}, \quad (6)$$

$$G^{sp} = G_I \cdot k^{GI} + G_{II} \cdot k^{GII} + G_{III} \cdot k^{GIII}, \quad (7)$$

де  $A_i^I, A_i^{II}, A_i^{III}$  – приведена до критичної маса викидів забруднюючих речовин, ум. т;

$Z_I, Z_{II}, Z_{III}$  – приведена до критичної площа пошкоджених земель, ум. ар;

$W_I, W_{II}, W_{III}$  – приведений до критичної об'єм забруднених вод, ум. м<sup>3</sup>;

$G_I, G_{II}, G_{III}$  – приведена до критичної кількість втрачених трудових ресурсів, ум. осіб.

Приведення критичних показників компонентів природного

середовища до єдиного значення здійснюється шляхом визначення вартісних величин  $C_Z$ ,  $C_W$ ,  $C_A$ ,  $C_G$ , які означають витрати на повне відновлення відповідних компонентів довкілля та трудових (людських) ресурсів.

У залежності від ступеня пошкодження здійснюється вибір природоохоронної технології. При цьому категорія за станом пошкодження корелює з величиною вартісних витрат  $C_{Z,W,A,G}$ . Вартісні

показники, які покладено в основу визначення  $C_Z$ ,  $C_W$ ,  $C_A$ ,  $C_G$  наведено в таблиці 5.

Таблиця 5 – **Вартісні показники природоохоронних технологій**

Компоненти природного середовища	Категорія за ступенем пошкодження	Природоохоронні технології	Витрати на відновлення $C_{Z,W,A,G}$
Земля	I	Рекультивация пошкоджених ділянок	25,0 \$/ар
	II	Рекультивация самозаростанням	25,0 \$/ар
	III	Повна рекультивация	118,4 \$/ар
Гідросфера	I	Технології механічної очистки	150 \$/тис. м <sup>3</sup>
	II	Технології фізико-хімічної очистки	250 \$/тис. м <sup>3</sup>
	III	Технології глибокої очистки	900 \$/тис. м <sup>3</sup>
Атмосфера	I	Технології механічної очистки	130 \$/т
	II	Технології електрофізичної очистки	2050 \$/т
	III	Технології глибокої очистки	4180 \$/т
Трудові ресурси	I	Залучення трудового ресурсу	17 \$/люд
	II	Ліквідація травми	2500 \$/люд
	III	Відшкодування втрати людини	110000 \$/люд

Із урахуванням характеру та величини техногенних впливів на компоненти природного середовища визначаємо коефіцієнти приведення  $K_{Z,W,A,G}$  до  $I_{ПЕВ}$ , який дано в одиницях ар-еквіваленту та наведено в таблиці 6.

Таблиця 6 – Розрахунок приведення до  $I_{ПЕВ}$  в ар-еквіваленті

Вплив на довкілля	Витрати на реабілітацію та очищення, $B_{Z,W,A,G}$	$K_{Z,W,A,G}$
Порушення земель	118,4 \$/ар	1,0
Скиди у водні об'єкти	250,0 \$/тис. м <sup>3</sup>	2,1
Викиди в атмосферне повітря	2050,0 \$/т	17,3
Трудові ресурси	110000 \$/люд.	929,0

Умовні позначення компонентів природного середовища: Z – земля, W – вода, A – атмосферне повітря, G – трудові ресурси.

Проведення оцінки технологій природокористування ґрунтується на застосуванні методології повної екологічної ресурсоемності. Запропонована методологія дає можливість відстежувати зміни у споживанні, пошкодженні та вилученні природних ресурсів. Досягнення гармонізованих з довкіллям параметрів технологічного процесу здійснюється шляхом порівняльної оцінки варіантів технологій за показником інтегральної екологічної ресурсоемності. Найбільш ефективною та гармонізованою з довкіллям є технологія з найменшим значенням показника інтегральної екологічної ресурсоемності.

Апробація розробленої методики застосування інтегрального критерію здійснена для умов залізорудних гірничодобувних підприємств Кривбасу. Для виконання порівняльної оцінки технологій природокористування двох гірничодобувних технологій підземного видобутку залізної руди: технологія з закладкою виробленого простору і технологія з обваленням виробленого простору за критерій оцінки прийнято показник ар-еквіваленту, виходячи із масштабності порушення земель. Такий же показник прийнято для порівняльної оцінки енергогенеруючих виробництв на прикладі Бурштинської ТЕС і Каховської ГЕС [5], [6].

Розроблена методика дозволяє об'єктивно оцінювати і порівнювати будь-які технології природокористування, що забезпечує

ефективне вирішення проблем управління техноекосистемами при виборі технологій на регіональному рівні.

### **Використані інформаційні джерела:**

1.Методические подходы к выбору стратегии устойчивого развития территории : в 2 т. / А. Г. Шапарь и др. Днепропетровск : ИППЭ НАН Украины, 1996. Т.1. 162 с.

2.Новітня парадигма вилучення природних ресурсів з навколишнього середовища / А. Г. Шапар та ін., Дніпро : Моноліт, 2018. 128 с.

3.Копач П.И. Некоторые подходы к оценке эффективности природопользования // *Екологія і природокористування*. 2001. Вип. 3. С. 223–231.

4.Копач П. І., Романенко В. Н., Данько Т. Т., Горобець Н. В., Тараканова Н. П. Макарова А. Ю. Методологія комплексної оцінки природоохоронних заходів // *Екологія і природокористування*. 2015. Вип. 19. С. 38–48.

5.Методичні вказівки з розробки регіональних стратегій сталого розвитку / А. Г. Шапар та ін., Дніпропетровськ : Моноліт, 2003. 131 с.

6.Науково-методичні рекомендації щодо поліпшення екологічного стану земель, порушених гірничими роботами (створення техногенних ландшафтних заказників, екологічних коридорів, відновлення екосистем) / А. Г. Шапар та ін. Дніпропетровськ : Моноліт, 2007. 270 с.

## СУЧАСНЕ ЛІСІВНИЦТВО УКРАЇНИ І МОЖЛИВОСТІ ЙОГО СИНЕРГІЙНОЇ ВЗАЄМОДІЇ З ЕНЕРГЕТИКОЮ

**Кремньов В. О.**, зав. лабораторії,  
**Тимошенко А. В.**, докт. техн. наук, пров. наук. співроб.,  
**Беляєв Г. В.**, канд. техн. наук, старш. наук. співроб.,  
**Беляєва І. П.**, канд. техн. наук, старш. наук. співроб.,  
**Жуков К. Л.**, головний технолог,  
**Корбут Н. С.**, мол. наук. співроб.,  
**Стецюк В. Г.**, мол. наук. співроб.

*Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України,  
Україна*

**Анотація.** Робота стисло висвітлює історію і практику організованого вирощування лісових насаджень, яка застосовується у світі понад 300 останніх років, і стан сучасного лісівництва України. Наведена діюча наукова концепція щодо необхідності підтримання у ландшафті, де ведеться інтенсивна сільськогосподарська діяльність долю лісовкритої території на рівні 16-18%, тобто стан Лісостепу. Дана характеристика розподілу лісових масивів по території України, як край нерівномірного (від 44% до << 1%). Середня якість цих лісових насаджень низька, що робить країну залежною від імпорту ділової деревини. Модель ведення лісівництва України є екстенсивною і переведення її на інтенсивну на сьогодні недоцільне. Це зумовлено тим, що і при екстенсивній моделі дров'яна деревина не знаходить повного збуту. Ця деревина є побічним відновлюваним товарним продуктом і постійно утворюється при основній лісорослинницькій діяльності по спрямованому відбору кращих дерев для подальшого зростання шляхом усунення дерев-конкурентів, заважаючих їх розвитку (рубання догляду за лісом). Але відповідно до існуючих протипожежних правил дров'яна деревина забраковується і після цього знищується у лігоспах, як і нетоварні відходи тонкоміру (так звані лісосічні відходи – хворост і хмиз), які також є цінним ресурсом. Отже існує нагальна потреба створення сталої системи виробництва місцевого деревного палива і його використання на наближених до лісових масивів теплогенеруючих об'єктах (мала відстань є комерційно необхідною умовою економії на логістиці). Додатковими резервами ресурсів для розвитку такої сталої системи є також коренева деревина і відходи власних лісопилкок лігоспів, де переробляється в середньому 40% ділової деревини.



## MODERN FORESTRY OF UKRAINE AND THE POSSIBILITIES OF ITS SYNERGISTIC INTERACTION WITH THE ENERGY INDUSTRY

**Kremniev V.**, Head of the laboratory,  
**Timoshchenko A.**, Doctor of Technical Sciences., Leading researcher,  
**Belyaev G.**, PhD, Senior Researcher, **Belyaeva I.**, PhD, Senior Researcher,  
**Zhukov K.**, Chief technologist, **Korbut N.**, Junior Researcher,  
**Stetsuk V.**, Junior Researcher

*Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of  
Sciences of Ukraine, Ukraine*

**Abstract.** The study briefly covers history and practice of the organized growing of the forest planting, that is used in the world more than 300 years, and the state of modern forestry of Ukraine. Current scientific conception about the necessity of maintenance for a landscape, where intensive agricultural activity is conducted, fraction of the territory covered by the forest at the level of 16-18% (that is state of forest-steppe), is expounded. Allocation of forest arrays on territory of Ukraine is characterized as extremely nonuniform (from 44% to  $\ll 1\%$ ). Average quality of these forest planting is low-grade, therefore a country is dependency from an import of commercial timber. A model of conduct a forestry in Ukraine is extensive and transformation of it into intensive for today beside the purpose. It contingently what at an extensive model firewood does not find a complete sale. This wood is a refurbishable commodity by-product and constantly appears at basic silviculture activity on the directed selection of the best trees for a further height by the removal of trees-competitors keeping down them (felling for care of forestry). However in accordance with existent fire-prevention rules firewood is rejected and after it destroyed in forestries, as well as uncommodity wastes of lighter trees (the so-called wastes of cutting area are a brushwood and spraywood), that also are a valuable resource. Consequently there is an urgent necessity of creation of the permanent system of production of local fuelwood and his use on close to the forest arrays heat-generating objects (small distance is commercially the necessary condition of economy on logistic). Additional backlogs of resources for development of such permanent system are also a rootwood and wastes of own sawmills of forestries, where processed on the average 40% of commercial timber.

Робота, що пропонується є черговою у серії, присвяченій організації у межах об'єднаних територіальних громад системи постійної інтеграції і координації державних лісгосподарських підприємств (ДЛГП) з тепло- та електрогенеруючими об'єктами територіально наближеними до них. Ми прагнемо розглянути у стислій формі сучасне лісівництво України з позицій його придатності для

організації сталого системи взаємодії з енергетикою і зокрема привернути увагу до факторів, які об'єктивно утруднюють таку взаємодію [1, 2].

Залучення до паливно-енергетичного комплексу додаткових видів твердого палива, якому притаманний низький вміст шкідливих речовин, що можуть потрапляти у довкілля є виключно актуальною задачею.

***При розробленні концепції до уваги були взяті наступні міркування.***

➤ Екологічні.

По відношенню до глобальної екології деревне паливо є альтернативним і замінює собою паливо на основі викопних вуглеводнів. При цьому світова спільнота домовилась вважати цю заміну такою, що усуває відповідний викид газів, які прискорюють глобальне потепління клімату.

Ця домовленість є обґрунтованою і базується на наступних доказах:

- під час формування деревини (у період зростання дерев) має місце зв'язування атмосферного CO<sub>2</sub> і його видалення із довкілля;
- деревний ресурс, який застосовується у якості основи для виробництва твердого палива виключається із біологічної деградації чи знищення спалюванням у лісгоспах, тобто із процесів, які призводять до емісії CO<sub>2</sub> у атмосферу.

Таким чином, вплив застосування деревного палива замість палива виробленого із викопних вуглеводнів на глобальну екологію обґрунтовано визнається позитивним.

Щодо локальної (місцевої) екології, то деревне паливо дещо програє лише природному газу, а по відношенню до палив на основі інших викопних вуглеводнів, негативний вплив на навколишнє повітря є значно нижчим.

Крім того, деревне паливо має низький вміст сірки і є вельми привабливим із огляду на екологічні наслідки його використання за призначенням.

➤ Виробництво деревного палива не тільки не повинно перешкоджати лісорослинницькій діяльності, а навпаки, мусить сприяти поліпшенню її фінансування завдяки залученню до комерційно-господарчого обороту ресурсів, які на сьогодні належать до категорії відходів і підлягають знищенню у лісгоспах відповідно до існуючих правил протипожежної безпеки при веденні лісового господарства.

➤ Наша увага при дослідженнях і розробках, у першу чергу, спрямована саме на ресурси, які не використовуються через те, що останнім часом багатократно збільшився попит населення, яке проживає у індивідуальних домогосподарствах, а, також, з боку об'єктів бюджетної сфери (школи, лікарні, будинки пристарілих, клуби, санаторії, дитячі садки тощо) на дров'яну деревину. Це пояснюється багаторазовим збільшенням ціни на природний газ. Слід очікувати подальше зростання попиту на дрова.

Цей прогноз базується на тому, що на сьогодні користувачі ще не встигли відновити опалення, яке працює на деревному паливі. Всі вони нещодавно активно відмовлялись від використання деревного палива внаслідок газифікації домогосподарств та вищезгаданих об'єктів бюджетної сфери.

На наш погляд, у першу чергу слід задовольняти попит населення. Можна надійно прогнозувати його зростання на найближчі роки. Лісорослинницькі відходи непридатні для цієї групи користувачів.

➤ Згадані лісорослинницькі відходи представлені тонкоміром (хворост і хмиз) та деревиною пнів та коренів. На наш погляд виробництво деревного палива для об'єктів енергетики територіально наближених до лісгоспів слід базувати саме на відходах. В першу чергу доцільно використовувати тонкомір, а деревину пнів та коренів вважати резервом (через збільшення витрат на переробку в порівнянні з тонкоміром).

➤ При виконанні робіт прийнято для застосування патент на корисну модель № 48790 «Спосіб забезпечення деревним паливом об'єктів теплопостачання, оснащених твердопаливним теплогенеруючим устаткуванням з ручною та механічною системою подачі твердого палива» [3], який зокрема передбачає використання також пнів і коренів.

### ***Стислі відомості з історії лісівництва України.***

Лісові ресурси служать основою економічної системи ведення лісового господарства, а обсяги їх використання встановлюються такі, що забезпечують безперервність виконання лісами еколого-економічних функцій (захисних, санітарно-гігієнічних, оздоровчих, ресурсних).

Українські землі історично належали до складу різних держав, тому склалися значні регіональні відмінності в ході становлення правового регулювання використання лісів і відповідно ведення лісового господарства, що призвело до знищення (втрати) лісів.

Наслідками знищення лісів стали:

- активізація ерозійних процесів, що спричинило безповоротну втрату значної частини українських чорноземів та родючих ґрунтів;
- зміління великих та пересихання багатьох малих річок;
- масова поява рухомих пісків, пилових бур, засух та інших негативних природних явищ, і як наслідок голодних років у степових і лісостепових регіонах тощо.

Усвідомивши, що лісовий потенціал країни підірвано і потребує відновлення, було створено у 1966 році Міністерство лісового господарства України, основним завданням якого було відновлення лісів, розведення їх на непридатних для сільського господарства землях, забезпечення невиснажливого, науково обґрунтованого лісокористування.

Півстоліття планового професійного, відносно стабільного ведення лісового господарства дало позитивні результати. З 1966 року на 1,8 млн. га збільшилася загальна площа вкритих лісовою рослинністю земель, на 1,4 млрд. м<sup>3</sup> зріс загальний запас деревини, здебільшого за рахунок цінних порід. Закріплено практично всі сипучі піски, створено на значних площах полежахисні лісові смуги та протиерозійні насадження на ярах.

Діяльність Держлісагентства України та його підвідомчих підприємств сьогодні спрямована на збереження лісів, нарощування їх ресурсного потенціалу, посилення державної лісової служби, недопущення розвитку процесів споживацького ставлення до лісів.

#### ***Загальна характеристика сучасного стану лісового господарства України.***

Усереднена доля лісової території України досить значна, але вкрай нерівномірна. Найвні області, де доля лісовкритої території досягає 44%, а є степові території, де доля лісовкритої території значно нижче за 1%.

Сучасний науковий погляд твердить, що у регіонах інтенсивної аграрної діяльності середня доля лісовкритої території повинна складати 16 ÷ 18%. Це необхідно для забезпечення так званої лісомеліоративної функції лісових насаджень. Тобто, сучасна аграрна наука твердить, що для забезпечення сталого інтенсивного неризикованого землеробства слід забезпечити і підтримувати ландшафт у вигляді лісостепу. Це вважається необхідним з огляду на підтримання водного режиму території, недопущення пилових бур та інших ерозійних процесів небезпечних для родючих ґрунтів.

Середня якість лісів України вважається відносно низькою і Україна є імпортозалежною країною щодо ділової деревини. Тобто, при невиснажливому добуванні, одержання прямих круглих стовбурів (так

званих «хлистів») придатних для виробництва якісних дощок та брусів довжиною  $\geq 6$  м є недостатнім для потреб країни (особливо це стосується цінних порід деревини).

Отже, однією із провідних задач, які вирішує лісівництво є покращення видового складу та якості лісових насаджень.

***Основна діяльність лісового господарства і утворення ресурсоцінних неліквідних відходів – потенційної паливної сировини.***

Основним видом догляду за лісом, що вирощується, є, так звані, рубання догляду. Вони полягають у періодичній вирубці частки дерев та проводяться з моменту виникнення насадження до рубання головного користування – від 40 до 100 років в залежності від умов росту. Рубання головного користування на відповідній ділянці є суцільним.

Рубання догляду є основним методом цілеспрямованого відбору найкращих дерев для подальшого росту. Ці роботи проводяться у кожному лігоспі у відповідності до затвердженого проекту лісорослинницької діяльності, що розробляється для кожного лігоспу Головним проектним інститутом на десятилітній період. Такий проект готується у чотирьох примірниках: по одному – у лігоспі, обласному управлінні лісового господарства, Держкомлігоспу України і у проектному інституті.

Крім планових рубань догляду проводяться вимушені санітарні рубання. Це пов'язано з усуненням наслідків пожеж, ураження шкідниками, хворобами рослин, буреломів, вітровалів, обмерзань.

Необхідні обсяги планових рубань догляду та вимушених планових рубань кожен рік істотно недовиконується. Джерела фінансування лісового господарства України, які існують, покривають не більше 50% потреби. Відсутність належного догляду перешкоджає розвитку лісу, призводить до його захарашеності, підвищенню пожежної небезпеки та істотному зниженню природоохоронних можливостей.

Побічними результатами вирішення основної господарської задачі – вирощування стиглого лісу шляхом рубань догляду, є заготівля ділової деревини, технологічних дров, паливних дров і виникнення відходів: хворосту, хмизу та пнів.

Цілком очевидно, що лісорослинницькій діяльності притаманні об'єктивні протиріччя: об'єктивно обсяги рубань догляду визначаються завданнями лісоводства, а ліквідні продукти, що при цьому виникають, повинні бути реалізовані у відповідності до ринкового попиту. Природно, що співпадіння пропозицій та попиту може бути тільки випадковим. Особливо це відноситься до дров.

Поводження з відходами наступне: хворост і хмиз в певний період року (по протипожежним вимогам) доставляють на відкриті місця (галявини, узлісся і тощо) і спалюють. Ліквідні продукти, що не знайшли збуту, після збереження впродовж деякого часу також вибраковують та спалюють.

Потенційно ліквідні продукти, а саме, технологічні і паливні дрова, що не знайшли своєчасного попиту – псуються, після чого вони вибраковуються та знищуються як і хмиз тому, що створюють пожежну небезпеку і потребують значних витрат на організацію збереження з дотриманням правил протипожежної безпеки. Щорічне спалювання лісових ресурсів в лісгоспах є вимушеним, але закономірним при існуючій організації справи.

Крім спалювання відходів існує і дозволений альтернативний метод їх пожежобезпечного усунення, а саме їх подрібнення на тріску, яку розподіляють по площі лісових насаджень для подальшого біологічного розкладання.

Цей метод не потребує рідкого палива, яке витрачається при знищенні тонкоміру шляхом спалювання. Такий метод позбавлення від відходів порівняно мало розповсюджений через певний негативний вплив розпорошення тріски на функціонування біоценозу лісової підстилки, для якої тріска є нехарактерною складовою. Втім, для перспектив енергетичного використання відходів тонкоміру важливим є наявність у лісгоспах досвіду їх подрібнення на тріску, яка, на наш погляд, є найбільш раціональним напівфабрикатом для подальшого паливного використання.

При відновленні насаджень після суцільної вирубки на ділянку висаджують саджанці у кількості 8-10 тис. шт. на га. Оптимальна густина насаджень стиглого лісу, сформованого лісовим господарством в результаті багаторічної лісорослинницької діяльності, залежить від району зростання, складу насаджень і складає від 300 до 500 дерев на 1 га. Таким чином, за період вирощування лісу до його передачі у головне користування у середньому підлягає вирубці більше ніж 90% дерев без прямого зв'язку з попитом на продукти, що при цьому виникають.

Альтернативою висаджуванню саджанців при відновленні лісу на ділянці після суцільного рубання є збереження при рубанні, так званих, дерев-«обсеменителів». Це високоякісні дерева різних порід, бажаних для складу майбутнього деревостану.

При такому методі відновлення лісу подальший відбір також проводиться за допомогою рубань догляду, а майбутня кількість дерев при досягненні стану стиглого лісу не відрізняється від методу відновлення шляхом висаджування саджанців.

Водночас, деревина може бути основою високоякісного палива для комунальної теплоенергетики, а за умов безпосередньої близькості цих об'єктів до лісу і основою високоекономічного теплопостачання за рахунок скорочення витрат на транспортування.

Отже, при забезпеченні додаткових джерел фінансування догляду за лісом виникає і додатковий відновлюваний паливний ресурс.

За часів каденції Президента України В. Ющенко сталася величезна пожежа у лісах Херсонської області, які закріплюють рухливі піски найбільшої на території Європи пустелі. Ці ліси були закладені ще до революції 1917 р. і вважаються значним досягненням вітчизняного лісівництва.

Президент В. Ющенко особисто взяв участь у гасінні цієї пожежі. Після цього він ініціював розроблення й введення спеціального лісового кодексу України, який істотно посилив законодавчий захист лісових ресурсів і лісівництва, як такого. Наприклад, на сьогодні будь-яка зміна територіальних, меж кожного лісгосподарського підприємства потребує спеціальної постанови Кабінету Міністрів.

Середня площа території, яку займає кожне лісгосподарське підприємство становить 30 тис.га.

У подальшому ми будемо розглядати кожне ДЛГП, як потенційного сталого постачальника деревних паливно-енергетичних ресурсів. Загальна кількість державних лісгоспів України – 290.

Слід відмітити, що на сьогодні у лісівництві України прийнятий, так званий, екстенсивний метод планування (проектування) і проведення рубань догляду за лісом. Цей метод у порівнянні з інтенсивним застосовує істотно більші проміжки часу між проведенням рубань догляду; це призводить до збільшення часу необхідного для формування на ділянці після суцільного рубання нового стиглого лісу. Це потребує пояснення. Справа у тому, що ліс це висококонкурентна взаємопов'язана спільнота дерев; вони заважають одне одному. Наприклад, поодиноке дерево росте на галявині у декілька разів швидше, ніж такі ж дерева поряд у лісі.

Організоване вирощування лісів практикується у світі понад 300 останніх років. На сьогодні в Україні переважна більшість лісів є штучно посадженими. Наприклад, Святошинський ліс на околиці м. Київ був закладений близько 200 років тому.

Багаторічним світовим практичним досвідом доведено, що ведення невиснажливого лісокористування можливе, як за екстенсивною, так і за інтенсивною моделлю. Невиснажливе лісокористування – таке, що забезпечує збереження чи зростання лісовкритої площі з одночасним поліпшенням якості деревостанів.

Наприклад, у Норвегії, де застосовується виключно інтенсивна модель лісівництва й проводиться широкомасштабна заготівля деревини, площа лісовкритої території істотно зросла у порівнянні з 1784 роком, коли було розпочато спостереження, і продовжує зростати. Широкомасштабний експеримент, щодо порівняння наслідків лісівництва за обома моделями був проведений у лісгоспах Псковської області (рф). Він підтвердив, що при інтенсивній моделі заготівля деревини зростає у декілька разів.

Отже, на сьогодні серед фахівців-лісоводів вважається доведеним, що обидві моделі (інтенсивна і екстенсивна) мають право на застосування, як такі, що взмозі забезпечувати стале ведення лісового господарства.

Вибір між моделями залежить від потреби у побічних товарних продуктах, які утворюються при рубаннях догляду за лісом. На сьогодні явної потреби у переведенні лісівництва України з екстенсивної моделі на інтенсивну немає. Але при потребі таке переведення цілком можливе і являє собою значний резерв. На сьогодні таке переведення нерациональне тому, що значна частина деревини, що добувається у лісгоспах не знаходить використання і вимушено (відповідно до протипожежних вимог) знищується у лісгоспах.

Наведемо конкретний приклад. При підготовці проекту переведення системи комунального теплопостачання м. Олешки Херсонської області з природного газу на деревне паливо ми мали змогу детально ознайомитись із веденням лісового господарства у лісгоспі Цюрупінський, що розташований поблизу міста [4]. Лісові насадження лісгоспу виконували дуже важливу задачу закріплення рухливих пісків найбільшої у минулому пустелі на території Європи. Насадження були закладені до революції 1917 року. У колективі лісгоспу працювали досвідчені висококваліфіковані спеціалісти-лісоводи. Лісгосп хронічно потерпав від недофінансування, що призводило до недовиконання об'ємів рубань догляду, які були заплановані відповідно до затвердженого на 10 років плану лісорослинницької діяльності і спрямованого на покращення умов росту кращих, перспективних дерев шляхом вирубування дерев-конкурентів, які заважають їх зростанню.

Загалом лісгосп щорічно вирубував через недофінансування 31000 м<sup>3</sup> при проектному завданні 36000 м<sup>3</sup>. При цьому 13000 м<sup>3</sup> знищувались шляхом спалювання. Лісгосп був конче зацікавлений у постачанні деревного палива на постійній основі за довготривалими взаємовідповідальними господарчими договорами. Це мало значно покращити фінансування лісорослинницької діяльності.



Ситуація, наведена у прикладі, є досить характерною, про що свідчать результати листування ІТТФ НАН України, яке проводилось протягом декількох років з лісгоспами, розташованими у всіх областях України на добровільній основі. В результаті 166 лісгоспів висловили зацікавленість у сталій системній взаємодії з об'єктами енергетики наближеними до них територіально.

Далі стисло розглянемо утворення потенційно паливно-енергетичних ресурсів, яке має місце при виконанні лісгоспом своєї основної лісорослинницької діяльності [5, 6].

При проведенні будь-якого рубання відокремлюються такі побічні товарні продукти.

**Ділова деревина** – так званий «круглий ліс».

Це прямолінійні, близькі до циліндричної форми фрагменти стовбурів діаметром  $\geq 0,1$  м; при довжині  $\geq 4$  м – так звані, «хлисти», а при довжині  $\geq 1,5$  м – так звані, «баланси».

Ділова деревина вважається придатною до лісопилення з виробництвом дощок, брусів та інших виробів (вагонки, тощо).

Цінність «круглого лісу» залежить від ботанічного сорту деревини та наявності сучків ( цінність стовбурів без сучків вища).

**Дров'яна деревина** – всі фрагменти дерев, які не відповідають вимогам до ділової деревини (геометричним, щодо відсутності ураження хворобами та шкідниками, вадами розвитку тощо), але діаметр дров'яної деревини повинен перевищувати 0,03 м.

Дров'яна деревина у свою чергу поділяється на, так звані, «технологічні дрова» і паливні дрова. У категорію технологічних відбираються ресурси кращої якості, відповідно їх ціни встановлюються вищими.

*Решта – нетоварні лісосічні відходи.*

Верхівки дерев і гілки діаметром  $\leq 0,03$  м, так звані, хворост і хмиз, які називають тонкоміром. Згідно існуючим протипожежним правилам тонкомір підлягає знищенню. Пні і коренева система залишається для природно-біологічної деградації. Цей вид відходів є вельми значним резервом деревини (до 35%), який за необхідності може бути задіяний.

***Подальше поводження з одержаними товарними продуктами наступне.***

«Круглий ліс» спрямовують на реалізацію у деревообробну промисловість (внутрішню чи на експорт). Значна його частина (в середньому 40%) переробляється на продукти лісопилення у лісгоспах.

Слід відмітити, що неокорений «круглий ліс» досить швидко, особливо у теплий період року, може бути уражений грибковими

культурами, що спричиняє значне зниження його якості. Тому «круглий ліс» намагаються якомога скоріше спрямувати на переробку (власну чи назовні), а за необхідності більш тривалого зберігання – окорюють, що значно зменшує ризик грибкового ураження.

«Круглий ліс» призначений для власної переробки розпилюють на дошки чи бруси, вагонку тощо і розкладають на дистанцюючі підкладки (так звані шпації) штабелі для подальшого організованого «тіньового» сушіння під впливом факторів довкілля. Застосовується також теплове сушіння у спеціалізованих теплотехнологічних сушарках.

Без заходів із сушіння вологі пиломатеріали також можуть бути уражені грибками.

При власному лісопилянні в лісгоспах утворюються ресурсоцінні вторинні відходи потенційно придатні до паливного використання. До них належать такі різновиди.

*Тверді:*

- «горбилі» (відходи утворені при обрізанні «хлиста» наближеного до циліндра, до прямої призми; у перерізі «горбилі» мають форму сегменту;
- кромки дощок (утворюються при переробці необрізних дощок у обрізні (такі, що мають у перерізі форму прямокутника).

*М'які:*

- тирса (відходи, що утворюються при пилянні);
- стружка (відходи, що утворюються при обстругуванні дощок та брусів);
- кора (утворюється при окоренні «круглого лісу»).

**Поводження з дров'яною деревиною.**

Дров'яна деревина (як технологічна так і паливна) досить швидко піддається ураженню грибками (особливо у теплий період року).

У разі відчутного грибкового пошкодження технологічну дров'яну деревину переводять у категорію паливної (і відповідно знижують у ціні), а уражену паливну дров'яну деревину забраковують, знімають з балансу і передають на знищення аналогічно лісосічним відходам тонкоміру.

Таким чином, лісгосподарські підприємства щорічно утворюють значні ресурси (як товарні, так і у вигляді ресурсоцінних відходів), які мають паливний потенціал, що на сьогодні не знаходить організованого сталого використання через відсутність системи взаємодії з енергетикою (особливо місцевою). На наш погляд організатором такої взаємодії може виступати Об'єднана територіальна

групада (ОТГ) як інституція, що дійсно зацікавлена у сталому розвитку території.

### **Використані інформаційні джерела:**

1. Кремньов В. О., Тимошенко А. В., Беляєв Г. В., Беляєва І. П., Жуков К. Л., Корбут Н. С., Стецюк В. Г. Системна інтенсифікація тепло- і біотехнологічних процесів при утилізації ресурсоцінних відходів біологічного походження на території об'єднаних територіальних громад/ Подолання екологічних ризиків та загроз для довкілля в умовах надзвичайних ситуацій – 2022 : кол. моногр. Полтава – Львів: НУПП імені Ю. Кондратюка, НУ «Львівська політехніка». Дніпро : Середняк Т. К., 2022, С. 326–339. <https://nupp.edu.ua/page/opis-kolektivnoi-monografii.html>

2. Кремньов В. О., Беляєв Г. В., Жуков К. Л., Корбут Н. С., Стецюк В. Г., Тимошенко А. В. Лісівництво і енергетика – нова зустріч після тимчасової розлуки. Проблеми екології та експлуатації об'єктів енергетики: Збірник праць / Інститут промислової екології. К. : ІВЦ АЛКОН НАН України, 2022. С. 181–184.

3. Спосіб забезпечення деревним паливом об'єктів теплопостачання, оснащених твердопаливним теплогенеруючим устаткуванням з ручною та механічною системою подачі твердого палива: патент 48790 Україна: МПК (2009) F24D 15/00 A01G 23/00. № u201001998; заявл. 23.02.2010; опубл. 25.03.2010, бюл. № 6, 6 с.

4. Кремньов В. О., Беляєв Г. В., Жуков К. Л., Корбут Н. С., Стецюк В. Г., Тимошенко А. В. Досвід розробки проектів переведення енергогенеруючих об'єктів з природного газу на деревне паливо із місцевих відновлюваних ресурсів. Проблеми екології та експлуатації об'єктів енергетики: Зб. праць / Інститут промислової екології. К. : ІВЦ АЛКОН НАН України, 2022. С. 177–180.

5. Довідник лісника : навч. посіб. / Анцишкін А.П. та ін. Москва : Лісова промисловість, 1964. 674 с.

6. Kremnov V., Belyaev G., Zhukov K., Korbut N., Stetsuk V., Shpilberg L. Fire safe storage and preliminary dehydration of wood waste with diameter < 30 mm from final felling and forest care felling, as a semi-finished product for the production of solid fuel. / Book of abstracts VI International Scientific-Technical Conference «Actual problems of renewable energy, construction and environmental engineering» 24–27 November 2022, Kielce. P. 69–71. <https://jntes.tu.kielce.pl/wp-content/uploads/2022/12/KONFERENCJA-20221.pdf>

УДК 502.171:556]:628.34

## **ЗАСТОСУВАННЯ ВАРІАБЕЛЬНОСТІ ФОСФОНАТНОЇ СТАБІЛІЗАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ ОХОЛОДЖУЮЧОЇ ВОДИ ДЛЯ МІНІМІЗАЦІЇ СКИДІВ У ВОДНІ ОБ'ЄКТИ**

**Кузнєцов П. М.**, аспірант, **Ярошук О. В.**, аспірант,  
**Бєдункова О. О.**, доктор біол. наук, професор

*Національний університет водного господарства та  
природокористування, Рівне, Україна*

**Анотація.** Обробка фосфонатами, зокрема оксиетилідендифосфоновою кислотою (ОЕДФ), широко поширена для протинакипної стабілізаційної обробки охолоджуючої води оборотних систем охолодження (ОСО) електростанцій. Для відкритих ОСО скид зворотних вод здійснюється у водні об'єкти, ОЕДФ є специфічним компонентом, у природних водах не міститься та є показником техногенного забруднення. Тому для зниження антропогенного впливу є актуальною мінімізація її скидів. Здебільшого, за проектними рішеннями водопідготовки електростанцій, реалізується стале дозування реагентів. Представлені результати змін проектного дозування ОЕДФ з впровадження критерію варіабельності. Оцінено вплив технологічних змін на вміст ОЕДФ у зворотних водах ОСО та вплив скиду вод у водний об'єкт. Завпроваджений режим використання реагенту ОЕДФ за критерієм варіабельності, що визначається значеннями жорсткості карбонатної охолоджуючої води ОСО. Варіативність дозування ОЕДФ може обумовлювати спорадичне, як збільшення, так і зменшення величин дози, в порівнянні з проектною величиною дозування, що обумовлюється підтриманням безнакипного водно-хімічного режиму ОСО. Данні дослідження впроваджені для Рівненської атомної електростанції та можуть бути застосовані для інших електростанцій із ОСО.

## **APPLICATION OF THE VARIABILITY OF PHOSPHATE STABILIZATION TREATMENT OF COOLING WATER TO MINIMIZE DISCHARGES TO WATER BODIES**

**Kuznietsov P. M.**, postgraduate, **Yaroshuk O. V.**, postgraduate,  
**Biedunkova O. O.**, doctor of biological science, professor

*National University of Water and Environmental Engineering, Rivne,  
Ukraine*

**Abstract.** Treatment with phosphonates, in particul oxyethylidene diphosphonic acid (OEDF), is widely used for anti-scale stabilization treatment of

cooling water of circulation system cooling (CSC) power plants. For open CSC, return water discharge is carried out into water bodies, OEDF is a specific component, and is not contained in natural waters, and is an indicator of man-made pollution, therefore, to reduce anthropogenic impact, minimizing its discharges is relevant. In most cases, constant dosing of reagents is implemented according to project solutions for water treatment of power plants. The results of changes in the project dosage of OEDF based on the implementation of the variability criterion are presented, the impact of technological changes on the content of OEDF in the return waters of CSC and the impact of water discharge into the water body are evaluated. The mode of using the OEDF reagent has been introduced according to the criterion of variability, which is determined by the hardness values of the carbonated cooling water CSC. Variability of OEDF dosage can cause sporadic, both increase and decrease of dosage values, in comparison with the design dosage amount, which was caused by maintenance of scale-free water-chemical regime of CSC. These studies are implemented for the Rivne NPP and can be applied to other power plants with CSC.

На електростанціях вода широко використовується в багатьох технологічних процесах: пароводяний цикл, охолоджувальні установки, у допоміжному обладнанні або системах охолодження, які взаємодіють з конденсаторами. Кожен з цих процесів потребує постійного доступу до джерела води з відповідними фізичними та хімічними властивостями, для підтримання безперервності виробництва електроенергії та тепла [1].

Значним потенціалом взаємодії з водою характеризуються оборотні системи охолодження (ОСО) електростанцій, які призначені для відведення тепла в довкілля [2]. ОСО складаються з баштових градирень, циркуляційних водяних насосів і теплообмінників споживачів [3]. При цьому, загальна продуктивність систем значною мірою залежить від особливостей технології градирень [4]. У градирнях тепло води віддається через випаровування, компоненти охолоджуваної води концентруються, а частина води видаляється з продувкою зворотних вод (рис. 1).

Основними проблемами експлуатації ОСО є корозія, утворення накипу [5] та біобростання [6]. Ці проблеми проявляються в більшому чи меншому ступені, залежно від якості вхідної води, попередньої водопідготовки та стабілізаційної обробки води. Попередня водопідготовка охолоджуючої води може включати седиментацію, освітлення води, пом'якшення, стабілізаційну обробку інгібіторами накипу та мінеральними кислотами [7]. Зазвичай, використовують фосфонатну обробку (фосфати, поліфосфати, органофосфати) та підкислення мінеральними кислотами (здебільшого сірчану кислоту) [8].

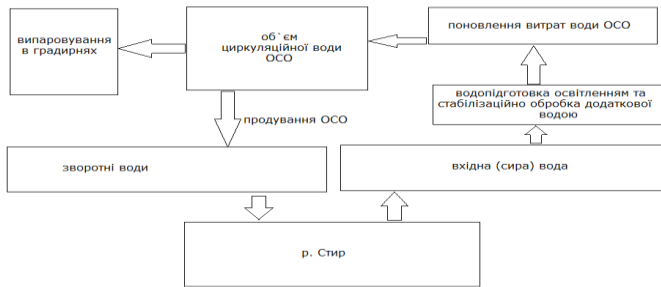


Рисунок 1 – Баланс вод ОСО на прикладі реалізації у ВП Рівненська АЕС (Джерело: розроблено авторами)

Суть методу застосування фосфатної стабілізаційної обробки полягає в дозуванні фосфатних сполук, які пригнічують кристалізацію карбонату кальцію і стабілізують перенасичені розчини карбонату кальцію [9]. Зокрема, для стабілізації охолоджуючої води використовують неорганічні поліфосфати (гексаметафосфат натрію, триполіфосфат натрію) й органічні фосфати, такі як оксіетилідендіфосфонова кислота (ОЕДФ). Водопідготовка ОЕДФ дозволяє підтримувати максимально допустиму карбонатну жорсткість охолоджуючої води на рівні до  $7,5 \text{ мг-екв/дм}^3$  [10]. Однак, наявність біогенного елементу фосфору при застосуванні фосфоровмісних реагентів для водопідготовки сприяють росту біологічного забруднення з утворенням біологічних перешкод в експлуатації обладнання ОСО [11].

Так, під час роботи ОСО неорганічний накип призводить до зниження ефективності тепловіддачі системи охолодження та закупорювання труб [12]. ОЕДФ, додають до ОСО для мінімізації утворення накипу [13]. Органічний фосфор здатен призвести до високого рівня фосфору у зворотній воді ОСО, що скидається у водний об'єкт і його концентрація може досягати  $1-15 \text{ мг/дм}^3$  [11]. Крім органічного фосфору, вміст неорганічного фосфору вище  $1 \text{ мг/дм}^3$  може призвести до евтрофікації водного середовища, як техноекосистеми ОСО так і водного об'єкту, куди скидаються зворотні води ОСО [14].

Поява біологічних перешкод (обростання) в ОСО, а також вимоги щодо необхідності забезпечення систем охолодження значною кількістю води та дотримання екологічних норм для зворотних вод, змушують операторів електростанцій розробляти та запроваджувати оптимальні методи використання хімічних реагентів [8-10]. Іншими словами, необхідно ефективно зменшити вміст фосфору, що дозується

в охолоджуючу воду, задля уникнення його негативного впливу на навколишнє середовище. Оптимізація дозування та запобігання появи необґрунтованого надлишку реагенту дозволяє зменшити вміст органічного фосфору в охолоджуючій та скидній воді ОСО.

Метою наших досліджень була оптимізація використання ОЕДФ для стабілізаційної обробки води ОСО з впровадженням критерію варіабельності дозування за визначеними превалюючими технологічними факторами ОСО, що формують вміст ОЕДФ в охолоджуючій та зворотній водах та скиду ОЕДФ у водні об'єкти. Представлений матеріал є результатом впровадження оптимізації методу використання ОЕДФ, що дозволяє мінімізувати її використання тим самим зменшуючи вплив на навколишнє середовище зі скидними водами електростанцій. Дослідження проводились для технологічних і зворотних вод ОСО ВП Рівненська АЕС, що є найбільшим в області промисловим споживачем води з природних джерел. Технічне водопостачання ВП РАЕС для покриття втрат в ОСО здійснюється з р. Стир на насосній станції додаткової води. Забір води з р. Стир здійснюється з витратами від 4000 до 8000 м<sup>3</sup>/год, допустимий об'єм скиду охолоджуючої води в річку становить 2483,75 м<sup>3</sup>/год, фактичний 1419,72 м<sup>3</sup>/год. Схема водозабірною басейну р. Стир для ВП РАЕС наведена на рис. 2 [15].

Воду ріки Стир можна віднести до гідрокарбонатного класу, кальцієвої групи, другого типу [16]. Водопідготовка вхідної води ВП РАЕС включає освітлення шляхом вапнування та стабілізаційну обробку сірчаною та ОЕДФ кислотами. Відповідно технологічної схеми ОСО ВП РАЕС (рис. 3), скид води до р. Стир здійснюється через один випуск, стічні води класифікуються як нормативно-чисті (без очистки) [17]. У системах ОСО основною причиною забруднення конденсаторів є утворення твердих мінеральних осадів (накипу). Накипоутворення пов'язане з тим, що підвищення мінералізації охолоджуючої води порівняно з мінералізацією додаткової вхідної води, внаслідок її випаровування, призводить до розпаду розчинених у воді бікарбонатів кальцію, які перетворюються в осад карбонату кальцію.

Для запобігання утворенню накипу в ОСО використовуються такі основні методи і їх комбінації [18]:

- продування циркулюючої системи, що обмежує ступінь випаровування в ній води і, відповідно, максимальну карбонатну жорсткість оборотної води;
- зниження жорсткості підживлюючої води і нейтралізація вільної лужності шляхом дозування сірчаної кислоти;

- проведення стабілізаційної антинакипної обробки (зокрема фосфонатами).

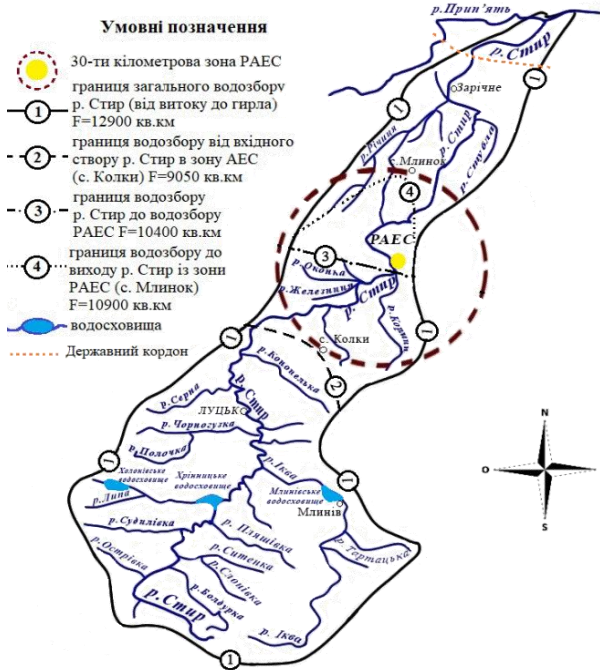


Рисунок 2 – Схематичний план водозабірної басейну р. Стир (Джерело: [15])

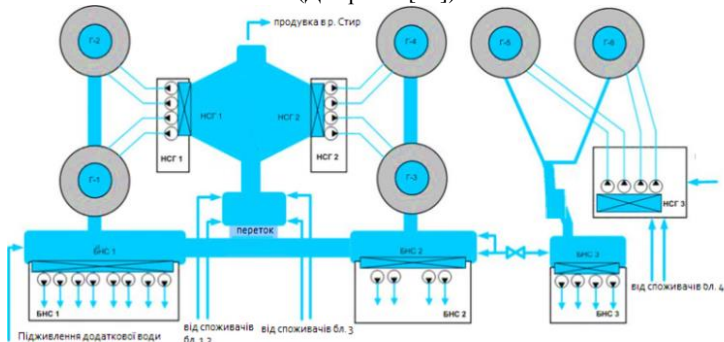
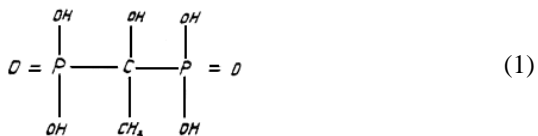


Рисунок 3 – Принципова схема оборотної системи охолодження ВП РАЕС (Джерело: власні дослідження)



ОЕДФ належить до класу дифосфонових кислот з високою комплексоутворюючою здатністю і стійкістю до гідролізу, із хімічною формулою речовини:



ОЕДФ являє собою білий кристалічний порошок, який добре розчиняється у воді, температура плавлення 198-199 °С. Константи дисоціації кислоти:  $pK_1=1,7$ ;  $pK_2=2,47$ ;  $pK_3=7,28$ ;  $pK_4=10,29$ ;  $pK_5=11,13$ . У розчинах, перенасичених карбонатом кальцію, ОЕДФ кислота утворює міцний тетракальцієвий комплекс з іонами  $\text{Ca}^{2+}$  ( $pK=15,99$ ) та сорбується поверхнею раніше сформованих кристалів з утворенням зародків кристалів карбонату кальцію, що перешкоджає їх спрямованому зростанню і агломерації. Відсутність активних центрів кристалізації за рахунок блокування поверхні кристалів забезпечує підтримку розчину в перенасиченому стані без виділення накипу карбонату кальцію. При температурі, характерній для циркулюючих систем охолодження конденсаторів турбін, ОЕДФ кислота не піддається гідролітичному розкладанню і зберігає свої стабілізуючі властивості [19].

Дози ОЕДФ для обробки вхідної води згідно з проектними рішеннями ВП РАЕС передбачають стале дозування з підтриманням концентрації у додатковій охолоджуючій воді на рівні 0,5 мг/дм<sup>3</sup>. На етапі пуско-налагоджуваних робіт водопідготовки ВП РАЕС були встановлені сталі дози для стабілізаційної обробки ОЕДФ, що не враховували фактичні показники якості охолоджуючої води ОСО. З 2019 р. у ВП РАЕС впроваджене варіабельне дозування ОЕДФ (табл. 1).

Таблиця 1 – Дози ОЕДФ для обробки додаткової охолоджуючої води ВП РАЕС

Період року*	Масова концентрація ОЕДФ в додатковій охолоджуючій воді, мг/дм <sup>3</sup>
Холодний період року	не більше 0,5
Теплий період року	0,2-0,3
Міжсезоння	0,3-0,5

\*Примітка: холодний період визначається температурою води менше 10 °С; теплий більше 20 °С; міжсезоння в діапазоні 10-20 °С.

Джерело: власні дослідження.

Процес накопуютворення для води ОСО контролюються за співвідношенням  $\phi$  та  $\psi$ . При перевищенні співвідношенням  $\phi$  та  $\psi$  більше 0,2 відбуваються процеси накопуютворення з утворенням карбонату кальцію [19]. ОЕДФ не проявляє кумулятивних властивостей при надходженні у водойми. Це пов'язано зі здатністю деяких мікроорганізмів розщеплювати молекулу ОЕДФ за допомогою виділених ферментів і споживати фосфор, провокуючи ріст біологічного забруднення в ОСО. Відсутність кумулятивних властивостей ОЕДФ у водоймах дає можливість скидати зворотні води, що містять ОЕДФ в природні водойми, з дотриманням екологічних вимог [20].

Вміст ОЕДФ нормується вимогами до гранично допустимих концентрацій (ГДК) у водоймах рибогосподарського та господарсько-побутового призначення України (табл. 2). Затверджена допустима концентрація (ЗДК) ОЕДФ в скидних водах ВП РАЕС, за умовами дозволу на спеціальне водокористування складає 0,817 мг/дм<sup>3</sup> [23].

Таблиця 2 – Гранично допустимі величини концентрацій (ГДК) ОЕДФ

Гідрохімічний показник	Для водойм рибогосподарського призначення (ГДК <sub>риб.-госп.</sub> ) [21]	Для водойм господарсько-побутового використання [22]
ОЕДФ кислота, мг/дм <sup>3</sup>	0,9	0,6

Джерело: [21, 22].

У ході наших досліджень, вимірювання концентрації ОЕДФ кислоти проводилось фотоколориметричним методом. Аналіз даних хімічного контролю Рівненської АЕС проводили згідно з наведеними у звітах з оцінки факторів нерадіаційного впливу на довкілля Рівненської АЕС згідно з [16]. Режим оптимізації використання ОЕДФ кислоти для водопідготовки ОСО розроблявся та впроваджувався за критеріями варіабельності [17].

Дозу ОЕДФ в додатковій охолоджуючій воді при варіабельному дозуванні визначали за величиною карбонатної жорсткості охолоджуючої води (Жк) та коефіцієнту випаровування ( $\phi$ ) за поліноміальним рівнянням:

$$C = \frac{0.1192 \cdot Жк^2 - 0,8135 \cdot Жк + 1,57}{\phi}, \text{ мг/дм}^3 \quad (2)$$

Фактичні кількості та витрачені кількості на дозування ОЕДФ для стабілізаційної обробки ОСО мали певні відмінності. Так, після

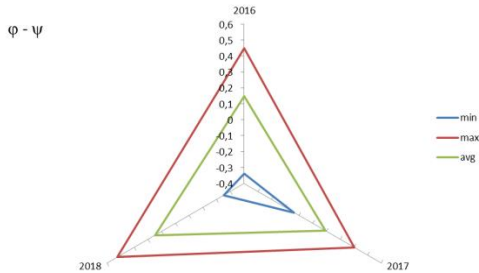
впровадження варіабельного дозування у ВП РАЕС з 2018 р., у 2019 р. спостерігалось значне зниження витрат реагенту. Надалі, у 2020-2021 рр., спостерігалось деяке збільшення середньорічних витрат ОЕДФК, порівняно з 2019 р. Враховуючи модель варіабельності дозування, дози ОЕДФК в системі оборотної додаткової води (СОДВ) для підтримки норм водно-хімічного режиму можуть бути як меншими, так і більшими за фіксовані проєктні значення. Через що, відповідно, може спостерігатись як збільшення витрат ОЕДФ так і їх зменшення. За середньорічними даними, в період впровадженого варіабельного дозування (2019-2021 рр.) спостерігається зменшення використання ОЕДФ для стабілізаційної обробки ОСО ВП РАЕС, порівняно з аналогічними періодами сталого дозування ОЕДФ (2016-2018 рр.) на 4,5 т/рік, при збереженні об'ємів скиду зворотної води (рис. 4).



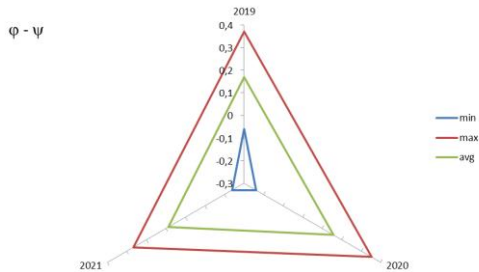
**Рисунок 4 – Середньорічні кількості ОЕДФ, витрачені для стабілізаційної обробки води ОСО ВП РАЕС**  
(Джерело: власні дослідження)

Величина дозування ОЕДФ при варіабельному дозуванні визначається жорсткістю карбонатної охолоджуючої води і залежить від багатьох факторів, таких як якість вихідної води р. Стир, підтримання водно-хімічного режиму та величини продувки ОСО. Значення різниці  $\phi$  та  $\psi$  за періоди сталого та варіабельного дозування (2016-2021 рр.), що характеризують процеси накипоутворення в ОСО ВП РАЕС практично не змінюються та співставні (рис. 5, 6).

Періоди відсутності та часткової відсутності стабілізаційної обробки додаткової води ОЕДФ не вплинули на інтенсифікацію процесів утворення накипу в ОСО, отже використання ОЕДФ є доцільним із застосуванням рівняння 2.



**Рисунок 5 – Середні, мінімальні, максимальні річні значення величин різниці  $\phi$  та  $\psi$  в водах ОСО ВП РАЕС за 2016-2018 (період сталого дозування ОЕДФК)**  
(Джерело: власні дослідження)



**Рисунок 6 – Середні, мінімальні, максимальні річні значення величин різниці  $\phi$  та  $\psi$  в водах ОСО ВП РАЕС за 2019-2021 (період варіабельного дозування ОЕДФК)** (Джерело: власні дослідження)

За період досліджень спостерігалась динаміка змін вмісту ОЕДФ в додатковій охолоджуючій воді ОСО та воді р. Стир після скиду ВП РАЕС (табл. 3).

ОЕДФ є специфічним компонентом, що не містися в природних поверхневих водах та є показником антропогенного забруднення. Тому, вміст ОЕДФ після скиду ВП РАЕС не повинен перевищувати гранично допустиму концентрацію у водоймах рибогосподарського призначення ( $0,9 \text{ мг/дм}^3$ ). Динаміка змін концентрації ОЕДФК у воді р. Стир після водозбору ВП РАЕС за період досліджень свідчить про відсутність перевищення встановленого нормативу (рис.7).

Таблиця 3 – Середньорічні данні вмісту ОЕДФ в додатковій охолоджуючій воді ОСО та води р. Стир після скиду ВП РАЕС

Рік	Статистичний параметр*	Масова концентрація ОЕДФ, мг/дм <sup>3</sup>	
		Додаткова охолоджуюча вода	Вода р. Стир після скиду
При сталому дозуванні ОЕДФ			
2016	M ± SE	0,41 ± 0,07	0,36 ± 0,08
	Min–Max	0,28–0,50	0,22–0,48
	CV	17,5	22,0
2017	M ± SE	0,42 ± 0,08	0,37 ± 0,07
	Min–Max	0,27–0,50	0,26–0,46
	CV	19,6	18,6
2018	M ± SE	0,40 ± 0,07	0,35 ± 0,08
	Min–Max	0,28–0,50	0,25–0,46
	CV	21,2	21,9
При дозуванні ОЕДФ за критерієм варіабельності			
2019	M ± SE	0,19 ± 0,04	0,07 ± 0,01
	Min–Max	0,12–0,25	0,05–0,09
	CV	19,5	18,5
2020	M ± SE	0,22 ± 0,09	0,12 ± 0,04
	Min–Max	0,26–0,46	0,08–0,18
	CV	38,5	29,1
2021	M ± SE	0,23 ± 0,08	0,13 ± 0,05
	Min–Max	0,11–0,35	0,08–0,24
	CV	33,3	40,2

*\*Примітка: M – середньоарифметичне значення результатів; ± SE – стандартна похибка відхилення; CV – коефіцієнт варіації.*

Джерело: власні дослідження.

Вміст ОЕДФ у поверхневих водах р. Стир в середньому за 2016-2019 рр. складав 0,36 мг/дм<sup>3</sup>. Впродовж 2018-2021 рр., тобто за період запровадженого варіабельного дозування, спостерігалось зниження концентрації ОЕДФ в середньому до 0,108 мг/дм<sup>3</sup>.

Режим стабілізаційної обробки ОЕДФ дозволяє ефективно зменшити процеси накипоутворення в системах охолодження. Оптимізація використання ОЕДФ для стабілізаційної обробки охолоджуючої води ОСО дозволяє мінімізувати скиди забруднюючих речовин у водні об'єкти при експлуатації систем охолодження, при дотриманні умов забезпечення водно-хімічного режиму за критеріями інтенсивності утворення накипу.

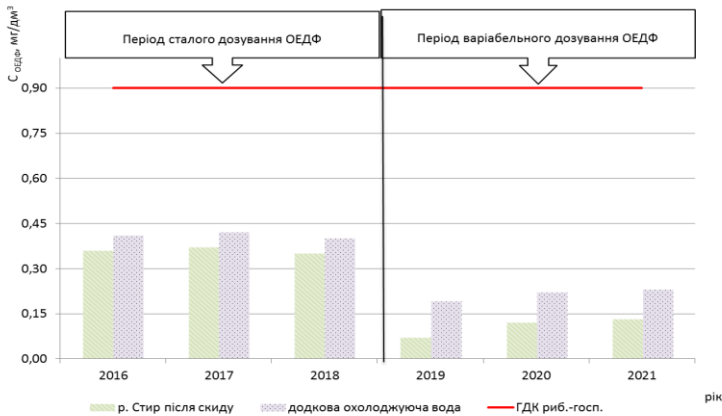


Рисунок 7 – Вміст ОЕДФ в додатковій та зворотній охолоджуючій воді ОСО ВП РАЕС  
(Джерело: власні дослідження)

Таким чином, запроваджений режим використання реагенту ОЕДФ за критерієм варіабельності визначається значеннями жорсткості карбонатної охолоджуючої води ОСО. Варіативність дозування ОЕДФ може мати спорадичне, як збільшення, так і зменшення величин дози, у порівнянні з проєктною та експлуатаційною величиною дозування, що обумовлено підтриманням безнакипного водно-хімічного режиму ОСО. Середнє арифметичне значення зменшення кількості використаної ОЕДФ та скиду забруднюючої речовини ОЕДФК за 2019-2021 рр., порівняно з попереднім періодом 2016-2018 рр., складає 4,5 т/рік. Запроваджений режим варіабельності дозування дозволив знизити вміст ОЕДФ у зворотних скидних водах на 37%, що зменшило надходження забруднюючої речовини до водного об'єкту зі скидними водами.

### Використані інформаційні джерела:

1. Fleischli S. Blog: Message to EPA: Time to Modernize America's Power Plants-Cooling Systems Included : веб-сайт. URL: <https://www.nrdc.org/experts/steve-fleischli/message-epatime-modernize-americas-power-plants-cooling-systems-included> (дата звернення: 10.01.2023).
2. Numerical simulation study on different spray rates of three-area water distribution in wet cooling tower of fossil-fuel power station / Li H. W. et al. *Applied Thermal Engineering*. 2018. Vol. 130. P. 1558–1567. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2017.11.107.
3. Energetic, exergetic and environmental (3E) analyses of different cooling technologies (wet, dry and hybrid) in a CSP thermal power plant / Cutillas C. G. et al.

*Case Studies in Thermal Engineering*. 2021. Vol. 28. P. 101545. DOI: 10.1016/j.csite.2021.101545.

4. El Marazgioui S., El Fadar A. Impact of cooling tower technology on performance and cost-effectiveness of CSP plants. *Energy Conversion and Management*. 2022. Vol. 258. P. 115448. DOI: 10.1016/j.enconman.2022.115448.

5. Proposal for an alternative operative method for determination of polarisation resistance for the quantitative evaluation of corrosion of reinforcing steel in concrete cooling towers / Mitzithra M. E. et al. *Nuclear Engineering and Design*. 2015. Vol. 288. P. 42–55. DOI: 10.1016/j.nucengdes.2015.03.018.

6. Chlorination in power station cooling water systems: Effect on biomass, abundance and physiology of natural phytoplankton communities / Vannoni M. et al. *Aquatic Toxicology*. 2021. Vol. 239. P. 105954. DOI: 10.1016/j.aquatox.2021.105954.

7. Inhibition of calcium carbonate crystal growth by organic additives using the constant composition method in conditions of recirculating cooling circuits / Chhim N. et al. *Journal of Crystal Growth*. 2017. Vol. 472. P. 35–45. DOI: 10.1016/j.jcrysgro.2017.03.004.

8. Assessing the factors affecting the water chemistry parameters in the auxiliary water system of a nuclear power plant / Suganya P. et al. *SN Applied Sciences*. 2020. Vol. 2, no. 11. DOI: 10.1007/s42452-020-03693-z.

9. Searching for a universal scale inhibitor: A multi-scale approach towards inhibitor efficiency / Spinthaki A. et al. *Geothermics*. 2021. Vol. 89. P. 101954. DOI: 10.1016/j.geothermics.2020.101954.

10. Методические указания по предотвращению образования минеральных и органических отложений в конденсаторах турбины и их очистке, РД 34.22.501-87. «Южтехэнерго», 1987. 42 с.

11. Кузнецов П.М., Бедункова О.О. Порівняльний гідробіологічний моніторинг вод систем технічного водопостачання атомних електростанцій. *Водні біоресурси та аквакультура*. 2022. №2. С. 180–190. DOI: 10.32851/wba.2022.2.13.

12. Sweity A., Ronen Z., Herzberg M. Induced organic fouling with antiscalants in seawater desalination. *Desalination*. 2014. Vol. 352. P. 158–165. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2014.08.018>.

13. Removal of phosphonates from synthetic and industrial wastewater with reusable magnetic adsorbent particles / E. Rott et al. *Water Research*. 2018. Vol. 145. P. 608–617. DOI: 10.1016/j.watres.2018.08.067.

14. Preparation and application of novel rice husk biochar–calcite composites for phosphate removal from aqueous medium / S. Ramola et al. *Journal of Cleaner Production*. 2021. Vol. 299. P. 126802. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.126802.

15. Звіт проведення оцінки впливу на довкілля майданчика ВП Рівненська АЕС 2018/ Київ/ 1605 с. URL: [https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/themen/energie/kernenergie/verfahren/ukraine/uvp-rivne/eia-npprivne12\\_ua.pdf](https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/themen/energie/kernenergie/verfahren/ukraine/uvp-rivne/eia-npprivne12_ua.pdf) (дата звернення: 12.01.2023).

16. Звіти з оцінки впливу нерадіаційних факторів ВП «Рівненська АЕС» ДП «НАЕК «Енергоатом» на довкілля за 2016-2021 роки. (Препринт. ВП РАЕС).

17. Тихомиров А. Ю., Кузнецов П. М., Ярошук О. В., Зайцев С. В. Вдосконалення діяльності підрозділів атомної електростанції при впровадженні моделі варіабельного дозування оксиетилідендифосфонової кислоти в охолоджуючу воду теплообмінного обладнання. *World science: problems, prospects and innovations*. Пр. 532–540. URL: <https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2021/06/WORLD-SCIENCEPROBLEMS-PROSPECTS-AND-INNOVATIONS-16-18.06.21.pdf> (дата звернення: 22.01.2023).

18. Методические указания по эксплуатации конденсаторных установок паровых турбин электростанций, РД 34.30.501. «Южтехэнерго». 1985. 102 с.

19. Методические указания по стабилизационной обработке охлаждающей воды в оборотных системах охлаждения с градирнями оксиетилідендифосфоновой кислотой, РД 34.22.503-88. «Южтехэнерго». 1988. 9 с.

20. Регламент ведення водно-хімічного режиму циркуляційної системи технічного водопостачання Рівненської АЕС 171-1-Р-ХЦ, 68 с. (Препринт. ВП РАЕС).

21. Обобщенный перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды рыбохозяйственных водоемов. М. : Главрыбвод Минрыбхоза СССР, 1990. 96 с.

22. Санітарні правила і норми охорони поверхневих вод від забруднення. СанПіН 4630-88 : Правила Органів влади СРСР від 04.07.1988 р. №4630-88 : станом на 21 жовт. 1991 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v4630400-88#Text> (дата звернення: 31.01.2023).

23. Дозвіл на спеціальне водокористування Рівненської АЕС № 53/РВ/49д-20 від 18.06.2020. Держводагентство України. 14 с.



## ДОСВІД РОЗРОБОК ТА ВПРОВАДЖЕННЯ СУШИЛЬНИХ УСТАНОВОК ПРИ ПЕРЕРОБЦІ ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ

**Ляшенко А. В.**, канд. техн. наук, старш. наук. співроб.

*Інститут технічної теплофізики НАН України, Україна*

**Анотація.** Україна має високий рівень розвитку промисловості, сільського господарства та споживання. Щороку в народногосподарський обіг залучається 1,3-1,5 млрд. тонн природних речовин (Міністерство захисту довкілля...). Внаслідок неповного використання видобутих речовин та продуктів їх переробки в природне середовище повертається значна кількість відходів, які забруднюють ґрунти, водні об'єкти, повітря. Багатотоннажні відходи можуть слугувати сировиною для виробництва кормів для тваринництва, сільськогосподарських добрив, будівельних матеріалів та багато інших корисних речей. Але лише ~ 10% їх використовується. Звалища займають великі площі, надовго земля під ними виведена з виробництва, вони забруднюють природне середовище. В ІТТФ НАН України довгий час проводяться дослідження, що направлені на створення енергоефективного обладнання для утилізації органічних відходів агропромислового комплексу. На основі отриманих результатів експериментальних досліджень в ІТТФ НАН України при різних режимах сушки термолабільних матеріалів (курячого посліду, рибного борошна, відходів цукрових виробництв та ін.) розроблені технології та обладнання для їх обробки. Таким чином, багаторічний досвід із експериментальних досліджень та проектних розробок, що проводиться в ІТТФ НАН України дозволяє запропонувати різним господарствам України власні вітчизняні розробки для повоєнного відновлення економіки України.

## EXPERIENCE IN IMPLEMENTATION OF INDUSTRIAL DRYERS IN THE PROCESSING OF ORGANIC WASTES

**Liashenko A.**, candidate of technical sciences, senior researcher

*Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of  
Sciences of Ukraine, Ukraine*

**Abstract.** Ukraine has a high level of development of industry, agriculture and consumption. Every year, 1.3-1.5 billion tons of natural substances are involved in national economic circulation (Ministry of Environmental Protection...). As a result of incomplete use of mined substances and products of their processing, a significant amount of waste is returned to the natural environment, which pollutes the soil, water bodies, and air. Multiton waste can serve as raw material for the production of animal

feed, agricultural fertilizers, construction materials and many other useful things. But only ~ 10% of them are used. Landfills occupy large areas, the land under them has been put out of production for a long time, and they pollute the natural environment. The ITTF of the NAS of Ukraine has been conducting research for a long time aimed at creating energy-efficient equipment for the disposal of organic waste from the agro-industrial complex. Technologies and equipment for their processing were developed based on the results of experimental research at the ITTF of the National Academy of Sciences of Ukraine under different modes of drying heat-labile materials (chicken droppings, fish meal, sugar industry waste, etc.). Thus, the long-term experience of experimental research and project development carried out at the ITTF of the National Academy of Sciences of Ukraine allows us to offer various Ukrainian economies their own domestic developments for the post-war recovery of Ukraine's economy.

Рівень використання відновлювальних ресурсів вологої біомаси в Україні в даний час у багато разів нижче, ніж в Європейських країнах, а в останні роки намітилася чітка тенденція до подальшого погіршення цього показника.

Ще на початку 90-х років минулого століття в Україні вносилося в ґрунт із добривами в середньому 270 кг діючої речовини (NPK) на 1 га, в т. ч. у вигляді органічних добрив – 110 кг, хімічних – 160 кг. На сьогоднішній день цей показник не перевищує 16 кг/га, в т. ч. практично всі вноситься у вигляді хімічних добрив. При цьому з урожаєм із 1 га щорічно виноситься до 300 діючої речовини (Державна служба...) [2].

У результаті тваринництва, поглинаючи продукцію рослинництва і будучи серйозним фактором забруднення навколишнього середовища, не повертає органіку на поля, що призвело до катастрофічного зниження родючості ґрунтів.

Втрати гумусу в цілому по Україні в обсязі 11,4 млн. тонн/рік призвели до скорочення його запасів за останні 20 років на 25-30% (Державна служба...) [2].

Головними причинами такої ситуації стала висока вартість мінеральних добрив, яка до того ж має стійку тенденцію подальшого зростання, відсутність гною через зникнення більшості дрібних господарств і різкого скорочення поголів'я ВРХ. Різне збільшення одиничної потужності тваринницьких комплексів (особливо птахівничих та свинарських) призвело до великої концентрації біомаси в одному місці, а перевозити не перероблений гній, який має баласт у вигляді великої кількості води, що міститься в ньому (вологість – до 80 %), далі ніж на 5 км збитково внаслідок великих транспортних витрат.

Ще однією важливою причиною проблем, що створилися в землеробстві є неможливість забезпечити довготривале зберігання

добрив з біомаси внаслідок закриття багатьох сушильних виробництв через різке подорожчання викопного палива і електроенергії.

Існуючі зарубіжні технології переробки відходів біомаси не придатні для надпотужних тваринницьких комплексів, які є типовими для України, але рідко створюються в розвинених країнах внаслідок великих витрат на виконання екологічних вимог.

Крім цього, сучасні закордонні технології утилізації відходів тваринницьких комплексів тісно пов'язані з технологічним процесом та обладнанням виробництва основної продукції – м'яса та яєць. Із цієї причини застосування цих технологій в Україні вимагає великих капітальних витрат на заміну значної частини існуючого обладнання птахофабрики або свиногокомплексу і економічно себе не виправдовує.

На рис. 1 представлені статистичні дані з кількості птахофабрик в Україні.

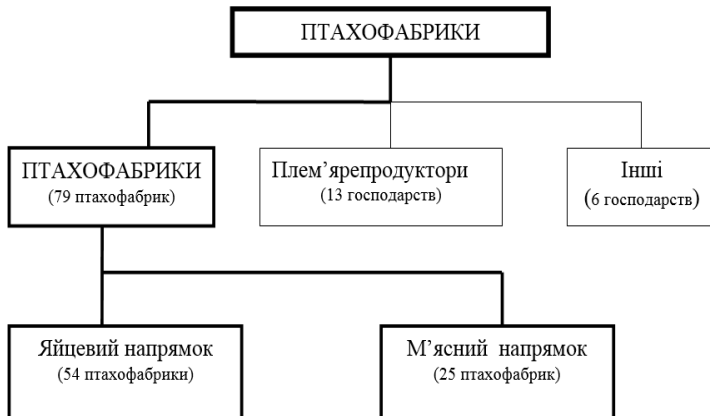


Рисунок 1 – Кількість птахофабрик в Україні м'ясного та яйцевого напрямів (Джерело: складено автором на основі [2])

Виходячи з цього, перспектива використання біомаси в якості добрив безпосередньо залежить від вирішення питань заміни природного газу твердим паливом. Рентабельне виробництво добрив у промисловому масштабі можливо тільки при забезпеченні дешевою тепловою енергією.

Висока ціна природного газу, що має тенденцію постійного зростання, схилив українського споживача до використання інших видів палива, але обсяги споживання біомаси в енергетичних цілях мізерно малі.

Причиною такої ситуації є відсутність системи паливного використання біомаси і, зокрема, наступні невирішені проблеми:

- відсутня готова інфраструктура заготівлі і зберігання паливних ресурсів біомаси, в тому числі – технології, що враховують місцеві умови;

- зруйновані механізми взаємодії підприємств різних галузей, відсутнє державне регулювання взаємовідносин споживачів та постачальників основних видів паливних ресурсів біомаси – відходів із деревини й соломи;

- відсутня ефективна система державного стимулювання використання альтернативних видів палива;

- відсутня ефективна система державної підтримки в галузі створення та впровадження інноваційних технологій;

- не розвиваються промислові підприємства, що різко обмежує можливість впровадження енергетичних технологій на біомасі.

У результаті, потенційний інвестор енергетичних проєктів на біомасі крім додаткових незручностей і турбот, пов'язаних із заміною природного газу твердим паливом, стикається з високим ступенем ризиків, через відсутність довгострокових гарантій постачання паливних ресурсів, а також збуту готової продукції (теплової та електричної енергії).

У даний час основними видами вологої біомаси, які використовуються в якості палива, є лушпиння соняшнику й деревина. В невеликих обсягах використовується солома.

У зв'язку з тим, що лушпиння при нагромадженні й збереженні є досить пожежонебезпечним, ще кілька років тому його вивозили на сміттєзвалища й там спалювали. В даний час лушпиння успішно спалюють на підприємствах, де воно утворюється, повністю замінюючи природний газ, а також виготовляють з нього *пелети*, які експортують.

Солому в невеликих кількостях спалюють на теплоенергетичних об'єктах малої потужності і також виготовляють з нього брикети та циліндричні паливні гранули (пелети).

Деревина використовується у вигляді дров, трісок і штучного пресованого палива – брикетів чи пелет. При цьому основні обсяги деревного палива поставляються на експорт (особливо пелети), що пов'язано з тим, що в країнах – учасницях Кіотського протоколу діють економічні механізми, що стимулюють застосування палива на основі біомаси та спеціалізованих пристроїв для його використання з метою поліпшення глобальної екології. Наприклад, законодавство Німеччини передбачає доплату за кожен кіловат виробленої теплової енергії та

додаткову доплату за встановлення спеціалізованого котла пропорційно його потужності.

Зокрема, ці преференції призвели до збільшення обсягів використання паливних дров на європейських електростанціях. Дрова подрібнюють до стану тріски, яку спалюють у топках котлів. Дров'яне паливо, що постачається на значні відстані, без державних дотацій не витримали б конкуренції з паливом на основі викопних вуглеводнів.

Із іноземних найменувань пелет найчастіше вживається два: «Woodpellets» і «Holzpellets», у нас – «біогранули» і «паливні гранули (пелети)». Під цими найменуваннями слід розуміти нормований циліндричний пресований виріб з штучно висушених і подрібнених до дуже малих частинок (до стану борошна) без додаткових зв'язуючих компонентів, сформований під високим тиском. При цьому розвивається температура, достатня для переходу деревного лігніну в пластичний стан, що дозволяє йому виконати роль зв'язуючої речовини.

Пелети є стандартизованим видом палива. Зокрема, у країнах Євросоюзу до недавнього часу користувалися німецьким стандартом DIN 51731 і стандартом Австрії OENOMM 7135, а потім був прийнятий новий Євростандарт DINPlus, який об'єднав вимоги цих стандартів і передбачає додатково підвищення вимог до стійкості пелет до стирання. У відповідності з вимогами стандарту, пелети повинні представляти собою циліндри діаметром 4, 6, 8 або 10 мм. Вологість пелет повинна знаходитися в діапазоні 10÷12%, а при їх перевезенні не допускається контакт з краплинною вологою і не бажані навантаження на стирання. Насипна щільність пелет становить в середньому 700÷750 кг/м<sup>3</sup>, а щільність суцільного речовини пелет, завдяки великим зусиллям, докладеним під час пресування та усунення повітряних пор, може перевищувати 1000 кг/м<sup>3</sup>.

Технічні вимоги до якості пелет в європейських стандартах спрямовані на збільшення їх щільності і насипної ваги для досягнення переваг при перевезеннях на значні відстані, що неминуче при формуванні товарного ринку штучного палива.

Вимоги, що стосуються стійкості до стирання, пов'язані з тим, що пелети спалюються в шарових топках і їх засмічення дрібним пилом від тертя пелет один з одним вкрай небажано. У той же час, при виробництві пелет руйнується вихідна структура деревини, що забезпечує її пружність і стійкість до стирання. Щільні пелети мають високу твердість, але не мають пружності і схильні до образивного зношування й стирання.

Виготовлення пелет є багатостадійним технологічним процесом, що включає глибоку штучну сушку, він характеризується значними

питомими витратами електричної енергії на механічну роботу подрібнення матеріалу до дуже малих розмірів і його пресування.

Крім того, виробництво пелет характеризується значними експлуатаційними витратами, пов'язаними зі швидким зношуванням та подальшою частою заміною навантажених вузлів машин і механізмів (наприклад, матриць пресів), які виготовляються з вартісних легованих металів.

Капітальні та експлуатаційні витрати при виробництві, а також великі логістичні витрати зумовлюють значну собівартість пелет. Додаткові експлуатаційні витрати виникають також на стадії спалювання пелет і одержання паливної енергії, тому потрібні більш складні, ніж для спалювання природного газу, пристрої.

Наведені фактори роблять таке паливо без державних дотацій кінцевому користувачеві не конкурентоспроможним порівняно з паливом на основі викопних вуглеводнів.

Наведені вище напрями використання біомаси є об'єктивно екстенсивними, тому вони вимагають постійних державних дотацій і не можуть стійко функціонувати й розвиватися за рахунок власної економічної ефективності.

В Україні в печах і нагрівальних котлах із природною або примусовою циркуляцією води через опалювальні прилади (радіатори) невеликих будівель в індивідуальному секторі, найчастіше в негазифікованих районах сільської місцевості застосовується традиційна технологія заготівлі та спалювання дров.

У цих випадках дрова отримують у лісгоспі у вигляді колод довжиною до 2-х метрів із запасом на 1 рік. Колоди розпилюють за допомогою електро- або бензопили в поперечному напрямку на фрагменти  $\leq 25\div 40$  см (в залежності від розмірів топки), а потім вручну розколюють в поздовжньому напрямку за допомогою сокири-колуна на окремі поліна.

Поліна вручну укладають у стіс, де вони впродовж 1-2-х років піддаються природному сушінні під захистом від опадів до вологості  $\leq 20\%$ , після чого вважаються придатними до використання.

При цілком задовільних показниках процесу спалювання недоліками такої технології є значні обсяги зберігання, високі витрати ручної праці (у тому числі і на організацію процесу горіння), складність управління параметрами повітря в опалювальних приміщеннях.

Дров'яне опалення створює очевидні незручності й знижує якість життя, тому обсяги застосування дров продовжує знижуватися в міру газифікації населених пунктів. Падіння попиту на дрова може сповільнитися під дією збільшення ціни на природний газ.

В останні роки в європейських країнах, а з недавнього часу в Україні, використовується котельне обладнання, пристосоване для спалювання деревної тріски вологістю до 60%. Таке технічне рішення застосовується з тих міркувань, що на одиничних теплоенергетичних об'єктах, тим більше невеликої потужності, не раціонально організувати сушильне виробництво, що вимагає великих капітальних витрат. Однак при експлуатації декількох об'єктів на невеликій відстані один від одного економічно ефективніше організувати попередню сушку тріски.

Підсумовуючи вище наведене, можна констатувати, що при використанні вологої біомаси в якості добрив, палива та кормів із метою скорочення втрат енергетичного потенціалу в процесі зберігання і спалювання біомаси бажано організувати її енергоефективне зневоднення.

В ІТТФ НАН України довгий час проводяться дослідження, що направлені на створення енергоефективного обладнання для утилізації органічних відходів агропромислового комплексу.

На рис. 2 представлена установка для сушки органічних відходів птахофабрик, що має наступні технічні характеристики.

#### **ТЕПЛОТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ**

Продуктивність по сировині – до 600 кг/год;

Початкова волога сировини – до  $W=85\%$ ;

Кінцева вологість сировини – до  $W=14-16\%$ ;

Дисперсність готового продукту – 1-3 мм;

Температура на вході у камеру:  $t=600 - 800^{\circ}\text{C}$ ;

Питомі енергетичні витрати: до 3200 кДж/кг вип. вологи (770 ккал/кг випареної вологи).

#### **Масогабаритні характеристики:**

Діаметр камери – 1000 мм;

Довжина камери – 1560 мм;

Робочий об'єм камери – 1,1 м<sup>3</sup>;

Маса камери – 875 кг.

Частота обертів ротора валу – до 700 об/хв;

Встановлена електрична потужність –  $N=35$  кВт;

Встановлена теплова потужність – до  $Q=700$  кВт (65 м<sup>3</sup>/год).

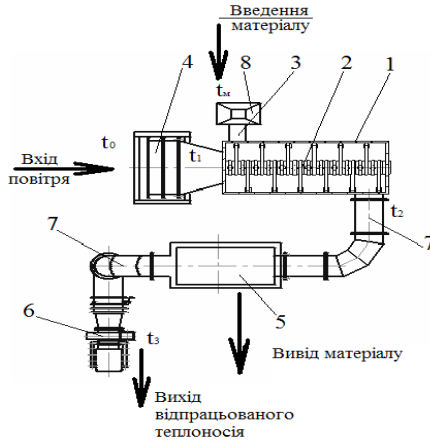


Рисунок 2 – Розроблена в ІТТФ НАН України установка для переробки органічних відходів птаховиробництва: 1 – камера сумісного процесу сушіння та диспергування; 2 – ротор; 3 – шнековий живильник-дозатор для початкової сировини; 4 – теплогенератор; 5 – пристрій для розділення твердої та газоподібної фаз, що відділяє готовий продукт від теплоносія; 6 – вентилятор; 7 – система повітроводів; 8 – приймальний бункер (Джерело: складено автором на основі [3])

Теоретичний аналіз та дослідно-промислові випробування показують перспективність застосування установок, які працюють із одночасною сушкою і диспергуванням в одній робочій камері, що відповідає сучасним вимогам для сушильного обладнання. В них створюються великі поверхні тепломасообміну, збільшується в порівнянні наприклад, із барабанними установками питома продуктивність, зменшуються капітальні витрати і енерговитрати на випаровування вологи.

На основі отриманих результатів експериментальних досліджень в ІТТФ НАН України при різних режимах сушки термолабільних матеріалів (курячого посліду, рибного борошна, відходів цукрових виробництв та ін.) розроблені технології та обладнання для їх обробки.

На рис. 3 представлена наступна дослідно-промислова роторна установка, що розроблена в ІТТФ НАН України, яка може використовуватись для сушіння тріски паливної. Нижче представлені її основні теплотехнічні та масогабаритні характеристики.





Рисунок 3 – Загальне фото розробленої в ІТТФ НАН України роторної сушильної установки з можливістю сушки тріски паливної  
(Джерело: складено автором на основі [3])

### **ПРОЕКТНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ РОТОРНОЇ СУШАРКИ**

(Джерело: складено автором на основі [3])

Продуктивність по сировині – до 1000 кг/год.;  
Початкова вологість сировини – до  $W=55\%$ ;  
Кінцева вологість продукту – до  $W=12-16\%$ ;  
Температура на вході в камеру:  $t=250 - 500^{\circ}\text{C}$ ;  
Питомі енергетичні показники: до 4000 кДж/кг вип. води (950 ккал/кг вип. води);  
Частота обертів ротора валу – до 150 об/хв.;  
Встановлена електрична потужність –  $N=9,5$  кВт;  
Встановлена теплова потужність – до  $Q=300$  кВт.

Таким чином, багаторічний досвід із експериментальних досліджень та проектних розробок, що проводиться в ІТТФ НАН України дозволяє запропонувати різним господарствам України власні вітчизняні розробки для повоєнного відновлення економіки України.

### **Використані інформаційні джерела:**

1. Національна доповідь про стан навколишнього середовища в Україні у 2020 р.: сайт. URL: <https://mepr.gov.ua/news/38840.html> (дата звернення: 15.01.2023).
2. Державна служба статистики України: сайт. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua> (дата звернення: 10.01.2023).
3. Liashenko A. Intensification of heat and mass transfer and dewatering of thermolabile organic materials. Наукові праці ОНАХТ: Енергоефективні процеси і обладнання харчових виробництв. 2021. №85. С. 63–68.

## **ОЦІНКА ЯКОСТІ ВОДИ РІЧКИ ПІВДЕННИЙ БУГ ТА ЇЇ ПРИДАТНОСТІ ДЛЯ ПИТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ**

**Магась Н. І.**, канд. техн. наук, доцент

*Національний університет кораблебудування імені адмірала  
Макарова, м. Миколаїв, Україна*

**Анотація.** У роботі розглянуто питання оцінки якості води р. Південний Буг як джерела питного водопостачання на території Миколаївської області. У роботі представлено результати аналізу сучасної структури та тенденцій зміни використання прісної води в басейні Південного Бугу на території Миколаївської області. Представлено результати оцінки якості води р. Південний Буг в межах питних водозаборів за гігієнічними та екологічними критеріями. Встановлено, що в межах досліджуваної ділянки в басейні Південного Бугу якість води у більшості випадків оцінювалась другим класом, за окремими показниками спостерігалось погіршення якості води до третього класу. Істотні перевищення рекомендованих значень концентрацій забруднюючих речовин відзначені за вмістом фосфатів, нітритного й нітратного азоту. Також встановлено незбалансованість мінерального складу води у контрольних створах, що може негативно впливати на здоров'я населення.

## **ASSESSMENT OF WATER QUALITY OF THE SOUTHERN BUG RIVER AND ITS SUITABILITY FOR DRINKING WATER SUPPLY**

**Magas N.**, Candidate of Engineering Science (Ph.D.),  
Docent, Associate Professor

*Admiral Makarov National University of Shipbuilding  
Mykolaiv, Ukraine*

**Abstract.** This work deals with the issues of evaluation of the quality of water in the river Southern Bug as a source of supply of drinkable water on the territory of Mykolaiv Region. In the work there are results of analysis of modern structure and trends of changing of using the fresh water in the Southern Bug basin on the territory of Mykolaiv Region. There are also the results of quality assessment of water in the river Southern Bug within the intake of drinking water according to hygienic and ecological criteria. It was revealed within the exploratory area in the Southern Bug basin the quality of the water, in majority of cases, was estimated as the second class, for some specific indications there was deterioration in quality of water to the third

class. Significant increase of recommended values of concentration of pollutants have been defined with the content of phosphates, nitrite and nitrate nitrogen. There was also revealed an imbalance of mineral composition of water in monitoring sections that can negatively affect people's health.

Аналізуючи структуру системи водопостачання України встановлено, що основу складають поверхневі води, – це близько 80%. Однак, Україна належить до тих країн, що мають обмежені питні ресурси через підвищений рівень забруднення поверхневих і підземних джерел водопостачання [1]. Особливо актуальною ця проблема є в містах південних областей України – Херсонській, Миколаївській, Одеській областях. Забезпечення господарсько-питних потреб населення великих міст у цих областях вирішилося за рахунок побудови водоводів із річки Дніпро. Крім того, поверхневі води суші, що у цих регіонах знаходяться під дуже великим антропогенним впливом, у результаті якого істотно змінений природний стан цих вод. Такі антропогенні зміни обмежують можливість використання окремих водних об'єктів для потреб населення регіону [2]. Тому в більшості невеликих містечок, райцентрів та сіл, питання водозабезпечення й досі є невирішеним.

Із кожним роком ситуація з водопостачанням у містах загострюється тим, що на сьогоднішній день використовуються не достатньо ефективні методи очищення води, системи водопроводів морально і фізично зношені. Тому дослідження рівня екологічної безпеки джерел питного водопостачання та пошук шляхів поліпшення якості питної води є актуальними і життєво необхідними.

Метою даної роботи є оцінка якості води р. Південний Буг як джерела питного водопостачання на території Миколаївської області.

Для досягнення поставленої мети у роботі було розглянуто та проаналізовано такі питання:

- аналіз сучасної структури та тенденцій зміни використання прісної води в басейні Південного Бугу на території Миколаївської області;
- оцінка якості води р. Південний Буг у межах питних водозаборів за гігієнічними та екологічними критеріями,
- оцінка відповідності якості води р. Південний Буг показникам фізіологічної повноцінності мінерального складу.

Для оцінки стану та якості води джерел питного водопостачання було використано нормативний документ – Національний стандарт України ДСТУ 4808:2007 «Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні та екологічні вимоги щодо якості води і

правила вибирання», відповідно до якого якість води визначається за чотирма класами від «відмінної» бажаної якості до «посередньої, обмежено придатної» небажаної якості [3]. Оцінку якості води здійснено за середніми та найгіршими значеннями органолептичних, загально-санітарних та токсикологічних хімічних показників.

Для більш детального аналізу та оцінки придатності поверхневої води для питного водопостачання у місцях водозаборів, якість води було оцінено за методикою ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» [4]. У цій методиці є поняття фізіологічної повноцінності мінерального складу питної води (Додаток 4 методики). Відомо, що як різкий дефіцит, так і надлишок хімічних елементів у природі чинять негативний вплив на організм тварин, рослин і людей. У цьому зв'язку фізіологічна збалансованість мінерального складу є не тільки показниками якості питних вод, але й важливим фактором формування здоров'я населення [4, 5]. Довготривале споживання питних вод, які характеризуються дисбалансом їх мінеральних компонентів, може приводити до порушень функціонального стану організму та бути одним із негативних чинників впливу на здоров'я населення загалом [4].

Якість питної води оцінюється низкою показників: бактеріологічних, органолептичних, фізико-хімічних та токсикологічних, які регламентуються державними санітарними нормами та правилами [3]. До показників фізіологічної повноцінності води, придатної для пиття, за [4] належать: загальна жорсткість, загальна лужність, фториди, йод, калій, кальцій, магній, натрій та сухий залишок.

Відомо, що основний хімічний склад природних вод визначається вмістом головних аніонів ( $HCO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $Cl^-$ ) і катіонів ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ). Звичайно, у водах материкового стоку, які є основними джерелами питного водопостачання, спостерігаються такі співвідношення:  $HCO_3^- > SO_4^{2-} > Cl^-$ ;  $Ca^{2+} > Mg^{2+} > Na^+$  або  $Ca^{2+} > Na^+ > Mg^{2+}$ . По мірі збільшення мінералізації води відбувається поступове досягнення межі розчинності слабозрчинних солей і тому в істотно мінералізованих природних водах спостерігаються діаметрально протилежні співвідношення головних аніонів і катіонів:  $HCO_3^- < SO_4^{2-} < Cl^-$ ;  $Ca^{2+} < Mg^{2+} < Na^+$ .

Головні іони є санітарно-хімічними показниками безпечності та якості питної води [4, 5]. Гідрокарбонати ( $HCO_3^-$ ) у питній воді визначають лужність, яка у фасованих водах повинна бути  $\leq 6,5$  ммоль/дм<sup>3</sup>. Сульфати ( $SO_4^{2-}$ ) в кількостях понад 500 мг/дм<sup>3</sup> надають воді гіркувато-солонуватого присмаку, вони несприятливо впливають

на шлункову секрецію і можуть спричинювати диспепсичні явища (особливо при одночасному великому вмісті  $Mg^{2+}$ ), тому їх норма у питній воді повинна бути  $\leq 250$  (500) мг/дм<sup>3</sup>. Хлориди ( $Cl^-$ ) надають воді солонуватий присмак і несприятливо впливають на шлункову секрецію. Ось чому вміст  $Cl^-$  у питній воді не повинен перевищувати 250 (350) мг/дм<sup>3</sup>.

Високу фізіологічну активність має кальцій, – він виконує в організмі різноманітні функції, такі як формування кісткової тканини, мінералізація зубів, регуляція внутрішньоклітинних процесів, регуляція процесів нервової провідності та м'язових скорочень, підтримання стабільної серцевої діяльності. Його надлишок в організмі може спричинити артрит, остеодистрофію, остеофіброз, м'язову слабкість та ін. Дефіцит же кальцію є причиною 147 захворювань (остеопорозу, тахікардії, аритмії, побіління рук і ніг, ниркової та печінкової колики, підвищеної дратівливості тощо) [6, 7]. Вміст  $Ca^{2+}$  у фасованих водах повинен бути  $\leq 130$  мг/дм<sup>3</sup>, але за рекомендаціями ВООЗ, оптимальний його вміст визначається в діапазоні 20-80 мг/дм<sup>3</sup>.

Найважливішим внутрішньоклітинним елементом є магній. Нормальний рівень  $Mg$  в організмі необхідний для забезпечення багатьох життєво важливих процесів; особливе він зміцнює імунну систему. Надмірна ж кількість  $Mg$  спричиняє послаблювальний ефект. А зі зниженням концентрації  $Mg$  в крові спостерігаються симптоми збудження нервової системи аж до судом. Зменшення вмісту  $Mg$  в організмі призводить до збільшення вмісту  $Ca$ , надмірна кількість  $Mg$  – до дефіциту  $Ca$  і  $P$ . Оскільки основна частина  $Mg$  потрапляє до організму людини з продуктами харчування, то питання щодо значення концентрації  $Mg^{2+}$  в питних водах є дискусійним, але така форма магнію характеризується більш вірогідним ступенем біонакопичення, ніж магній у продуктах харчування. Припускають, що вміст  $Mg^{2+}$  в питних водах може бути вирішальним для тих людей, які отримують його в незначних кількостях із продуктами харчування, але в той же час п'ють воду з високим вмістом  $Mg^{2+}$ . Виявлено зв'язок між вмістом магнію у воді й серцевому м'язі, у скелетному м'язі й коронарних артеріях [5, 6]. Нормативний вміст  $Mg^{2+}$  у фасованих водах повинен бути  $\leq 80$  мг/дм<sup>3</sup>, але за рекомендаціями ВООЗ його оптимальний вміст  $Mg^{2+}$  визначається в діапазоні 10-30 мг/дм<sup>3</sup>.

Натрій є життєво важливим міжклітинним та внутрішньоклітинним елементом, який забезпечує необхідну буферність крові, регулює кров'яний тиск, водний обмін, активізує травні ферменти, регулює нервову та м'язову тканини. Із вмістом натрію пов'язують також спроможність тканин утримувати воду. При високій

концентрації  $Na^+$  (водночас дефіцит  $Ca^{2+}$ ) утворюється специфічна лужна фосфатаза, що є біохімічним маркером таких захворювань як остеопороз, остеомаліяція [5, 6]. Вважається, що загальна зміна мінерального складу питної води позначається на здоров'ї людини через багато років, а зниження концентрації  $Ca^{2+}$  і  $Mg^{2+}$  в питній воді відбивається на самопочутті практично миттєво.  $Na^+$  є санітарно-токсикологічним показником безпечності та якості питної води [4] і його вміст складає  $\leq 200$  мг/дм<sup>3</sup>.

Негативний вплив на організм як людини, так і тварин справляє демінералізована вода [6]. Встановлено [8, 9, 10], що загальна мінералізація питної води повинна становити не менш 100 мг/дм<sup>3</sup> (200-400 мг/дм<sup>3</sup> для хлоридно-сульфатних і 250-500 мг/дм<sup>3</sup> для гідрокарбонатних вод) із вмістом  $HCO_3^- \leq 30$  мг/дм<sup>3</sup>,  $Ca^{2+} \leq 30$  мг/дм<sup>3</sup>, лужності  $\leq 6,5$  ммоль/дм<sup>3</sup>,  $Na^+ \leq 200$  мг/дм<sup>3</sup>,  $B \leq 0,5$  мг/дм<sup>3</sup>,  $Br \leq 0,01$  мг/дм<sup>3</sup>.

Доведено [11], що питна вода підвищеної мінералізації ( $3050 \pm 10,9$  мг/дм<sup>3</sup>) та жорсткості ( $8,6 \pm 1,7$  ммоль/дм<sup>3</sup>) – фактор високої інтенсивності, який може несприятливо впливати на специфічні функції жіночого організму, а саме на менструальну та дітородну, а також на протікання вагітності й пологів, і, як наслідок, – на організм новонародженого. Такий якісний склад води може обумовлювати і підвищену гінекологічну захворюваність. Експериментальними дослідженнями було доведено, що вода підвищеної мінералізації має ембріотоксичну дію, що проявляється втратою маси тіла тварин, порушенням регулярності естрального циклу та збільшенням предімплантаційної загибелі яйцеклітини і зниженням маси плоду.

Питна вода з підвищеною мінералізацією впливає на секреторну діяльність шлунку, порушує водно-сольовий баланс, що призводить до різних небажаних фізіологічних відхилень в організмі (перегрів успікотну погоду, порушення почуття втамування спраги, збільшення гідрофільності тканин, зміна секреції шлунку, посилення його моторної функції і перистальтики кишківника та ін.). З іншого боку, тривале вживання маломінералізованої води може викликати і несприятливі фізіологічні порушення в організмі (зокрема, зменшення вмісту хлоридів у тканинах та ін.) [12, 13]. Споживання води з занадто малою мінералізацією негативно впливає на механізми гомеостазу, обмін мінеральних речовин і води в організмі (посилюється виділення рідини – діурез). Пов'язано це з вимиванням внутрішньо- і позаклітинних іонів із біологічних рідин, їх негативним балансом. Слід зазначити, що демінералізована вода має не тільки незадовільні органолептичні показники, а й негативно впливає на організм

людини [14].

За можливими наслідки споживання питної води, збідненої мінеральними речовинами, виділяють такі категорії:

1) прямий вплив на слизову оболонку шлунку, метаболізм і гомеостаз мінеральних речовин, інші функції організму;

2) незначне надходження  $Ca^{2+}$  і  $Mg^{2+}$ ; незначне надходження інших макро і мікроелементів;

3) втрати  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  та інших макроелементів у процесі приготування їжі;

4) можливе зростання надходження в організм токсичних металів.

Отже, тривале вживання питної води з надлишком або дефіцитом основних іонів (складових мінералізації) помітно впливає на здоров'я людини.

Територія Миколаївської область, яка належить до степової зони, характеризується складними гідрогеологічними умовами формування підземних вод, що обумовлено геолого-структурними особливостями, природно-кліматичними та техногенними факторами. За гідрогеологічними характеристиками область належить до Причорноморського артезіанського басейну й частково в північній частині до Українського кристалічного масиву [2, 15].

Аналізуючи водні ресурси області необхідно зазначити, що вони є дуже обмеженими – залежать переважно від притоку з інших регіонів країни. За питомими показниками водних ресурсів (на одиницю площі і на одного мешканця) область займає одне із останніх місць серед областей України) [1, 2, 16].

Водопостачання більшості населених пунктів області, в тому числі Миколаєва, здійснюється з поверхневих водних джерел, а саме: річок Дніпра, Південного Бугу, Синюхи, Інгулу. У сільських населених пунктах та районних центрах використовують підземні джерела [16].

Згідно даних статистичної звітності 2ТП – водгосп (річна) [16, 17] упродовж 2021 року з природних джерел області було відібрано 193,16 млн. м<sup>3</sup> води, що на 60,036 млн. м<sup>3</sup> менше, ніж у попередньому році. Загальний обсяг використаної води становив – 169,108 218,14 (менше на 49,032) млн. м<sup>3</sup>, зокрема на господарсько–питні потреби – 26,821 (менше на 0,738) млн. м<sup>3</sup>, на виробничі – 87,139 (менше на 5,811) млн. м<sup>3</sup>. Для підземної води ці показники були такими: всього використано – 9,078 (менше на 1,772) млн. м<sup>3</sup> води, зокрема на господарсько–питні потреби – 6,436 (менше на 1,359) млн. м<sup>3</sup>.

Результати оцінки рівня використання річкового стоку у нижній ділянці басейну річки Південний Буг за період з 2016 по 2021 роки

показано на рисунках 1 та 2.

Q, млн.м<sup>3</sup>/рік

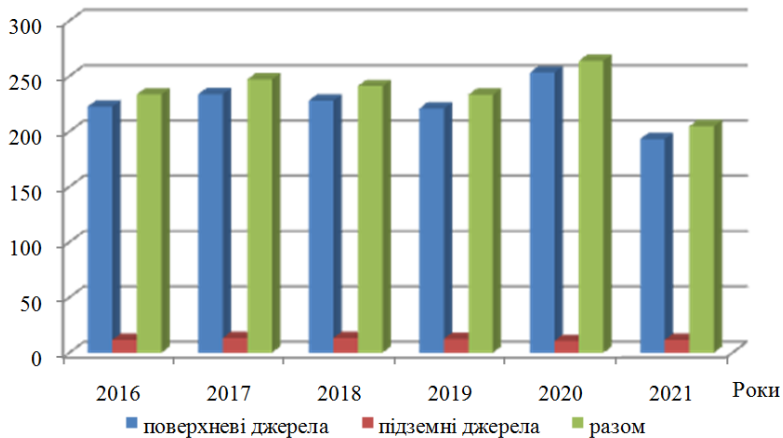


Рисунок 1 – Динаміка водозабору у Миколаївській області

(Джерело: авторська розробка за даними статистичної звітності 2ТП – водгосп (річна))

Спостерігаємо тенденцію зменшення водозабору, що спричинено зменшенням виробничих потужностей, а також зменшення річних стоків водних об'єктів [16, 17, 18].

Найбільш водоспоживаючі галузі економіки в області – це промисловість та енергетика, на їх потреби за звітний період використано близько 46, % від загального обсягу використаних вод (табл. 1) [16]. Потреби з водокористування на сільське господарство у 2021 році склали 68,4% від загального обсягу використаних вод по області в цілому. На третьому місці – житлово-комунальне господарство, на потреби якого використано 20% від загального об'єму використання вод в області.

У 2021 році у зв'язку з підвищенням тарифів за водоспоживання та більш економне водокористування, для потреб житлово-комунального господарства використання води зменшилось майже на 10 %.

Порівняльну характеристику динаміки використання прісної води для потреб різних галузей зображено на рисунку 2.

За досліджуваний період 2016-2021 років спостерігається зменшення витрат прісної води на господарсько-питні потреби.

В області господарсько-питне водопостачання населення



здійснюється 72 комунальними, 99 відомчими, 267 сільськими та одним міжрайонними водопроводами. Поверхневі водойми є джерелами водопостачання на восьми комунальних, трьох сільських, одному відомчому та одному міжрайонному водопроводах, на всіх інших – 1115 підземних джерел водопостачання.

Таблиця 1 – Використання води підприємствами галузей економіки у 2021 році у Миколаївській області, млн. м<sup>3</sup> [16, 17]

Галузь економіки	Використано води, всього	У тому числі	
		господарсько-питні потреби	виробничі потреби
Енергетика	61,64	0,286	61,358
Металургійна промисловість (кольорова)	4,461	0,496	3,965
Машинобудування	8,495	0,423	8,071
Житлово-комунальне господарство	33,752	24,322	9,428
Сільське господарство	54,047	0,296	0,406
Харчова промисловість	3,163	0,226	2,937
Транспорт	0,328	0,229	0,092
Промисловість будівельних матеріалів	0,516	0,026	0,490
Інші галузі	2,702	0,813	0,392
Всього	169,108	27,117	87,139

Підземні води, які добуваються на території Миколаївської області, головним чином йдуть на задоволення господарсько-побутових та питних потреб населення. Розподіл водозаборів по площі дуже нерівномірний, в середньому по області (за даними попередніх років) на 10,5 км<sup>2</sup> площі знаходилася 1 свердловина для господарсько-питного водопостачання [16].

Однак, на сьогоднішній день, на території області є значна потреба у додатковій потужності водозаборів яка складає 5,5 млн. м<sup>3</sup>/рік [19].

Такі дані свідчать про необхідність пошуку альтернативних джерел питного водопостачання та можливості використовувати поверхневі води регіону.

Забір води з річки Південний Буг на виробничі, господарсько-побутові та питні потреби на території Миколаївської області здійснюється у трьох створах, характеристику яких наведено у таблиці 2.

У створі біля м. Первомайськ забір води з річки Південний Буг

здійснює комунальне підприємство КП «Первомайський міський водоканал». Підняту воду передають на очисні споруди водопроводу з загальною проектною потужністю 45,0 тис. м<sup>3</sup>/добу (з урахуванням всіх джерел водопостачання). На очисних спорудах здійснюються наступні стадії очищення: коагуляція, відстоювання, фільтрування на скорих фільтрах та знезаражування хлорвапном.

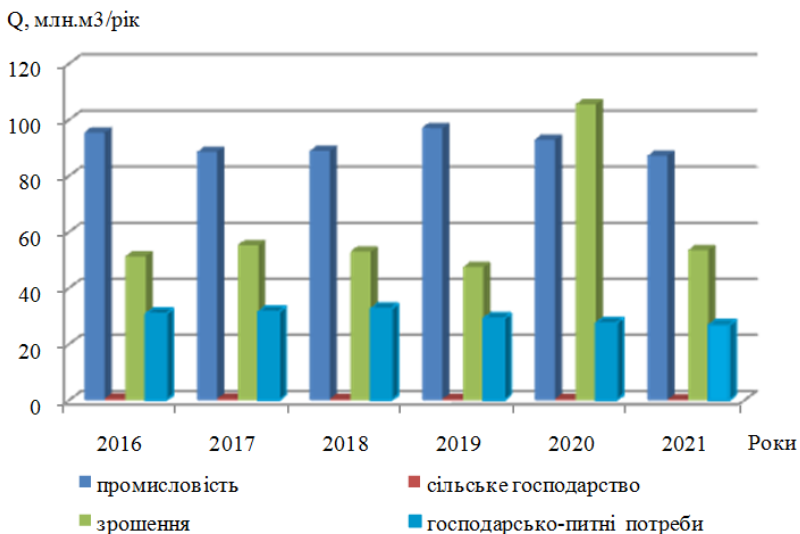


Рисунок 2 – Динаміка використання водних ресурсів у Миколаївській області

(Джерело: авторська розробка за даними статистичної звітності 2ТП – водгосп (річна))

Для задоволення виробничих та господарсько-побутових потреб населення, здійснення водопостачання м. Южноукраїнськ забір води з р. Південний Буг здійснює комунальне підприємство ВП «Южно-Українська АЕС» цех водопровідно-каналізаційного господарства та теплових мереж. Відібрана вода подається на два майданчики очисних споруд водопроводу з потужністю по 19 тис. м<sup>3</sup>/рік кожний. Основні стадії очищення: механічне очищення (барабанні сітки), хлорування (первинне і вторинне), освітлення (контактні освітлювачі).

Поверхневий водозабір біля м. Вознесенськ здійснюється комунальним підприємством «Водопостачання м. Вознесенськ». Забір поверхневої води з р. Південний Буг здійснюється для поповнення

підземного водоносного горизонту свердловин, розташованих на інфільтраційних полях. Основним джерелом питного водопостачання м. Вознесенськ є підземні води, які піднімаються з 33 свердловин.

Таблиця 2 – Характеристика водозаборів на річці Південний Буг

Водний об'єкт	Відстань від гирла, км	Місце розташування	Об'єм забраної води, м <sup>3</sup> /добу	Вид водокористування
річка Південний Буг	239	м.Первомайськ, 2 км вище міста	7877,00	виробничі, господарсько-побутові, питні потреби, промивка фільтрів очищення водопровідної води
	153	с. Олексіївка, вище населеного пункту	35356,15	виробничі, господарсько-побутові та питні потреби
	97	м. Вознесенськ, 2 км вище міста	7000,00	виробничі потреби, поповнення підземного водоносного горизонту свердловин

*Джерело: авторська розробка за даними статистичної звітності 2ТП – водгосп (річна)*

За результатами аналізу зміни показників якості води у річці Південний Буг у межах згаданих питних водозаборів за період із 2016 по 2021 роки чітко простежується, що у жодному створі вода не відповідає вимогам бажаної якості. Також, у всіх створах спостерігається постійне перевищення показників безпечності та якості за показниками ХСК, сполуки азоту, сульфати, фосфати і СПАР, а у створі м. Первомайськ додатково за хлоридами.

За результатами оцінки за органолептичними показниками встановлено, що вода була відмінної якості у всіх створах.

За середніми значеннями загально-санітарних хімічних показників якість води у всіх пунктах забору води була 2 класу. Найгірша ситуація спостерігалась у пункті м. Первомайськ, де якість води погіршувалась до 4 класу, тобто небажаної якості.

Також у створі водозабору м. Первомайськ найгірші значення токсикологічних хімічних показників. Якість води за останні роки у всіх пунктах забору води погіршувалась до рівня задовільної якості.

Підсумкові результати оцінки за значеннями інтегральних індексів (таблиця 3) показали, що за середніми значеннями якість води оцінювалась другим класом протягом всього періоду спостереження і оцінювалась як «добра», чиста. Змінювались лише підкласи якості: у місцях водозаборів м. Вознесенськ та с. Олексіївка від дуже чистої до прийнятної якості; у місці водозабору м. Первомайськ від чистої до слабо забрудненої прийнятної якості. За найгіршими значеннями якість води в основному визначалась третім класом якості і оцінювалась як перехідна за якістю від «доброї», чистої до «задовільної», слабо забрудненої. Лише у 16,67% випадків за період спостереження вода була «добра», чиста прийнятної якості. Найгірші показники якості води були у місці водозабору м. Первомайськ, де спостерігалось погіршення до слабо забрудненої води з ухилом до класу «обмежено придатної» небажаної якості.

**Таблиця 3 – Класи якості води р.Південний Буг у місцях водозаборів за значенням інтегрального індексу забруднення**

Створ спостереження	Роки спостереження					
	2016	2017	2018	2019	2020	2021
	за середньорічними значеннями показників					
м.Вознесенськ	1,85 [2(1)]	2,01 [2]	2,01 [2]	2,06 [2]	1,92 [2(1)]	1,96 [2(1)]
с. Олексіївка	1,88 [2(1)]	2,02 [2]	1,96 [2(1)]	2,01 [2]	1,95 [2(1)]	1,93 [2(1)]
м. Первомайськ	2,21 [2]	2,16 [2]	2,24 [2]	2,01 [2]	2,26 [2(3)]	2,38 [2(3)]
	за найгіршими значеннями показників					
м.Вознесенськ	2,67 [2-3]	2,67 [2-3]	2,58 [2-3]	2,42 [2(3)]	2,51 [2-3]	2,57 [2-3]
с. Олексіївка	2,54 [2-3]	2,58 [2-3]	2,42 [2(3)]	2,58 [2-3]	2,52 [2-3]	2,5 [2(3)]
м. Первомайськ	3,17 [3]	3,33 [3(4)]	3,0 [3]	3,08 [3]	3,08 [3]	3,17 [3]

*Джерело: авторська розробка*

У межах досліджуваної ділянки в басейні Південного Бугу переважає забруднення органічними сполуками. Найбільший внесок у сумарне забруднення води річки в межах питних водозаборів, належить еколого-санітарним показникам, найменший – компонентам сольового складу. Істотні перевищення рекомендованих значень концентрацій забруднюючих речовин за гігієнічними та екологічними критеріями відзначені за вмістом фосфатів, нітритного й нітратного азоту. Присутність таких речовин у воді не тільки прискорюють процеси евтрофікації [18], а й роблять її не придатною для питного використання.

У даному дослідженні було виконано порівняння показників якості води у створах водозабору з р. Південний Буг на території Миколаївської області з показниками фізіологічної повноцінності. Метою таких досліджень було встановити на скільки і по яких параметрах необхідно доочишувати річкову воду, щоб вона відповідала бажаному стандарту та вимогам якості питної води.

Із означених вище дев'яти параметрів фізіологічної повноцінності [4] оцінку було виконано за семи показниками: загальна жорсткість та лужність, калій, кальцій, магній, натрій та сухий залишок. Порівняльну характеристику показників якості води у створах спостереження з оптимальними показниками за даними за 2021 рік наведено у таблиці 4.

Таблиця 4 – Показники фізіологічної повноцінності мінерального складу води в місці питного водозабору р. Південний Буг на території Миколаївської області за даними за 2021 рік

Показники	Створи спостереження			Діапазон нормативних значень [25]
	м.Первомайськ	с. Олексіївка	м. Вознесенськ	
Загальна жорсткість, ммоль/куб.дм	$\frac{6,2*}{5,2 \div 7 **}$	$\frac{6,5}{5,6 \div 7,1}$	$\frac{6,9}{6,2 \div 8,0}$	1,5-7,0
Загальна лужність, ммоль/куб.дм	$\frac{5,4}{5,0 \div 6,0}$	$\frac{5,7}{5,2 \div 6,2}$	$\frac{5,6}{5,0 \div 6,3}$	0,5-6,5
Калій, мг/дм <sup>3</sup>	$\frac{39,5}{25,3 \div 55,2}$	$\frac{50,5}{29,4 \div 66,7}$	$\frac{53,7}{27,6 \div 67,2}$	2-20
Кальцій, мг/дм <sup>3</sup>	$\frac{68,1}{60,1 \div 80,2}$	$\frac{67,1}{52,1 \div 84,2}$	$\frac{76,7}{68,1 \div 84,2}$	25-75
Магній, мг/дм <sup>3</sup>	$\frac{33,6}{26,4 \div 38,4}$	$\frac{38,1}{33,6 \div 48,4}$	$\frac{33,6}{26,4 \div 38,4}$	10-50
Натрій, мг/дм <sup>3</sup>	$\frac{39,5}{25,3 \div 55,2}$	$\frac{50,5}{29,4 \div 66,7}$	$\frac{36,3}{24,3 \div 45,6}$	2-20
Сухий залишок, мг/дм <sup>3</sup>	$\frac{536,1}{420,2 \div 643,3}$	$\frac{512,6}{471,4 \div 558,3}$	$\frac{541,2}{520,2 \div 599,3}$	200-500

Примітка: \* середнє значення показників; \*\*діапазон середньорічних значень показників

Джерело: авторська розробка

За результатами гігієнічної та екологічної оцінки якості води було встановлено, що в жодному створі водозабору з р. Південний Буг якість води не відповідає безпечному рівню. Отримані результати оцінки фізіологічної збалансованості мінерального складу води, яка є

також важливим фактором формування здоров'я населення, вказують на підвищені концентрації та незбалансованість мінерального складу води у контрольних створах, що може негативно впливати на здоров'я населення. Отже, є необхідність проведення доочищення поверхневої води р. Південний Буг до нормативних показників у випадку використання її для питних потреб населення регіону.

### **Використані інформаційні джерела:**

1. Магась Н. І. Оцінка рівня екологічної безпеки та якості води в нижній частині басейну річки Південний Буг як джерела централізованого питного водопостачання. Збірник матеріалів III Міжнародної науково-практичної конференції «Екологія. Довкілля. Енергозбереження». Полтава : НУПП, 2022. С. 171–173.

2. Магась Н. І., Трохименко Г. Г. Оцінка сучасного антропогенного навантаження на басейн річки Південний Буг. Науковий журнал «Екологічна безпека»: Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського. Кременчук : КрНУ, 2013. Випуск 2/2013 (16). С. 48–52.

3. ДСТУ 4808:2007. Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні і екологічні вимоги щодо якості води та правила вибирання. К., 2007. ДСанПіН 2.4-171-10. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною. *Офіційний вісник України*. 2010. № 51, С. 99, ст. 1717, код акту 51857/2010.157

4. Сафранов Т. А. Мінералізація питних вод як показник їх якості та актор впливу на здоров'я населення. Людина та довкілля. Проблеми неоекології. №1-2 (29), 2018. С. 73–80.

5. Ворохта Ю. М. Гігієнічна оцінка впливу мінерального складу питних вод на здоров'я населення. К. : 2007. 22 с.

6. Вступ до медичної геології. У 2-х томах / За ред. Г. І. Рудька, О. М. Адаменка. К. : Академпрес, 2010.

7. Прокопов В. О., Липовецька О. Б. Вплив мінерального складу питної води на стан здоров'я населення (огляд літератури) // Гігієна населених місць. 2012. №59. С. 63–73.

8. Архипчук В. В., Гончарук В. В. Влияние обессоленной воды на жизнедеятельность организмов животных и растений и функционирование их клеток // Химия и технология воды. 2003. Т.25, №2. С. 191–101.

9. Штаников Е. В., Сумовская А. Е., Обьедкова Г. Ю. Изучение эмбриотоксического и тератогенно действия воды повышенной минерализации. Гигиена и санитария. 1985. №9. С. 19–20.

10. Акулов К. И., Буштуева К. А., Гончарук Е. И. и др. Коммунальная гигиена / Под ред. К. И. Акулова, К.А. Буштуевой. М. : Медицина 1986. 608 с.

11. Сафранов Т. А., Грабко Н. В., Поліщук А. А., Трохименко Г. Г. Збалансованість мінерального складу питних вод чинник впливу на здоров'я населення міських агломерацій Північно-Західного Причорномор'я Вісник Одеського державного екологічного університету. 2016. №20. С. 5-17.

12. Сафранов Т. А. Фізіологічна повноцінність мінерального складу

підземних питних вод як фактор формування здоров'я населення (на прикладі Одеської агломерації) // Надрокористування в Україні. К. : ДКЗ, 2014. С. 284–291.

13. Крисінська Д. О. Екологічна оцінка стану систем питного водопостачання Північного Причорномор'я. Природно-ресурсний потенціал збалансованого (сталого) розвитку України : матеріали міжнар. наук.-практ. конф. Київ : Центр екологічної освіти та інформації, 2011. Тези у 2 т. Т. 1. С. 321.

14. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Миколаївській області у 2021 році. *Управління екології та природних ресурсів Миколаївської обласної державної адміністрації*. Миколаїв, 2022. 236 с.

15. Звіт про використання води за формою 2ТП\_водгосп (річна). Регіональний офіс водних ресурсів у Миколаївській області URL: [https://mk-vodres.davr.gov.ua/basseynova\\_rada](https://mk-vodres.davr.gov.ua/basseynova_rada)

16. Річний звіт з питань управління водними ресурсами басейну річок Причорномор'я за 2021 рік. Басейнове управління водних ресурсів річок Причорномор'я та нижнього Дунаю. Одеса, 2022. 66 с.

17. Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні у 2021 році. Міністерство розвитку громад та територій України. Київ, 2022. 385 с.

**ОЦІНКА ПОТЕНЦІАЛУ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ  
В СЕКТОРІ ЗАГАЛЬНОГО ДЕРЖАВНОГО УПРАВЛІННЯ  
ТА НЕКОМЕРЦІЙНИХ ОРГАНІЗАЦІЙ**

**Маляренко О. Є.**, канд. техн. наук, старш. наук. співроб., пров. наук. співроб., **Майстренко Н. Ю.**, канд. техн. наук, старш. наук. співроб.

*Інститут загальної енергетики НАН України, м. Київ, Україна*

**Анотація.** Потенціал енергозбереження на будь-якому ієрархічному рівні побудови економіки визначається за показниками енергетичної ефективності та обсягами впровадження заходу з енергозбереження. Цей показник використовується при прогнозуванні енергоспоживання за уточненим нормативним методом прогнозування рівнів енергоспоживання з урахуванням екологічних, технологічних та структурних факторів. Дія цих факторів охоплює більшість складових, що впливають на енергоспоживання в економіці України на середньостроковий та довгостроковий термін. Потенціал енергозбереження поділяється на структурний та технологічний. Структурний не завжди є економією. Він може бути перевитратою енергоресурсів при збільшенні частки секції економіки в її загальній структурі. У статті приведено особливості енергоспоживання сектору загального державного управління та некомерційних організацій. Оцінено прогнозні обсяги енергозбереження та обсяги прогнозного споживання палива та електроенергії у вибраних секціях економіки.

**Ключові слова:** прогнозування, паливо, електрична енергія, потенціал енергозбереження, структурний потенціал енергозбереження, технологічний потенціал енергозбереження.

**ASSESSMENT OF ENERGY SAVING POTENTIAL IN THE  
SECTOR OF GENERAL PUBLIC ADMINISTRATION AND NON-  
COMMERCIAL ORGANIZATIONS**

**Maliarenko O.Ye.**, candidate technical sciences, leading researcher,  
**Maistrenko N.Yu.**, candidate technical sciences, senior research

*Institute of General Energy of the National Academy of Sciences of  
Ukraine, Ukraine*

**Abstract.** The energy saving potential at any hierarchical level of the economy structure is determined by energy efficiency indicators and the volume of implementation of energy saving measures. This indicator is used in forecasting



energy consumption according to the specified normative method of forecasting energy consumption levels, taking into account environmental, technological and structural factors. The effect of these factors covers most of the components affecting energy consumption in the economy of Ukraine in the medium and long term. Energy saving potential is divided into structural and technological. Structural is not always an economy. It can be an overexpenditure of energy resources with an increase in the share of the economy section in its overall structure. The article describes the specifics of energy consumption in the general public administration sector and non-profit organizations. Estimated volumes of energy savings and volumes of forecast consumption of fuel and electricity in selected sections of the economy.

**Keywords:** forecasting, fuel, electric energy, energy saving potential, structural energy saving potential, technological energy saving potential.

Достатність забезпечення країни вартісними, вичерпними й обмеженими в часі та обсягах паливно-енергетичними ресурсами (ПЕР) нині стало фактором виживання країни та її населення, в першу чергу, це стосується палива та електроенергії для економіки та палива для населення. Постійне зростання вартості ПЕР, їх недостатність через збройну агресію росії, знищення нею генерувальних та передавальних пристроїв обумовлює кардинальні зміни структури енергоспоживання, що є важливим при визначенні потреби в паливі та електроенергії в економіці взагалі та її бюджетній частині. Остання в якості інфраструктурної ланки забезпечує функціонування всього державного управління, соціальної сфери та сфери оборони.

Метою дослідження є визначення специфіки енергоспоживання групи секцій «Інші ВЕД», визначення напрямів скорочення споживання енергоресурсів та прогнозна оцінка енергоспоживання бюджетних секцій економіки.

В умовах воєнних дій енергозабезпечення бюджетної сфери, до якої відноситься також Державне управління і оборона є надзвичайно актуальним.

Науковою новизною дослідження є аналіз енергоспоживання секцій бюджетної сфери за ретроспективний період з виділенням груп секцій за напрямками енерговикористання, формування набору заходів із енергозбереження та оцінка перевитрат енергоресурсів внаслідок структурних змін, обумовлених можливим розширенням послуг.

**Групи видів економічної діяльності, що формують сектор загального державного управління та некомерційних організацій. Обсяги їх енергоспоживання.**

Склад секторів загального державного управління та некомерційних організацій що обслуговують домашні господарства за

видами економічної діяльності, виділення групи некомерційних організацій за формою власності.

Сектор **«Загального державного управління» (ЗДУ)** включає органи державного управління центрального, регіонального і місцевого рівня, установи, які фінансуються з державного чи місцевих бюджетів і створені для надання неринкових послуг індивідуального характеру за такими видами діяльності, як охорона здоров'я та соціальна допомога, освіта, діяльність у сфері відпочинку і розваг, культури та спорту, а також послуг колективного характеру в державному управлінні, підтримці порядку і безпеки, обороні, науці та науковому обслуговуванні (сільського господарства тощо). Ресурси цих одиниць формуються, в основному, за рахунок податків і відрахувань сплачуваних одиницями, які належать до інших секторів, а також за рахунок доходів від власності.

Сектор **«Некомерційні організації, що обслуговують домашні господарства» (НКОДГ)** включає всі некомерційні організації, за винятком тих, що належать до вище зазначених секторів. Їхньою функцією є надання товарів і послуг домашнім господарствам безоплатно або за цінами, які на мають економічного значення. До них входять професійні та наукові товариства, політичні партії профспілки, релігійні організації тощо.

Сектор **«Домашні господарства»** включає всі домашні господарства. Вони є споживачами, а деякі здійснюють виробничу діяльність як некорпоративні підприємства, що створені з метою виробництва товарів і послуг як для продажу, так і для власного використання.

Випуск, проміжне споживання, валова додана вартість розраховуються для сектора «Домашні господарства» централізовано на загальнодержавному рівні за даними статистичного обстеження умов життя домогосподарств та даними про питому вагу матеріальних витрат в обсязі продукції (робіт, послуг) малих підприємств, обчислені за формою №1 – підприємництво «Звіт про основні показники діяльності підприємства», №1 – житлофонд «Житловий фонд».

У табл. 1-2 представлені обсяги споживання палива та електроенергії в секторі «Загального державного управління».

До факторів, що мають визначальний вплив на енергоспоживання країни та сектору загального державного управління, некомерційних організацій та домогосподарств слід віднести, в першу чергу, групу економічних, екологічних та політичних факторів: глобальні економічні проблеми; міграція людей, робочої сили, капіталів; відкритість даних (доступність інформації); політичний

популізм; зростання капітальних інвестицій; різка зміна чисельності населення; темпи глобального потепління; зміна облікових ставок НБУ і жорсткість монетарної політики.

Таблиця 1 – **Обсяги споживання палива в Україні за ВЕД за період 2010-2017 рр., тис. тун**

Секції за КВЕД	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
<b>О</b> Державне управління й оборона; обов'язкове соціальне страхування	467,8	451,0	427,1	367,7	259,4	249,1	198,4	298,8
<b>Р</b> Освіта	126,3	130,2	126,6	101,7	63,7	55,2	50,5	38,0
<b>Q</b> Охорона здоров'я та надання соціальної допомоги	181,9	198,3	191,2	152,1	104,1	95,4	87,3	78,3

\* Укладено за формою статистичної звітності 4-МТП за 2010-2017 рр. Держстату України [1].

Таблиця 2 – **Обсяги споживання електроенергії в Україні за ВЕД за період 2010-2017 рр., млн кВт·год**

Секції за КВЕД	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
<b>О</b> Державне управління й оборона; обов'язкове соціальне страхування	1950	2107	2403	1352	1133	1671	1884	1984
<b>Р</b> Освіта	1060	1076	1084	370,6	270,3	264,1	862,8	835,1
<b>Q</b> Охорона здоров'я та надання соціальної допомоги	966,4	1043	1038	356,9	234,8	310,3	111,4	839,3

\* Укладено за формою статистичної звітності 11-МТП за 2010-2017 рр. Держстату України [2].

**Аналіз особливостей паливоспоживання секції загального державного управління, некомерційних організацій та домогосподарств на різних ієрархічних рівнях функціонування економіки.**

Секції загального державного управління (О «Державне управління й оборона; обов'язкове соціальне страхування»), некомерційні організації, які об'єднують кілька секцій (М «Професійна, наукова та технічна діяльність», N «Діяльність у сфері адміністративного та допоміжного обслуговування», Р «Освіта», Q «Охорона здоров'я та надання соціальної допомоги», 94S «Діяльність громадських організацій») увійшли до групи «Інші». За структурою споживання палива за зазначеними секціями за базовий 2017 р. для визначення напрямів можливого скорочення споживання палива за видами використано форму статистичної звітності 4-МТП за 2017 р. Держстату України [1]. Ці секції за напрямами використання палива можна секції поділити на дві групи.

Перша група – більшість палива використано на перетворення в теплову енергію. До неї віднесено секції у секції «О – Державне управління й оборона; обов'язкове соціальне страхування», «Р – Освіта», «Q – Охорона здоров'я та надання соціальної допомоги». У секції «О» 61% спожитого палива використано на перетворення, а 39% – кінцеве споживання. У секції «О» більш ніж 80% твердих видів палива (вугілля, торф, брикети з них, біопаливо, стружка і тріска деревні, ін.) та мазуту й понад 60% природного газу використовується у котельнях та інших теплогенеруючих установках. Решта видів палива, в основному нафтопродукти, використовуються за напрямом «кінцеве споживання» у транспортних засобах. Оливи та мастила – у якості сировини. У секції «Р» більш ніж 80% палива використовується на перетворення в котельнях і теплогенеруючих установках. У секції «Q» на перетворення витрачається більше 60% палива, решта – кінцеве споживання.

До другої групи належать секції, в яких більшість палива (більше 70%) використано за напрямом «кінцеве споживання»: «М – Професійна, наукова та технічна діяльність», «N – Діяльність у сфері адміністративного та допоміжного обслуговування», та клас «94S – Діяльність громадських організацій» (більше 59%). У цих видах економічної діяльності переважають транспортні послуги, невелика частка кінцевого споживання – використання твердих видів палива у невеликих котлах для опалювання приміщень.

Виходячи з напрямів використання палива в зазначених секціях, потрібно розглядати основні заходи зі скорочення споживання палива –

модернізація та заміна існуючих опалювальних котлів та удосконалення транспортних засобів, якими користуються в цих видах економічної діяльності.

**Напрями скорочення споживання ПЕР у секціях загального державного управління, некомерційних організаціях та домогосподарствах.**

Для вибору напрямів скорочення споживання ПЕР у зазначених секціях було вивчено Керівництво з відбору проектних технологій для житлово-комунального господарства України [3], розроблене за проектом USAID «Муніципальна енергетична реформа в Україні».

До найкращих доступних технологій для економії палива в системах виробництва теплової енергії рекомендується більш широке використання біопаливних котлів, особливо у сільській місцевості. Для котлів малої і середньої потужності рекомендовано використовувати ретортні пальники (до 100 кВт теплової потужності) та рухомі колосникові решітки (від 150 кВт до 15 МВт). Для котлів великої потужності на біопаливних ТЕЦ – використовувати технологію спалювання у киплячому шарі.

Також пропонується широке використання енергії сонця для систем теплопостачання, особливо у південних областях (Одеській, Херсонській, Миколаївській, АР Крим). Сонячні системи в основному використовують для індивідуальних та невеликих місцевих систем теплопостачання. Доцільним є поєднання сонячної системи теплопостачання з котельнею на біомасі.

Ще одним доцільним напрямом економії палива в системах теплопостачання є використання енергії доквілля за допомогою теплових насосів: «повітря- повітря» «повітря-вода», «грунт-вода», «грунтові води-вода». В якості джерела низькопотенційної теплової енергії у теплових насосах для населених пунктів із централізованим водопостачанням та водовідведенням рекомендується використання комунально-побутових стоків.

У системах водопостачання рекомендовано [3] такі найбільш поширені заходи щодо підвищення ефективності систем водопостачання та водовідведення: заміна зношених водопровідних та каналізаційних мереж на мережі з полімерних матеріалів, регулювання тиску в системах водопостачання, використання частотно-регульованих електроприводів насосних агрегатів, впровадження автоматизованих систем управління процесами водопостачання та водовідведення. Заміна трубопроводів дозволить зменшити втрати води при її транспортуванні, покращити її якість завдяки відсутності корозії металевих труб. Найбільш ефективним заходом із енергозбереження є

впровадження енергозберігальних насосів з автоматичними системами управління на базі частотного регулювання. Економія електроенергії можлива у розмірі 30-50% від споживання насосними установками, що використовують дроселювання та зміну кількості працюючих агрегатів для регулювання подачі води.

У системах гарячого водопостачання рекомендовано [3] такі найбільш поширені заходи щодо підвищення ефективності систем водопостачання та водовідведення: заміна зношених водопровідних та каналізаційних мереж на мережі з полімерних матеріалів, регулювання тиску в системах водопостачання, використання частотно-регульованих електроприводів насосних агрегатів, впровадження автоматизованих систем управління процесами водопостачання та водовідведення. Заміна трубопроводів дозволить зменшити втрати води при її транспортуванні, покращити її якість завдяки відсутності корозії металевих труб.

До перспективних технологій енергозбереження у комунально-житловому секторі слід віднести термомодернізацію житлових та побутових будівель, яких входять: теплоізоляція огорожувальних конструкцій будівель; модернізація інженерного устаткування систем опалення, вентиляції, кондиціонування та гарячого водопостачання; впровадження автоматизованих індивідуальних теплових пунктів; заміщення викопних видів палива альтернативними видами (біомаса, торф, вторинні горючі матеріали) енергоресурсів; впровадження високоефективних технологій перетворення енергії, які повністю заміщують використання природного газу та вугілля в теплогенеруючих джерелах. До цих технологій належать: компресійні та абсорбційні теплові насоси, які використовують теплоту скидних вод промислових і побутових підприємств, теплоту поверхневих, підземних та геотермальних вод, вентиляційного та зовнішнього повітря й інших джерел; технології з прямим використанням електроенергії (електричні котли, електробойлери та інше обладнання), які можуть застосуватись у СЦТ і СДТ як самостійні теплогенеруючі джерела для індивідуального користування; технології використання теплоти відновлювальних джерел енергії (геліо- та геотермальні види енергії); альтернативні види палива, до яких відносяться торф, відходи сільськогосподарських та промислових підприємств, скидні промислові горючі гази, шахтний метан та інші [3].

Використання зазначених технологій може суттєво знизити питомі енерговитрати на опалення житлових будинків на перспективний період до 2040 року до рівня 60-80 кВт·год/м<sup>2</sup> площі у рік проти 250-400, які відповідають величинам вітчизняних житлових

будинків в 2017 році. Для порівняння на цей рік в Німеччині питомі витрати склали 180, а у країнах Скандинавії – 150 кВт·год/м<sup>2</sup> [3].

Як споживачі електроенергії зазначені секції в базовому 2017 р. згідно даних [4] належать до дрібних споживачів, відсотки яких до обсягу споживання електроенергії в цілому країною (нетто) знаходяться в межах 0,7-1,7%, крім секції «Домогосподарство», відсоток якої складає 29,5%.

Обсяги споживання електроенергії зазначеними некомерційними секціями, і домогосподарствами, залежать від використання електрозберігальної побутової техніки. Як приклад у табл. 3 наведено значення мінімального та максимального попиту на електроенергію на одну особу за рік характерних для країн Європи.

**Таблиця 3 – Мінімальний та максимальний попит на електроенергію на одну людину в країнах Європи, кВт·год [3]**

Вид операцій споживання	Мінімум	Максимум
Освітлення	100	100
Охолодження продуктів	225	575
Приготування їжі	70	125
Прання білизни	100	380
Миття посуду	90	290
Інші	100	100
Разом	685	1570

Реально в 2017 р. питомі витрати електроенергії на одну людину при використанні секцією «Домогосподарство» електроенергії обсягом 35064,3 млн кВт·год і кількості населення в Україні 42,6 млн. осіб складає 823,0 кВт·год /людину, що на 20% більше величини мінімального попиту [3].

До переліку технологічних заходів, спрямованих на зниження обсягів споживання електроенергії за секціями на прогнозний період 2040 року, входять належать такі:

- застосування економічних схем освітлення з використанням світлодіодних ламп (LED);
- заміна діючої комп'ютерної техніки на малоспоживальні «зелені» комп'ютери;
- впровадження електроефективної побутової техніки замість діючих електровитратних;
- використання автоматичних систем регулювання режимів роботи обладнання, проведення обліку та контролю використання електроенергії.

**Таблиця 4 – Прогноз споживання паливно-енергетичних ресурсів секціями загального державного управління та некомерційними організаціями з урахуванням структурних і технологічних змін [4]**

Показники	2017-факт	2025	2030	2040
<b>Електроенергія, млн кВт·год, у т.ч.</b>	11878,7	25998,0	36847,0	52394,6
Державне управління та оборона	1983,7	2870,5	3689,8	5194,8
Технологічний ПЕЗ	0	10	12	15
Освіта	835	1237,1	1683,6	2728,1
Технологічний ПЕЗ	0	3	4	6
Охорона здоров'я та надання соціальної допомоги	9060	21890,4	31473,6	44471,7
Технологічний ПЕЗ	0	4	6	9
<b>Теплова енергія, тис. Гкал, у т.ч.</b>	13061,1	17331,3	21587,7	28052,2
Технологічний ПЕЗ	0	904,5	1892,5	4665,5
Державне управління та оборона	5297,1	6704	8482,5	11509
Освіта	2633,7	3333,2	4217,5	5722
Охорона здоров'я та надання соціальної допомоги	2305	2217	2075	1818
<b>Паливо, тис. т у.п.</b>	3024,2	4248,2	5206,4	6422,3
Технологічний ПЕЗ	0	152,4	258,5	475,4

Заміна систем освітлення на світлодіодні енергоощадні LED лампи необхідна у першу чергу у бюджетних установах, а також для населення. Проведене у [3] дослідження показало, що при впровадженні енергоощадних ламп на заміну існуючих у кількості 326,5 млн. одиниць, можливо щорічно економити 40 млрд кВт·год електроенергії.

Із урахуванням електрозберігальних технологічних заходів було проведено оцінки можливих обсягів використання електроенергії за некомерційними секціями і домогосподарством на прогнозний період до 2040 року. Для таких секцій як «Професійна, наукова та технічна



діяльність», «Охорона здоров'я та надання соціальної допомоги», «Домогосподарство», планується збільшення обсягів споживання електроенергії на перспективу, що пов'язано з ростом та розвитком науково-технічного прогресу у їх виробничій діяльності та широке впровадження електрозберігальних видів техніки і якісних послуг.

Розрахунки споживання електроенергії та палива для досліджуваних ВЕД до 2040 року представлені в таблиці 4.

### **Висновки.**

1. Витрати енергоресурсів мають свою специфіку для кожної секції економіки та ієрархічного рівня у структурі економіки. Для некомерційних організацій, до яких відносяться організації, що надають послуги з охорони здоров'я, освіти, соціального захисту та ін. визначено обсяги споживання палива, електричної та теплової енергії до 2040 року, що витрачаються на обслуговування будівель і приміщень, і не залежать від обсягів наданих послуг. Електрична енергія, що споживається у відповідних секціях, залежить від показників освітлення будівель, архітектурних особливостей та набору електроприладів, що використовуються у державних установах і некомерційних організаціях. Споживання палива залежить від систем опалення та наявності й кількості автомобільного транспорту в організаціях.

2. Для розглянутих ВЕД (сектор Інші ВЕД) очікується зростання електроспоживання в прогнозованому періоді в 4,41 рази, теплової енергії у 2,15 рази, палива у 2,12 рази в зв'язку з розширенням видів послуг. Послуги з опалення та гарячого водопостачання й кондиціонування будуть зростати для забезпечення нормативних вимог.

### **Використані інформаційні джерела:**

1. Форма статистичної звітності 4-МТП за 2017 рік.
2. Форма статистичної звітності 11-МТП за 2017 рік
3. Кращі з доступних технологій для житлово-комунального господарства України. Проект USAID «Муніципальна енергетична реформа в Україні». Керівництво з відбору технологій. Під ред. С. Єрмілова. Київ : «Полігра ПЛЮС». 2016. 134 с. ISBN 978-966-8977-63-3.
4. Звіт про НР: Розвиток комплексного методу прогнозування енергоспоживання з урахуванням специфіки енерговикористання сектору загального державного управління, некомерційних організацій та домогосподарств (остаточний). № ДР 0119U100114. Керівник: О. Маляренко, відп. викон.: Н. Майстренко. Київ : Інститут загальної енергетики НАН України. 2021. 198 с.

## **РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНЦІЙ АНАЛІЗ ҐРУНТУ, ПОШКОДЖЕНОГО ВИБУХАМИ**

**Петрушка К. І.**, канд. техн. наук, доцент, **Петрушка І. М.**,  
доктор техн. наук, професор

*Національний університет «Львівська політехніка», Україна*

**Анотація.** Метою дослідження є оцінювання наслідків впливу ракетних обстрілів російською федерацією ґрунтового покриву міста Львова. Для отримання результатів використаний рентгенофлуоресцентний аналізатор EXPERT 3L, який дозволяє визначити хімічні елементи періодичної таблиці в ґрунті від магнію до урану. Для підвищення чутливості приладу до легких елементів таких як натрій, магній, алюміній, кремній, аналізатор забезпечений системою продування каналів коліматора інертним газом (гелієм), що забезпечує швидкий вивід даних вимірювання. Проби відбирались за методом концентричних кіл. Проведено усереднення відібраних проб ґрунту з місця вибуху крилатих ракет методом висушування та просіювання. В результаті проведених аналізів наведено вміст важких металів у ґрунті в залежності від місця відібраних проб. Встановлено, що у центрі вибуху максимальна концентрація в ґрунті таких елементів, як свинець, стронцій, титан, цирконій та магній. Зменшення концентрації даних елементів спостерігається на поверхні ґрунту біля центру вибуху.

## **X-RAY FLUORESCENCE ANALYSIS OF SOIL DAMAGED BY EXPLOSIONS**

**Petrushka K.**, PhD., Assoc. prof., **Petrushka I.**, DScTech., Prof.

*Lviv Polytechnic National University, Ukraine*

**Abstract.** The purpose of the study is to assess the impact of rocket attacks by the Russian Federation on the ground cover of the city of Lviv. X-ray fluorescence analyzer EXPERT 3L was used to obtain the results, which allows you to determine the chemical elements of the periodic table in the soil from magnesium to uranium. To increase the sensitivity of the device to light elements such as sodium, magnesium, aluminum, silicon, the analyzer is equipped with a system of purging the collimator channels with inert gas (helium), which provides a quick output of measurement data. Samples were taken by the method of concentric circles. Averaging of soil samples taken from the site of a cruise missile explosion by drying and sieving was carried out. As a result of the conducted analyses, the content of heavy metals in the soil is

given, depending on the location of the samples taken. It was established that in the center of the explosion, the maximum concentration in the soil of such elements as lead, strontium, titanium, zirconium and magnesium. A decrease in the concentration of these elements is observed on the surface of the soil near the center of the explosion.

Терористичні військові дії російської федерації на території України призвели до цілого ряду небезпечних впливів на ґрунти та ландшафти, поверхневі і підземні води, рослинність і тваринний світ, значно збільшили ризики виникнення аварійних ситуацій на промислових підприємствах та інфраструктурних об'єктах.

На теперішній час 20% території України є окупованою, більше 30% території піддаються безпосередньому техногенному впливу військових, агресійних військових дій російської федерації.

Основна небезпека в умовах конфлікту пов'язана з можливістю забруднення навколишнього середовища через аварії, та серйозні порушення роботи на промислових та інших підприємствах у різних регіонах України.

При плануванні та веденні бойових дій турбота про довкілля перебуває, напевно, на останньому місці, незважаючи на ті довготривалі негативні наслідки, що матимуть вплив на усі складові навколишнього природного середовища та населення.

Військові конфлікти небезпечним чином позначаються на стані ґрунтів та ландшафтів, поверхневих і підземних вод, рослинності й тваринного світу. Особливу небезпеку для довкілля становлять конфлікти, що відбуваються на промислово розвинених територіях зі значною кількістю екологічно небезпечних підприємств та інфраструктурних об'єктів.

В умовах дефіциту офіційної інформації про стан довкілля на теренах України, для оцінки завданої шкоди, нами були проаналізовані та узагальнені всі доступні джерела інформації, що дозволило сформулювати бачення потенційних масштабів екологічних впливів на ґрунтовий покрив внаслідок ракетних обстрілів.

Агресія російської федерації призвела до потрапляння до довкілля шкідливих небезпечних речовин, знищення родючого ґрунту, рослинного покриву, об'єктів дикої фауни, в тому числі занесених до Червоної книги України. Бойові дії велися зокрема в межах Луганського та Українського степового природних заповідників, національних парків «Меотида» і «Святі гори», регіонального ландшафтного парку «Донецький кряж». Пожежі пошкодили ділянки заказників «Нагольчанський», «Волнухинський», «Білоріченський»,

«Білогорівський», «Піщаний» на Луганщині. При цьому найбільш постраждали степові заповідники.

Наведені вище факти лише незначною мірою відображають реальні масштаби завданих збитків (як прямих, так і опосередкованих) у сфері природокористування.

Отже постає гостра необхідність у фіксуванні кожного такого випадку; видів спричиненої екологічної шкоди; вимірюванні, оцінці та встановленні її обсягів; виявленні винних.

Важливим є питання встановлення протиправності спричинення екологічної шкоди внаслідок бойових дій, та ширше – збройного конфлікту, а ще ширше – агресії російської федерації проти України, та визначення застосованого права – міжнародного гуманітарного права, міжнародного кримінального права, права міжнародної відповідальності, внутрішньодержавного права України, меж відповідальності різних суб'єктів, як фізичних осіб, так і держави-агресора.

російська федерація як держава-агресор несе відповідальність за всю шкоду, завдану в результаті агресії проти України, у тому числі навколишньому середовищу України, згідно з нормами права міжнародної відповідальності, кодифікованими у Статтях про відповідальність держав за міжнародно-протиправні діяння.

російська федерація має бути притягнена до відповідальності за шкоду навколишньому середовищу України в рамках відповідальності за іншу шкоду, завдану в результаті агресії проти України, шляхом застосування, як засобів міжнародного правосуддя, так і квазісудових органів.

Окремим механізмом стягнення з російської федерації компенсації за шкоду навколишньому середовищу та іншу шкоду, завдану внаслідок агресії російської федерації проти України та окупації Криму, могло би бути заснування спеціальної комісії в рамках ООН на зразок Комісії ООН з компенсацій. Діяльність такої Комісії у поєднанні з персональними та іншими санкціями проти російської федерації може виявитися ефективним механізмом в умовах складності притягнути російської федерації до відповідальності в рамках міжнародних судів.

Країна-агресор (російська федерація), як сторона міжнародного збройного конфлікту має відшкодувати шкоду, яка в результаті порушень положень Женевських конвенцій чи ДП I (ст. 91 ДП I). Ці порушення мають бути пов'язані як з порушенням зобов'язань згідно зі п. 3 ст. 35, ст. 55 ДП I щодо заборони спричинення серйозної, широкої, довгострокової шкоди навколишньому середовищу, так і з порушенням

інших положень Женевських конвенцій чи ДП I, щодо невивіркових нападів (ст. 48, 52 ДП I), нападів на установи та споруди, які містять небезпечні речовини (ст. 56 ДП I), та іншими порушеннями міжнародного гуманітарного права, в результаті яких виникає додаткова (побічна) шкода навколишньому середовищу.

Умовою міжнародної кримінальної відповідальності керівництва російської федерації та командного складу збройних сил російської федерації за шкоду, спричинену навколишньому середовищу під час агресії проти України, є наявність доказів серйозного, широкого, довгострокового характеру шкоди відповідно ст. 35, 55 ДП I та ст. 8.2.b.iv Римського статуту Міжнародного кримінального суду. Притягнення до кримінальної відповідальності керівництва російської федерації та командування російської федерації на підставі статті вищезгаданої статті Римського статуту Міжнародного кримінального суду передбачає необхідність дотримання кумулятивного стандарту та доведення умислу щодо вчинення нападу, знання про те, що такий напад буде причиною значної екологічної шкоди, а також того, що шкода буде явно не співмірною з конкретною і безпосередньо очікуваною загальною військовою перевагою.

російська федерація відповідальна за порушення вимог двосторонніх угод з Україною у сфері охорони довкілля, внаслідок чого Україні спричинено значну шкоду, яку російська федерація зобов'язана їй відшкодувати згідно з нормами міжнародного права. Російська федерація також відповідальна за шкоду, завдану Україні внаслідок позбавлення її права доступу до природних ресурсів, розташованих на окупованих територіях, зокрема об'єктів природно заповідного фонду. На початку березня 2022 року Міндовкілля ініціювало збір інформації про злочини проти довкілля, до ініціативи долучились різні громадські організації. Реальні збитки та вплив буде підраховано після перемоги, але від державної екологічної інспекції вже були озвучені перші 77 млн. дол., лише за забруднення земельних ресурсів [1].

Проте вже у жовтні 2022 року під час слухань у комітеті Європарламенту з питань довкілля, громадського здоров'я та продовольчої безпеки Міністр захисту довкілля та природних ресурсів Стрілець Руслан Олександрович повідомив, що за сім місяців війни повномасштабної війни з росією довкіллю України було завдано збитків на один трильйон гривень (майже 36 млрд. євро). Задokumentовано 2 тисячі випадків заподіяння шкоди довкіллю внаслідок війни.

За словами Міністра, з 36 млрд. євро 11,4 млрд. – це збитки, завдані ґрунтам, а 24,6 млрд. – збитки внаслідок забруднення повітря.

Крім того, лише за сім місяців війни внаслідок лісових пожеж, бомбардувань нафтопереробних заводів та промислових об'єктів обсяг викидів вуглецю в атмосферу становить не менше 31 млн. тонн. При цьому потенційно 79 млн. тонн парникових газів буде вироблено під час повоєнного відновлення України, зокрема інфраструктури.

Міністр повідомив, що внаслідок бойових дій в Україні знищено чи суттєво пошкоджено близько третини лісових насаджень країни, 450 тисяч гектарів лісів перебувають під російською окупацією. Звільнено 2,45 млн. гектарів лісових насаджень, але вони «випалені та перекопані траншеями», на їхнє відновлення потрібні десятиліття.

### Кількість екозлочинів РФ по областях



Рисунок 1 – Кількість екозлочинів рф на території України станом на березень 2022 року

У зоні бойових дій опинилося 20% природоохоронних територій України.

Відомо, що ґрунтовий покрив України різноманітний і представлений понад 650 видами ґрунтів, що зумовлено значною протяжністю території в широтному і меридіональному напрямках, загальною ґрунтово-рослинною зональністю, а також провінційними відмінностями факторів ґрунтоутворення.

Найбільш поширеними на території України є чорноземи (27,8 млн га), які поширені в степовій зоні. Чорноземи України становлять 8,7% від загальної площі чорноземних ґрунтів світу. На другому місці за поширеністю – сірі лісові ґрунти, які є в лісостеповій зоні й займають приблизно 4 млн. га. Дерново-підзолисті ґрунти займають понад 3,1 млн. га, поширені в основному на Поліссі.

У південній частині України на площі 1,3 млн. га поширені темно-каштанові й каштанові ґрунти. Лучно-болотні, болотні й торфові ґрунти займають площу близько 1,7 млн. га. Вони є азональними ґрунтами, приурочені до заболочених територій, насамперед Полісся. Значні площі цих ґрунтів (зокрема на Поліссі) осушені й зайняті сіножатями та пасовищами, рідше ріллею.

У Карпатах і Гірському Криму поширені буроземні ґрунти, що займають площу майже 750 тис. га. Ці ґрунти часто щебенюваті та кам'яністі. Серед інших типів ґрунтів поширені солонці й солончаки (переважно у степовій зоні).

Понад 300 тис. га займають розмиті ґрунти й виходи порід, які практично не використовуються в сільському господарстві [2].

Таким чином, глобальний вплив агресора на території України відображається на всіх складових навколишнього середовища, тому метою наших досліджень є вплив військових дій на ґрунтовий покрив.

У період із травня 2022 року до жовтня 2022 року нами проведений рентгенофлуоресцентний аналіз ґрунту в місцях потрапляння крилатих ракет у Львівській області (зокрема на території Львова).

Відбір проб ґрунту проводився за методикою концентричних кіл (центр вирви, середина вирви та поверхня вирви). З кожної точки відбору відбирались по 5-6 проб. Після цього проби ґрунту висушували для видалення вологи, потім подрібнювали до однорідного гранулометричного складу і просіювали на ситі з діаметром отворів 250 мкм.

Основна увага наших досліджень була зосереджена на присутності у досліджуваних ґрунтах іонів важких металів та елементів, які використовуються в електронних платах та виробих.

Результати проведених досліджень відображені на рисунках 2-6.

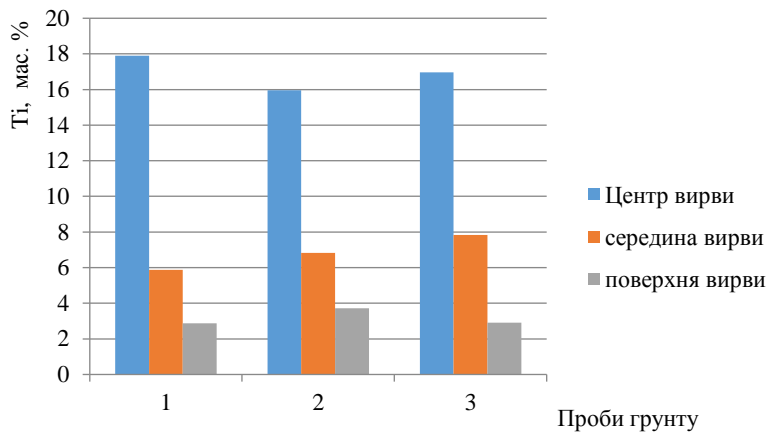


Рисунок 2 – Вміст титану в пробах ґрунту

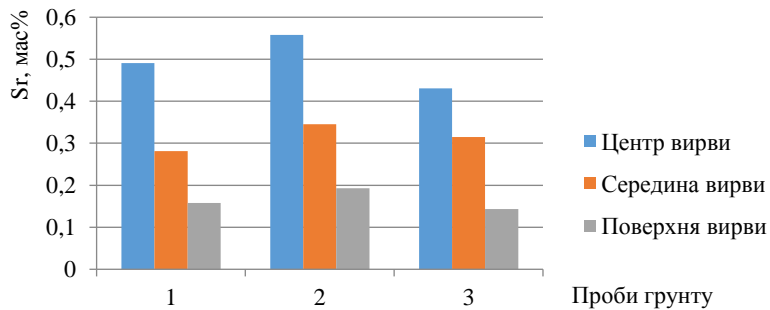


Рисунок 3 – Вміст стронцію в пробах ґрунту



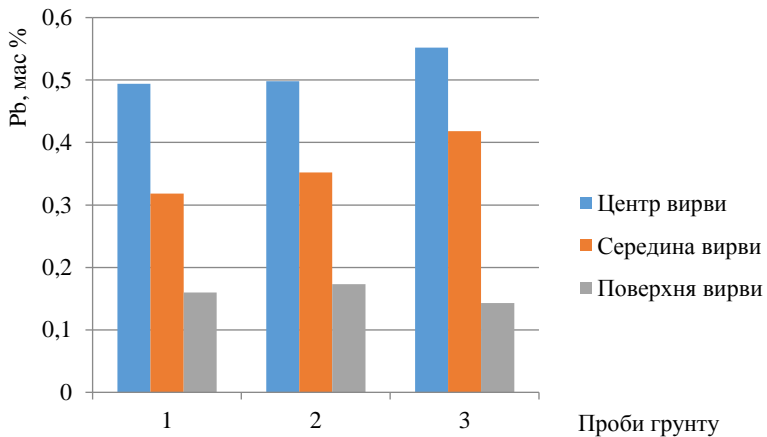


Рисунок 4 – Вміст свинцю в пробах ґрунту

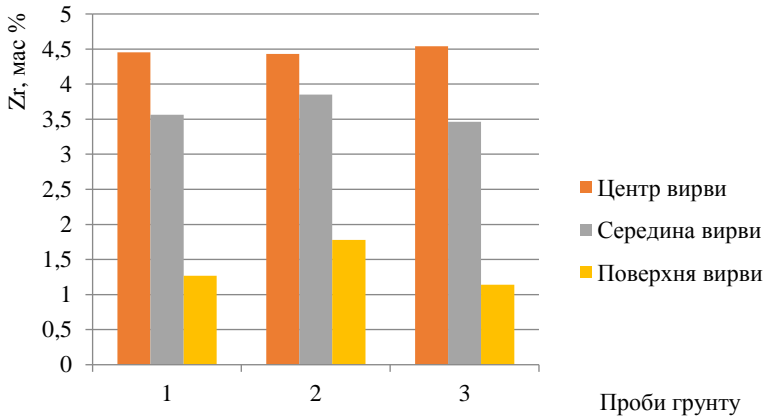


Рисунок 5 – Вміст цирконію в пробах ґрунту

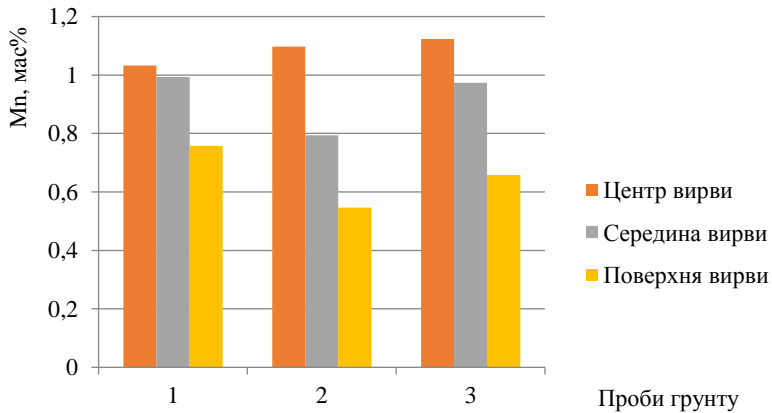


Рисунок 6 – Вміст мангану в пробах ґрунту

Основна масова частка небезпечних елементів зосереджена в центрі вибуху і до поверхні спадає їхня концентрація. Проте зрозуміло, що всі наведені елементи з часом окислюються і утворюють оксиди різної валентності. А це в свою чергу зумовлює потрапляння даних оксидних форм не тільки в ґрунт, але й водне середовище.

Відомо, що іони важких металів у ґрунтах становлять серйозну загрозу і для здоров'я людей, оскільки з ґрунту вони потрапляють в рослини, а з них – в організм людини. Потрапляючи в організм, важкі метали накопичуються в основному в нирках і печінці, викликаючи серйозні порушення обміну речовин.

Необхідно відмітити, що окрім іонів важких металів в ґрунті присутні такі рідкісні елементи, як цирконій та манган. Присутність у ґрунті даних елементів можна пояснити технологічним процесом виготовлення крилатих ракет.

Наприклад, цирконій – перехідний метал. Особливістю цирконію є стійкість до корозії. Використовується він у сплавах металів для надання корозійної стійкості.

Наявність у відібраних пробах із місця вибуху мангану (марганцю) також можна пояснити специфікою технологічного процесу виготовлення крилатих ракет, а саме – використання в електроніці, отриманні різних видів сталі, кольорових сплавів та інше [3].

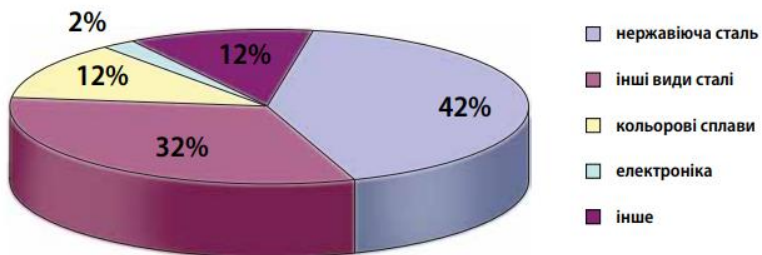


Рисунок 7 – Шляхи використання мангану

У результаті проведених досліджень ґрунту після влучання крилатих ракет на територію Львівської області доведено значне перевищення в ґрунтовому покриві іонів важких металів, які спричиняють токсичну дію на навколишнє середовище. Проте завдання визначення екологічного ризику наслідків агресії російської федерації стосовно України залишаються основним питанням збереження навколишнього середовища та забезпечення сталого розвитку.

#### Використані інформаційні джерела:

1. <https://www.epravda.com.ua/columns/2022/03/26/684714/>
2. Позняк С. П. Ґрунтознавство і географія ґрунтів : Підручник. У двох част. Львів : Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2010. 270 с.; 286 с.
3. Андрусишина І. М., Голуб І. О., Лампека О. Г. Марганець у воді – небезпечний полютант. Київ, 2018. 38 с.

## **АВАРІЇ НА НАФТОГАЗОВИХ РОДОВИЩАХ ЯК ЧИННИК ВПЛИВУ НА ГЛОБАЛЬНУ ЕКОЛОГІЧНУ БЕЗПЕКУ В УКРАЇНІ**

**Пічугін С.Ф.**, доктор техн. наук, професор, **Зима О.Є.**, канд. техн. наук, доцент, **Стеблянко В.С.**, аспірантка, викладач

*Національний університет «Полтавська політехніка  
імені Юрія Кондратюка, Україна*

**Анотація.** озглянуто причини виникнення аварій на нафтогазових родовищах, проведено аналіз забруднень, пов'язаних з аварійними розливами нафтопродуктів, взято до уваги залишковий вплив нафтопродуктів та їхній вплив на навколишнє середовище, зокрема на ґрунти та води Світового океану. Також досліджено трансформацію нафтових забруднень та зміну форм існування нафти при переході з одного середовища в інше, проведено класифікацію основних причин аварій на нафтогазових родовищах з урахуванням проектування та експлуатації нафтотранспортної системи. Запропоновано ефективні шляхи вирішення аварійних ситуацій на трубопроводах та розробку методик та засобів діагностики технічного стану магістральних трубопроводів, проведено опис кожного етапу нафтогазового виробництва та його негативний вплив на довкілля, який виникає в процесі розробки нафтових і газових родовищ.

**Ключові слова:** аварії, нафта, газ, родовища, екологія, безпека, вплив, аналіз, фактор, середовище.

**Pichugin S. F.**, Doctor of Technical Sciences, Professor,  
**Zima O. E.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
**Steblianko V.S.**, graduate student, teacher

*Yury Kondratyuk Poltava Polytechnic National University, Ukraine*

**Abstract:** the causes of accidents at oil and gas fields are considered, the analysis of pollution related to accidental spills of petroleum products is carried out, the residual impact of petroleum products and their impact on the environment, in particular on the soils and waters of the World Ocean, are taken into account. The transformation of oil pollution and the change in the forms of existence of oil during the transition from one environment to another were also investigated; the classification of the main causes of accidents at oil and gas fields was carried out, taking into account the design and operation of the oil transportation system. Effective ways of solving emergency situations on pipelines and the development of methods and tools for diagnosing the technical condition of main pipelines are proposed, each

stage of oil and gas production and its negative impact on the environment, which occurs in the process of developing oil and gas fields, is described.

**Keywords:** oil, gas, deposits, ecology, safety, impact, analysis, factor, environment.

У сучасному світі все більшої уваги надається вирішенню екологічних проблем, які можуть бути спричинені як самою природою, так і життєдіяльністю людини, причому останній чинник набув важливішого статусу внаслідок розвитку нафтогазової промисловості в Україні. Видобуток та переробка будь-яких корисних копалин, зокрема нафти і газу, належать до людського виду діяльності, що відноситься до рівня підвищеної екологічної небезпеки та несе великі ризики забруднення органічними та неорганічними речовинами, перетворення геологічного середовища, пожежну небезпеку та інші загрози довкіллю. Нафтова галузь України являє собою складну систему, яка включає геологорозвідувальні роботи, видобуток, транспортування, зберігання та переробку нафти. Ступінь впливу зазначених підгалузей на навколишнє середовище різний, але врахування його важливе для оцінки екологічних і техногенних ризиків, які виникають останнім часом все частіше. Одним із шляхів підвищення екологічної безпеки нафто-газової галузі є врахування факторів, що її спричиняють. Фактори за природою та характером дії, що впливають на негативний вплив на довкілля діяльності підгалузей нафто-газового комплексу дуже різноманітні.

Фахівці визнають, що найбільш екологічно-небезпечними та руйнівними для довкілля є забруднення, пов'язані з аварійними розливами нафтопродуктів та супутніх пластових вод та під час буріння свердловин і розкриття покладів із аномально-високим пластовим тиском. Також слід зазначити, що великої шкоди екосистемам завдають морські перевезення. Найбільші втрати нафти пов'язані з її транспортуванням із районів добування. Аварійні ситуації, скид за борт промивних і баластних вод обумовлюють наявність постійних полів забруднення на трасах морських шляхів. Втрати відбуваються навіть за безаварійної роботи морського транспорту. Але під час аварій, коли може розлитися до 40–50 тис. т нафти, уражається поверхня, площею близько 100 км<sup>2</sup>. Розлив нафти – це одна з найнебезпечніших аварій на виробництві, яка виникає в результаті неправильних дій людини та приносить багато шкоди навколишньому середовищу. Залишковий вплив таких аварій, особливо на підземні води і геологічне середовище, може зберігатися впродовж десятиріч, тому особливої важливості набуває завдання оцінки впливу стану аварійних свердловин на

довкілля та прогнозування негативних змін для навколишнього середовища, що зможе визначити негативні наслідки та мінімізувати вплив на середовище [1]. Головні місця нафтового забруднення Світового океану відмічаються на шляхах руху між Близьким Сходом та Європою, Америкою та Японією. Значні забруднення наявні також у Середземному, Карибському, Південно-Китайському та Японському морях. Аналіз джерел і форм нафтових забруднень дозволив установити, що в загальній кількості надходжень:

- 23% складають скиди із суден у море промивних і баластних вод, тобто забруднення, пов'язані з нормальною експлуатацією суден;

- 17% припадає на скиди нафти та нафтопродуктів у портах чи припортових акваторіях, включаючи втрати при завантаженні бункерів наливних суден;

- 10% потрапляє з берега разом із промисловими відходами та стічними водами, що містять емульговану, розчинену та плівкову нафту;

- 5 % приносять зливі стоки у вигляді емульгової, розчиненої та плівкової нафти;

- 6% пов'язано з катастрофами суден, бурових у морі, коли утворюються суцільні поля та плівки з емульгової чи розчиненої нафти;

- 1% дає буріння на шельфі, ці забруднення складаються з емульгової, розчиненої та плівкової нафти;

- 10% припадає на нафту, що надходить з атмосфери в розчиненому та газоподібному стані;

- 28% приносять річкові води, що містять нафту в усьому різноманітті її форм.

Нафта і нафтопродукти справляють негативний вплив на морські біоценози, тому що їх плівки порушують обмін енергією, теплом, вологою та газами між океаном і атмосферою, а також впливають на фізико-хімічні та гідрологічні умови, клімат Землі, баланс кисню в атмосфері, викликають загибель риби та мікроорганізмів. Усі компоненти нафти токсичні для морських організмів. У нафти є ще одна побічна властивість – її вуглеводи здатні розчинити ряд інших забруднюючих речовин, таких як пестициди, важкі метали, які разом із нафтою концентруються в приповерхньому шарі і ще більше отруюють його. Нафта утворює на поверхні води плівку, завтовшки в одну молекулу. Одна крапля похідних нафти може забруднити мільйон крапель чистої води. Цей тонкий шар обмежує доступ кисню у воду і викликає задуху риб і всіх водних організмів. Забруднення нафтою завдає особливо великої шкоди стенойким видам (види, що не

витримують великих коливань факторів довкілля). Страждають від забруднення нафтою і морські птахи. Нафта склеює їх пір'я, теплоізоляція порушується. Для підтримки температури тіла стає більш інтенсивним обмін речовин, через що витрачаються жирові резерви. Птах гине від виснаження. Птахи, що пірнають, плутають нафтові плями з їжею й отруюються. Нафта і нафтопродукти негативно впливають на морські біоценози, тому що їх плівки перешкоджають обміну енергії, тепла, вологи і газу між океаном і атмосферою, а також впливають на фізико-хімічні та гідрологічні умови, клімат Землі і баланс кисню в атмосфері.

Мережа нафтопроводів України відіграє значну роль у забезпеченні енергетичної безпеки країни. На підвищення безпеки функціонування складних технічних систем акцентується особлива увага. Найнебезпечнішими складовими системами магістрального транспортування нафти є лінійні частини магістральних трубопроводів, витікання вмісту яких створює найбільші загрози. Нафтові фракції є джерелом підвищеної пожежовибухонебезпеки та небезпеки для довкілля, до яких призводять аварійні ситуації. Більшість аварій на нафтопроводах стаються внаслідок зношування труб (більше 1/3 нафтопроводів експлуатуються понад 30 років), через внутрішню корозію. Питома частота поривів нафтопроводів всіх типів змінювалася від 0,131 до 0,247 випадку на км за рік. В середньому вона була рівна 0,168 випадку на км за рік. Найбільша частота відмов характерна для нафтозбірних мереж родовищ [2].

У процесі проектування та експлуатації нафтотранспортної системи недостатньо враховується її вплив на довкілля й оцінюється та аналізується ризик виникнення надзвичайних ситуацій. Забезпечення безпеки зводиться, в основному, до дотримання певних відстаней між трасою магістральних трубопроводів та об'єктами інфраструктури. У разі відмов магістральних нафтопроводів, що виникають під дією техногенних, природних та антропогенних факторів, порушується природний режим ґрунтів і водних об'єктів, забруднюється атмосфера, що часто призводить до екологічного лиха. Порушення ґрунтового покриття відбувається при бурінні видобувних свердловин і на стадії будівництва об'єктів облаштування родовища. Іншим елементом ризику експлуатації трубопроводів є магістралі, що з'єднують свердловини на родовищах. До них взагалі не застосовують жодні стандарти регулювання, оскільки багато з них працюють при дуже низьких тисках і знаходяться у віддалених районах. Тому працівники станцій не можуть зібрати об'єктивні дані про розриви й протікання, а також про те, чи дотримуються взагалі яких-небудь стандартів щодо

характеристик зварних швів та глибини залягання трубопроводу. Одним із шляхів вирішення такої ситуації є установка запірної арматури з автоматичним дистанційним управлінням, яка може швидко зупинити подачу газу або нафти в разі аварії.

Основними причинами аварій на нафтогазових родовищах є: зовнішні фізичні дії на трубопроводи, включаючи несанкціоновані врізання, що спричинили витоки вуглеводнів, – 34,7%, порушення норм і правил проведення робіт при будівництві і ремонті, відхилення від проектних рішень – 24,7%; корозійні пошкодження труб, запірної і регулюючої арматури – 23,5%; порушення технічних умов при виготовленні труб і устаткування – 12,4%; помилкові дії експлуатаційного і ремонтного персоналу – 4,7% [1].

Цікаво простежити за трансформацією нафтових забруднень і зміною форм існування нафти при переході з одного середовища в інше та прослідкувати зміни у хімічному складі ґрунту, зміни його властивостей та структури. Ґрунти вважаються забрудненими нафтою та нафтопродуктами, якщо збільшення концентрації цих речовин піднімається до рівня, при якому порушується екологічна рівновага в ґрунтовій системі, відбувається зміна морфологічних та фізико-хімічних характеристик ґрунтових горизонтів, змінюються водно-фізичні властивості ґрунтів, порушується співвідношення між окремими фракціями органічної речовини ґрунту, знижується продуктивність земель. Кожна з форм нафти по-своєму впливає на фізичні, хімічні та біологічні процеси, що протікають у середовищі ґрунту, на межі переходу середовищ та на гідрохімічні бар'єри, має властивий механізм трансформації, біологічного та хімічного окислення. Просочування нафтою ґрунтової маси призводить до:

– змін у хімічному складі ґрунту, зміни його властивостей та структури, перш за все це позначається на гумусовому горизонті: кількість вуглецю в ньому різко збільшується, але погіршується якість ґрунтів, як поживного субстрату для рослин, гідрофобні частинки нафти заважають зволоженню коріння рослин, що призводить до фізіологічних змін усєї рослини;

– зміни складу ґрунтового гумусу, які на початку відбуваються у ліпідних і кислих компонентах;

– різкого порушення в ґрунтовому мікробіоценозі, пригнічування фотосинтетичної активності рослинних організмів, що позначається насамперед на розвитку ґрунтових водоростей. Залежно від дози нафти, що потрапила в ґрунт, і збереження ґрунтового та рослинного покриву,



спостерігаються різні реакції ґрунтових водоростей: від часткового пригнічення до загибелі.

Найбільш перспективним засобом знезаражування ґрунтів є окислення нафти і нафтопродуктів за допомогою ґрунтових мікроорганізмів. Прискорити очищення ґрунтів за допомогою мікроорганізмів можна в основному двома шляхами: активізацією метаболічної активності мікрофлори ґрунтів шляхом зміни фізико-хімічних умов середовища (агротехнічні прийоми) або внесенням спеціально підібраних активних нафтоокислюючих мікроорганізмів у забруднений ґрунт.

На сьогодні підприємства з видобування, транспортування та переробки нафти є одними з головних джерел техногенної небезпеки. Це пов'язано з викидами надзвичайно шкідливих речовин і екстремальними ситуаціями, до яких відносяться аварії, вибухи, пожежі. Причинами виникнення аварійних ситуацій є відмова технічних систем внаслідок помилок, допущених при проектуванні, порушення технології виготовлення труб, умов і режимів експлуатації [10]. Корозійне зношення стінок магістральних трубопроводів є основним джерелом утворення та розвитку дефектів. Тому виникає необхідність в проведенні досліджень, пов'язаних з вивченням умов утворення дефектів різної форми в процесі експлуатації складних транспортних систем та у виборі режимів перекачування нафти з початковими тисками, які забезпечать безпечну роботу нафтотранспортних систем [3].

Отже, основними причинами виникнення аварій на трубопроводах є:

- механічні руйнування трубопроводів і конструкцій при перепадах внутрішнього тиску, дії зовнішніх сил, корозії і зміни температури;
- несправності основного і допоміжного обладнання насосних станцій;
- несправності у системі контролю;
- несправності в системі безпеки;
- порушення зварних швів і з'єднувальних фланців [4].

Україна є одним з основних транзитерів вуглеводнів до країн Східної та Західної Європи, про що свідчать значні обсяги транзиту нафти, газу та їх похідних через територію України та обумовлюють її стратегічне положення в енергетичній безпеці Європи. Мережа магістральних трубопроводів України – складна технічна система, що має потужний потенціал транспортування та зберігання вуглеводнів, зокрема газу. Транспортування і зберігання нафти й газу при певних несприятливих умовах може призвести до надзвичайних ситуацій техногенного характеру, забруднення довкілля при аваріях і відмовах,

створивши таким чином небезпеку для населення, інженерних споруд та природного середовища. [5]. Серед основних причин аварій називають корозію обладнання, незадовільну якість зварних швів і стихійні лиха. Серйозною причиною виходу трубопроводів з ладу є корозія, тому сталь, яка знаходиться у взаємодії з активними середовищами, такими як нафта чи газ – поступово деградує. На частку корозійних процесів припадає від 15 до 20% усіх повідомлень про «серйозні аварії», які призводять до загибелі людей або завдають серйозної шкоди майну та навколишньому середовищу. Більша частина магістральних трубопроводів має підземну конструктивну схему прокладки. На підземні трубопроводи впливають корозійно-активні ґрунти. Під впливом корозійного зносу металу зменшується товщина стінки труб, що в свою чергу може призвести до виникнення аварійних ситуацій на магістральних трубопроводах. Стрес-корозійне розтріскування металу в даний час є однією з основних і найбільш частих причин руйнування магістральних трубопроводів. До пошкоджень цього типу відносять тріщини, які утворюються на зовнішній поверхні трубопроводів у ділянках із порушенням ізоляційного покриття під дією корозійно-активного середовища і напружено-деформаційного фактора в умовах катодної поляризації. В Україні вже відбулося кілька аварій газопроводів, обумовлених стрес-корозійними дефектами. Більшість аварій через корозійне розтріскування, як правило, відбувається в 20 км зоні за компресорною станцією по ходу газу. Метал труби в цій зоні, крім контакту з ґрунтовим електролітом на ділянках пошкодження ізоляційного покриття, піддається додатковій дії підвищеної температури газу, а також високого рівня вібрації, які можуть за певних умов стати причиною зародження стрес-корозійних тріщин [6].

Фактори, які спричиняють аварії, можна розділити на такі, що вносять на стадії проектування (неправильний вибір матеріалу, технології виготовлення, неврахування умов експлуатації), виготовлення (порушення технології, використання матеріалів незадовільної якості, недостатня увага контрольним заходам) та експлуатації (корозія, зовнішні механічні дії, старіння металу). В Україні серед причин аварій поширеним є суб'єктивний фактор, пов'язаний із недбалим ставленням до трубопроводу або порушенням вимог до його експлуатації [7]. Попередити аварійні ситуації на трубопроводах можливо за рахунок впровадження ефективних методик контролю та інспекції на всіх стадіях життєвого циклу конструкції. Актуальною на сьогодні є розробка методик та засобів діагностики і моніторингу технічного стану магістральних трубопроводів. Зокрема,

корисним буде визначення узагальнених вимог до проведення інспекції та критеріїв оцінювання, які були б придатними до застосування без обмежень технічного характеру. Слід також враховувати, що аварії на трубопроводах призводять до забруднення значних площ.

Отже, на кожному етапі нафтогазового виробництва здійснюється негативний вплив на довкілля, який виникає в процесі розробки нафтових і газових родовищ. Основні техногенно-небезпечні виробничі процеси при цьому пов'язані з бурінням нафтових і газових свердловин, з видобутком нафти і газу. Щоб попередити погіршення екологічної обстановки та вийти на нормативно-безпечний рівень стану компонентів навколишнього середовища, необхідне проведення послідовної ефективної екологічної політики, спрямованої на захист життя і здоров'я людей, природних ресурсів, шляхом введення в дію екологічних законів та нормативно-правових і методичних документів. Аналіз аварій, систематичний збір відомостей про аварії, створюють основу для вирішення завдань управління ризиком, що є надзвичайно важливим кроком у розвитку нафто-газопереробної галузі сьогодення. Правильне розуміння та детальне вивчення цих питань дасть змогу розумно використовувати методи ідентифікації, діагностики й прогнозування руйнувань на ранніх стадіях її розвитку, що дасть змогу зменшити кількість відмов та аварій під час експлуатації магістральних трубопроводів, що, підвищить екологічну безпеку газотранспортної інфраструктури. Забезпечення безпечної експлуатації трубопровідних систем здійснюється за допомогою різних підходів до оцінювання корозійно-механічної дефектності металу труб, поєднання яких із врахуванням методології оцінки ризику і безпеки, без сумніву, знизить ризик виникнення аварійних ситуацій на магістральних трубопроводах. Продовження терміну служби та забезпечення надійної роботоздатності трубопроводів, які експлуатуються в сучасних умовах, потребує розроблення комплексного методу оцінювання та прогнозування їх безпечної експлуатації. Тому важливими першочерговими завданнями в галузі підвищення еколого-техногенної безпеки нафтогазових родовищ України є:

- удосконалення системи екологічного моніторингу за об'єктами комплексу (від родовищ і трубопроводів до сховищ та об'єктів використання газу та нафти) на основі спостережень за змінами хімічного складу атмосфери та ґрунту, їх спектрально-фізичних параметрів;

- розроблення методології оцінювання впливу розмірів руйнування магістральних трубопроводів та величини втрат витоків на формування ареалів забруднення;

– розроблення наукових основ та організація постійного екологічного аудиту на об'єктах газотранспортної інфраструктури [8].

Представлені фактори необхідно враховувати під час проектування розробки родовищ та об'єктів нафтогазової промисловості. Це дозволить мінімізувати негативні екологічні ризики та розробити заходи та засоби зменшення впливу на довкілля процесів видобування вуглеводнів. Проведення аналізу ризиків нафтогазопроводів є важливою складовою в системі заходів, спрямованих на підвищення надійності, ефективності та безпечності експлуатації газопроводів. Аналіз дасть змогу виявити фактичне становище на ділянках газопроводів, спрогнозувати можливі негативні наслідки в разі виникнення надзвичайних ситуацій та дозволить вчасно вжити необхідні заходи з метою їх попередження [9].

### **Викорисані інформаційні джесла:**

1. Азаров С. І., Литвинов Ю. В., Сидоренко В. Л. Екологічна безпека як складова національної безпеки України // Вісник КрНУ ім. М. Остроградського. 2021. Випуск 2 (73). С. 142–146.

2. Агаркова Н., Качинський А., Степаненко А. Регіональний вимірекологічної безпеки України з урахуванням загроз виникнення техногенних і природних катастроф. К.: НІСД, 1996. 73 с.

3. Возняк М. П., Возняк Л. В., Кривенко Г. М. Дослідження ризиків небезпеки під час експлуатації магістральних нафтопроводів // Прикарпатський вісник НТШ. Число. Івано-Франківськ, 2009. №1(5). С.263–268.

4. Кривенко Г. М., Семчук Я. М., Возняк М. П., Возняк Л. В. Класифікація дефектів з'єднувальних трубопроводів підземних сховищ // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. 2004. №2(8). С.192–193.

5. Надійність лінійних частин магістральних трубопроводів – Reliability of Main Pipelines Linear Parts [Текст] : монографія / С. Ф. Пічугін, В. А. Пашинський, О. Є. Зима, П. Ю. Винников, Ж. Ю. Біла. Полтава : ПП «Астрия», 2018. 439 с.

6. Вдовиченко А. І., Коваль А. М., Чепіль П. М. Нарощування видобутку вуглеводнів в Україні за рахунок відновлювальних процесів // Нафтогазова інженерія. 2017. №1. С. 112–121.

7. Білецький В. С., Суярко В. Г., Сіренко В. І., Фик М. І., Орловський В. М. Екологічна безпека у нафтогазовій промисловості : конспект лекцій / за ред. Фик І. М. – Х. : НТУ «ХП», 2021. 175 с.

8. Екологічна безпека у нафтогазовій промисловості : конспект лекцій / В. С. Білецький [та ін.] ; Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т». Електрон. текст. дані. Харків, 2021. 175 с. – Представлено: С. 3–4 ; 5–39 ; 40–61 ; 62–64. – URI:<http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/54002>.

9. Степова О. В., Серга Т. М. Аналіз екологічних ризиків при транспортуванні вуглеводневої сировини // «Екологія. Людина. Суспільство»

: Матеріали міжнародної науково-практичної конференції. Полтава, НУ «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка». 2021. С. 247–250.

10. <https://www.researchgate.net/publication/327221530> Ocinka stanu d ovkilla na dilankah avarijnih sverdlovin / Оцінка впливу на довкілля видобування нафти і газу в Україні.

## СУЧАСНІ СПІРАЛЬНО-ФАЛЬЦЕВІ ФЕРМЕНТЕРИ У СКЛАДІ ПІДПРИЄМСТВ ІЗ ВИРОБНИЦТВА БІОЕТАНОЛУ

**Пічугін С. Ф.**, доктор техн. наук, професор,  
**Оксененко К. О.**, аспірантка

*Національний університет «Полтавська політехніка  
імені Юрія Кондратюка», Україна*

**Анотація.** Наведена інформація щодо втрат агропромислового комплексу України за умов воєнного стану. Розглянуті властивості біоетанолу та історія його використання як рідкого екологічного біопалива. Проаналізовано переваги біоетанолу в якості автомобільного палива. Виділені сільськогосподарські культури з великим змістом крохмалю чи цукру, які найбільш затребувані для виробництва біоетанолу. Наведено дані щодо річного технічно-досяжного енергетичного потенціалу біоетанолу в Україні. Розглянуто концепції розвитку виробництва біоетанолу в Україні. Наведено схему виробництва біоетанолу з кукурудзи і призначення ферментерів у цій схемі. Надано класифікацію ферментерів, у залежності від способу ферментації субстрату, виділені переваги твердофазного бродіння. Описані типи ферментерів, їх переваги, недоліки та сфери застосування, в залежності від внутрішнього оснащення. Проаналізовано переваги та недоліки металевих та залізобетонних резервуарів, застосованих в якості конструкцій ферментерів. Описаний перший горизонтальний ферментер спірально-фальцевого типу. Наведено конструкцію та характеристики сучасного спірально-фальцевого ферментера – важливої складової біоетанольних комплексів.

## MODERN SPIRAL-FOLD FERMENTERS AS PART OF BIOETHANOL PRODUCTION COMPLEXES

**Pichugin S.F.**, DSc, Professor, **Oksenenko K.O.** graduatestudent

*National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Ukraine*

**Abstract.** The information about the losses of the agricultural sector of Ukraine under a state of war are given. The properties of bioethanol and the history of its use as a liquid biofuel are considered. The advantages of bioethanol as a car fuel are analyzed. The most popular crops with high levels of starch or sugar for bioethanol production are highlighted. The data about the annual technically achievable energy potential of bioethanol in Ukraine are presented. Concepts of the development of bioethanol production in Ukraine are considered. The scheme of bioethanol

production from corn the purpose of fermenters in this scheme are given. The types of fermenters, their advantages, disadvantages, and areas of application, depending on the internal equipment, are described. The advantages and disadvantages of metal and reinforced concrete tanks used as fermenter structures are analyzed. The first horizontal spiral-fold type fermenter is described. The design and characteristics of a modern spiral-fold fermenter, as an important component of bioethanol complexes, are presented.

У реаліях сьогодення, агропромисловий комплекс України зазнає значних втрат за умов воєнного стану. За даними на травень 2022 року Україна вже втратила майже 13 млн. тонн елеваторних потужностей, частина зерноскладів повністю зруйнована, частина опинилася на окупованих територіях. Це призвело до значного дефіциту емкостей зберігання сільськогосподарських культур. Одним із рішень цієї проблеми є запозичення досвіду США, а саме перехід до малих елеваторів та використання мобільних споруд, що дозволить фермерам зберігати агропродукцію у власних господарствах та упорядкувати її реалізацію [1]. Однак залишається питання зі зберіганням зернових залишків та неякісного зерна, яке надходить із полів. У цій ситуації, поруч із потужностями зберігання збіжжя, перспективною стає переробка сільськогосподарських культур та їх відходів. Закордонний досвід показує, що неякісне зерно краще переробити на біоетанол. Враховуючи паливну кризу, така переробка стає все більш актуальною[2].

Біоетанол – це звичайний етиловий (винний) спирт, отримуваний під час перероблення рослинної сировини, головним чином заради використання його як палива. Історія рідкого біопалива почалася ще в ХІХ столітті. Етанол, синтезований із біомаси, вважається паливом для автомобілів із тих пір, як була започаткована автомобільна промисловість. Одним з перших винахідників був Семюель Морі, який у 1826 році розробив модель двигуна, що міг працювати на спирті і скипидарі. В 1876 році німецький винахідник Ніколас Отто створив перший у світі чотирьохтактний двигун внутрішнього згоряння, який працював на біоетанолі. Переваги біоетанолу оцінили ще в 1908 році, коли Генрі Форд випустив свою знамениту «Модель Т», двигун якої працював на етанолі. Форд вважав використання спирту вигідним не тільки з технічної, але і з економічної точки зору.

Переваги біоетанолу як автомобільного палива:

- зменшення утворення нагару і зниження кількості шкідливих речовин;
- біоетанол є поновлюваним ресурсом і практично нейтральним як джерело парникових газів. Під час отримання й наступного згоряння біоетанолу виділяється стільки ж CO<sub>2</sub>, скільки було вилучено з атмосфери використаними для його виробництва рослинами;
- зниження токсичність вихлопу на 21%;
- присутній в етанолі кисень дозволяє повніше спалювати вуглеводні палива;
- 10% етанолу в бензині дозволяють скоротити викиди твердих частинок на 50%, CO<sub>2</sub> – на 30%. За наявного виробництва спиртового палива це еквівалентно зникненню з доріг 1 млн. автомобілів щорічно;
- біоетанол є біологічно розкладаваним, він не забруднює природні водні системи.

Сьогодні більшу частку біоетанолу виробляють із кукурудзи (США) і цукрової тростини (Бразилія), хоча сировиною для його одержання можуть бути будь-які сільськогосподарські культури з великим змістом крохмалю чи цукру: рис, сорго, ячмінь, картопля, цукрові буряки, батат. Великий потенціал має маніока, яку у великій кількості виробляють Китай, Нігерія, Таїланд.

Найбільш затребуваними для виробництва біоетанолу зерновими культурами є: кукурудза (410 л/т), пшениця (375 л/т), ячмінь (330 л/т), жито (357 л/т), в дужках вказано кількість отримання біоетанолу в літрах з тонни продукції [3].

Річний технічно-досяжний енергетичний потенціал біоетанолу в Україні є еквівалентним 606 тис. т. н. е. Найбільший його потенціал зосереджений у Вінницькій, Сумській, Чернігівській, Полтавській областях, де він становить понад 250 тис. т. н. е./рік [4].

Концепція виробництва біоетанолу в Україні може включати кілька напрямків: реконструкцію існуючих спиртових заводів; дооснащення існуючих цукрових заводів технологічними лініями; спорудження нових технологічних ліній великої та малої потужності.

Сучасна промислова технологія отримання етилового спирту з харчової сировини складається з таких стадій (рис. 1):

- підготовки й подрібнення сировини;
- ферментування;
- ректифікування браги.



Ферментування сировини є одним із найважливіших процесів виробництва біоетанолу. Тому до конструкцій, в яких відбуваються ці процеси, висуваються жорсткі вимоги щодо надійності та міцності.

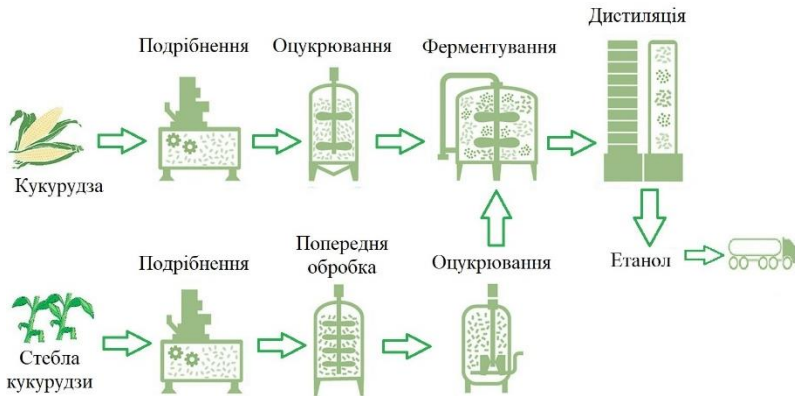


Рисунок 1 – Схема виробництва біоетанолу з кукурудзи

Ферментер – це система, що складається з різних типів обладнання для забезпечення росту мікробів шляхом контролю умов навколишнього середовища. Типовий ферментер складається з трьох частин, таких як культуральна ємність, відповідна система живлення та середовища, а також система вимірювання та контролю.

Ферментери являють собою залізобетонні або металеві резервуари з теплоізоляційним покриттям. Залізобетонні резервуари зброджування були досить розповсюдженими, однак вони мають свої недоліки: складність у виготовленні, велика вага та вартість. В зв'язку з процесами, які відбуваються всередині конструкції, утворення тріщин, протікання та корозія бетону були не рідкістю, і в крайніх випадках резервуари, які постраждали від цих проблем, доводилося зносити. Для попередження таких випадків у Німеччині були розроблені інструкції для сільськогосподарського будівельного сектора під назвою «Бетон для резервуарів на біогазових установках» [5].

Ферментери можуть класифікуватися за багатьма ознаками. За формою резервуари можуть бути циліндричними з конусним днищем і конічним або сферичним перекриттям, а також можуть бути кулястої, яйцевидної форми. За розміром ферментери класифікують наступним чином: малі, лабораторні та дослідницькі ферментери об'ємом від 1 до

50 літрів; середні, ферментери заводів, від 50 до 1000 літрів; великорозмірні, ферментери промислових виробництв, понад 1000 літрів. Ферментери малих розмірів є автоклавами, тоді як великорозмірні ферментери очищуються шляхом стерилізації на місці. Невеликі лабораторні ферментери розроблені для забезпечення різноманітних умов для росту мікроорганізмів, які зустрічаються в найбільших резервуарах промислового виробництва. Часто, для кращої теплоізоляції, ферментери влаштовують заглибленими в землю або обволікають землею [6, 7].

Основною функцією ферментера є забезпечення контрольованого середовища для росту мікроорганізмів з метою отримання бажаного продукту. В залежності від способу ферментації субстрату ферментери класифікують на резервуари глибинної та поверхневої ферментації. Класифікація ферментерів показана на рис.2.



Рисунок 2 – Класифікація ферментерів

Поверхнева ферментація або твердофазне бродіння використовує твердий субстрат для вирощування мікроорганізмів, тоді як глибинне бродіння використовує рідке середовище. Таким чином, це ключова відмінність між твердофазним бродінням і глибинним бродінням [8].

У *глибинних ферментерах* (система призупиненого росту) мікроорганізми диспергуються в живильному середовищі (рідині) при підтримуваних умовах середовища. В залежності способу перемішування ферментери далі класифікуються наступним чином:

ферментери з механічним перемішуванням; з конвекцією; пневматичні ферментери.

*Ферментери з механічним перемішуванням* – оснащені механічною мішалкою для підтримки однорідності та швидкого диспергування та змішування матеріалів. Такий тип є найбільш застосовним ферментом у бродильній промисловості для періодичного процесу.

Основною перевагою цього ферментера є гнучкість конструкції, він використовується в широкому діапазоні розмірів. Мішалки складаються з одного або кількох робочих коліс, закріплених на валу. Використовуються різні типи лопатей відповідно до вимог, які обертаються за допомогою двигуна. Цей ферментер із резервуаром для перемішування показаний на рис. 3.

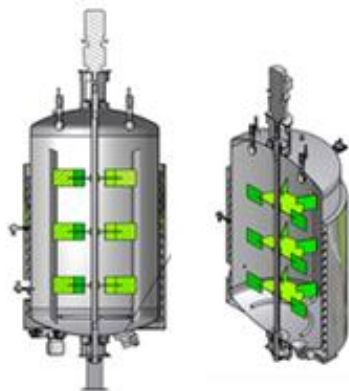


Рисунок 3 – Ферментер із резервуаром для перемішування  
(<http://uralmash.net/fermenter.html>)

Резервуари з перемішуванням зазвичай використовуються для періодичних процесів з невеликими модифікаціями, ці реактори прості за конструкцією та легкі в експлуатації. Тому у промисловості все ще віддають перевагу резервуарам із перемішуванням, оскільки в разі забруднення або утворення будь-якого іншого неякісного продукту втрати мінімальні. Резервуари з періодичним перемішуванням зазвичай страждають через їх низьку об'ємну продуктивність. Часи простоїв є

досить великими, а ферментація в нестационарному стані створює стрес для мікробних культур через обмеження поживних речовин. Переваги ферментерів із періодичним перемішування: менший ризик зараження або мутації клітин через короткий період росту; процес більш економічний і простий; рівень перетворення сировини вище. Недоліки: низька продуктивність через час, необхідний для стерилізації, наповнення, охолодження, спорожнення, очищення тощо; більших витрат потребують процеси контролю; більше уваги до інструментів через часту стерилізацію.

Ферментер із постійним перемішуванням має таку ж конструкцію що і періодичний. Однак, при безперервній ферментації свіже середовище безперервно додається в ферментаційну ємність. Переваги безперервної ферментації: менші витрати праці за рахунок автоматизації процесу бродіння; менший ризик токсичності для оператора будь-якими токсинами, що виробляються мікроорганізмами; високий вихід і якісний продукт завдяки незмінним робочим параметрам і автоматизації процесу; менше навантаження на ферментер, оскільки стерилізація не дуже часта. Недоліки безперервної ферментації: вищі інвестиційні витрати на обладнання для керування та автоматизації; більший ризик зараження та мутації клітин; у безперервному процесі можливі лише незначні зміни.

*Ферментери з примусовою конвекцією:* У ферментерах із примусовою конвекцією на перемішування впливає використання насоса замість механічної мішалки. Доступні різні типи ферментерів з примусовою конвекцією, такі як: газліфтний та ерліфтний ферментер, барботажна колонка або ферментер із барботажним резервуаром.

Ерліфтні ферментери класифікуються як трубчасті ферментери або ферментери з внутрішнім контуром і ферментери із зовнішнім контуром. У газліфтних ферментерах внутрішня циркуляція рідини в посудині досягається шляхом барботування посудини газом. Рідинний об'єм посудини поділяється на дві з'єднані між собою зони тяговою трубою. Повітря зазвичай подається через кільце розпилювача в нижню частину центральної тягової труби, яка контролює циркуляцію повітря та середовища. Ерліфтна система ферментера із зовнішнім контуром використовується для прямої циркуляції повітря та рідини по всій ємності. Ця система складається зі стояка та зовнішнього опускового трубопроводу, які з'єднані внизу та зверху відповідно. Повітря, що нагнітається внизу стояка, створює бульбашки газу, які піднімаються

через ферментаційний бак, а більш важкий розчин опускається вниз. Ерліфтна система із зовнішнім контуром має деякі переваги порівняно зі стандартними ерліфтами (резервуари з внутрішнім контуром), такі як: просте вимірювання та контроль у стояку; ефективний контроль температури та теплообмін; низький коефіцієнт тертя з оптимальним гідравлічним діаметром для стояка та нижньої труби ;конкретний час перебування в індивідуальній секції.

Ферментер із барботажним резервуаром являє собою циліндричну колону, в якій газ барботується знизу через сопла на перфорованій або пористій розподільній пластині. Бульбашки газу піднімаються крізь рідину в посудині та можуть бути повторно розсіяні низкою горизонтальних перфорованих перегородок. Контроль температури підтримується температурною оболонкою або внутрішніми котушками.

*Пневматичний ферментер* – резервуар із псевдозрідженим шаром, який використовується для ферментації рідини із суспендованим ферментом або клітинними частинками або мікробними пластівцями. Частинки клітини псевдозріджені висхідним потоком рідини. Верхню частину киплячого ферментера розширюють, щоб зменшити поверхневу швидкість киплячого шару. Тверді речовини легко схоплюються в зоні застигання, а потім потрапляють у зону кипіння.

*Поверхневі ферментери* за режимом змішування і режимом аерації можна поділити на три основні типи. До них належать тарілчасті ферментери, резервуари з упакованим шаром і ферментери з перемішуванням. Найпростішим є *тарілчастий ферментер*. У тарілчастого резервуара відносно тонкий шар субстрату розподіляється на великій горизонтальній площі. Примусова аерація відсутня, хоча дно лотка може бути перфорованим, а повітря циркулювати навколо лотка. Змішування, якщо воно є, здійснюється простими автоматичними пристроями або вручну. Внутрішня температура може змінюватися залежно від температури навколишнього середовища; або лоток можна поставити в кімнату з регульованою температурою. Тарілчасті ферментери успішно використовувалися в лабораторних, пілотних, напівкомерційних і комерційних масштабах [9]. Хоча конструкція реактора проста, в Японії повідомлялося про широку механізацію та автоматизацію технологічного процесу [10].

*Ферментер із ущільненим шаром* характеризуються наявністю статичної підкладки, що підтримується на перфорованій базовій плиті, через яку застосовується примусова аерація. Конструкція ферментерів із ущільненим шаром відрізняється за такими аспектами: поперечний переріз біореактора може мати різну форму; резервуар може бути вертикальним, горизонтальним або під кутом; аерація може здійснюватися як зверху, так і знизу. Можливі багато варіацій цієї базової конструкції [10]. Типовою конструкцією є висока тонка циліндрична колона. Найчастіше примусове повітря подається на дно. Вологість повітря, що надходить, підтримується високою, щоб мінімізувати втрату води з субстрату. Температуру повітря, що надходить, можна змінювати, щоб допомогти регулювати температуру субстрату. Додаткову аерацію можна забезпечити, вставивши всередину біореактора перфоровану трубку. Перевага ферментерів із ущільненим шаром полягає в тому, що вони залишаються простими, але дозволяють краще контролювати процес, ніж тарілчасті.

Існує два загальних типи *ферментерів із перемішуванням*. Перший являє собою обертовий барабанний реактор, що складається з горизонтального або похилого циліндра, який обертається навколо центральної осі та викликає перекидання підкладки. Аерація може забезпечуватися або знизу або зверху головного простору. Перемішування є обережним, хоча можуть виникнути проблеми, якщо мікроорганізми чутливі до перемішування. Другий тип ферментера з перемішуванням, реактор із перемішуванням, має реактор, розміщений або на горизонтальній, або на вертикальній осі. Горизонтальні реактори схожі на барабани, що обертаються, за винятком того, що змішування забезпечується внутрішнім скребком або лопатями, а не обертанням реактора. Реактори з вертикальним перемішуванням піддаються примусовій аерації та постійно або періодично перемішуються.

Розглянувши типи поверхневих ферментерів, можна навести такі переваги твердофазного бродіння:

- ферментація в твердому стані дає вищі продуктивність ферментації, ніж бродіння в рідині;
- усі природні середовища існування для ферментів легко підтримуються в твердому стані ферментації;
- поживні середовища дуже прості і вони забезпечують усі поживні речовини для росту мікроорганізмів;
- проста конструкція ферментера та низькі потреби в енергії;

- через концентровану природу субстрату використовуються невеликі реактори.

Твердофазне бродіння використовується для промислового виробництва різноманітних продуктів, таких як: біогаз, пігменти та антибіотики; воно також може застосовуватися в багатьох різних галузях, наприклад, у виробництві продуктів харчування та ароматизаторів, виробництві ліків, переробці відходів або екологічних технологіях. Одним із прикладів традиційного твердофазного бродіння є виробництво саке (японського алкогольного напою з рису). Відшліфований і відварений рис служить твердим субстратом для першого етапу бродіння в процесі виробництва саке. Після твердофазного бродіння, наступним етапом є рідке бродіння, під час якого дріжджі перетворюють цукор на етанол.

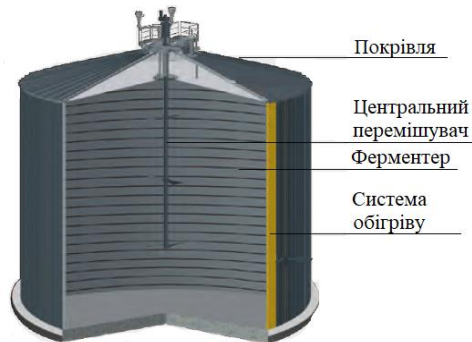
У промислового виробництві перевагу мають металеві ферментери, в яких відбуваються процеси твердофазного бродіння. Конструкція та режим роботи ферментера в основному залежать від виробничого процесу, оптимальних умов роботи, необхідних для утворення цільового продукту, вартості продукту та масштабу виробництва. Основні вимоги до конструкції ферментера: міцність та надійність, щоб витримувати різні види обробки, такі як вплив високої температури, тиску та сильних хімікатів, миття та чищення; придатність для стерилізації та підтримки суворих асептичних умов упродовж тривалих періодів фактичного процесу бродіння. Перспективним рішенням легкої та герметичної ємності ферментера є металеві резервуари спіраль-фальцевого типу. Спіраль-фальцевий резервуар має циліндричний корпус, який являє собою систему спірального з'єднання сталеві стрічки шляхом подвійного вальцювання. Монтаж конструкції відбувається за допомогою автоматизованої формувальної установки, за технологією німецької компанії Lipp GmbH [11]. Ці конструкції також починають набувати популярності на територіях України [12]. Наприкінці 1970-х років був створений перший горизонтальний ферментер спіраль-фальцевого типу з лопатевою мішалкою та гвинтовим конвеєром (рис. 4). З того часу компанія невпинно удосконалює свої конструкції в сфері біоенергетики.



Рисунок 4 – Спірально-фальцевий горизонтальний ферментер  
([https://xaver-lipp.com/.](https://xaver-lipp.com/))

Однією з останніх розробок є ферментер з зовнішнім нагрівом та центральним перемішувачем (рис. 5). Об'єм конструкції варіюється від 100 м<sup>3</sup> до 7000 м<sup>3</sup>, робочий тиск 0-700 Ра. Основна частина резервуару виконана з нержавіючої сталі (Verginox) та оснащена центральною мішалкою. Гладкі внутрішні стінки також зменшують утворення відкладень у конструкції. Особливістю цього резервуару є мембранний дах із нержавіючої сталі, який не має болтів. Конструкція даху щільно прилягає до краю резервуара за допомогою спеціального профілю, не вимагаючи болтових з'єднань. При необхідності, ззовні ферментера можна встановити обігрів та ізоляцію, що підвищує енергоефективність.

а)





б)



Рисунок 5 – Ферментер спірально-фальцевого типу: а) 3-Д схема ферментара; б) загальний вигляд у складі біоенергетичної установки ([https://xaver-lipp.com/.](https://xaver-lipp.com/))

**Висновки.** В реаліях сьогодення, агропромисловий комплекс України зазнає змін. Враховуючи втрати елеваторних потужностей, стає доцільним переробляти сільськогосподарську продукцію, а не зберігати її. В статті розглянуті властивості біоетанолу та історія його використання як рідкого екологічного біопалива. Наведено дані щодо річного технічно-досяжного енергетичного потенціалу біоетанолу в Україні. Розглянуто концепції розвитку виробництва біоетанолу в Україні.

Ферментування сировини є одним із найважливіших процесів виробництва біоетанолу. Тому до конструкцій, в яких відбуваються ці процеси, висуваються жорсткі вимоги щодо надійності та міцності. Наведено класифікацію ферментерів, у залежності від способу ферментації субстрату. Проаналізовано основні вимоги до конструкцій ферментерів. Зважаючи на це, обґрунтовано, що перспективним рішенням легкої та герметичної ємності ферментера є металевий резервуар спірально-фальцевого типу.

#### **Використані інформаційні джерела:**

1.Пічугін С. Ф., Оксененко К. О. Модульний склад шатрового типу для тимчасового зберігання зерна. Тези 74-ї наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка». Том 1.: 36. матеріалів, м. Полтава, 25 квіт. – 21 трав. 2022 р. С. 106–107.

2. Agravery [Интернет ресурс]. –Режим доступу – <https://agravery.com>.
3. Колосов О. Є., Рябцев Г. Л., Сівецький В. І., Сідоров Д. Е., Пристайлов С. О. Високоєфективні засоби приготування біопалива. К. : Січка, 2010. 152 с.
4. Біоенергетика: Курс лекцій. Частина 1 [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: М. О. Будько. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 109 с.
5. Guide to biogas – from production to use – Gölzow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNRR), 2010. 232 с. (5th).
6. Пічугін С., Оксененко К. Сталеві спіральні-фальцеві конструкції у складі біоенергетичних комплексів. Подолання екологічних ризиків та загроз для довкілля в умовах надзвичайних ситуацій – 2022 : колективна монографія. Полтава – Львів : НУПІ імені Юрія Кондратюка, НУ «Львівська політехніка». Дніпро. С. 470–484 (2022).
7. Пічугін С., Оксененко К. Метантенк – металевий спіральний-фальцевий резервуар – у складі біоенергетичних об'єктів. Подолання екологічних ризиків та загроз для довкілля в умовах надзвичайних ситуацій – 2022: зб. матеріалів І міжнародної науково-практичної конференції: м. Полтава – Львів, 26–27 трав. 2022 р. Полтава, 2022. С. 483–485.
8. Filer, Keith, et al. «Production of Enzymes for the Feed Industry Using Solid Substrate Fermentation». Engormix, Engormix, 20 Apr. 2007.
9. Ahmed, S.Y., B.K. Lonsane, N.P. Ghildyal and S.V. Ramakrishna. 1987. Design of solid state fermentation for production of fungal metabolites on large scale. Biotechnol. Tech. 1:97–102.
10. Lonsane, B. K., N. P. Ghildyal, S. Budiartman and S. V. Ramakrishna. 1985. Engineering aspects of solid state fermentation. Enzym. Microbiol. Technol. 7:258–265.
11. Xaver Lipp [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://xaver-lipp.com/>.
12. Пичугин С., К. Оксененко Использование спирально-фальцевых силосов на территории Украины // ArCivE 2021. 2021. С. 430–437.

## МАЛОВІДХОДНА ТЕХНОЛОГІЯ ЗНЕЗАЛІЗНЕННЯ ВОДИ

**Трус І. М.**, канд. техн. наук, доцент, **Твердохліб М. М.**,  
канд. техн. наук, старш. викладач, **Галиш В. В.**, канд. хім. наук,  
доцент, **Гомеля М. Д.**, доктор техн. наук, зав. кафедри екології та  
технології рослинних полімерів

*Національний технічний університет України «Київський  
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна*

### LOW-WASTE WATER DEIRONING TECHNOLOGY

**Trus I. M.**, PhD in Technical Sciences, Associate Professor,  
**Tverdokhlib M. M.**, PhD in Technical Sciences, Senior Lecturer of  
Department, **Galysh V. V.**, PhD in Chemical Sciences, Associate Professor,  
**Gomelya M.D.**, Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of  
ecology and technology of plant polymers

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

**Анотація.** Сьогодні більшість джерел води мають високий вміст заліза. Забруднення підземних вод залізом та іншими металами може відбуватися внаслідок розробки рудних родовищ і роботи кар'єрів. Існуючі технології лише частково вирішують цю проблему. Іони важких металів токсичні і небезпечні для живих організмів і людини. Сьогодні забруднення водою іонами заліза досягло критичного рівня. Проблема актуальна і потребує вирішення. При значенні рН у воді менше 6,8-7,0 і високій концентрації заліза для глибокого очищення доцільно використовувати комбінацію ряду методів із введенням реагентів. Реагентний спосіб знезалізнення реалізують шляхом обробки вихідної води суспензією вапняної води  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Такий підхід дозволяє ефективно знезалізнувати воду, але його реалізація супроводжується утворенням великої кількості осаду, який необхідно утилізувати. Ефективним способом утилізації таких осадів є їх використання в якості хімічної добавки при виробництві цементу, що підтверджено нашими дослідженнями.

Залізо становить приблизно 5% всієї твердої земної кори. Саме тому цей метал зустрічається практично у всіх поверхневих та підземних водах. В природних водах є різні породи, з якими вода

контактує в процесі своєї міграції. Це призводить до утворення та накопичення заліза [1]. До числа цих порід відносяться піщано-гравійні і глинисті матеріали, що містять велику кількість залізистих сполук. Залізо в природних водах може перебувати у вигляді двох- і тривалентних іонів, колоїдів органічного та неорганічного походження, таких як  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ,  $\text{FeS}$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ , комплексних сполук із гуматами та фульвокислотами, а також у вигляді тонкодисперсної суспензії.

Форма знаходження заліза та марганцю у воді в значній мірі залежить від геохімічних властивостей підземних вод, показником яких є окислювально-відновний потенціал (Eh) і водневий показник (pH) [2-3]. При значенні  $\text{pH} < 4,5$  залізо знаходиться у воді у вигляді іонів  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})^{2+}$ . При  $\text{pH} > 4,5$   $\text{Fe}^{2+}$  окислюється до  $\text{Fe}^{3+}$  з утворенням  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ . У присутності сульфідів при значеннях  $\text{Eh} < 0,2 \text{ В}$ ,  $\text{pH} > 4,5$   $\text{FeS}$  присутній у вигляді осаду. У присутності карбонатів при  $\text{pH} > 8,4$  спостерігається утворення  $\text{FeCO}_3$ , а при  $\text{pH} > 10,3$  утворення  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ . [4].

Джерелами водопостачання, як правило, є поверхневі та підземні води, якісні та кількісні показники яких зумовлені природними умовами походження та рівнем антропогенного навантаження. Якість води, залежно від характеру використання, нормується державними стандартами та іншими нормативами. Практично всі поверхневі води України за останні десятиріччя зазнають інтенсивного забруднення внаслідок зростаючого антропогенного навантаження, що зумовлено скидом недостатньо очищених вод, надходженням поверхневого стоку з сільськогосподарських угідь, промислових майданчиків та урбанізованих територій тощо. Для окремих регіонів України характерним є підвищений вміст заліза в природних водах.

Вміст сполук заліза у поверхневих та підземних водах зумовлено геологічними, кліматичними, ландшафтними та гідрологічними особливостями регіону досліджень. Особливості формування поверхневих та підземних вод на території України зумовлені як природними умовами, так і дією антропогенного навантаження. Якісні та кількісні показники цих вод значно коливаються в часі і по площі поширення.

Виявлено, що одним з факторів, що сприяють накопиченню заліза в організмі людини, є питна вода. Води багатьох підземних водоносних горизонтів України мають підвищений вміст заліза, який коливається від  $0,5$  до  $30 \text{ мг/дм}^3$  і більше, але частіше буває до  $5 \text{ мг/дм}^3$ .

Надлишок сполук заліза марганцю у воді для питних та побутових потреб призводить до розвитку багатьох захворювань. Ці елементи здатні накопичуватися у вигляді токсичних концентрацій в органах і тканинах, включаючи суглоби, печінку, ендокринні залози і

серце. Залізо може створювати живильне середовище для росту шкідливих мікроорганізмів і клітин злоякісних пухлин, а також додатково стимулювати канцерогенну дію вільних радикалів.

Тривале вживання води, що містить сполуки заліза в концентраціях вище референтних доз, частіше за все призводить до захворювань печінки, враження імунної системи, а також до розвитку алергічних захворювань, хвороби крові, органів травлення [5, 6]. Тому надлишок заліза у питній воді є небезпечною домішкою.

Зростання кольоровості і каламутності водопровідної води можуть бути пов'язані з присутністю в ній загального заліза. Тривалий час перебування води в водопровідній мережі та зменшення концентрації в ній кисню сприяють цьому процесу. У водопровідних мережах України найбільше поширені сталеві труби, тривалість надійної роботи яких не є достатньою. Недостатня надійність трубопроводів негативно позначається на ефективності роботи системи та на якості питної води. Забруднення питної води в трубах водопровідної мережі відбувається внаслідок раптової зміни руху води в ній, або зміни її хімічного складу. За першої причини спостерігається збурення осаду та його перехід в об'єм питної води. Наявність другої причини супроводжується розчиненням твердої частини осаду, що полегшує його збурення, перехід в об'єм питної води та транспортування до споживачів.

Крім того, підвищений вміст заліза надає воді неприємний смак, запах, та є причиною браку в паперовій, текстильній, харчовій і косметичній галузях промисловості. В трубах та теплообмінних апаратах можуть утворюватися залізисті бактерії та нарости, які зменшують переріз труб.

Таким чином, високий вміст заліза у поверхневих та підземних водах вимагає обов'язкового проведення знезалізнення, тобто необхідно проводити комплекс заходів щодо зниження вмісту заліза. Це є важливою економічною, екологічною та соціальною проблемою, має наукове, теоретичне та практичне значення. Це один із пріоритетних напрямів щодо забезпечення населення чистою водою.

Видалення заліза з природних вод здійснюється методами, які можна розділити на дві основні групи: безреагентні (фізичні) і реагентні.

Процес окислення  $Fe^{2+}$  до  $Fe^{3+}$  супроводжується осадженням  $Fe(OH)_3$  з наступною його фільтрацією. Цей спосіб досить простий. Реагентне окиснення зазвичай використовується при високому вмісті заліза і низьких значеннях рН. До найбільш поширеним хімічних окиснювачів відносяться хлор (деякі його сполуки), перманганат калію,

озон, а також лужні агенти (вапно, сода) [7, 8]. Вибір окислювача залежить від вартості окислювача та кількості води для очищення.

Процес іонного обміну має численні переваги, такі як низька вартість, простота реалізації, відновлення компонентів під час регенерації смоли. Але в області високих концентрацій спостерігається зниження ефективності процесу через «засмічення» смоли. Тому іонообмінне вилучення сполук заліза зазвичай застосовують у тому випадку, коли концентрація заліза незначна або необхідно доочистити воду до високого ступеня якості [9].

Сорбційні матеріали можуть очищати воду від заліза навіть при низьких концентраціях. Отримав розвиток напрям біосорбційних матеріалів. При широкій номенклатурі адсорбентів неорганічної і органічної природи провідна роль належить активованому вугіллю, виробництво якого базується на широко розповсюджених і доступних джерелах сировини і характеризується відносно простою технологією та дешевиною. До того ж, модифікація активованого вугілля істотно впливає на його сорбційні властивості. Також важливим є природа активованого вугілля. Останнім часом все частіше досліджують використання ГАВ отриманих із відходів сільськогосподарських рослин, цукрової тростини, рисового лушпиння, кокосового лушпиння або кокосових волокон [10].

Ефективність матеріалів на основі карбонату кальцію залежить від рН, наявності органічних речовин та інших катіонів. Цей метод дозволяє знизити концентрацію заліза до значень, менших за ГДК.

Фільтрація води через пісок, подрібнене вугілля – недорогий метод очищення підземних вод.

Капілярні матеріали досить ефективні в очищенні води від іонів заліза і цей напрямок на сьогодні є досить новим.

Перевагами процесу електрокоагуляції є відсутність відходів хімічних реагентів і висока ефективність процесу. Однак цей метод досить енерговитратний.

Аерація – це метод, який не потребує використання хімічних реагентів для очищення води та може бути ефективно застосований для води з вмістом заліза понад 5 мг/дм<sup>3</sup>.

Для очищення води з різних джерел використовують біологічні методи. Однак їх необхідно ретельно дослідити експериментально для вибору біологічного агента.

Широко застосовуються мембранні методи знезалізнення води. Вони дозволяють видаляти з води як розчинене, так і колоїдне залізо, забезпечуючи високий ступінь очищення. Однак мембранні методи не

дуже часто використовуються для знезалізнення через високу вартість [11].

Найпростішим, дешевим і екологічно чистим способом видалення заліза з природних вод можна вважати метод окислення киснем повітря. Під час знезалізнення ґрунтових вод також можна використовувати аерацію для підвищення ефективності процесу. Під час знезалізнення поверхневих вод, коагуляції сульфатом алюмінію, але після хлорування, вапнування та осадження [12].

У процесі очищення води утворюються відкладення, які необхідно утилізувати. Розробка ефективних методів утилізації осаду, що утворюється при знезалізненні води, дозволить створити маловідходні технології знезалізнення води.

Об'єктами дослідження були розчини з початковими концентраціями заліза загального 10-100 мг/дм<sup>3</sup>, що імітують природні води, води систем централізованого постачання, промивні води та осади гідроксиду заліза, що утворюються в процесі знезалізнення води.

У якості фільтрувального завантаження використовували цеоліт та цеоліт модифікований перманганатом калію KMnO<sub>4</sub>. Цеоліт марки ЦПС з фракційним складом 3-5 см, в статистичних умовах обробляли 5%-м розчином KMnO<sub>4</sub>, відстоювали протягом доби. Після чого промивали дистильованою водою до повного видалення залишків перманганату. З метою дослідження окислювальної здатності завантаження пропускали розчин сульфату заліза приготований на водопровідній воді через шар фільтрувального завантаження об'ємом 20 см<sup>3</sup>. Проби відбирали об'ємом 0,5-1 дм<sup>3</sup>, при витраті розчину 10-15 см<sup>3</sup>/хв. При цьому контролювали концентрацію іонів заліза та рН розчину.

Для видалення іонів заліза з води реагент ним методом в колбу об'ємом 1 дм<sup>3</sup> заливали 0,5 дм<sup>3</sup> розчину та залишали на визначений час, через кожні 2 години визначали залишкову концентрацію заліза. При вилученні іонів заліза методом вапнування в розчин дозували 5% розчин вапняного молока, перемішували та залишали відстоюватись. Проби відфільтровували та визначали залишкову концентрацію заліза.

Спектрофотометричний метод визначення іонів заліза використовувався для оцінки його початкової та рівноважної концентрацій у розчині.

Ефективність (Z) видалення іонів заліза розраховували за формулою:

$$Z = \frac{C_0 - C_f}{C_0} \cdot 100, \%$$

$C_0$  – вихідна концентрація заліза, мг/дм<sup>3</sup>;  $C_f$  – кінцева концентрація заліза, мг/дм<sup>3</sup>.

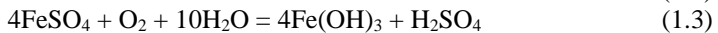
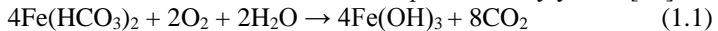
При знезалізненні води утворюється осад, який після зневоднення утилізується як хімічна добавка до складу цементу І-500.

Для дослідження фізико-механічних властивостей цементу визначали нормальну густину, час твердіння, міцність на стиск і коефіцієнт водовідведення.

Осад, що утворився в результаті очищення води, являв собою гідроксид  $Fe(OH)_3$ , який додавали в цемент у кількості 0,5-2,5 мас. % шляхом спільного змішування компонентів у лабораторному кульовому млині впродовж 10 хвилин.

У підземних водах, які є джерелами водопостачання, концентрація заліза може досягати 1-10 мг/дм<sup>3</sup>.

У процесі водопідготовки відбувається окиснення сполук заліза за рахунок вільного кисню або додаткового аерування води, внаслідок чого утворюються нерозчинні зважені форми з поступовим осадженням і зменшенням загальної концентрації металу у воді [13].



Таким чином можна говорити про те, що всі іони  $Fe^{2+}$ , які знаходяться в різних станах приймають участь у реакції з киснем, яка є сумою незалежних, одночасно протікаючих реакцій окиснення іонів заліза.

При цьому одночасно будуть присутні проміжні сполуки такі як  $Fe(OH)^{2+}$  та  $Fe(OH)_2^+$  та малорозчинний у воді  $Fe(OH)_3$ . Утворення гідроксиду заліза(III) залежить від багатьох параметрів, таких як температура, рН середовища, концентрації іонів заліза та окиснювача, а також присутності інших сполук [14]. Такі проміжні сполуки гідролізу заліза можуть виступати у вигляді каталізатору реакції окиснення заліза у воді.

Враховуючи, що найпростішим способом вилучення заліза є окиснення іонів  $Fe^{2+}$  до  $Fe^{3+}$  з подальшим гідролізом та висадженням отриманого гідроксиду заліза ( $Fe(OH)_3$ ), були проведені дослідження по застосуванню різних фільтрувальних завантажень для знезалізнення води. Окислене залізо у вигляді гідроксиду  $Fe(OH)_3$  створює на поверхні зерен завантаження автокаталітичну плівку. Найпростішим фільтрувальним матеріалом може слугувати кварцовий пісок. Також використовуються природні сорбенти, такі як глауконіт, доломіт, цеоліт, морденіт та ін.



Для оцінки ефективності даного процесу було проведено знезалізнення води при фільтруванні її через шар гранульованого цеоліту. При концентрації заліза у воді на рівні  $16 \text{ мг/дм}^3$  (рис. 1) аерація відбувається за рахунок контакту з повітрям розчину протягом 10-60 хв. перед фільтруванням. Як видно з графіку ефективність очистки води від заліза в даному випадку була не висока. Ступінь вилучення заліза поступово зменшився з 59% до 33%. В разі застосування цеоліту модифікованого перманганатом калію ступінь вилучення на початковому етапі був вищим 97,5% і поступово знижувався до 75%.

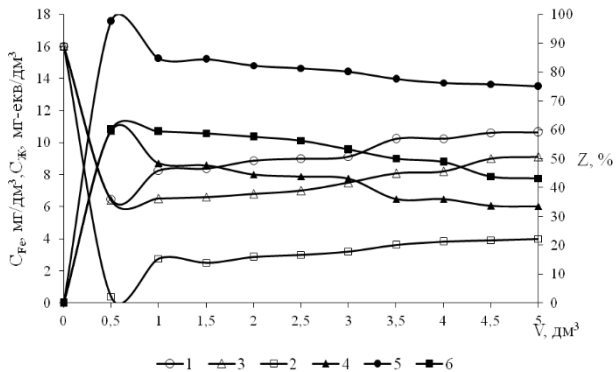


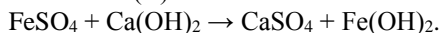
Рисунок 1 – Зміна концентрацій заліза (1,2,3) у воді ( $C_{Fe} = 16 \text{ мг/дм}^3$ ), ступеню вилучення заліза із води (4,5,6) від пропущеного об'єму розчину через гранульований цеоліт ( $V_i = 20 \text{ см}^3$ ) (1,4), цеоліт модифікований перманганатом калію (2,5), через модифікований цеоліт після промивки від осаду  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  (3,6) ( $\text{pH} = 7,45-7,85$ ).

У процесі обробки цеоліту перманганатом калію на його поверхні утворився оксид марганцю який в присутності розчиненого у воді кисню забезпечував каталітичне окислення заліза. При цьому залізо переходило в нерозчинний стан і гідроксид заліза затримувався на цеоліті, погіршуючи контакт води із поверхнею фільтрувального матеріалу. Саме цим викликана зниження ступеню очищення води в процесі фільтрування. Для уникнення цього ефекту рихлий осад гідроксиду заліза періодично потрібно видаляти зворотною промивкою фільтра водою. Концентрація заліза в промивних водах може сягати 50-100 мг/дм<sup>3</sup>. Тому було цікавим дослідити знезалізнення води при концентраціях 10-100 мг/дм<sup>3</sup>.

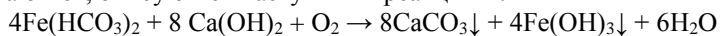
Залишкова концентрація заліза без введення реагентів різко зменшується за 1-2 години. Подальше відстоювання в незначній мірі

дозволяє зменшити концентрацію заліза. Залишкові концентрації заліза є досить високими. Ефективність вилучення іонів заліза становить 91%, 78% та 85% відповідно для початкових концентрацій заліза 10, 50 та 100 мг/дм<sup>3</sup> через 10 годин відстоювання. Оскільки залізо може знаходитись у вигляді зважених, колоїдних та диспергованих домішок, які мають однаковий заряд, що призводить до виникнення міжмолекулярних сил відштовхування. Тому варто провести обробку води, що знезалізнюється, щоб знизити заряд домішок до нульових значень. Вибір реагенту був обумовлений його низькою вартістю. Вапно є ефективним реагентом в процесах водоочистки, що дозволяє коригувати рН, ефективно пом'якшувати воду та проводити її знезалізнення.

Знезалізнення води реагентним методом полягає у переведенні розчинних форм заліза у малорозчинні. Для видалення сульфату заліза (II) застосовують вапнування. Додане вапно реагує спочатку з сульфатом заліза (II):



Гідроксид заліза (II), що утворюється, окислюється в Fe(OH)<sub>3</sub>. При аерації води і подальшій обробці вапном процеси, що відбуваються, описуються наступними реакціями:



Якщо кількість кисню, що міститься у воді, недостатня для окислення, одночасно з вапнуванням проводять хлорування або аерування води. Із рис. 2-4 видно, що обробка води вапном дозволяє інтенсифікувати процеси знезалізнення. Найбільш ефективно вилучення заліза відбувалось в перші 10-30 хвилин.

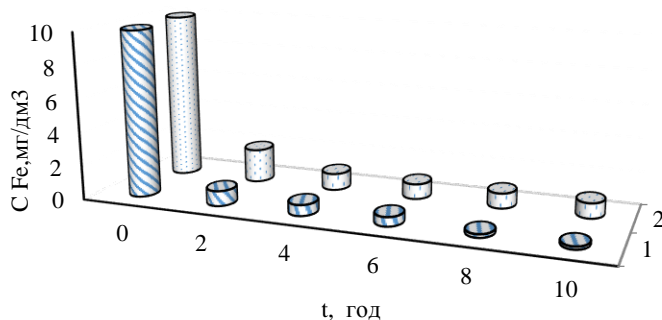


Рисунок 2 – Залежність концентрації залишкових іонів заліза від часу осадження при вапнуванні води при початковій концентрації заліза 10 мг/дм<sup>3</sup>: 1 – вапнування та осадження, 2 – окислення повітрям.

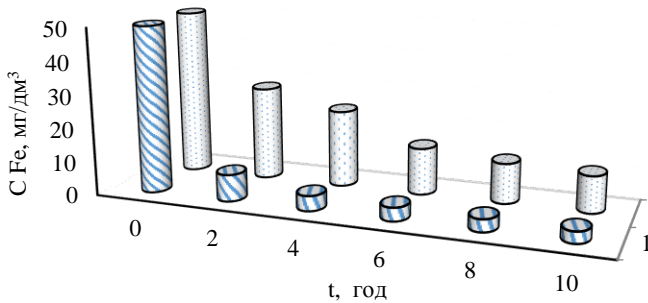


Рисунок 3 – Залежність концентрації залишкових іонів заліза від часу осадження при вапнуванні води при початковій концентрації заліза 50 мг/дм<sup>3</sup>: 1 – вапнування та осадження, 2 – окислення повітрям.

У промислових умовах спочатку здійснюється аерування води в градирні, в піддон якої вводиться вапняний розчин, далі – коагуляція і виведення в осад більшої частини сполук заліза у відстійнику, обладнаному тонкошаровими модулями, з подальшим видаленням дрібної суспензії фільтруванням. Попереднє аерування застосовується для збагачення води киснем і видалення з неї частини вільної вуглекислоти, внаслідок чого можуть бути знижені розрахункові дози реагентів.

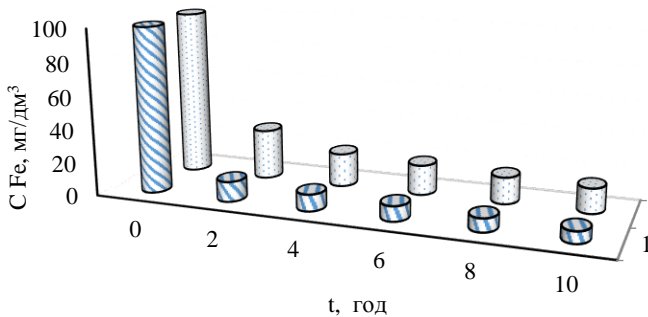


Рисунок 4 – Залежність концентрації залишкових іонів заліза від часу осадження при вапнуванні води при початковій концентрації заліза 100 мг/дм<sup>3</sup>: 1 – вапнування та осадження, 2 – окислення повітрям.

Тому важливо вивчити можливість утилізації цього осаду. Добавки до 5 мас. % дозволено додавати до складу цементу I типу. Тому осад вводили до складу цементу в кількості 0,5, 1,0, 1,5, 2,0, 2,5 мас. %.

Вплив осаду, що утворюється при очищенні води, на нормальну густину, час твердіння, коефіцієнт водовідведення та міцність на стиск у віці 2 та 28 діб показано на рис. 4-7.

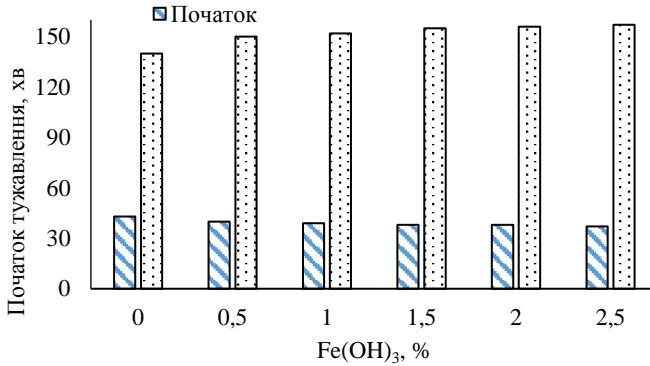


Рисунок 4 – Вплив витрати добавок на час твердіння цементу.

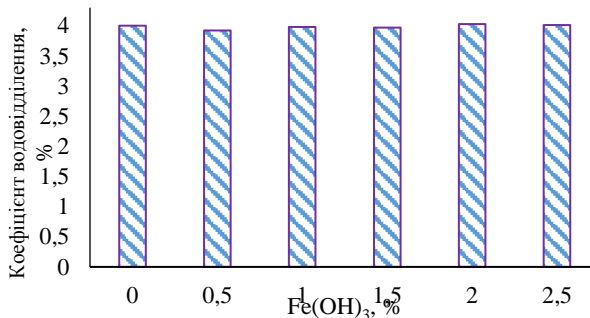


Рисунок 5 – Вплив витрати добавок на коефіцієнт водовідведення цементу

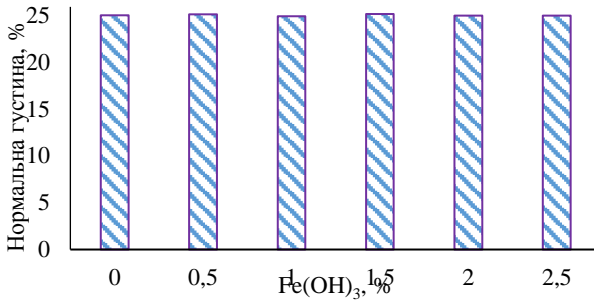


Рисунок 6 – Вплив витрати добавок на нормальну щільність цементу.

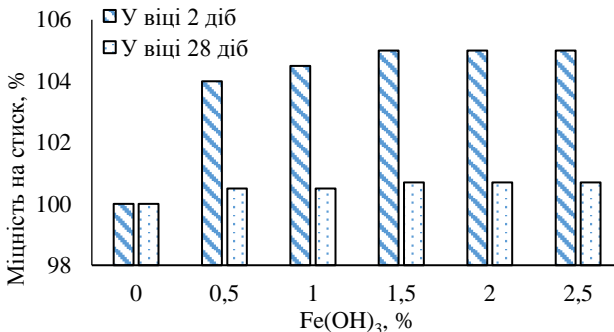


Рисунок 7 – Вплив витрати добавок на міцність цементу при стиску

При введенні добавки до складу цементу 0,5-2,5 % водовідділення та нормальна густина цементу не змінюються.

Початок часу тверднення становить 43, 40, 39, 38, 38 та 37 хв відповідно для 1, 0,5, 1,0, 1,5, 2,0 та 2,5 % введеної добавки. Кінець тверднення збільшуються від 140 до 150-157 хв без добавки та при введенні добавки в розмірі 0.5-2.5%.

Міцність цементу збільшується на від 100 до 105 та від 100 до 100.7 у віці 2 та 28 діб відповідно, що дозволяє рекомендувати добавку до введення у склад цементу до 2.5 %.

Таким чином, розроблена технологія є екологічно чистою, що дозволяє ефективно незалізнювати воду з подальшою утилізацією утвореного осаду.

**Висновки.** Проведено дослідження інтенсифікації процесів незалізнення води при використанні реагентного осадження. В якості

реагенту вибрано вапно, що є досить доступним та дешевим реагентом. При вапнуванні при початкових концентраціях 10, 50 та 100 мг/дм<sup>3</sup> за 2 години концентрації знижувались до 0,9, 8,0, 12,0. При окисненні на повітрі без використання реагентів концентрації було значно вищими і становили 2,0, 28,0 та 30,0 мг/дм<sup>3</sup>. При початковій концентрації 10 мг/дм<sup>3</sup> через 8-10 годин відстоюванні при вапнуванні спостерігається зниження концентрацій заліза до значень менших ГДК (0,2 мг/дм<sup>3</sup>).

Досліджено можливість утилізації утвореного осаду Fe(OH)<sub>3</sub> в складі цементу. Показано, що при введенні осаду до складу цементу 0,5-2,5% водовідділення та нормальна густина цементу не змінюються. Початок часу тверднення зменшується від 43 до 40-37 хвилин, а кінець тверднення збільшуються від 140 до 150-157 хв без добавки та при введенні добавки в розмірі 0,5-2,5%. Міцність цементу при введенні осаду до його складу збільшується від 100 до 105 у віці 2 діб та від 100 до 107 у віці 28 діб. Отже, фізико-хімічні характеристики цементу не погіршуються, що дозволяє рекомендувати добавку до введення у склад цементу до 2,5%. Це сприятиме створенню маловідходних технологій незалізнення води.

#### **Використані інформаційні джерела:**

1. Patnaik P. Handbook of Environmental Analysis: Chemical Pollutants in Air, Water, Soil, and Solid Wastes. Third Edition (3rd ed.), CRC Press., 2017. 660 p. <https://doi.org/10.1201/9781315151946>

2. Khadse G. K. Patni P. M., Labhasetwar P. K. Removal of iron and manganese from drinking water supply. *Sustainable Water Resources Management*. 2015. Vol. 1(2). P. 157–165.

3. Геохімія зони гіпергенезу: посібник, електронне видання / Гожик А. П., Байсарович І. М., Зінченко О. В., Шнюков С. Є. Київ, 2018. 110 с. URL: [http://www.geol.univ.kiev.ua/lib/Geochemistry\\_of\\_hypergenesis.pdf](http://www.geol.univ.kiev.ua/lib/Geochemistry_of_hypergenesis.pdf)

4. Deutsch W. J., Siegel R. Groundwater Geochemistry: Fundamentals and Applications to Contamination (1st ed.). CRC Press, 2020. 232 p. <https://doi.org/10.1201/9781003069942>

5. Липовецька О. Б. Вплив довготривалого споживання некондиційної за мінеральним складом питної води на формування неінфекційної захворюваності населення та розробка профілактичних заходів : автореферат дис. ... канд. мед. наук : 14.02.01. Київ, 2016. 21 с.

6. Андрусишина І. М. Вплив мінерального складу питної води на стан здоров'я населення. Вода і водоочисні технології. 2015. №1 (16). С. 22–31.

7. Трус І. М., Радовенчик Я. В., Галиш В. В., Флейшер Г. Ю. Очищення стічних вод від йонів важких металів // Проблеми та досягнення сучасної хімії :

Матеріали XX наукової молодіжної конференції. 27-28 вересня 2018 р. Одеса, 2018. С.91.

8. Радовенчик Я. В., Трус І. М., Галиш В. В. Видалення важких металів із стічних вод // Сталій розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування : матеріали V Міжн. конгресу. 26-29 вересня 2018 р. Львів, 2018. С.141.

9. Khatri N., Tyagi S., Rawtani D. Recent strategies for the removal of iron from water: A review. *Journal of Water Process Engineering*. 2017. Vol.19. P.291–304. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2017.08.015>

10. Dey S., Haripavan, N. Applications of Plants Leaf-Based Biosorbents for Removal of Iron and Phosphorus from Contaminated Water: A Review. 2022. *Biomedical Materials & Devices*. P. 1–24. <https://doi.org/10.1007/s44174-022-00029-w>

11. Abdullah N., Yusof N., Lau W. J., Jaafar J., Ismail A. F. (2019). Recent trends of heavy metal removal from water/wastewater by membrane technologies. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 2019. Vol. 76. P. 17–38. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2019.03.029>

12. Trus I., Halysh V., Gomelya M., Radovenchyk V. Low-Waste Technology for Water Purification from Iron Ions. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2021. Vol. 22. №4. P. 116–123. <https://doi.org/10.12912/27197050/137860>.

13. Твердохліб М. М. Глушко В. П., Вплив О. В. Гомеля. М. Д. Концентрації заліза на швидкість його окислення у воді. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідраліки: Науково-технічний збірник*. 2016. Вип. 26. С. 82–92.

14. Huang J., Jones A., Waite T. D., Chen Y., Huang X., Rosso K. M., Zhang H. Fe (II) redox chemistry in the environment. *Chemical Reviews*. 2021. Vol.121. №13. P. 8161–8233. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.0c01286>

## ОСОБЛИВОСТІ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ НА ВОЛИНІ В КОНТЕКСТІ РЕГІОНАЛЬНИХ ЗМІН КЛІМАТУ

**Федонюк М. А.**, канд. географ. наук, доцент

*Луцький національний технічний університет, Україна*

**Анотація.** Проаналізовано прояви сучасних кліматичних змін у межах Волинської області (за даними метеорологічної станції Маневичі) на прикладі змін в динаміці температурного режиму протягом двох періодів, що порівнювалися: 1980-1984 рр. та 2016-2020 рр., проведено статистичне опрацювання, кліматологічну обробку певних метеорологічних показників, здійснено оцінку динаміки середніх річних та середніх місячних метеорологічних температурних показників та їх графічну інтерпретацію. Оцінювалися середні місячні та середні річні температури повітря, середні максимальні та середні мінімальні температури повітря, значення абсолютних мінімумів та абсолютних максимумів. Виявлено, що температурний режим зазнав суттєвих змін, зростання окремих показників складає від 0 °С до 3,5 °С. Такі зміни чинять вплив на природно-ландшафтні комплекси території дослідження та на ведення господарювання.

## FEATURES OF THE TEMPERATURE REGIME IN VOLIN IN THE CONTEXT OF REGIONAL CLIMATE CHANGES

**Fedoniuk M. A.**, PhD of Geography, Associate Professor

*Lutsk National Technical University, Ukraine*

**Abstract.** Manifestations of modern climatic changes within the boundaries of the Volyn region (according to the data of the Manevichi meteorological station) were analyzed using the example of changes in the dynamics of the temperature regime during two periods that were compared: 1980-1984 and 2016-2020, statistical processing, climatological processing of certain meteorological indicators, an assessment of the dynamics of average annual and average monthly meteorological temperature indicators and their graphical interpretation was carried out. Average monthly and average annual air temperatures, average maximum and average minimum air temperatures, values of absolute minimums and absolute maximums were evaluated. Average monthly and average annual air temperatures, average maximum and average minimum air temperatures, values of absolute minimums and absolute maximums were evaluated. It was found that the temperature regime has undergone significant changes, the growth of individual indicators is from 0 °C to



3.5 °C. Such changes have an impact on the natural landscape complexes of the study area and on management.

У наш час однією з глобальних проблем планети Земля є проблема зміни клімату: на наукових форумах та зібраннях посадовців країн світу та в наукових колах активно обговорюється перспектива подальшої зміни температури повітря на нашій планеті та можливі наслідки таких змін. Ця проблема є актуальною і для України. В нашому регіоні, за даними вітчизняних кліматологів та екологів, зміни температурного режиму відбуваються навіть більш прискореними темпами, ніж на планеті в цілому: у деяких районах України середні температури повітря в останні десятиліття зросли на 1,5-2 °C, що може дати поштовх суттєвим змінам у природно-ландшафтних комплексах та екосистемах.

*Метою* виконання даного дослідження був аналіз особливостей зміни температурного режиму на території Північно-Західного Полісся та Волинської області, зокрема, за даними однієї з найстаріших в регіоні метеорологічних станцій – ст. Маневичі.

*Мета* дослідження зумовила виконання таких *завдань*:

- аналіз сучасного екологічного стану природно-ландшафтних комплексів Волині, стану їх збереження та особливостей охорони;
- оцінка особливостей мікроклімату в районі ст. Маневичі та його впливу на процеси, які протікають у природно-ландшафтних комплексах (гідробіологічний режим болота і озер, стан біоти тощо);
- статистичний та графічний аналіз динаміки температурного режиму за основними показниками протягом періоду 2016-2020 рр, який брався як такий, що репрезентує сучасні кліматичні зміни, та порівняння його з температурним режимом в заповіднику у 1980-1984 рр. (цей період був контрольним для порівняння, він припадає на час, коли глобальні зміни клімату ще майже не проявлялися в регіоні; прояви почали відмічатися у другій половині 80-х років ХХ ст).

Дослідження було здійснене на основі аналізу наукової літератури, а також власних розрахунково-графічних та аналітичних оцінок змін параметрів температурного режиму за вибрані періоди. Для аналізу показників температурного режиму було використано архівні дані метеостанції Маневичі.

Водно-болотні екосистеми, які є основою природних ландшафтних комплексів Волинського Полісся, є чутливими до коливань кліматичних показників, зокрема – температури повітря. Проаналізуємо коротко типовий хід температури в регіоні.

Температура повітря – це, як відомо, одна із основних та досить важливих метеорологічних величин. Усі явища та процеси, що відбуваються на земній поверхні, безпосередньо зумовлюються термічними умовами довкілля. Температура повітря визначає також характер та режим погоди. Термічні умови Волині формуються під впливом радіаційних факторів, атмосферної циркуляції та характеру підстильної (земної) поверхні – а саме, рослинного покриву, рельєфу, гідрографічної сітки та ґрунтового покриву, наявності і розташування на території окремих водних об'єктів тощо. Вплив цих факторів протягом року проявляється неоднозначно та досить нерівномірно.

Взимку термічний режим на території дослідження визначається атмосферною циркуляцією та пов'язаною з нею адвекцією повітря, переважно з півночі та північного сходу. У теплий період термічний режим залежить в основному від радіаційних факторів, поряд із якими значний вплив має також і вплив земної (підстильної) поверхні [1,2,3].

Однією з основних характеристик термічного режиму є такий показник, як значення середньої місячної температури повітря. За даними кліматичної норми ст. Маневичі, найнижча середня місячна температура повітря ( $-5,3^{\circ}\text{C}$ ) спостерігається в січні, цей місяць є найхолоднішим місяцем року в регіоні. Проте в окремі місяці дана закономірність може бути порушеною. Наприклад, у минулому відомі випадки, коли найнижчою була середня місячна температура повітря не в січні, а в лютому, а в 1952 році аномальним та найхолоднішим місяцем року на станції був березень [2,3,4,5].

Повторюваність років із аномальними відхиленнями середніх місячних температур повітря складає в межах 2% від загальної кількості досліджених.

Лютий за своїм температурним режимом в мало відрізняється від січня (зазвичай він є теплішим на  $1-1,5^{\circ}\text{C}$ ). Це зумовлено тим, що циркуляційні та радіаційні процеси та умови в двох цих місяцях року (січні та лютому) мало відрізняються між собою. Інколи січень буває теплішим від лютого, інколи – навпаки. Наприклад, за даними наявних інструментальних спостережень, у 1895, 1929, 1932, 1956 роках на ст. Маневичі середня місячна температура в січні була на 5 та більше градусів вищою, ніж в лютому. А у 1933, 1941, 1945, 1950, 1961, 1963, 1972 роках – навпаки, лютий був аномально теплим, а січень – відзначався середніми температурами повітря, на  $5-9$  градусів нижчими [4]. Узагальнюючи дані аналізу, можна відмітити, що у 5% випадків теплішим серед зимових місяців був лютий, а у 44% випадків – січень був теплішим за лютий, за даними дослідженого ряду метеопказників.

Починаючи з лютого, спостерігається повільне підвищення середніх температур повітря. Проте зростання температурних показників чергується із зниженням температури, та навпаки, тобто процес не є лінійним [4,5].

У середньому в березні температура повітря вище від тієї, що спостерігалася у лютому, на  $4-4,5^{\circ}\text{C}$ . В окремі роки це правило порушується. Так, у 1952, 1958, 1980 роках температура повітря в березні була на  $1-4^{\circ}\text{C}$  нижчою, ніж у лютому.

У річному ході температурних показників найбільш інтенсивне підвищення температури відзначається від лютого до травня (на  $4-6^{\circ}\text{C}$ ). В даний період року відбувається помітне збільшення надходження сонячної радіації. Надалі наростання температури повітря від травня до липня відбувається поступово та становить орієнтовно  $1,5-3,0^{\circ}\text{C}$  щомісяця.

Підвищення температури повітря відповідає річному ходу надходження сум сонячної радіації, але дещо запізнюється порівняно з ним. Найвища температура найчастіше (61%) спостерігається не в червні, коли саме суми сонячної радіації є максимальним, а в липні: за цей час прогрівається поверхня Землі, а від неї вже, відповідно, і повітря [2,3,4]. Від липня до серпня починається повільне зниження середньої місячної та середніх добових значень температури повітря.

Однак у 25% років серпень буває теплішим за липень. Так було, наприклад, зафіксовано в 1892, 1962, 1974, 1979 рр. У серпні температура у вказані роки повітря була на  $1,5-3^{\circ}\text{C}$  вищою, ніж у липні. Значне зниження температури відбувається, як правило, у вересні. У період від вересня до грудня температура щомісяця знижується в середньому на  $4,5-5,5^{\circ}\text{C}$ .

У грудні середня температура стає від'ємною (середнє багаторічне значення  $-2,2^{\circ}\text{C}$ ). Слід зазначити, що з березня до листопада середня місячна температура на станції Маневичі, як правило, є позитивною. З травня до вересня вона зазвичай вище  $10^{\circ}\text{C}$ , а в червні – серпні, влітку, спостерігаються значення вище  $15^{\circ}\text{C}$  [2,3].

Річна амплітуда (різниця між середньою температурою найтеплішого та найхолоднішого місяців року) за даними ст. Маневичі, складає в межах  $25^{\circ}\text{C} - 24^{\circ}\text{C}$  [3].

В окремі роки середня температура повітря відхиляється від середньої багаторічної та може змінюватися в широких межах. Значні зміни температури спостерігаються у зимовий період року. Так, відхилення можуть досягати в аномально холодні роки  $9-12^{\circ}\text{C}$ , в аномально теплі вони становлять  $5-7^{\circ}\text{C}$  від показників статистичної кліматичної норми.

Влітку зміни середньої місячної температури повітря є стійкішими. Відхилення від середньої температури дорівнюють 2-4°C. У перехідні сезони вони збільшуються до 3-9 °С навесні і 3-5 °С восени. Мінливість середньої місячної температури повітря найбільших значень досягає в зимові місяці (коливання сягають 2,5 ... 3,6 °С), навесні вона зменшується до 1,8 °С, за винятком березня (у березні відхилення можуть становити до 2,7 °С). Влітку відхилення від типових показників можуть складати до 1-1,5 °С, а восени ці відхилення знову зростають до 2 °С [3,4,5,6].

Отже, підсумовуючи вищесказане, варто відмітити, що динаміка змін середньої місячної температури повітря має чітко виражений річний хід, який перебуває у зворотній залежності від кількості надходження сонячної радіації. Від початку року (січень) до середини року (липень), коли надходження сонячної радіації збільшується, мінливість температури повітря поступово зменшується і, навпаки, зменшення надходження сонячної радіації від серпня до грудня призводить до зростання мінливості температури повітря.

Середня місячна температура повітря -2 °С і нижче може спостерігатися з грудня до другої декади березня, але в січні така температура може спостерігатися з 60%-ною, а в березні – з 10%-ною ймовірністю.

Із середини травня до середини вересня зберігається середня місячна температура 15 °С і вище, але з різною ймовірністю відхилень середніх значень від таких показників. У травні така температура буває один раз на чотири роки [6].

Температура 20 °С і вище спостерігається із середини червня до кінця серпня, при цьому у липні її ймовірність становить 15%, а в середині червня та наприкінці серпня – 5%.

В останні десятиліття, починаючи з кінця 80-их – початку 90-х років ХХ ст., у Волинському регіоні проявляються регіональні ознаки змін клімату. Зокрема, однією з таких ознак є поступове зростання середніх температур повітря, яке, за оцінками фахівців, є у регіоні Полісся більшим, ніж у межах всієї Європи в цілому. Досить аномальними за показниками температурного режиму у ХХІ ст. були 2015, 2019 р. У 2019 р., до прикладу, на більшості метеорологічних станцій Західної України середні річні значення температури повітря навіть перевищили відмітку 10<sup>0</sup> С. На ст. Маневичі таке перевищення поки не спостерігалось, хоча середня річна температура в межах 9<sup>0</sup>С та вище – це характерне явище останнього десятиліття.

Тому досить цікавим науково-практичним завданням є завдання оцінки характеру та динаміки змін температурних показників в регіоні,

зокрема – в межах великих природно-ландшафтних комплексів, незмінених чи мало змінених під впливом антропогенної діяльності.

Саме температурні показники впливають на зміну інших параметрів клімату, вони є в чомусь визначальними, недарма так багато уваги світове співтовариство звертає на запобігання виділення у атмосферу Землі парникових газів, що виступають основною причиною збільшення температур по всій нашій планеті. Збільшення температурних показників до значень понад 1,5 °C вище кліматичної норми дослідники клімату вже вважають критичним і таким, що може призвести до незворотніх змін природних комплексів нашої планети.

Підвищення середніх температур повітря у межах всієї планети незворотньо веде до таких негативних процесів, як опустелювання, танення льодовиків, піднімання показників рівня Світового океану та інших несприятливих чинників. Людина не має іншого способу зупинити чи принаймні притормозити підвищення середніх температур повітря окрім як скорочувати викиди парникових газів, в першу чергу – карбонвмісних сполук. Гази, до складу яких входить карбон (вуглець), є одним з основних пускових механізмів, що призводять до кліматичних змін та викликають незворотні деградуючі процеси в екологічних системах нашої планети [5,6].

Зникнення лісів з поверхні Землі – це ще одна причина, чому клімат на Землі теплішає. Ліси, ці «зелені легені», здатні поглинати вуглекислий газ, один з основних парникових газів на Землі, тим самим скорочуючи його кількість в атмосферному повітрі. Немає лісів – немає і природного поглинача вуглекислого газу. Тому цей процес є взаємопов'язаним, і лісонасадження, відтворення лісових масивів є важливим екологічним завданням, яке вирішується в тому числі й у Волинській області, у її лісогосподарських та лісопромислових підприємствах.

Кліматичні зміни чинять суттєвий вплив на стан природно-територіальних комплексів Волинського Полісся, оскільки в нашому регіоні основою природних ландшафтних систем є лісові масиви, луки, торфовища, заболочені землі та болота, об'єкти гідрографічної мережі (річки, озера, штучні водойми тощо), а всі названі комплекси є досить чутливими до кліматичних показників, зокрема, до динаміки опадів та зволоження, до змін у температурному режимі, до проявів несприятливих метеорологічних явищ (бурі, смерчі, пилові бурі, суховії, грози та шквали, градобій тощо). Вже сам перелік несприятливих метеорологічних явищ, який щойно був наведений, засвідчує про наявність змін у ході кліматичних процесів регіону, адже ще кілька десятиліть тому назад для Полісся мова не йшла про прояви

суховіїв або пилових бур, в той час як у даній, сучасний період такі явища відмічаються.

Аналіз показників температури здійснювався за даними метеорологічних спостережень ст. Маневичі, Тому необхідно враховувати можливі інтерполяційні відхилення показників температурного режиму та мікрокліматичні відмінності у їх проявах безпосередньо в межах всієї території області. У майбутньому доцільним було б провести комплексне дослідження для усіх метеостанцій області (їх на Волині нараховується 6).

Для аналізу температурних показників було вибрано два часових періоди, кожен із яких тривав 5 років: один період в ХХ ст., це п'ятиріччя 1980-1984 рр., до початку проявів кліматичних змін в регіоні, та другий період у ХХІ ст. – п'ятиріччя 2016-2020 рр.

Часовий період 1980-1984 рр. було вибрано як такий, що відображає типовий хід температурних показників у ХХ ст., до початку появи ознак глобального потепління. Дане п'ятиріччя розглядалося нами для порівняння як контрольний період ХХ ст., коли хід основних температурних показників на Волині ще не зазнавав помітних змін, відповідав кліматичній нормі, був досить усталеним, за виключенням окремих річних відхилень від норми, які бувають завжди в будь-якому регіоні. Часовий період 2016 -2020 рр. – це останній п'ятиріччя нашого, ХХІ ст. Цей часовий період в цілому характеризується вираженими сучасними проявами змін клімату, які є досить відчутними, але які потребують подальшого наукового вивчення і аналізу з метою встановлення тенденцій, складання прогнозів, пошуку шляхів адаптації до кліматичних змін. Метеорологічні ряди даних були отримані з відкритих джерел, а саме з електронних архівів метеоданих: <https://www.ecad.eu/dailydata/customquery.php>.

Для обох п'ятирічних періодів аналізувалися наступні метеорологічні показники температурного режиму: осереднені показники температури повітря (місячна, річна, сезонна середні температури); показники мінімальної температура повітря по періодах та максимальної температури повітря.

Для названих вище метеорологічних показників було проведено статистично-математичне опрацювання числових рядів показників, числових даних ретроспективних метеорологічних спостережень, проводилася їх кліматологічна обробка, здійснено їх осереднення, а також реалізовано за результатами математичного опрацювання графічну інтерпретацію їх динаміки.

Аналіз показників температурного режиму, представлених в таблицях 1-2, фактично, показує, що у 80-их роках ХХ ст. спостерігався

типовий хід температурних показників, характерний для Волинського Полісся і для ст. Маневичі. Окремі значення середньої температури повітря, максимальної та мінімальної температури не перевищували показники кліматичної норми, а узгоджувалися з ними.

Водночас аналіз даних, розрахованих нами, показує, що відмічено помітне зростання показників, які характеризують температуру повітря протягом 5 вибраних років останнього десятиліття, які нами аналізувалися (період з 2016 по 2020 рр.). Це відповідає накопиченню загальних тенденцій до зростання температур у регіоні дослідження та на прилеглих до нього територіях.

Комплекс збудованих за результатами статистичних обчислень та осереднень показників графіків температурних показників (зокрема, середньої, а також мінімальної та визначеної максимальної температури повітря) наводиться далі. Застосовувалися стандартні методи статистично-математичного аналізу, графічні побудови здійснювалися у програмі *Excel*. Результати статистичного аналізу місячної динаміки метеорологічних показників за взятий для аналізу в роботі період з 1980 по 1984 рр. наводяться у таблиці 1, а результати такого ж аналізу за узятий для аналізу в роботі період із 2016 по 2020 рр. наводяться у таблиці 2. Проведемо оцінку та порівняння отриманих результатів.

Відмітимо, що в процесі порівняння були виділені основні закономірності, відмінності та зміни, які відстежувалися для метеорологічних показників на протязі двох досліджуваних періодів. На основі складених комплексних таблиць з результатами статистичного аналізу метеопоказників за кожен з 10 років, які аналізувалися, можна було б проаналізувати окремо динаміку мікроклімату в кожному році, посезонно, помісячно тощо. Але для виконання такого масштабного завдання необхідно здійснити великий об'єм роботи та часу, і виконати це завдання можливо при продовженні даного дослідження у перспективі.

Проаналізуємо осереднені за досліджувані періоди показники, представлені у таблицях 1-2.

1) *Середня температура повітря* протягом 1980-1984 рр. мала чітко виражений типовий річний хід. Найтеплішим місяцем року був липень (+17,6<sup>0</sup>C), найхолоднішим місяцем року був січень (-3,8<sup>0</sup>C). Це типовий хід даного показника для станції і для нашого регіону, який практично співпадає з показниками кліматичної норми. Протягом 2016-2020 рр. середня температура повітря також мала виражений річний хід. Проте спостерігається підвищення її значень на 1-2<sup>0</sup>C практично для кожного місяця протягом року в порівнянні з попереднім періодом. Найтеплішим місяцем року протягом 2016-2020 рр. був серпень

(+20,1<sup>0</sup>C), найхолоднішим місяцем залишився січень (-2,9<sup>0</sup>C). Відмітимо, що серпень тепер досить часто є теплішим за липень, а подекуди саме в серпні відмічають і максимальні річні значення температури повітря. Таким чином, можна говорити про деяке зміщення максимуму температур з липня (що було характерно для типового ходу температури повітря в минулому) до серпня. Найбільші позитивні відхилення середньої місячної температури повітря зафіксовані для місяців теплового періоду року.

Таблиця 1 – Середні місячні значення основних температурних показників за 5-річний період 1980-1984 р.  
(за даними метеостанції Маневичі, обчислено авторами)

Показ-ник	Середнє за період 1980 - 1984 р., Місяці											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Т сер. (°C)	-3,8	-2,2	-0,5	+5,9	+13,8	+16,5	+17,6	+16,9	+12,7	+7,8	+2,2	-1,2
Т сер. мін. (°C)	-4,9	-5,0	-2,5	+2,7	+10,9	+12,7	+13,8	+13,6	+10,1	+6,2	+1,9	-2,1
Т сер. макс. (°C)	-2,6	-1,2	+1,6	+9,3	+17,0	+20,0	+19,9	+19,9	+14,4	+9,4	+4,2	-0,5

Таблиця 2 – Середні місячні значення основних температурних показників за 5-річний період 2016-2020 рр.  
(за даними метеостанції Маневичі, обчислено авторами)

Показник	Середнє за період 2016 - 2020 р., Місяці											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Т сер. (°C)	-2,9	-0,0	+3,4	+9,7	14,6	+19,6	+19,6	+20,1	+15,3	+9,4	+3,4	+0,8
Т сер. мін. (°C)	-5,0	-2,3	-0,6	+3,8	+9,0	+14,0	+14,6	+14,2	+10,0	+5,9	+1,3	-1,1
Т сер. макс. (°C)	-1,0	+2,4	+7,3	+14,8	+19,1	+24,4	+24,2	+26,0	+20,5	+13,5	+5,5	+2,8

2) Середня мінімальна температура повітря для періоду 1980 – 1984 рр. змінювалася від -4,9<sup>0</sup>C у січні (найнижчі значення) до +13,8<sup>0</sup>C



у липні (найвищі значення). Протягом періоду 2016-2020 рр. даний показник змінюється в межах  $-5,0^{\circ}\text{C}$  (січень) до  $+14,6^{\circ}\text{C}$  (липень). Таким чином, амплітуди коливань мінімальної температури зросли у ХХІ ст., місяці, коли вона відмічається як найнижча та найвища – збереглися без змін.

3) *Середня максимальна температура повітря* для періоду 1980-1984 рр. коливалася від  $-2,6^{\circ}\text{C}$  (січень) до  $+20,0^{\circ}\text{C}$  (червень). Фактично, ці значення демонструють нам невеликі коливання зимових температур повітря на станції у досліджуваний період (різниця між середньою місячною, середньою мінімальною та середньою максимальною температурою знаходиться в січні у межах  $1-2^{\circ}\text{C}$ ). Протягом визначених п'яти років з 2016 по 2020 рр. середня максимальна температура повітря змінювалася в межах  $-1,1^{\circ}\text{C}$  (січень) до  $+24,4^{\circ}\text{C}$  (червень). Місяці – ті ж, проте значення суттєво відрізняються, особливо у теплий період року, коли середня максимальна температура повітря в червні продемонструвала зростання на  $4,4^{\circ}\text{C}$ .

На основі узагальнення, систематизації та статистичної обробки характеристик температурного режиму в заповіднику було збудовано ряд порівняльних графіків та діаграм, деякі з них представлені нижче. При побудові графіків ми порівняли показники одного типу за різні 5-річні періоди для станції (1980-1984 рр. та 2016-2020 рр.).

На рис. 1 представлено порівняльний графік середніх місячних температур повітря за періоди 1980-1984 рр. та 2016-2020 рр. На рис. 2 представлено порівняльний графік середніх мінімальних місячних температур повітря за періоди 1980-1984 рр. та 2016-2020 рр. На рис. 3 наведено побудований порівняльний графік середніх максимальних місячних температур повітря за періоди 1980-1984 рр. та 2016-2020 рр.

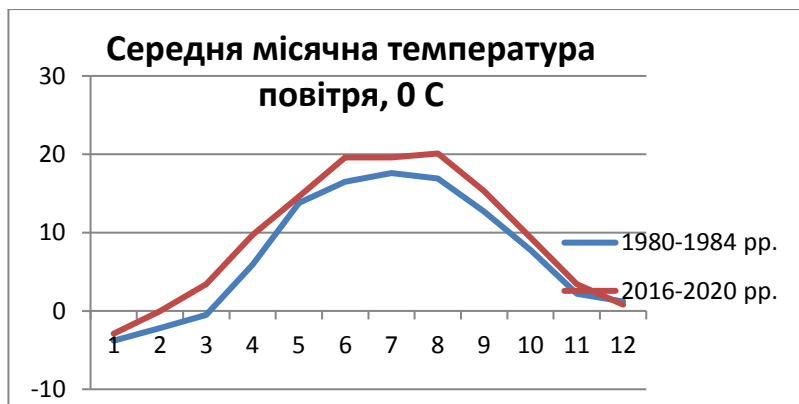


Рисунок 1 – Порівняння середніх місячних температур повітря за періоди 1980-1984 рр. та 2016-2020 рр.



Рисунок 2 – Порівняння середніх мінімальних місячних температур повітря за періоди 1980-1984 рр. та 2016-2020 рр.

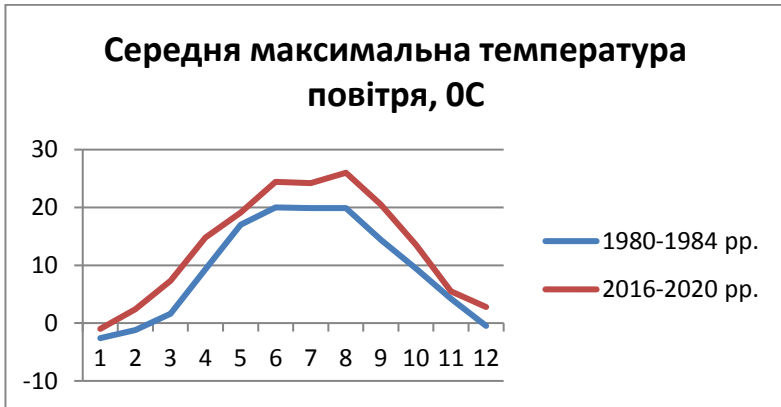


Рисунок 3 – Порівняння середніх максимальних місячних температур повітря за періоди 1980-1984 рр. та 2016-2020 рр.

Як бачимо на основі аналізу рис. 1-3, графіки, що були збудовані за результатами статистичної оцінки, підтверджують чітку виявлену тенденцію до зростання температурних показників у період 2016-2020 рр. в порівнянні з періодом 1980-1984 рр. Середня місячна

температура повітря в наш час вища у всі місяці року, за винятком грудня, найбільше її підвищення спостерігається влітку (червень – серпень). Середня максимальна температура демонструє ще більший стрибок в сторону збільшення, вона перевищує у наш час аналогічні значення 1980-1984 рр. у всі без винятку місяці року.

Річна динаміка середньої мінімальної температури повітря не є такою лінійною, даний показник є вищим у наш час (2016-2020 рр.) для зимово-весняного періоду, і, частково, влітку. В осінній період значення середньої мінімальної температури повітря залишаються практично незмінними.

При аналізі графіків на рис. 1-3, порівнюючи середні значення місячної динаміки температурних показників за два досліджувані періоди (1980-1984 рр. та 2016-2020 рр.), наочно бачимо, що в основному спостерігається зростання показників температури в сучасний період у порівнянні з періодом кінця минулого, ХХ ст.

Винятком є середні мінімальні температури повітря, які в деякі місяці весняного періоду були вищими у попередній період (1980-1984 рр.), а в осінній період цей показник мало відрізняється для обох досліджених періодів.

Середні місячні температури повітря та середні максимальні температури повітря є суттєво вищими в усі місяці року для періоду 2016-2020 рр., особливо зросли вони в теплий період року. Це перевищення по окремих місяцях може досягати від 1 до 3-3,5 °С. В літні місяці року середні температури таких місяців, як липень і серпень, прямують до 20,0 °С, в той час як кліматичною нормою для нашого волинського літа є середня місячна температура повітря в межах 18,3-18,5°С.

Таким чином, підвищення температурних показників на досліджуваній території є досить стійким і значним.

**Висновки.** Виявлені відмінності у ході та динаміці (як місячній, так і річній) основних температурних метеорологічних показників на території дослідження наочно демонструють прояви регіональних змін клімату в межах Північно-Західного Полісся України. Відмічено такі тенденції, як зростання середніх та максимальних температур повітря, більш уповільнене зростання середніх мінімальних температур. Можна припустити, що якщо продовжиться негативний вплив кліматичних чинників, які зазнають змін (зокрема, зростання випаровування на території дослідження у теплий період року під впливом підвищених температур повітря та ґрунту), то це може вкрай негативно позначитися на стабільності водно-болотних комплексів зони Полісся, які є особливо цінними та охороняються як місця гніздування та зупинки на

перельотах птахів. При продовженні тенденцій до тривалого й стійкого зростання температур не можна виключати суттєвого скорочення площі цих комплексів у близькій часовій перспективі.

### **Використані інформаційні джерела:**

1 Бойченко С., Гаврилюк Р., Гусєв О., Савченко С., Яцків А. Зміни довкільної сфери Полісся: аспекти впливу антропогенних та кліматичних чинників. *Екологічний вісник*. 2010. № 3, С. 43–55.

2. Екологічний паспорт Маневицького району [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://voladm.gov.ua/article/ekologichniy-pasport-manevickogo-rayonu/>

3. Зузук Ф. В., Колошко Л.К., Карпюк З.К. Осушені землі Волинської області та їх охорона: Монографія. Луцьк : Волин. нац. ун-т ім. Лесі Українки, 2012. 294 с.

4. Кліматологічні стандартні норми (1961-1990 рр.) / Л. І. Денисович, Н. І. Майлаг, Ж. О. Кузнецова та ін. ; під керівництвом О. Є. Пахалюк. К. : Український науково-дослідний гідрометеорологічний інститут, Центральна геофізична обсерваторія, 2002. 446 с.

5. Мирка В. В., Федонюк В. В., Іванців В. В., Федонюк М. А. Порівняння динаміки мікрокліматичних показників на території Черемського природного заповідника у XX та XXI ст. *Екологічні науки* : науково-практичний журнал. К. : Видавничий дім «Гельветика», 2022. № 7(40). С.120–125. URL: <http://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2022/1/22.pdf>

6. Федонюк В. В., Михайлюк В. А., Пашковська Ю. В. Аналіз кліматичних показників у Черемському природному заповіднику у 2020 р. *Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування*. VII Міжнародний молодіжний конгрес, 10-11 лютого 2022 р., Україна, Львів : Збірник матеріалів. К. : Яроченко Я.В., 2022. С. 54–55.

**РОЗДІЛ II**  
**БІОРІЗНОМАНІТТЯ**  
**ТА ЗАПОВІДНА**  
**СПРАВА**



**ФІТОСОЗОЛОГІЧНА ЦІННІСТЬ РЕГІОНАЛЬНИХ  
ЛАНДШАФТНИХ ПАРКІВ – КЛЮЧОВИХ ТЕРИТОРІЙ  
ЕКОМЕРЕЖІ ЧЕРНІГІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ**

<sup>1</sup>Лобань Л. О., канд. біол. наук, доцент,  
<sup>2</sup>Дідик Л. В., мол. наук. співроб.

<sup>1</sup>*Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя,  
м. Ніжин, Україна*  
<sup>2</sup>*КЗ «РЛП «Міжрічинський», Україна*

**Анотація.** Охорона та відтворення біорізномаття є основним завданням регіональної екомережі Чернігівської області. Міжрічинська та Ніжинська ключові території є осередками з різноманітною природною рослинністю. У публікації висвітлено результати аналізу созологічної цінності даних територій, які характеризуються чисельною раритетною складовою флори. У її складі виявлено види різних рівнів охорони: міжнародного, державного та регіонального. Проаналізовано статус рідкісних видів. Акцентується увага на необхідності постійного моніторингу з метою недопущення зменшення чисельності популяцій цих видів. Особливу увагу слід зосередити на дослідженнях територій, що зазнали наслідків воєнних дій.

**THE PHYTOZOOLOGY VALUE OF REGIONAL LANDSCAPE  
PARKS – KEY AREAS OF THE ECONETWORK OF THE  
CHERNIHIV REGION**

<sup>1</sup>Loban L. O., candidate of biological sciences, associate professor,  
<sup>2</sup>Didyk L. V., junior research fellow

<sup>1</sup>*Nizhyn Mykola Gogol State University, Ukraine,*  
<sup>2</sup>*Regional landscape park «Mizhrychynsky», Ukraine*

**Abstract.** Biodiversity protection and reproduction is the main task of the regional eco-network of Chernihiv region. Mizhrychynska and Nizhynska key territories are centers with a variety of natural vegetation. The publication highlights the results of the analysis of the sociological value of these territories, which are characterized by numerous rare components of the flora. It includes types of different levels of protection: international, state and regional. The status of rare species is analyzed. Attention is focused on the need for constant monitoring in order to prevent a decrease in the number of populations of these species. Special attention should be

focused on the research of territories that have suffered the consequences of military actions.

Формування Європейської екологічної мережі є важливим напрямом роботи науковців усіх країн. Її метою є забезпечення виживання і відновлення популяцій, збереження і захист середовища їх існування. Лише комплексна охорона, особливо цінних ділянок, зможе створити умови для підтримки та відновлення довкілля. У зв'язку з цим особливе значення має розробка проектів інтеграції екомереж, великих за площею сегментів Європи, в загальну екомережу [1]. На сучасному етапі потрібно приділити значну увагу дослідженню сучасного стану об'єктів національної екомережі, які постраждали через наслідки військової агресії, щоб якомога швидше вжити заходів щодо їх відновлення.

Сформована регіональна екомережа Чернігівської області (2017 р.) забезпечує збереження й відтворення біологічного та ландшафтної різноманіття. У її схемі відмічено 19 ключових територій (із них 6 – національного значення). Серед цієї групи є Міжрічинська та Ніжинська ключові території (рис. 1) [2].

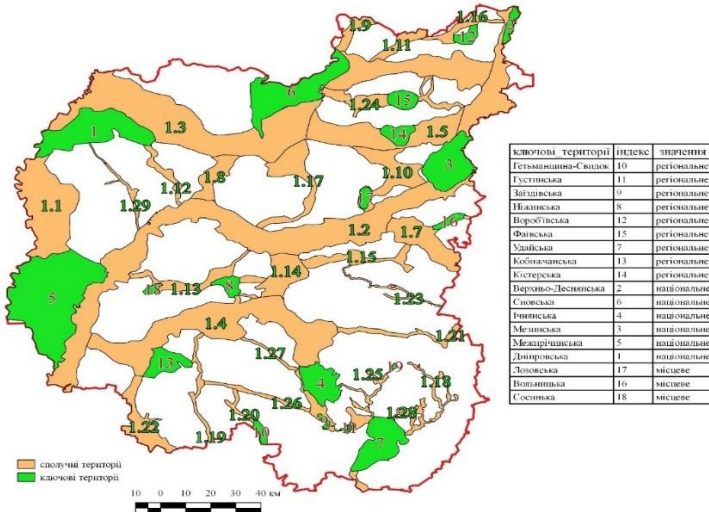


Рисунок 1 – Розташування ключових територій: Міжрічинська та Ніжинська у схемі регіональної екомережі Чернігівської області

5

– Міжрічинська ключова територія;

8

– Ніжинська ключова територія.

Міжрічинська національна ключова територія є найбільшою за площею (загальною площею 102472,9 тис. га), розташована у південно-західній частині Чернігівської області. Згідно фізико-географічного районування України (1968) розташована в області Чернігівського Полісся (Дніпровсько-Нижньодеснянський район), а з геоботанічним районуванням України та суміжних територій (2003) – належить до Східноєвропейської провінції, Поліської підпровінції (Чернігівсько-Новгородсіверський (Східнополіський), до геоботанічного округу дубово-соснових та соснових лісів). Її основою стала територія регіонального ландшафтного парку «Міжрічинський» (далі – РЛП), який був створений згідно рішення Чернігівської обласної ради від 20 червня 2002 року та займає площу 78753,95 га (рис. 2) [3].

РЛП «Міжрічинський» включає одну природно-заповідну територію загальнодержавного значення (гідрологічна пам'ятка природи «Озеро Святе») та 16 об'єктів місцевого значення (ландшафтний, гідрологічні, ботанічний заказники, зоологічну, гідрологічну та ботанічні пам'ятки природи і заповідне урочище [4]).

Ця територія характеризується різними типами ландшафтів: піщаними боровими терасами із сосновими зеленомоховими та сосновими лишайниковими лісами, менш поширеними є мішані – дубово-соснові ліси, ділянками широколистяних лісів; комплексом евтрофних чагарникових та осокових боліт і справжніх лук представлених на заплавах річок Десни та Дніпра. Значні площі займає різноманітна за ценотичним складом водна рослинність [5].

Флора РЛП багата на рідкісні види різних рівнів охорони: міжнародного, державного та регіонального. Два види охороняються на міжнародному рівні і внесені до Європейського Червоного списку (*Tragopogon ucrainicus* Artemcz., *Silene lithuanica* Zapał.); 5 видів – до Додатку I Бернської конвенції (*Trapa natans* L. s.l., *Ostericum palustre* (Bess.) Hoffm., *Salvinia natans* L., *Pulsatilla patens* (L.) Mill. (*P. latifolia* Rupr.), *Jurinea cyanoides* Klokov) (таблиця 1).

Таблиця 1 – Раритетна компонента флори регіонального ландшафтного парку «Міжрічинський»

Назва виду	Природоохоронний статус виду
<b>Червона книга України (2009)</b>	
<i>Anacamptis coriophora</i> (L.) R.M.Bateman, Pridgeon et M.W.Chase s.l.) ( <i>Orchis coriophora</i> L.)	вразливий
<i>Anacamptis palustris</i> (Jacq.) R.M. Bateman, Pridgeon et M.W. Chase	вразливий
<i>Astragalus arenarius</i> L.	вразливий



<i>Betula humilis</i> Schrank	вразливий
<i>Carex chordorrhiza</i> Ehrh.	вразливий
<i>Carex umbrosa</i> Host	неоцінений
<i>Dactylorhiza incarnata</i> (L.) Soó*	вразливий
<i>D. majalis</i> (Reichenb) P. F. Hunt et Summerhayes*	рідкісний
<i>Diphasiastrum complanatum</i> (L.) Holub	рідкісний
<i>Drosera intermedia</i> Hayne	вразливий
<i>Epipactis atrorubens</i> (Hoffm. ex Bernb.) Schult.	вразливий
<i>Epipactis palustris</i> (L.) Crantz *	вразливий
<i>Epipactis helleborine</i> (L.) Crantz *	неоцінений
<i>Iris sibirica</i> L.	вразливий
<i>Juncus bulbosus</i> L.	вразливий
<i>Lilium martagon</i> L.	неоцінений
<i>Liparis loeselii</i> (L.) Rich.	вразливий
<i>Listera ovata</i> (L.) R. Br. *	неоцінений
<i>Lycopodium annotinum</i> L.	вразливий
<i>Lycopodiella inundata</i> (L.) Holub	вразливий
<i>Neottia nidus-avis</i> (L.) Rich. *	неоцінений
<i>Pedicularis sceptrum-carolinum</i> L.	вразливий
<i>Platanthera bifolia</i> (L.) Rich. *	неоцінений
<i>Pulsatilla pratensis</i> Mill. s.l.	неоцінений
<i>Pulsatilla patens</i> Mill. s.l.**	неоцінений
<i>Salix myrtilloides</i> L.	вразливий
<i>Salix starkeana</i> Willd.	вразливий
<i>Salvinia natans</i> L.	неоцінений
<i>Silene lithuanica</i> Zapal. +	неоцінений
<i>Scheuchzeria palustris</i> L.	вразливий
<i>Stipa borysthena</i> Klokov ex Prokudin	вразливий
<i>Trapa natans</i> L. s.l. **	неоцінений
<i>Utricularia minor</i> L.	вразливий
<i>Andromeda polifolia</i> L.	вразливий
<i>Anemone nemorosa</i> L.	вразливий
<i>Anemone sylvestris</i> L.	рідкісний
<i>Arctostaphylos uva-ursi</i> (L.) Spreng.	рідкісний
<i>Calla palustris</i> L.	рідкісний
<i>Campanula bononiensis</i> L.	вразливий
<i>Campanula cervicaria</i> L.	рідкісний
<i>Campanula persicifolia</i> L.	вразливий
<i>Carex hartmanii</i> Cajand.	рідкісний
<i>Carex montana</i> L.	рідкісний
<i>Carex brizoides</i> L.	рідкісний
<i>Carex limosa</i> L.	рідкісний
<i>Carex juncella</i> (Fries.) Th. Fries.	рідкісний

<i>Centaurea sumensis</i> Kalen.	рідкісний
<i>Chimaphila umbellata</i> (L.) W. Barton	вразливий
<i>Dianthus pseudosguarrosus</i> (Novak) Klok.	вразливий
<i>Dianthus stenocalyx</i> Juz.	рідкісний
<i>Dianthus fischeri</i> Spreng.	вразливий
<i>Dryopteris austriaca</i> ( <i>Dryopteris dilatata</i> (Hoff.) A. Gray)	вразливий
<i>Dryopteris cristata</i> (L.) A. Gray	рідкісний
<i>Drosera rotundifolia</i> L.	рідкісний
<i>Equisetum hyemale</i> L.	рідкісний
<i>Eremogone saxatilis</i> (L.) Ikonn.	рідкісний
<i>Erioporum vaginatum</i> L.	рідкісний
<i>Fragaria moschata</i> Duch	рідкісний
<i>Gentiana pneumonanthe</i> L.	вразливий
<i>Gymnocarpium dryopteris</i> (L.) Newm.	зникаючий
<i>Hylotelephium argutum</i> (Haw.) Holub, <i>H. triphyllum</i> (Haw.) Holub ( <i>Sedum purpureum</i> (L.) Schult.)	рідкісний
<i>Helianthemum ovatum</i> (Viv.) Dumal	рідкісний
<i>Hippuris vulgaris</i> L.	рідкісний
<i>Iris hungarica</i> Waldst. et Kit.	рідкісний
<i>Juniperus communis</i> L.	рідкісний
<i>Jurinea cyanoides</i> Klokov	рідкісний
<i>Ledum palustre</i> L.	вразливий
<i>Menyanthes trifoliata</i> L.	вразливий
<i>Nymphaea alba</i> J. et C. Presl	рідкісний
<i>Nymphaea candida</i> J. et C. Presl	рідкісний
<i>Ostericum palustre</i> (Bess.) Bess.**	рідкісний
<i>Ophioglossum vulgatum</i> L.	вразливий
<i>Oxycoccus palustris</i> Pers.	зникаючий
<i>Parnassia palustris</i> L.	рідкісний
<i>Peucedanum cervaria</i> (L.) Lapeyr	рідкісний
<i>Polystichum aculeatum</i> (L.) Roth	рідкісний
<i>Potamogeton alpinus</i> Balb.	рідкісний
<i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn.	рідкісний
<i>Potentilla alba</i> L.	вразливий
<i>Pulmonaria angustifolia</i> L.	рідкісний
<i>Sempervivum ruthenicum</i> Schnittsp. et C.B.Lehm.	вразливий
<i>Salix myrsinifolia</i> Salisb.	рідкісний
<i>Sedum sexangulare</i> L.	рідкісний
<i>Tragopogon ucrainicus</i> Artemcz.+	вразливий
<i>Urticularia vulgaris</i> L.	рідкісний
<i>Valeriana exaltata</i> Mikan	рідкісний
<i>Viola uliginosa</i> Bess.	рідкісний
<i>Vinca minor</i> L.	рідкісний

Примітка: \* – Додаток II СІТЕS; \*\* – Додаток I Бернської конвенції;  
+ – Європейський Червоний список

Чисельною є група видів державної охорони (33 види), які включені до Червоної книги України (2009), із них ряд представників належить до родини *Orchidaceae* (10 видів) [3,5,6].

Найчисельною складовою раритетної компоненти флори РЛП «Міжрічинський» є група видів регіонального рівня охорони (55 видів), серед яких варто виділити дуже рідкісні (відомі з 3-5 місцезнаходжень): *Polystichum aculeatum* (L.) Roth, *Ophioglossum vulgatum* L., *Oxycoccus palustris* Pers., *Carex limosa* L., *Drosera rotundifolia* L. та *Peucedanum cervaria* (L.) Lapeyr. (рис. 2) [7].



Рисунок 2 – *Drosera rotundifolia* L. в мохових угрупованнях гідрологічної пам'ятки природи «Озеро Святе»

Чисельні популяції *Iris sibirica* L. відмічено у смузі на березі р. Десна в межах РЛП «Міжрічинський» (рис. 3).

Основою Ніжинської ключової території регіонального рівня (6900 га) є регіональний ландшафтний парк (РЛП) «Ніжинський» загальною площею 6122,7 га. РЛП був створений згідно рішення Чернігівської обласної ради від 28 травня 2015 року. Згідно фізико-географічного районування України (1968) об'єкт досліджень знаходиться на межі двох областей: Чернігівського Полісся – зони мішаних лісів (Куликівсько-Козелецький район) та лісостепової зони – Північної області Дніпровської терасової рівнини (Ніжинсько-

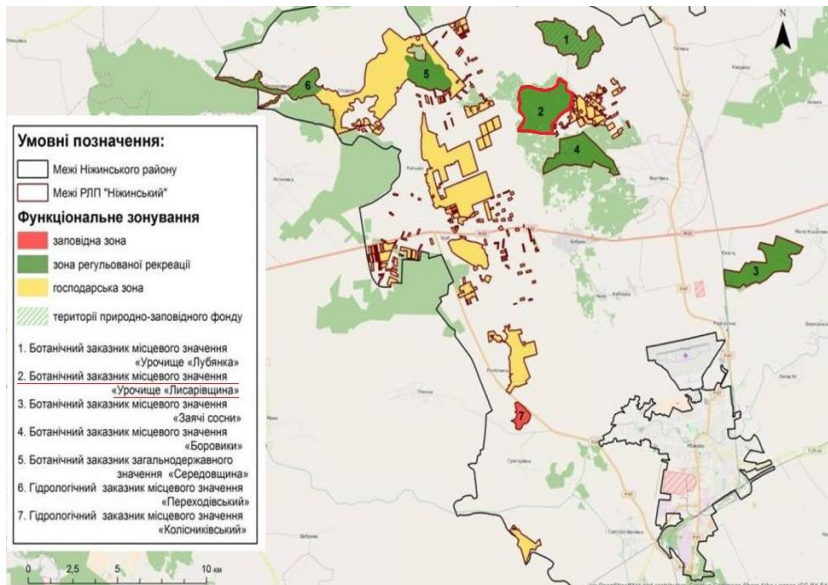
Бахмацький район), а з геоботанічним районування України та суміжних територій (2003) – належить до Східноєвропейської лісостепової провінції Української лісостепової підпровінції (Лівобережнодніпровський геоботанічний округ липово-дубових, грабово-дубових, соснових (на терасах) лісів, лук, галофітної та болотної рослинності).



Рисунок 3 – *Iris sibirica* L. на березі р. Десна РЛП «Міжріччнський» (фаза плодоношення)

До складу РЛП «Ніжинський» входять такі об'єкти природно-заповідного фонду Чернігівської області: один загальнодержавного значення – ботанічний заказник «Середовщина», вісім– місцевого значення (рис. 4) [9].

Ця ключова територія хоча і менша за площею від попередньої, але у складі екологічної мережі області має досить вагомe значення. Розміщуючись у центрі Чернігівської області, вирізняється великою різноманітністю ландшафтів та складом рослинного й тваринного світу. Аналізуючи територію РЛП «Ніжинський» як основу даного біоцентру, можна виділити такі ландшафти: терасові рівнини під сосновими та дубово-сосновими лісами; терасові рівнини під вологотравними осоково-болотяними та вільховими угрупованнями; прохідні долини під вологотравно-осоковими луками та вільшняками; заплавні під осоково-болотнотравними та волого-різнотравними угрупованнями [8].



**Рисунок 4 – Картосхема функціонального зонування території регіонального ландшафтного парку «Ніжинський» із позначеними територіями природно-заповідного фонду**

Крім того, у цій частині області знаходиться незначна кількість ключових територій. Найближчими до Ніжинської регіональної ключової території є Ічнянська ключова територія національного значення та Сосинська локальна територія, з якими досліджуване ядро з'єднане Смолянсько-Вересоцькою, Остерсько-Удайською регіональними сполучними територіями та В'юницькою сполучною територією місцевого значення [8].

Лісові фітоценози поширені на територіях заказників, що увійшли до складу РЛП «Ніжинський». Серед них – ботанічні заказники «Середовщина», «Лисарівщина» та «Лубянка». Представлені переважно угрупованнями з листяних порід, таких як *Acer platanoides* L., *Tilia cordata* Mill., *Quercus robur* L., *Carpinus betulus* L. та *Fraxinus excelsior* L. (рис. 5).

У їх складі відмічено весняні синузії ефемероїдів, домінантами та співдомінантами яких є *Anemone ranunculoides* L.,

*Ficaria verna* Huds., *Corydalis cava* (L.) Schweigg. et Koerte, *C. solida* (L.) Clairv., *Scilla bifolia* L., *Gagea lutea* (L.) Ker-Gawl та *G. minima* (L.) Ker-Gawl.

В угрупованнях заказника «Середовщина» відмічено чисельну популяцію *Galanthus nivalis* L., яка є дуже рідкісною для даного регіону. Крім цього зафіксована значна за площею популяція *Lilium martagon* L. На територіях інших заказників – популяції *Platanthera bifolia* (L.) Rich., *Listera ovata* (L.) R. Br., *Neottia nidus-avis* (L.) Rich.



Рисунок 5 – Лісові фітоценози заказника загальнодержавного значення «Середовщина» РЛП «Ніжинський» (фото Вобленка О. С.)

У фітоценозах досліджуваного об'єкту відмічено популяції чисельної кількості видів, які охороняються на різних рівнях (таблиця 2).

До списку видів міжнародного рівня охорони, а саме Додатку I Бернської конвенції належать *Iris hungarica*, *Ostercicum palustre* та *Jurinea pseudocyanoides*. Представники родини *Orchidaceae* занесені до Додатку II CITES (*Platanthera bifolia*, *Listera ovata*, *Dactylorhiza incarnata*, *D. majalis*, *Epipactis palustris*, *Neottia nidus-avis*). Група видів державної охорони представлена популяціями 11 видів, які занесені до Червоної книги України (2009). *Botrychium multifidum* наведений за літературними даними (Лукаш О.В., 1996).

Лучна рослинність на території РЛП представлена типовими для Українського Полісся ценозами справжніх, болотистих, торф'янистих та пустищних лук. У ценозах лучної рослинності відмічено популяції *Epipactis palustris* та *Dactylorhiza incarnata*, які зростали на ділянці болотистої луки між селами Хомине та Вертіївка Вертіївської громади Ніжинського району (рис. 6). *Epipactis palustris* дуже рідкісний для Чернігівської області, у екотонній смузі Полісся-Лісостеп відмічають лише 2 місцезростання.



Рисунок 6 – *Epipactis palustris* (L.) Crantz та *Dactylorhiza incarnata* (L.) Soб у лучно-болотних ценозах РЛП «Ніжинський» (фото Вобленка О. С.).

Таблиця 2 – Раритетна компонента флори регіонального ландшафтного парку «Ніжинський»

Назва виду	Природоохоронний статус виду
<b>Червона книга України (2009)</b>	
<i>Botrychium multifidum</i> (S.G.Gmel.) Rupr.	рідкісний
<i>Dactylorhiza incarnata</i> (L.) Soó*	вразливий
<i>D. majalis</i> (Reichenb) P. F. Hunt et Summerhayes*	рідкісний
<i>Diphasiastrum complanatum</i> (L.) Holub	рідкісний
<i>Epipactis palustris</i> (L.) Crantz *	вразливий
<i>Galanthus nivalis</i> L.	неоцінений
<i>Lilium martagon</i> L.	неоцінений
<i>Listera ovata</i> (L.) R. Br. *	неоцінений
<i>Lycopodium annotinum</i> L.	вразливий
<i>Neottia nidus-avis</i> (L.) Rich. *	неоцінений
<i>Platanthera bifolia</i> (L.) Rich. *	неоцінений
<b>Перелік регіонально рідкісних видів Чернігівської області</b>	
<i>Anemone nemorosa</i> L.	вразливий
<i>Chimaphila umbellata</i> (L.) W. Barton	вразливий
<i>Dentaria bulbifera</i> L.	рідкісний
<i>Inula helenium</i> L.	рідкісний
<i>Iris hungarica</i> Waldst. et Kit. **	рідкісний
<i>Ostercicum palustre</i> (Bess.) Bess.**	рідкісний
<i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn.	рідкісний
<i>Potentilla alba</i> L.	вразливий
<i>Primula veris</i> L.	рідкісний
<i>Pyrola minor</i> L.	вразливий
<i>Scilla bifolia</i> L.	рідкісний
<i>Fragaria moschata</i> Duch.	рідкісний
<i>Jurinea pseudocyanoides</i> Klok. **	рідкісний

Примітка: \* – Додаток II CITES; \*\* – Додаток I Бернської конвенції

Особливо рідкісними для даного регіону є: *Ostercicum palustre*, *Galanthus nivalis*, *Epipactis palustris*, *Lycopodium annotinum* та *Diphasiastrum complanatum* (рис. 7) [6,7,10].





Рисунок 7 – *Diphysastrum complanatum* (L.) Holub. у лісових ценозах заказника «Заячі сосни» (фото Вобленка О. С.)

Отже, території регіональних ландшафтних парків «Міжрічинський» та «Ніжинський» займають чільне місце в складі ключових територій регіональної екомережі Чернігівської області, маючи відповідно статуси національної та регіональної. Міжрічинська ключова територія є об'єднуючою ланкою Прип'ятсько-Деснянської (Деснянської) та Дніпровської сполучних територій національного значення, які виконують важливі завдання: збереження біологічного та ландшафтного різноманіття; підтримання екологічної рівноваги та забезпечення сталого розвитку території. У складі флори регіональних ландшафтних парків, території яких у повному складі увійшли до даних ключових територій, відмічено чисельну групу раритетної компоненти.

Описані ключові території в майбутньому потребують ретельних моніторингових досліджень із метою запобігання скорочення чисельності популяцій рідкісних видів. Особливу увагу слід буде приділити ділянкам, що постраждали через наслідки воєнних дій у регіоні.

#### **Використані інформаційні джерела:**

1. Шеляг-Сосонко Ю. Р., Ткаченко В. С., Андрієнко Т. Л., Мовчан Я. І. Екомережа України та її природні ядра. *Укр. ботан. журн.* 2005. Т.62. С. 142–158.

2. Регіональна схема екологічної мережі Чернігівської області <https://eco.cg.gov.ua/index.php?id=22805&tp=1&pg=> (дата звернення Листопад 18, 2022).
3. Дідик Л. В., Лобань Л. О. Місце території регіонального ландшафтного парку «Міжрічинський» у складі екологічної мережі Чернігівської області. *II Всеукраїнські науково-практичні читання пам'яті професора І.І. Гордієнка*. Збірник статей. Ніжин : НДУ імені Миколи Гоголя, 2022. С.40-42.
4. Перелік об'єктів природно-заповідного фонду Чернігівської області <https://eco.cg.gov.ua/index.php?id=16893&tp=1&pg=> (дата звернення: Листопад 18, 2022).
5. Прядко О.І. Ценотичне та флористичне різноманіття РЛП «Міжрічинський» (Чернігівська область). *Вісник Запорізького державного університету*. 2004. №1. С. 190–195.
6. Червона книга України. Рослинний світ. К. : Глобалконсалтинг, 2009. 900 с.
7. Перелік регіонально рідкісних видів Чернігівської області [https://eco.cg.gov.ua/web\\_docs/2145/2016/03/docs/2021\\_02\\_08\\_Perelik%20ridkisin%20vidiv%20roslin.pdf](https://eco.cg.gov.ua/web_docs/2145/2016/03/docs/2021_02_08_Perelik%20ridkisin%20vidiv%20roslin.pdf) (дата звернення: Листопад 18, 2022).
8. Лобань Л. О., Дідик Л. В. Регіональні ландшафтні парки як основа ключових територій екомережі Чернігівської області. *Екологія. Довкілля. Енергозбереження* : зб. м-лів III Міжнар. наук.-практ. конф. «Екологія. Довкілля. Енергозбереження» (Україна, Полтава, 1-2 грудня 2022 року). Полтава : НУПП, 2022. С. 156–159.
9. Лобань Л. О., Дідик Л. В. Оптимізація природно-заповідного фонду як основа регіональної екологічної мережі Чернігівщини. *Актуальні питання біологічної науки*. Матеріали I Міжнародної заочної науково-практичної конференції. Збірник статей. Ніжин: НДУ імені Миколи Гоголя, 2015. С. 17–21.
10. Куліш К. А., Лобань Л. О. *Diphasiastrum complanatum* (L.) Holub на території Ніжинського району (Чернігівська обл.). *Сучасні проблеми природничих наук* : Матеріали II Всеукраїнської конференції молодих науковців. Ніжин : Наука-сервіс, 2017. С. 3–4.

**БІОРІЗНОМАНІТТЯ ЗАКАЗНИКА «ВИДІВСЬКИЙ»**

<sup>1</sup>Скляр В. Г., доктор біол. наук, професор,  
<sup>2</sup>Ємець О. М., канд. біол. наук, доцент,  
<sup>2</sup>Скляр Ю. Л., канд. біол. наук, доцент,  
<sup>2</sup>Баштовий М. Г., канд. біол. наук, доцент

*Сумський національний аграрний університет, Україна*

**BIODIVERSITY OF THE RESERVE «YDYVSKY»**

<sup>1</sup>Skliar V. H., doctor of biological sciences, professor,  
<sup>2</sup>Yemets O. M., candidate of biological sciences, associate  
professor, <sup>2</sup>Skliar Yu. L., candidate of biological sciences,  
associate professor, <sup>2</sup>Bashtovyi M. H., candidate of biological sciences,  
associate professor

*Sumy National Agrarian University, Ukraine*

**Анотація.** Дієвим засобом збереження та охорони біорізноманіття є створення і функціонування територій природно-заповідного фонду. У Сумській області у 2019 році природоохоронного статусу у ранзі ландшафтного заказника місцевого значення «Видівський» набула територія площею 54,2905 га, розташована у межах Краснопільської селищної територіальної громади. У публікації висвітлено результати вивчення стану природних комплексів цього заказника. Показано, що він вирізняється значним рівнем біорізноманіття. У його складі представлені як типові види, так і ті, що репрезентують раритетну складову: тут виявлено види, що охороняються на регіональному, державному та міжнародному рівнях. Провідні ознаки ландшафті заказника засвідчують високий рівень їхньої естетичної цінності. Відзначено, що у зв'язку із тим, що Краснопільська громада натеper входить до числа особливо небезпечних територій і зазнає прямого впливу військових дій, у повоєнний період необхідно буде провести повторні дослідження, спрямовані на оцінку стану природних комплексів заказника загалом та його біорізноманіття, зокрема.

**Abstract.** An effective means of preservation and protection of biodiversity is the creation and functioning of the territories of the nature reserve fund. In the Sumy region, in 2019, a territory with an area of 54.2905 hectares, located within the Krasnopil settlement territorial community, acquired nature protection status in the rank of landscape reserve of local importance "Vydivskyi". The publication highlights the results of studying the state of the natural complexes of this reserve. It is shown

that it is distinguished by a significant level of biodiversity. Its composition includes both typical species and those representing a rare component: species protected at the regional, state and international levels are found here. The leading features of the landscape of the reserve testify to the high level of their aesthetic value. It was noted that due to the fact that the Krasnopil community is currently among the particularly dangerous areas and is directly affected by military operations, in the post-war period it will be necessary to conduct repeated studies aimed at assessing the state of the natural complexes of the reserve in general and its biodiversity, in particular.

Дієвим засобом збереження та охорони біорізноманіття є створення й функціонування територій природно-заповідного фонду (ПЗФ) [1-3]. У Сумській області цьому питанню надається значна увага [4-7]. Зокрема, у 2019 році природоохоронного статусу у ранзі ландшафтного заказника місцевого значення «Видівський» набула територія площею 54,2905 га, розташована в межах Краснопільської селищної територіальної громади (ТГ).

В аспекті реалізації ефективних природоохоронних заходів актуальним питанням є здійснення інвентаризації біорізноманіття на територіях і об'єктах ПЗФ. Наявність детальної інформації про стан їхніх природних комплексів набуває особливої значущості в умовах війни, коли суттєво зростає вірогідність прямого знищення як типового, так і раритетного біорізноманіття унаслідок ворожих обстрілів, викликаних ними пожеж тощо.

Метою даної публікації є надання, за результатами власних польових досліджень, комплексної інформації про стан флори, фауни, провідні ознаки ландшафтів заказника «Видівський». Для цієї природоохоронної території такий аналіз здійснено вперше. Його важливість обумовлюється й тим, що натеper Краснопільська ТГ належить до числа особливо небезпечних територій України, наслідком чого є й прояв на її території фактів воєнного екоциду.

За фізико-географічним районуванням України, ландшафтний заказник «Видівський» розташований у межах Сумсько-Тростянецького району Сумської схилово-височинної області Східно-Українського краю Лісостепової зони Східно-Європейської рівнини [8]. Відповідно до геоботанічного районування – у межах Краснопільсько-Тростянецького району Сумського округу Середньоросійської лісостепової підпровінції Східно-Європейської провінції Європейсько-Сибірської лісостепової області [9].

Погодно-кліматичні умови території характеризуються такими показниками: середня температура січня мінус 7,8<sup>0</sup> С, липня – плюс 19<sup>0</sup> С; період із температурою понад плюс 10<sup>0</sup> С становить 155 днів; опадів близько 550 мм на рік; основна частина опадів випадає у теплий період

року; середня висота снігового покриву до 20 см [10]. Типовою ознакою Сумсько-Тростянецького району, яка чітко проявляє себе і в межах заказника, є те, що рельєф території формують хвилясті вододільні місцевості, розчленовані порівняно неглибокими, розгалуженими балками, з відносно похилими схилами [11].

До складу заказника «Видівський» включено балкову систему зі схилами південної та західної експозиції. Частина балкової системи зайнята штучно створеними середньовіковими фітоценозами листяних та шпилькових лісів (рис.1).



Рисунок 1 – Лісові фітоценози заказника (фото М. Г. Баштового)

У складі листяних лісів здебільшого домінує робінія звичайна (*Robinia pseudoacacia* L.), а співдомінує береза повисла (*Betula pendula* Roth). У складі деревостану зростають дуб червоний (*Quercus rubra* L.), яблуня лісова (*Malus sylvestris* Mill.), груша звичайна (*Pyrus communis* L.). Трапляються клен гостролистий (*Acer platanoides* L.), сосна звичайна (*Pinus sylvestris* L.), в'яз гладкий (*Ulmus laevis* Pall.), клен ясенелистий (*Acer negundo* L.). Усі зазначені види дерев досить успішно поновлюються природним шляхом. У цих фітоценозах наявний дрібний та середній підріст згаданих видів. Загальна зімкнутість ярусу деревостану варіює від 0,8-0,9. Підлісок досить розріджений (при зімкнутості 0,1-0,2). У ньому, зокрема, представлені жостір проносний (*Rhamnus cathartica* L.), бузина чорна (*Sambucus nigra* L.) та види роду *Rosa*.

Під наметом лісу у складі ярусу трав зростають хвощ лісовий (*Equisetum sylvaticum* L.), осока шершава (*Carex hirta* L.), парило звичайне (*Agrimonia eupatoria* L.), яглиця звичайна (*Aegopodium podagraria* L.), люпин багатолистий (*Lupinus polyphyllus* Lindl.), суниці лісові (*Fragaria vesca* L.), гравілат міський (*Geum urbanum* L.), зірочник

ланцетовидний (*Stellaria holostea* L.), тонколучник однорічний (*Phalachloroma annuum* (L.) Dumort.), подорожник ланцетолистий (*Plantago lanceolata* L.), кропива дводомна (*Urtica dioica* L.) та ін.

У межах фітоценозу, описаного вище, виявлено популяції коручки чемерниковидної (*Epipactis helleborine* (L.) Crantz) та коручки темночервоної (*E. atrorubens* (Hoffm. ex Bernh.) Besser), які мають національний созологічний статус (рис. 2). Популяція першого виду була значно чисельнішою (нараховано близько 60 особин). Більшість рослин у популяціях обох видів досягли генеративного онтогенетичного стану. Разом із тим, у них наявні і догенеративні рослини (ювенільні, іматурні та віргільні).



Рисунок 2 – *Epipactis atrorubens* на території заказника  
(фото Ю. Л. Скляра)

Схили балок, вкриті лісами, інтенсивно заселені птахами, характерними для таких ценозів. Найбільш типовими тут є: вівчарик-ковалик (*Phylloscopus collybita*), вільшанка (*Erithacus rubecula*), синиця велика (*Parus major*), синиця блакитна (*Parus coeruleus*), зяблик (*Fringilla coelebs*), зеленяк (*Chloris chloris*), щиглик (*Carduelis carduelis*), сойка (*Garrulus glandarius*), кропив'янка сіра (*Sylvia communis*), кропив'янка садова (*Sylvia borin*), берестянка звичайна (*Hippolais icterina*), крук (*Corvus corax*), шпак звичайний (*Sturnus vulgaris*), крутиголовка (*Jynx torquilla*), дятел звичайний (*Dendrocopos major*), щеврик лісовий (*Anthus trivialis*) та інші. Виявлені також жовна сива (*Picus canus*) та вивільга (*Oriolus oriolus*).

Згадані пнатні за оцінками МСОП мають охоронний статус рівня LC та занесені до Додатку II Бернської конвенції. Водночас вільшанка (*Erithacus rubecula*), кропив'янка сіра (*Sylvia communis*) та

кропив'янка садова (*Sylvia borin*) числяться у Додатку II Бонської конвенції. Жовна сива (*Picus canus*) та вивільга (*Oriolus oriolus*) занесені до переліку тварин, що підлягають особливій охороні на території Сумської області.

Значна кількість мишовидних гризунів, які заселяють лісову підстилку, галявини та лучний ценоз днища балки, приваблює сюди лисицю (*Vulpes vulpes*) та сову вухату (*Asio otus*) – птаха, що знаходиться під охороною Бернської конвенції.

Поряд із лисицею, ссавців об'єкту також представляють козуля європейська (*Capreolus capreolus*), заєць-русак (*Lepus europaeus*), кабан (*Sus scrofa*), їжак європейський (*Erinaceus europaeus*) та інші. Згадані звірі за оцінками МСОП мають охоронний статус рівня LC.

В оточенні лісової рослинності по днищам балок сформувалися трав'яні рослинні угруповання із домінуванням пирію повзучого (*Elytrigia repens* (L.) Nevski), куничника наземного (*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth.), мітлици тонкої (*Agrostis capillaris* L.). У складі цих угруповань також зростають полин звичайний (*Artemisia vulgaris* L.), дивина борошниста (*Verbascum lychnitis* L.), грястиця збірна (*Dactylis glomerata* L.), підмаренник справжній (*Galium verum* L.), шавлія лучна (*Salvia pratensis* L.), щавель кінський (*Rumex confertus* Willd.), цикорій дикий (*Cichorium intybus* L.), материнка звичайна (*Origanum vulgare* L.), астрагал солодколистий (*Astragalus glycyphyllos* L.), парило звичайне (*Agrimonia eupatoria* L.), синяк звичайний (*Echium vulgare* L.), деревій майже звичайний (*Achillea submillefolium* Klokov & Krytzka), любочки осінні (*Leontodon autumnalis* L.), конюшина гірська (*Trifolium montanum* L.), конюшина лучна (*Trifolium pratense* L.), полин австрійський (*Artemisia austriaca* Jacq.), жовтець їдкий (*Ranunculus acris* L.), люцерна серповидна (*Medicago falcata* L. aggr.), цмин пісковий (*Helichrysum arenarium* (L.) Moench), хвощ польовий (*Equisetum arvense* L.), льонок звичайний (*Linaria vulgaris* Mill.), гикавка сіра (*Berteroa incana* (L.) DC.), нечуйвітер зонтичний (*Hieracium umbellatum* L.), *Carex hirta*, *Plantago lanceolata*.

По днищу балки реєструється досить активне природне відновлення сосни звичайної та берези повислої (рис. 3). Воно представлено особинами, які репрезентують майже усі когорти молодого покоління: від дрібного підросту до молодих генеративних дерев.

По днищам балок та узліссях численними є різні види комах та павукоподібних. Із числа видів, які потребують охорони тут представлені: мураха рудий лісовий (*Formica rufa*) (за оцінкою МСОП комаха має охоронний статус рівня NT – види наближені до загрозливого стану) та жужжало велике (*Bombylius major*) – комаха,

включена до переліку тварин, що підлягають особливій охороні на території Сумської області.



Рисунок 3 – Днище та схил балки біля лісу (фото М. Г. Баштового)

У заказнику «Видівський» також представлені схили балок, зайняті трав'янистими угрупованнями (рис. 4) із домінуванням (співдомінуванням) таких видів як костриця лучна (*Festuca pratensis* Huds.), *Elytrigia repens*, *Agrimonia eupatoria*, *Calamagrostis epigejos*, морква дика (*Daucus carota* L.).



Рисунок 4 – Схил балки з лучно-степовою рослинністю та природним відновленням дерев (фото М. Г. Баштового)



У складі цих угруповань також зростають *Artemisia vulgaris*, *Dactylis glomerata*, дивина борошніста (*Verbascum lychnitis* L.), *Salvia pratensis*, підмаренник справжній (*Galium verum* L.), *Rumex confertus*, *Cichorium intybus*, звіробій звичайний (*Hypericum perforatum* L.), *Carex hirta*, миколайчики плоскі (*Eryngium planum* L.), *Phalacchloroma annuum*, *Origanum vulgare*, різак звичайний (*Falcaria vulgaris* Bernh.), *Echium vulgare*, *Trifolium montanum*, *Achillea submillefolium*, *Leontodon autumnalis*, *Trifolium pratense*, *Artemisia austriaca*, *Medicago falcata*, *Geum urbanum*, *Linaria vulgaris*, *Ranunculus acris*, *Helichrysum arenarium*, щавель кислий (*Rumex acetosa* L.), *Berteroa incana*, кульбаба лікарська (*Taraxacum officinale* Wigg. aggr.), *Plantago lanceolata*.

У межах заказника виявлено не багаточисельну популяцію глоду українського (*Crataegus ukrainica* Pojark.) – виду, включеного до переліку видів, що підлягають особливій охороні в Сумській області.

По пагорбам та їх схилах реєструється природне поновлення груші звичайної та берези повислої. На схилах виявлено досить багато кущів рослин, що належать до роду *Rosa*.

Суходільні луки схилів балок населяють численні безхребетні. В домінанті це представники ряду прямокрилі. Зокрема типовим тут є летюха звичайна (*Aiolopus thalassinus*), трав'янка струнка (*Stenobothrus stigmaticus*), кобилка чорносмуга (*Oedaleus decorus*) та ряд інших. Численними також є перетинчастокрилі (джміль садовий (*Bombus hortorum*), мурашка садова чорна (*Lasius niger*), оса паперова (*Polistes dominula*) інші), двокрилі (сірф сіроп'ятнистий (*Syrphus glaucius*), сіра м'ясна муха (*Sarcophaga carnaria*), ктир тонкочеревний (*Leptogaster cylindrica*), метелики (білан ріп'яний (*Pieris rapae*), синявець ікар (*Polyommatus icarus*), очняк волове око (*Maniola jurtina*), рябокрилка мінлива (*Araschnia levana*), сонцевик павичеве око (*Inachis io*), сонцевик кропив'яний (*Aglais urticae*) та ряд інших.

Із числа комах, які підлягають охороні, тут трапляються бронзівка мармурова (*Protaetia marmorata*) та богомол звичайний (*Mantis religiosa*) – види, включені до списку тварин, що підлягають особливій охороні на території Сумської області.

Орнітокомплекс об'єкту репрезентують птахи лугових біоценозів. Типовими тут є плиска жовта (*Motacilla flava*), вівсянка садова (*Emberiza hortulana*), кам'янка звичайна (*Oenanthe oenanthe*), жайворонок польовий (*Alauda arvensis*) та ряд інших горобиних. Із близько розташованого лісу періодично залітають крук (*Corvus corax*), щиглик (*Carduelis carduelis*), канюк звичайний (*Buteo buteo*), яструб великий (*Accipiter gentilis*) та інші пернаті.

За оцінками МСОП птахи мають охоронний статус рівня LC, та занесені до Додатку II Бернської конвенції. Вівсянка садова занесена до списку тварин, що підлягають особливій охороні на території Сумської області.

Савці заказника представлені переважно гризунами, серед яких типовою є миша польова (*Apodemus agrarius*). На більш зволжених ділянках днища балки трапляються кротовини сліпака звичайного (*S. mirophthalmus*) – виду тварин, що підлягають особливій охороні на території Сумської області.

Звичайними є заходи на об'єкт лисиці звичайної (*Vulpes vulpes*), козулі європейської (*Capreolus capreolus*), зайця-русака (*Lepus europaeus*). Тварини мають охоронний статус МСОП рівня LC.

Для географо-естетичної та психолого-естетичної оцінки ландшафту використовувалася загальноприйнята методика [12]. Результати аналізу представлені в таблицях 1 та 2.

Таблиця 1 – Психолого-естетична оцінка ландшафту

№ опорної точки	Оцінка за критеріями балів			
	1. (Спокій)	2. (Захоплення)	3. (Незайманість)	4. (Душевне піднесення)
1. Ліс на схилі балки	2	2	2	2
2. Днище балки біля лісу	2	4	2	4
3. Схил балки із лучно-степовою рослинністю	4	4	2	2
Середній бал по кожному з критеріїв	2,7	3,3	2,0	2,7
Сума середніх балів за всіма критеріями	10,7			

Таблиця 2 – Географо-естетична оцінка ландшафту

№	Критерій	Бал			
		точка			середній
		1	2	3	
1.	Гармонія природних та антропогенних об'єктів	1	1	1	1
2.	Наявність на ділянці мальовничих урочищ, затишних куточків, де приємно відпочивати, насолоджуватись красою природи	2	2	2	2

3.	Наявність на ділянці визначних пам'яток, таких як химерні скелі, водоспади, вікові дерева, скупчення чарівних рослин, квітів, пам'ятки історії та культури	2	2	2	2
4.	Наявність на ділянці оглядових майданчиків, з яких відкриваються гарні краєвиди	2	2	2	2
5.	Виразність форм рельєфу	1	1	2	1,3
6.	Виразність водних об'єктів	0	0	0	0
7.	Різноманітність і чергування рослинних угруповань	0	1	1	0,7
8.	Різноманітність тваринного світу ділянки	2	2	1	1,7
Сумарний бал за критеріями					10,7
Сума за даними таблиць 1 та 2				21,4	
Висновок		Загальний бал відповідає діапазону 16,1-24,0, тобто значенням, визначеним для об'єктів ПЗФ місцевого значення.			

Результати проведеного аналізу вказують і на досить значну естетичну цінність цього ландшафту (рис. 5) та його відповідність показникам, за якими відбувається залучення територій до складу природно-заповідного фонду.



Рисунок 5 – Краєвиди заказника (фото М. Г. Баштового)

Отже, результати проведених досліджень свідчать, що заказник «Видівський» вирізняється значним рівнем біорізноманіття. У його складі представлені як типові види, так і ті, що репрезентують раритетну складову: тут виявлено види, що охороняються на регіональному, державному та міжнародному рівні. Провідні ознаки ландшафтів заказника засвідчують високий рівень їхньої естетичної цінності. Натепер на території заказника фактів воєнного екоциду не зареєстровано. Навіть за умови збереження такої ситуації, у повоєнний період доцільним буде проведення повторних досліджень, спрямованих на оцінку стану природних комплексів заказника загалом та його біорізноманіття зокрема. Це має стати невід’ємною складовою заходів, спрямованих як на актуалізацію даних про стан об’єктів природно-заповідного фонду області, так і оптимізацію їх режимів охорони.

### **Використані інформаційні джерела:**

1. Фіторізноманіття Українського Полісся та його охорона (2006). К. : Фітосоціоцентр. 316 с.
2. Фіторізноманіття заповідників і національних природних парків України. Ч.1. Біосферні заповідники. Природні заповідники (2012). Київ : Фітосоціоцентр, 406 с.
3. Фіторізноманіття заповідників і національних природних парків України. Ч.2. Національні природні парки (2012). Київ : Фітосоціоцентр, 580 с.
4. Скляр В. Г., Скляр Ю. Л. Створення нових територій природно-заповідного фонду як важливий складник розбудови структурних елементів екомережі поліської частини Сумської області (2014). Науковий вісник Східноєвропейського Національного університету ім. Лесі Українки. Серія «Біологічні науки», 13 (290) : 61–66.
5. Скляр В. Г., Мельничук С. Д., Скляр Ю. Л., Бондарева Л. М., Баштовий М. Г., Зубцова І. В. (2019). Біорізноманіття проектного заказника «Говорунівський». Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Агрономія і біологія», 1–2 (35–36) : 40–46.
6. Скляр В. Г., Скляр Ю. Л., Баштовий М. Г., Литовка В. В., Ємець О. М., Шерстюк М. Ю., Ярошенко Н. П., Говенько Я. С. Біорізноманіття пропонованого заказника «Пшінчине» (2020). Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Агрономія і біологія», 3 (41) : 41–48.
7. Скляр В. Г., Бондарева Л. М., Кирильчук К. С., Ємець О. М., Баштовий М. Г., Тебенко Ю. М. (2021). Біорізноманіття балкової системи с. Терешківка Сумського району як перспективної природоохоронної та рекреаційної території Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Агрономія і біологія», II (44) : 58–65.
8. Маринич О. М., Пархоменко Г. О., Петренко О. М., Шищенко П. Г. (2003). Удосконалена схема фізико-географічного районування України. Укр. географ. журнал, 1 : 16–21.
9. Геоботанічне районування Української РСР (1977). К. : Наук. Думка,

304 с.

10. Географічна енциклопедія України: [у 3 т.] Т. 3. (1993). Київ : «Українська Радянська Енциклопедія» ім. М. П. Бажана, 480 с.

11. Маринич А. М., Пашенко В. М., Шищенко П. Г. Природа Украинской ССР. Ландшафты и физико-географическое районирование (1985). К. : Наук. думка, 224 с.

12. Методичні рекомендації щодо проведення естетичної оцінки території з метою заповідання (затверджено Наказом Державної служби заповідної справи, від 21.04.2006 р. за №3).

## ПЕРСПЕКТИВИ РОЗШИРЕННЯ ПРИРОДНО-ЗАПОВІДНОЇ МЕРЕЖІ МИРГОРОДСЬКОГО РАЙОНУ ПОЛТАВСЬКОЇ ОБЛАСТІ (УКРАЇНА)

<sup>1</sup>Смоляр Н. О., канд. біол. наук, доцент, <sup>2</sup>Ханнанова О. Р.,  
канд. біол. наук, доцент, <sup>3</sup>Мовчан В. В., учитель географії та біології,  
вчитель-методист, <sup>3</sup>Мезенцева Д. О., здобувачка середньої освіти

<sup>1</sup>*Національний університет «Полтавська політехніка  
імені Юрія Кондратюка», Україна*

<sup>2</sup>*Полтавський науково-дослідний експертно-криміналістичний центр  
МВС України, Україна*

<sup>3</sup>*Березоволицький ліцей Петрівсько-Роменської сільської ради,  
Полтавська область, Україна*

**Анотація.** Природозаповідання є однією із сучасних природоохоронних концепцій, а розширення площі природно-заповідної мережі є актуальним завданням сьогодення в умовах євроінтеграції. Нами виявлено територію, досліджено біорізноманіття та запропоновано концепцію створення природно-заповідного об'єкту в межах долинно-річкової системи Хоролу на території Миргородського району Полтавської області, який може стати філією регіонального ландшафтного парку «Гадяцький». Досліджувана територія репрезентована вододільним яружно-балковим, схилувим, заплавному та надзаплавним піщано-боровим типами місцевості. Встановлено, що ландшафтна різноманітність досліджуваної території визначена природними умовами, які сприяли поширенню тут раритетних видів рослин, рідкісних угруповань. У природному рослинному покриві перспективної філії парку виділено такі комплекси: рослинність корінного схилу р. Хорол (нагірні діброви та лучні степи); рослинність заплави р. Хорол (заплавні ліси, луки, болота, водойми); рослинність надзапальної піщано-бороваї тераси р. Хорол (переважно соснові ліси); рослинність яружно-балкової системи вододільного плато (лучні степи та байрачні ліси). Охарактеризовано соціологічну цінність ключової ділянки проектного об'єкту біля села Мелешки Миргородського району, а також ландшафтну і екологічну репрезентативність долинно-річкової системи Хоролу на півночі Полтавщини. Запропоновано зонування досліджуваної ділянки як філії регіонального ландшафтного парку «Гадяцький» із врахуванням проведеного на його території функціонального зонування. Встановлено, що створення в долині річки Хорол природно-заповідного об'єкту загальною площею близько 4,5 тис. га дозволить охопити ефективною охороною цінні екосистеми долинно-річкової системи Хоролу, здійснити

оптимізацію зонування території регіонального ландшафтного парку «Гадяцький», підвищити показник заповідності у Миргородському районі Полтавської області.

**Abstract.** Nature conservation is one of the modern nature preservation concepts, while expanding the area of the nature reserve network is an important objective today under European integration. We have identified the territory, studied biodiversity and proposed the concept of creating a nature reserve within the Khorol valley-river system in the territory of Myrhorod district of Poltava oblast, which may become a branch of «Hadyatskyi» regional landscape park. The studied territory is represented by the watershed, scarp-beam, slope, floodplain and suprafflood sand-pine terrain types. It was established that landscape diversity of the studied area is determined by natural conditions that contributed to the spread of rare plant species as well as rare groups. In the natural vegetation cover of the park perspective branch, the following complexes are distinguished: vegetation of the root slope of the Khorol River (mountain thickets and meadow steppes); vegetation of the floodplain of the Khorol River (floodplain forests, meadows, marshes, reservoirs); vegetation of the floodplain sand-pine terrace of the Khorol River (mainly pine forests); vegetation of the ridge-beam system of the watershed plateau (meadow steppes and biryar forests). Sozological value of the key part of the projected object near the village of Meleshky, Myrhorod district, as well as the landscape and ecological representativeness of the Khorol valley-river system in the north of the Poltava oblast, are characterized. Zoning of the studied area as a branch of the regional landscape park «Hadyatskyi» is proposed, taking into account the functional zoning carried out on its territory. It was established that creation of a nature reserve in the valley of the Khorol River with a total area of about 4.5 thousand hectares will enable effective protection of valuable ecosystems of the valley and river system of the Khorol, to optimize the zoning of the territory of the regional landscape park «Hadyatskyi», to increase protection index in Myrhorod district of Poltava oblast.

**Key words:** nature reserve network, nature reserve object, branch of regional landscape park «Hadyatskyi», flora, sozophytes, Poltava oblast.

Враховуючи набуття Україною в найближчій перспективі статусу кандидата в члени ЄС, збільшення площ природно-заповідного фонду є необхідною умовою подальшої євроінтеграції. Тож питання щодо розширення заповідних територій, у тому числі в межах адміністративних областей, є досить актуальним.

Сучасна оптимізована природно-заповідна мережа Полтавської області станом на 01.01.2023 (за інформацією Департаменту екології та природних ресурсів Полтавської облдержадміністрації) налічує 393 об'єкти природно-заповідного фонду загальною площею 142550,1915 га, що складає 4,96% від загальної площі області [17]. Актуальним завданням на сьогодні залишається збільшення показника заповідності в межах адміністративних районів та новостворених територіальних

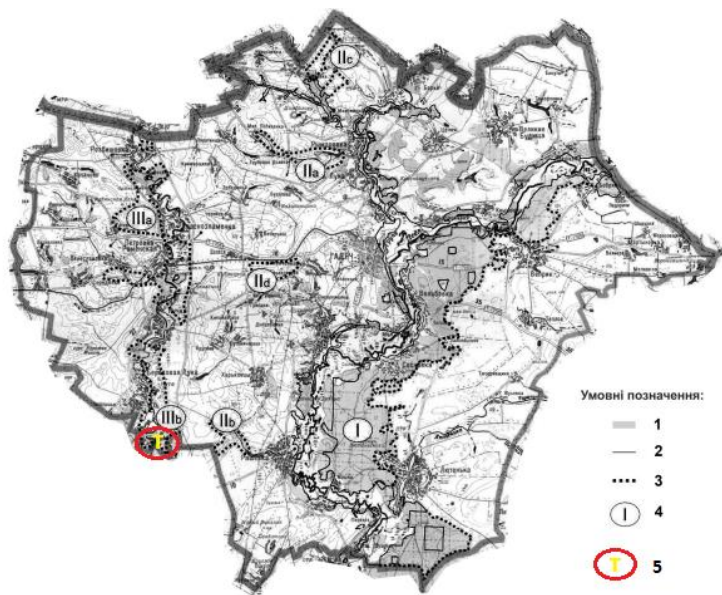
громад Полтавщини за рахунок виявлення та дослідження місцевостей, перспективних для заповідання. Із цією метою нами здійснюються наукові розвідки на території Миргородського району. Найбільшим за площею і основним за природоохоронною значущістю природно-заповідним об'єктом регіону є регіональний ландшафтний парк (далі – РЛП) «Гадяцький», створений у грудні 2011 року на площі 12803,3 га в межах долини р. Псел в його середній течії

Цінними у науковому відношенні для розширення природно-заповідної мережі Миргородського району є території долинно-річкової системи Хоролу – правобережної притоки Псла (басейн р. Дніпро). Попередньо нами розроблено картосхему оптимізації природно-заповідного фонду в Гадяцькому районі (у 2020 році ввійшов до складу Миргородського району згідно нового адміністративно-територіального устрою України) шляхом оптимізації територіальної структури РЛП «Гадяцький» [20] (рис. 1), у якій відображено й територію долинно-річкової системи Хоролу (на карті ключові території Ша і Шб). Зокрема, досліджено систему байрачно-балкових урочищ на межиріччі Псла та Хоролу між селами Березова Лука й Рашівка та виявлено ряд созофітів [20]. На сучасному етапі картосхему уточнено (рис. 1) за рахунок ділянок поблизу села Мелешки Миргородського району, які досліджувалися авторами упродовж 2020-2022 років [7, 8, 10].

Рослинний світ долини річки Хорол досліджували Л. М. Гомля та Т. В. Дерев'яно, які наводять відомості й про раритетну фракцію флори території [4]. Нові рідкісні види для даної території вказуються О. В. Панченком [11, 13, 14, 15]. Він пропонує створити ландшафтний заказник на площі близько 60 га, до складу якого ввійде байрачний ліс «Петрів Байрак» та степова балка «Кабанівка» [15]. Дослідники Д. Р. Ночовна, О. В. Панченко, Д. А. Гамза описують місця зростання рідкісних видів рослин у заповідному урочищі «Яри-Загатки» [12]. Зазначимо, що всі вказані дослідники, окрім перших двох, це – члени шкільного гуртка «Географічне краєзнавство» в Березово-Луцькому ліцеї Петрівсько-Роменської сільської ради Полтавська області, які в різні роки проводили ботанічні розвідки та моніторингові дослідження рослинного світу на території перспективного для заповідання об'єкту під керівництвом вчителя географії та біології, одного із авторів цієї публікації, В. В. Мовчана. Про знахідки *Equisetum telmateia* Ehrh., який рідко зустрічається в Полтавській області, повідомляв місцевий краєзнавець М. Ф. Торяник [1]. Грабові ліси в околицях села Березова Лука Миргородського району досліджували О. М. Байрак, Н. О. Стецюк (Смоляр). Ними виявлено поодинокі екземпляри *Galanthus nivalis* L.,



про що вказує і В. В. Мовчан [9]. Перспективні для заповідання території лісових та лучних екосистем північніше села Ручки Миргородського району досліджував Д. А. Гамза [2, 3].



**Рис. 1. Картосхема оптимізації територіальної структури РЛП «Гадяцький»:**  
 1 – межі Гадяцького району; 2 – межі РЛП «Гадяцький»; 3 – межі ділянок, пропонуваніх для включення до складу РЛП «Гадяцький»; 4 – структурні складові для включення до РЛП «Гадяцький».  
 5 – територія дослідження біля села Мелешки

Однак, враховуючи відомості про проведені флоросозологічні та ландшафтні дослідження у середній течії р. Хорол та на суміжних територіях, зазначаємо наявність ділянок, перспективних для створення нових природно-заповідних об'єктів. За результатами оригінальних досліджень та опрацювання інформаційних джерел було розроблено орієнтовну картосхему проєктованого природно-заповідного об'єкту, що може стати філією РЛП «Гадяцький» (рис. 2). Його площа складає орієнтовно близько 4,5 тис га, а також 300 га має перспективна для заповідання ділянка на межиріччі Псла та Хоролу.

Зазначимо, що вказана площа є досить умовною, оскільки значною перешкодою для досягнення мети може стати погодження із

землевласниками та землекористувачами. Згідно публічної кадастрової карти [18], окрім приватних домогосподарств, тут наявні ділянки з такими типами власності як комунальна, державна та з невизначеним статусом. Цільове призначення територій державної власності та з невизначеним статусом – ведення лісового господарства, яким на даний час займається Краснолуцьке (ДП «Гадяцьке лісове господарство») та Комишнлянське (ДП «Миргородське лісове господарство») лісництва. До того ж, перспективна для заповідання територія знаходиться в межах трьох сільських рад: Сергіївської, Петрівсько-Роменської та Комишнлянської. Тож необхідне погодження з усіма трьома громадами. Обмежуватися територією лише Петрівсько-Роменської сільської ради не доцільно, оскільки порушуватиметься принцип цілісності географічної оболонки та взаємозв'язаності природних комплексів, будуть порушені зв'язки в екосистемах відповідних ділянок [9]. Тому адміністративні межі громад чи районів не мають стати перешкодою у заповідній справі.

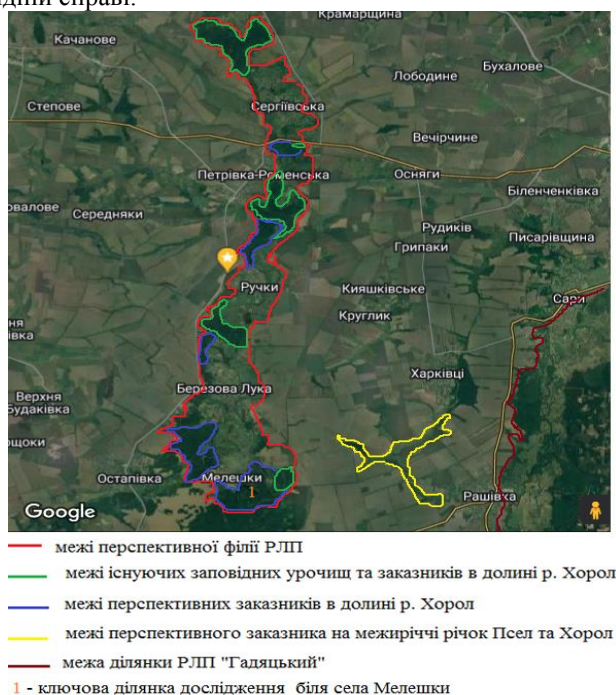


Рисунок 2 – Картосхема перспективної філії регіонального ландшафтного парку «Гадяцький»

У природному рослинному покриві досліджуваної території можна виділити такі комплекси: I – рослинність корінного схилу р. Хорол (нагірні діброви та лучні степи); II – рослинність заплави р. Хорол (заплавні ліси, луки, болота, водойми); III – рослинність надзаплавної піщано-борової тераси р. Хорол (переважно соснові ліси); IV – рослинність яружно-балкової системи вододільного плато (лучні степи та байрачні ліси).



Рисунок 3 – Байрачно-балкові урочища на межиріччі Псла та Хоролу

Досліджувана територія включає існуючі природно-заповідні території (заповідні урочища «Забрід», «Яри-Загатки», «Перевалкове», «Шпакове», пам'ятку природи «Дуб черешчатий», ботанічний заказник «Русиново-Дубина») та перспективні [2, 3, 6, 7, 8, 10].

Однією із ключових територій перспективного природно-заповідного об'єкту є ділянка в околицях с. Мелешки Миргородського району (рис. 2), яка знаходиться на крайньому півдні території Петрівсько-Роменської сільської ради. Заплава річки Хорол тут вирівняна, з окремими зниженнями на старичних ділянках та підвищеннями прируслового валу, репрезентована луками, водно-болотними угіддями та лісовими масивами. Правобережний корінний схил річкової долини зайнятий нагірними дібровами на сірих опідзолених ґрунтах.

Досить цікавими в межах долинно-річкової системи Хоролу є болотні відклади у вигляді торфу. Згідно опрацьованих архівних матеріалів [5] у 50-70-х роках ХХ століття на даній території розроблялося Велико-Сагське родовище. Утворенню торфу в даній місцевості сприяло меандрування річки. Завдяки цим процесам

утворилася значна кількість старорічищ, які з часом втратили зв'язок із руслом і перетворилися на озера. Надалі тривав процес їх заболочення, що й посприяло відкладенню торфу. За відомостями місцевих жителів села Мелешки Миргородського району, безпосередніх учасників торфовидобутку, вдалося встановити, що площа родовища була розділена на три приблизно рівні ділянки. На двох із них торф повністю видобутий, а третя ділянка залишилася нерозробленою, оскільки населення почало переходити на опалення будинків бурим та кам'яним вугіллям. Поновлення розробки родовища спричинить антропогенне навантаження на природні комплекси. Тому одним із шляхів збереження цінних лучно-болотних та лісових угідь є включення даної території до складу перспективного природно-заповідного об'єкту.

Окрім лучно-болотних угідь заплава досліджуваної території репрезентована вільшнями та кленово-дубовими лісами, які належать до Комишнянського лісництва Миргородського лісгоспу. Ліс має місцеву назву «Засага». На схід від нього знаходиться заповідне урочище «Перевалкове». На корінному схилі долинно-річкової системи Хоролу західніше від заплавного лісу знаходиться нагірна діброва. Тут, поряд із основними ценозоутворюючими породами *Quercus robur* L., *Tilia cordata* Mill., *Acer platanoides* L. досить поширеним є *Carpinus betulus* L., місцями з домінуючою участю в деревостанах. Цей вид знаходиться в регіоні на південно-східній межі свого суцільного поширення [23].

Під час досліджень лісових ценозів встановлено високу флоросозологічну цінність даної території. Виявлено сім рідкісних видів рослин, із яких два (*Allium ursinum* L. та *Listera ovata* (L.) R. Br.) включені до Червоної книги України [22], а п'ять – до регіонального списку [1] (*Chrysosplenium alternifolium* L., *Convallaria majalis* L., *Corydalis marschalliana* (Pall. ex Willd.) Pers., *Dentaria quinquefolia* M. Bieb., *Scilla siberica* Haw.).

Місцезнаходження *Listera ovata* виявлено біля невеликої затоки, яка є відгалуженням озера, утвореного на місці кар'єру. Попередньо, крім виявленого, вказується ще два локалітети даного виду на території колишнього Гадяцького району [2, 3].

Багаточисельні ценопопуляції *Allium ursinum* виявлено поблизу села Мелешки безпосередньо біля озера й в глибині лісу, навіть уздовж ґрунтової лісової дороги. На окремих лісових ділянках екземпляри вказаного виду зростають поряд із *Dentaria quinquefolia*, що охороняється в Полтавській області. Основні угруповання цього виду поширені на дещо сушіших ділянках заплавного лісу.



Рисунок 4 – *Allium ursinum* – домінант травостою весняного лісу



Рисунок 5 – *Listera ovata* у фазі бутонізації

Місцезростань *Chrysosplenium alternifolium* відомо лише декілька у Полтавській області. Одне з них знаходиться в притерасному вільшняку р. Псел, де попередньо запропоновано створити гідрологічний заказник [1]. Нами виявлено цей вид у лісі «Засага». Біля р. Хорол, крім вказаного локалітету, відомо про зростання *Chrysosplenium alternifolium* лише в Підгорянському лісі [2, 3].

*Convallaria majalis* на досліджуваній території зустрічається лише в декількох локалітетах, що підкреслює необхідність охорони. У вільшняку було виявлено ценопопуляцію папороті *Matteuccia struthiopteris* (L.) Tod. На дещо підвищених ділянках заплавної лісу обстежено ценопопуляції регіонально рідкісного виду *Corydalis marschalliana*, який представлений у цьому локалітеті багаточисельними ценопопуляціями.

На досліджуваній території зростає вікове дерево *Quercus robur*, яке пошкоджене дубовою губкою. Викликає занепокоєння можливість ураження інших дерев та знищення під виглядом санітарних рубок навіть здорових об'єктів, що підкреслює необхідність створення на досліджуваній ділянці природно-заповідного об'єкту та впровадження заходів екологічного менеджменту.

На території перспективного для заповідання об'єкту у межах лісових ценозів виявлено рідкісні синтаксони, включені до Зеленої книги України [19], – угруповання *Querceta roboris* з домінуванням *Allium ursinum* та *Querceta roboris* з домінуванням *Vinca minor*.

У нагірній діброві з участю *Carpinus betulus* виявлено зростання регіонально рідкісних видів *Vinca minor* L. та *Lamium galeobdolon* (L.) L. Зокрема, поодинокі екземпляри *Lamium galeobdolon* були виявлені в заплавному вільшняку. *Vinca minor* має на території дослідження суцільне масове поширення на значних лісових площах. Також, поряд із грабом, зростають поодинокі екземпляри *Cerasus avium* (L.) Moench. На узліссі нагірної діброви вдалося виявити місцезнаходження *Primula veris* L., який теж охороняється на Полтавщині.

Під час досліджень лучних ценозів на заплаві р. Хорол, яка межує з лісом «Засага», виявлено місця зростання чотирьох видів рослин, включених до Червоної книги України, – *Dactylorhiza incarnata* (L.) Soó, *D. fuchsii* (Druce) Soó, *Orchis palustris* Jacq., *Gladiolus tenuis* M. Vieb., а також чотири види – *Valeriana officinalis* L., *Inula helenium* L., *Nymphaea alba* L., *Potentilla palustris* (L.) Scop., які охороняються в Полтавській області.

Серед водних фітоценозів виявлено угруповання *Nymphaeeta albae*, включене до Зеленої книги України [19].

Таким чином, раритетна фракція флори на досліджуваній території складає 20 видів, шість із яких включено до Червоної книги України і чотирнадцять – до регіонального списку.

Із метою здійснення ефективних заходів природокористування на перспективній для заповідання та включення до складу РЛП території проведено її часткове структурування із врахуванням проблеми з зонуванням у РЛП «Гадяцький», «оскільки визначене

зонування не дозволяє забезпечити належний рівень охорони парку і ефективно проводити заходи екологічного менеджменту» [21]. Заповідна зона складає тут лише 8% від території парку. Тож дана ситуація враховувалася нами під час проєктування перспективної для включення до складу РЛП ділянки в долині річки Хорол. Так, на даний час у межах проєктованої території знаходяться чотири заповідних урочища («Шпакове», «Забрід», «Яри-Загатки», «Перевалкове»), пам'ятка природи («Дуб черешчатий») та один заказник («Русиново-Дубина») загальною площею 879 га, що складає 19,5% від усієї площі. Однак результати проведених наукових розвідок ключової ділянки біля села Мелешки вказують на існування й інших соцологічно цінних лісових, лучних, болотних, водних екосистем. Також у дослідженнях інших авторів запропоновано створення нових заказників: на північ від села Ручки – «Ручківський» (або ж об'єднання із заповідним урочищем «Забрід») [2, 3], на південь від села Березова Лука – «Березоволицький» [25], біля села Мелешки – «Мелешківський» (або ж об'єднання із заповідним урочищем «Перевалкове») [7, 8, 11]. Окрім того, доцільно розширити межі заповідного урочища «Яри-Загатки» між селами Ручки та Березова Лука, а також приєднати до ботанічного заказника «Русово-Дубина» заплавні ліси між селами Петрівка-Роменська та Сергіївка. Такий підхід ґрунтується не лише на соцологічній цінності території та необхідності збільшити заповідну площу, а й на аналізі топографічних карт минулого століття. Так, серед лісових масивів пропонуються до заповідання саме ті з них, які існували ще в 30-х роках минулого століття, оскільки саме ці ділянки упродовж тривалого часу зберігаються практично в незмінному вигляді. До того ж, питання збереження лісових екосистем є на даний час досить актуальним, адже за даними українського аналітичного порталу «Слово і Діло» внаслідок нападу росії, війною охоплено близько трьох мільйонів гектарів лісу в Україні. Приблизно 23,3 тисячі гектарів лісів випалено, частину з них втрачено [16]. Тож збереження лісів у регіонах, які не потерпали від окупації, є досить важливим, оскільки такий підхід зможе хоча б частково компенсувати їх втрати в зоні бойових дій [6]. За умови створення нових заказників, заповідна зона в межах проєктованого об'єкту становитиме близько 1700 га, а це майже 38% від усієї території.

До зони регульованої рекреації рекомендовано віднести острівки першої надзаплавної (піщано-борової тераси) із штучними насадженнями *Pinus sylvestris* L. в околицях села Березова Лука Миргородського району. Одна із таких ділянок, на жаль, була вирубана в минулому десятилітті [6]. Тож, із метою запобігання подальшому зведенню потрібно вивести їх із господарського використання. Окрім

того, до зони регульованої рекреації можна включити нагірні діброви, які не ввійшли до заповідної зони, степові ділянки корінного берега р. Хорол та, частково, заплавні луки. На вказаних територіях можна закладати екологічні стежки, еколого-туристичні маршрути та здійснювати еколого-валеологічне просвітництво.

Значну частину перспективної для заповідання території займатиме й господарська зона, адже такі села як Ручки, Березова Лука та Мелешки повністю входять до її складу. Виносити їх за межі проєктованого об'єкту не бажано, оскільки тоді він матиме переривчастий характер.

Також, створений на межиріччі Псла та Хоролу заказник «Кабанівка» в межах Лютенської сільської ради, репрезентований байрачно-балковими урочищами, стане екологічним коридором між РЛП «Гадяцький» та його філією в долині річки Хорол.

Із 2019 року долинно-річкова система Хоролу в межах Полтавської області входить до Смарагдової мережі України [18], а отже й досліджувана ділянка теж є її складовою на даний час і потребує першочергової охорони.

Таким чином, створений природно-заповідний об'єкт у межах долинно-річкової системи Хоролу може стати філією регіонального ландшафтного парку «Гадяцький», дозволить охопити ефективною охороною лісові, лучні, лучно-степові, болотні та водні екосистеми з багатим природним й у його складі раритетним фіторізноманіттям, здійснити оптимізацію зонування уже існуючої поліфункціональної природно-заповідної території (РЛП «Гадяцький»), збільшити площу природно-заповідної мережі Миргородського району та Полтавської області.

#### **Використані інформаційні джерела:**

1. Байрак О. М., Стецюк Н. О. Атлас рідкісних і зникаючих рослин Полтавщини (2005). Полтава : Верстка, 248 с.
2. Гамза Д. А., Мовчан В. В. Еколого-географічна характеристика Підгоряньського лісу села Ручки Петрівсько-Роменської сільської ради (2021). Освітні та наукові виміри природничих наук [Електронний ресурс] : збірник матеріалів II Всеукраїнської заочної наукової конференції. Суми : СумДПУ імені А. С. Макаренка. С. 137–141.
3. Гамза Д. А., Мовчан В. В. Созологічна цінність лісових та лучних природних комплексів в середній течії річки Хорол (2021). Шості Сумські наукові географічні читання : збірник матеріалів Всеукраїнської наукової конференції. Суми. 2021. С. 85–88.
4. Гомля Л. М., Дерев'яно Т. В. Рослинність долини річки Хорол та її созологічні особливості (2016). Вісник проблем біології і медицини, 4 (1; 133) : 77–82.



5. Карта четвертичных отложений (1971). Масштаб 1:200000. Серия Днепровско-Донецкая, лист М-36-XVI. Киев.
6. Мезенцева Д. О., Мовчан В. В. Збереження лісових масивів біля села Березова Лука (2022). Збірник матеріалів III Міжнародної науково-практичної конференції «Екологія. Довкілля. Енергозбереження». Полтава : НУПП, 2022. С. 188–190.
7. Мезенцева Д. О., Мовчан В. В. Обґрунтування створення ландшафтного заказника поблизу села Мелешки (2021). Збірник матеріалів II Міжнародної науково-практичної конференції «Екологія. Довкілля. Енергозбереження», присвяченої 203-річчю Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка». Полтава : НУПП, ПП «Астрия». С. 238–242.
8. Мезенцева Д. О., Мовчан В. В. Ризики й загрози біорізноманіттю природних комплексів біля села Мелешки та шляхи збереження й охорони (2022). Збірник матеріалів I Міжнародної науково-практичної конференції «Подолання екологічних ризиків та загроз для довкілля в умовах надзвичайних ситуацій – 2022». Полтава : НУПП. С. 405–408.
9. Мовчан В. В. До створення природного-заповідного об'єкту в межах ключової ділянки долинно-річкової системи Хоролу (2016). Пирятинські екологічні читання : м-ли наук.-практ. конф. К. : Талком. С. 57–59.
10. Мовчан В. В., Мезенцева Д. О. До створення ландшафтного заказника в південній частині Петрівсько-Роменської сільської ради (2022). Екологічна безпека держави: тези доповідей XVI Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів. К. : НАУ. С. 53–55.
11. Мовчан В. В., Панченко О. В. Створення ландшафтного заказника на межиріччі Хоролу та Псла між селами Рашівка та Березова Лука (2020). Екологія. Довкілля. Енергозбереження: м-ли I Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю, присвячена 90-річчю Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка». Полтава : НУПП. С. 152–155.
12. Ночовна Д. Р., Мовчан В. В. Рідкісна флора заповідного урочища «Яри-Загатки» (2018). Треті Сумські наукові географічні читання : м-ли Всеукраїнської наукової конференції. Суми. С. 143–144.
13. Панченко О. В. Передумови створення ландшафтного заказника на межиріччі Хоролу та Псла в південній частині Гадацького району (2019). Полтавшина – земля моя свята. Збірник кращих матеріалів X обласної краєзнавчої конференції учнівської молоді. Полтава : ТОВ «Фірма «Техсервіс». С. 198–201.
14. Панченко О. В., Мовчан В. В. До створення ландшафтного заказника в південній частині Гадацького району (2019). Четверті Сумські наукові географічні читання : м-ли Всеукраїнської наукової конференції. Суми. С. 71–77.
15. Панченко О. В., Мовчан В. В. Система байрачно-балкових урочищ на межиріччі Псла та Хоролу як перспективна природоохоронна територія в складі регіонального ландшафтного парку «Гадацький» (2021). Шості Сумські

наукові географічні читання : м-ли Всеукраїнської наукової конференції. Суми. С. 159–163.

16. Природа та війна: як російська агресія вплинула на довкілля URL: <https://www.slovoidilo.ua/2022/11/08/infografika/suspilstvo/pryroda-ta-vijna-yak-rosijska-ahresiya-vplynula-dovkillya> (дата звернення : 10. 11.2022)

17. Природно-заповідний фонд Полтавщини / Департамент екології та природних ресурсів Полтавської облдержадміністрації. URL: <http://eko.adm-pl.gov.ua/> (дата звернення : 26.12.2022)

18. Публічна кадастрова карта URL: [https://map.land.gov.ua/?cc=3754500.837711037.6487478.120161905&z=13&l=pcm\\_sm\\_merega,kadastr&bl=ortho10k\\_all&marker=3761628.590598629,6486503.54805127](https://map.land.gov.ua/?cc=3754500.837711037.6487478.120161905&z=13&l=pcm_sm_merega,kadastr&bl=ortho10k_all&marker=3761628.590598629,6486503.54805127) (дата звернення : 20.09.2021)

19. Рослинні угруповання Зеленої книги України. URL: <https://wownature.in.ua/articles/roslynni- uhrupovannia- zelenoi- knyhy- ukrainy/> (дата звернення : 10.05.2021)

20. Смоляр Н. О., Ханнанова О. Р. Концепція розвитку територіальної структури регіонального ландшафтного парку «Гадяцький» (Україна) (2016). Біологія та екологія, 2 (1) : 38–46.

21. Ханнанова О. Р. Флора, рослинність та соціологічна цінність регіонального ландшафтного парку «Гадяцький» : Дис. ... канд. біол. наук (наук. керів. Смоляр Н.О., к. б.н.) (2018). Київ. 410 с.

22. Червона книга України. Рослинний світ (2009) / за ред. Я. П. Дідуха. К. : Глобалконсалтинг. 900 с.

23. *Carpinus betulus* URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%80%D0%B0%D0%B1\\_%D0%B7%D0%B2%D0%B8%D1%87%D0%B0%D0%B9%D0%BD%D0%B8%D0%B9#/media/Файл:Carpinus\\_betulus\\_range.svg](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%80%D0%B0%D0%B1_%D0%B7%D0%B2%D0%B8%D1%87%D0%B0%D0%B9%D0%BD%D0%B8%D0%B9#/media/Файл:Carpinus_betulus_range.svg) (дата звернення : 15.05.2021)

**ОХОРОНА ЛІСІВ НІМЕЧЧИНИ:  
ІСТОРИКО-ЕКОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ НА ПРИКЛАДІ  
ГЕТТІНГЕНСЬКОГО МІСЬКОГО ЛІСУ (GÖTTINGER WALD)**

**Ярошенко Н. П.**, аспірантка,  
**Скляр В. Г.**, доктор біол. наук, професор

*Сумський національний аграрний університет, Україна*

**Анотація.** У статті висвітлено результати досліджень розвитку Геттінгенського лісу в історико-екологічному контексті як одного із найцінніших лісів Нижньої Саксонії в Німеччині. Досліджено звіти з історії розвитку та користування лісу від XVI ст. до сьогодення. Проведено оцінку менеджменту міського лісу та його структурних елементів, зокрема пралісу. Проаналізовано економічну складову концепції сталого використання Геттінгенського лісу. За результатами дослідження з'ясовано, що теорія використання культурних ландшафтів є малопоширеною, але досить ефективною при реалізації своїх екологічних функцій. Лісогосподарський менеджмент має будуватися на принципах екологічно та економічної сталості та відкритості даних задля запобігання конфліктів інтересів громади. Використання концепції біотопів деревини, що наразі є структурним елементом управління Геттінгенського міського лісу, може бути адаптована до елементів українського лісового господарства.

**PROTECTION OF GERMAN FORESTS:  
HISTORICAL AND ECOLOGICAL ANALYSIS ON THE  
EXAMPLE OF THE GÖTTINGER URBAN FOREST  
(GÖTTINGER WALD)**

**Yaroshenko N. P.**, postgraduate,  
**Skliar V. H.**, doctor of biological sciences, professor

*Sumy National Agrarian University, Ukraine*

**Abstract.** The article highlights the results of research on developing the Goettingen forest in the historical and ecological context as one of the most valuable forests of Lower Saxony, Germany. Reports on the history of the development and use of the forest from the 16th century have been studied to the present day. An assessment of the management of the urban forest and its structural elements, mainly the primeval forest, was carried out. The economic component of the sustainable use of the Goettingen forest is analyzed. Based on the research results, it was found that

the theory of using cultural landscapes could be more widespread but quite effective in realizing its ecological functions. Forestry management should be based on ecological and economic sustainability and openness of data to prevent conflicts of community interests. The concept of wood biotopes, which is currently a structural element of the Goettingen urban forest management, can be adapted to the elements of Ukrainian forestry.

Понад 2/3 території Німеччини, що займає майже 25% площі Західної Європи, в минулому були вкриті буковими лісами. Наразі даний показник суттєво зменшився і становить 7% від початкової площі, що зумовлює переосмислення користування лісами як забезпечення біорізноманіття.

Чверть лісів Німеччини належать муніципалітетам і містам, які є найбільшими державними власниками лісів після федеральних земель. Одним із таких лісів є міський ліс міста Геттінген площею майже 1600 гектарів, яким керує міське лісництво відповідно до узгоджених екологічних критеріїв. Із 9 серпня 1995 року місто погодилося управляти своїми лісами відповідно до концепції, яка показує, як можна узгодити вимоги суспільства, щодо відпочинку та збереження природи, а також економічного використання деревини. Вивчення таких передових практик та сприяння їхньому втіленню є актуальним як із теоретичної, так і практичної точок зору.

Мета нашого дослідження – аналіз адаптивного менеджменту Геттінгенського міського лісу та потенціалу впровадження даної концепції в Україні. Таке узагальнення досвіду лісокористування для зазначеного лісового масиву проведено вперше.

Поєднання типів землекористування за певними закономірностями та їх комбінування призводять у своїй сукупності до специфічної ландшафтної структури природної зони Геттінгенського лісу (Göttinger Wald). Така ландшафтна структура відображає наслідки потреб людей, які використовували даний простір з урахуванням умов ландшафту. Ландшафтну структуру можна використовувати на даному етапі як істотний показник для оцінки сталого розвитку культурних ландшафтів, які є домінантною ландшафтною формою (рис. 1).

Розглянувши деталі формування культурного ландшафту Геттінгенського лісу, спостерігається два типи використання земельної ділянки: сільське та лісове господарство. Населення Геттінгена зазнало обмежень у використанні сільськогосподарських і лісових господарств. Територія лісу, що підпорядковувалася лісogосподарському менеджменту, є антропогенно ураженою. Серед екосистем, які можна було б легко розвивати відповідно до соціального та технічного

розвитку, сьогодні майже немає ознак первинних ландшафтів: інтенсивно культивовані частини ландшафту використовувалися для виробництва товарів. У районах Німеччини, де природний ландшафт не вартий культивації або цьому перешкоджали екстремальні умови місцевості, природні елементи, безперечно, можна зберегти.

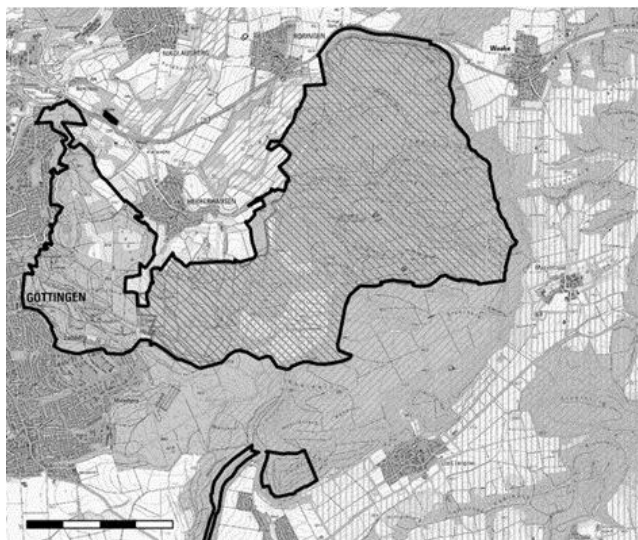


Рисунок 1 – Геттінгенський ліс на мапі м. Геттінген, Нижня Саксонія, Німеччина (джерело: Greenpeace, LGLN Niedersachsen 2012)

Культурний ландшафт описує територію, що була культурно змінена відповідно до антропозапитів, але використання якої екологічно адаптоване до природи та належить до доінструальної епохи його використання. Ландшафтні території, які здаються «природними» за сьогоднішніми суб'єктивними стандартами, часто були предметом використання людиною протягом більш-менш віддаленого періоду часу. Вони вирізняються серед інших експлуатованих ландшафтів і сьогодні є цінними структурними елементами, але зрештою є лише продуктом форми використання земель, від якої майже повністю відмовилися.

Щоб мати можливість оцінити культурні ландшафти, необхідно зрозуміти їх походження та розвиток. У Геттінгенському лісі це стосується, зокрема, територій, які використовуються для сільського та лісового господарства, що охоплює основну частину території та має

відношення до змін видового та біоценозного різноманіття. На момент 1784 р. значні частини Геттінгенського лісу все ще перебували під впливом сільського господарства. Після періоду спустошення лісів через надмірну експлуатацію, ідея сталого використання деревини вже переважала протягом XVI століття і знайшла своє відображення у загальних лісових правилах, які забороняли вирубку та відновлення лісів. На початку XVIII століття у зв'язку зі збільшенням потреби в паливі та будівельній деревині переважали форми лісокористування, орієнтовані на виробництво деревини. Забезпеченість людей продовольством і сировиною з середини XIX ст. передбачало орієнтацію на лісозаготівлю та використання території лісу як пасовища. Частково площі Геттінгенського лісу використовувалися для вирощування зерна з обробітком лісових площ. Крім того, одними з форм використання лісових площ, яку сьогодні називають «вторинним використанням» у лісовому господарстві (полювання, лісове пасовище, окреме використання підстилки та кори, добування смоли тощо) відіграють значну роль в управлінні лісу.

У своїй доповіді 1926 року про розвиток міських лісів Геттінгена головний лісничий міста Вальтер Фрухтс заявив, що причиною нерегульованого порослевого лісового господарства є, переважно, лісове пасовище для відгодівлі великої рогатої худоби, свиней і виробництва листяної підстилки. З 1920 по 1925 рік, у період, коли менеджмент лісу вже був закріпленим за Фрухтсом, лісничий не розвивав екологічне лісове господарство в Геттінгенському лісі, який на той момент займав 2/3 лісової площі міста.

Принципами концепції екологічного догляду за лісами є:

- відсутність суцільних вирубок,
- відмова від застосування пестицидів,
- мінімізація лісогосподарських втручань до необхідного рівня,
- зосередження догляду за лісом на найкращих лісових породах,
  - сувора охорона ґрунту, лісової підстилки та внутрішнього клімату лісу,
  - індивідуальна заготівля деревини тільки найміцніших стовбурів (використання цільового розміру).

Попри критику принципів лісового менеджменту В. Фрухтса і часткове виконання запропонованих лісничим приписів, на сьогодні міський ліс Геттінгена є одним із найдавніших зразків лісу, наближеного до природного догляду.

За деревними породами міський ліс за структурою дуже схожий на свого попередника – праліс. Для багатьох видів рослин, грибів і

тварин, які знаходяться під загрозою зникнення в інших місцях, міський ліс пропонує безпечний дім завдяки безперервності середовища існування на ділянках старого лісу.

У міському лісі Геттінгена близькість до природи є основним принципом догляду за лісом протягом останніх 80 років. Потенційна природна рослинність і життєві процеси, що в ній відбуваються, є орієнтиром для управління лісами.

Управління лісами змінюється таким чином, щоб найкращий можливий економічний результат діяльності був досягнутий із мінімумом праці, енергії та капіталу, тобто дуже природний підхід (принцип мінімуму, економії).

Концепція управління міським лісом базується на девізі: «Найкраща можлива екологічна взаємодія в лісовому угрупованні гарантує найвищу додану вартість для елітних дерев у лісі». В екстремальному природному процесі відбору орієнтовно 400 000 саджанців дерев на гектар, які природним чином з'являються під старими деревами, лісничий супроводжує та доглядає лише за «найбільш придатними» 40-80 окремими деревами, доки вони не будуть готові до збору врожаю. Таким чином, операційна ціль досягається шляхом заготівлі меншої кількості дерев із максимальною доданою вартістю, а не шляхом максимальної заготівлі деревини (принцип пріоритету якості над кількістю). Дерево готове до збору врожаю, коли воно досягне мінімального діаметра стовбура 60 см із хорошою або дуже хорошою стиглістю. Щоб досягти вказаного діаметра, дереву в міському лісі потрібно від 110 років на дуже забезпечених органічною речовиною ділянках та до 180 років на ділянках з низьким запасом поживних речовин. Найбільша небезпека знецінення товстих стовбурів дерев виникає через безпосереднє втручання в деревну популяцію. Будь-яке порушення основи цінності призводить до великих втрат якості. Оскільки функціонуюча екосистема має вирішальне значення для економічного успіху, усі її структурні компоненти користуються захистом і не залишаються поза увагою: так біотопні дерева та мертва деревина є середовищем існування «розкладачів дерев», що містять гніздові порожнини для птахів і кажанів, які, у свою чергу, регулюють популяції комах.

Важливим принципом у міському лісі є максимальна допустимість природних процесів. На відміну від інших лісівничих систем, концепція управління лісом працює без точного опису цілі щодо стану окремого насадження, тобто як ліс має виглядати згідно з плануванням через визначений відрізок часу, не зазначається. Склад природного лісу реагує на вплив довкілля і, відповідно, постійно

змінюється. Щоб розпізнати ці зміни та врахувати їх при догляді за лісом, із 1996 року в міському лісі створено еталонні ділянки, які більше не підлягають господарюванню: ці території найліпше відповідають на запитання, як природа реагує на зміни навколишнього середовища.

При виборі контрольних територій дуже важливо, щоб ці території також представляли керовані лісові насадження та мали однакову історію походження. Такі території обстежуються лісівниками не рідше одного разу на рік, а щодесять років проводиться інтенсивна контрольна вибіркова інвентаризація з пробними площами, на яких реєструються наявні зміни. Ці зміни порівнюються з подіями в лісах із наявним лісогосподарським менеджментом того ж генезису.

Якщо культивовані площі надто відрізняються від еталонних територій з точки зору видового складу, віку дерев, структури та частки дерев біотопу, слід розглянути можливість переосмислення лісогосподарських втручань. У міському лісі Геттінгена в даний час є три контрольні території загальною площею 104 га, що складає 6,5% площі міського лісу, які є еталоном для площі керованих лісів у 1300 га. Концепція розвитку Геттінгенського лісу передбачає подальше залишення приблизно 10% міських лісів для природного розвитку та використання їх як еталону для лісів, де наявне лісогосподарське втручання.

Замість фіксованих специфікацій для цільового запасу існують правила поведінки лісівників у природних лісах з лісогосподарським користуванням. Це включає утримання від усього, що перешкоджає або завдає шкоди природному розвитку: заборона садити чужорідні для даної території дерева, заборона їзди по лісовій підстилці поза доріжками або проїздами, прокладеними кожні 40 метрів, повна відсутність удобрення чи вапнування, а також вето на використання хімікатів.

Однією з важливих умов подальшого існування лісу є забезпечена можливість омолоджуватися виключно природним насіннєвим матеріалом. Лише за деревом висотою 12 метрів можна визначити, які дерева мають найбільшу життєвість. Відібрані найкращі дерева отримують пріоритет, якщо їхньому росту заважає таке ж дерево, але гіршої якості. Усі лісові заходи виконуються мінімалістично. Найкращі дерева не повинні піддаватися будь-якому втручанню: таким чином створюється ліс, який зовнішнім виглядом і структурою нагадує праліс і, незважаючи на заготівлю цінної деревини, не надто віддалений від життєвих процесів, які відбуваються в лісі без її використання.

На Конференції Організації Об'єднаних Націй з навколишнього середовища в Ріо-де-Жанейро в 1992 році було погоджено Конвенцію



про біорізноманіття, що передбачає, окрім сталого використання лісів, захист їх частин. Там, де ділянки пралісів вже не відповідають категорії незайманого лісу, як у Німеччині, можливість розвитку нових пралісів як «пралісів завтрашнього дня» має бути створена шляхом відмови від використання деревини в комерційних лісах. Місто Геттінген взяло на себе зобов'язання підтримувати цю мету: площа міського лісу нині становить 1580 га.

Міський ліс Геттінгена включає лісові навчальні території, які також є особливо цінними для збереження біорізноманіття. До них належать, наприклад, орхідейно-липово-буковий ліс, який було вилучено з використання деревини понад 60 років тому, старі масиви із щільним розташуванням дерев із великими популяціями кажанів, дерева які є притулками для птахів та ліси на стадії піонерних у природному заповіднику Керстлінгер Рьодер Фельд (Kerstlinger Röder Feld).

Міський ліс Геттінгена є громадським лісом. Міська рада, як представницький орган громадян, визначає майбутнє та поводження з лісом, а отже, концепцію господарювання. Вагомою частиною даного менеджменту є регулярний звіт про результати лісового менеджменту, що включає показники інвентаризації, доходи від продажу деревини та експлуатації лісу, витрати на забезпечення лісового менеджменту, а також результати заготівлі деревини або місця її видачі з міського лісу є публічними даними і повідомляються комітету ради на загальних громадських засіданнях. Саме завдяки залученості громадян міста Геттінген та міській раді вони, відповідаючи перед нинішніми та майбутніми поколіннями, на ранній стадії наблизили ліс до природного стану. Завдяки постійному дотриманню цієї мети міський ліс наразі знаходиться у стані, який забезпечує збереження природи, естетику та рентабельність лісового господарства, що призвело до того, що міський ліс є одним із найцінніших лісів Нижньої Саксонії.

Екологічно цінні лісові масиви містять велику кількість біотопних дерев, які є захистом і середовищем існування для багатьох істот, а також виконують інші важливі функції в лісовій екосистемі, тому вони мають вирішальне значення для оцінки екологічного потенціалу.

Щоб оцінити внесок старих букових лісів у захист клімату, на вибраних ділянках було визначено запаси деревини та, відповідно, накопичення вуглецю у стоячих деревах. Для цього в Геттінгені було обрано п'ять вимірювальних квадрантів, де проводився порівняльний аналіз та картографування. Однак порівнювальність цих ділянок дуже обмежена: з одного боку, лісовий покрив незначний і становить менше

п'яти га, а з іншого боку, існує суттєве, пов'язане із локальним сільським господарством, надходження органічних речовин, що позитивно впливає на ріст дерев.

Однією з причин формування біотопних структур часто є пошкодження стовбура, які виникають під час заготівлі деревини. Втручання, мінімізоване концепцією господарювання на сільськогосподарських угіддях, призводять до меншого збитку від вирубки та трелювання, а отже, до меншого утворення біотопних структур, тому економічна цінність запасів надзвичайно висока.

Іншою чіткою ознакою того, що ліс, наближений до природи, є кількість мертвої деревини: праліси та природні ліси, які протягом тривалого часу не були заселені людиною, мають дуже високу частку мертвої деревини. Тенденції розвитку мертвої деревини є дуже хорощим показником для оцінки того, наскільки далеко управління лісом знаходиться в напрямку ситуації, близької до природної. Однак параметр мертвої деревини слід розглядати лише разом із іншими параметрами – запасами деревини та структурою лісу – для визначення природності насадження. Диференціація мертвої деревини призводить до різних екологічних значень окремо для мертвої стоячої та лежачої деревини: у природних лісах зазвичай багато мертвої деревини, яка в результаті певного розкладання утворює найкраще середовище існування для розкладачів тварин і рослин. Частка мертвої деревини також може бути дуже високою в промислових лісах, наприклад, якщо залишки деревини залишаються в лісі. Однак, оскільки це, зазвичай, деревина, екологічна цінність якої, як правило, нижча. Щодо лежачої деревини, керований ліс лише якісно наближається до ситуації в природному лісі, навмисно залишаючи мертві дерева стояти, відмираючі біотопні дерева або навмисно залишаючи окремі вітровали там, де вони є.

Супутні дослідження біолога Георга Мьоллера, які наразі проводяться в міському лісі Геттінгена, стосуються того, наскільки ця територія була безперервно покрита лісами. Так звані, «реліктові види пралісів», які майже не виявляють тенденції до поширення і тому зустрічаються лише на постійних лісових територіях, роблять ці ліси особливо цінними з точки зору охорони видів. Для їхнього постійного обслуговування є базове обладнання лісу з біотопними деревами. Старі лісові насадження не використовуються. Дослідження Мьоллера показують, що в міському лісі Геттінгена є «первісні реліктові види» серед комах та грибів.

Отже, міський ліс Геттінгена підпорядковується концепції біотопів деревини та природоохоронних територій, які можуть

слугувати опціями для подальшого поширення виду. Права власності над лісом здійснюються міською радою від імені громадян Геттінгена, що передбачає відкриті засідання міської ради з питань лісів, а громадськість має відкритий доступ до цілей, планування і фінансових ресурсів міського лісу. Дана концепція може бути адаптована до українських реалій не лише на територіях пралісів, а й частково у міських лісах, які наразі виконують незначну кількість екологічних послуг, маючи значно ширший потенціал за впровадження адаптивного лісового менеджменту.

### **Використані інформаційні джерела:**

1. Borgemeister B. Die Stadt und ihr Wald – Untersuchung zur Stadtgeschichte der Städte Göttingen und Hannover vom 13. bis zum 18. Jahrhundert. Hannover, 2005. 228 p.

2. Panek N. Eignung von öffentlichen Wäldern in Niedersachsen als Bausteine für den bundesweiten Schutz alter Buchenwälder, Gutachten im Auftrag von Greenpeace. Hamburg, 2012. 36 p.

3. Arbeitsanweisung FFH, Anlage 5: Definition Biotopbaum in: Managementpläne für Waldflächen in Natura 2000-Gebieten. Hamburg, 2010. 128 p.

4. Schober, R. Buchenertragstafel für mäßige und starke Durchforstung. Frankfurt am Main, 1967. 334 p.

5. AFZ 20/2009: Inventurstudie 2008, in: AFZ-Der Wald, Allgemeine Forstzeitschrift für Waldwirtschaft und Umweltvorsorge 20, 2009. P. 1068–1081.

## ЗМІСТ

### РОЗДІЛ І. ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА А УПРАВЛІННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКОЮ

*Stepova O., Stepovyi Ye.*

CALCULATION OF STEEL PIPELINE CORROSION DEPTH  
FOR VARIOUS CONDITIONS OF ELECTROLYTE SOLUTIONS  
IN CRACKS.....7

*Бредун В. І.*

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ТА ОСНОВИ МЕТОДОЛОГІЇ РОЗРОБКИ Й  
ПРОГНОЗУВАННЯ РОЗВИТКУ ЛОГІСТИЧНОЇ СТРУКТУРИ  
РЕГІОНАЛЬНИХ СИСТЕМ ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ.....20

*Голік Ю. С., Крот О. П., Серга Т.М.*

ТВЕРДІ ПОБУТОВІ ВІДХОДИ ЯК РЕЗЕРВ ЕНЕРГЕТИЧНОГО  
ПОТЕНЦІАЛУ МІСТА.....37

*Калінкевич О. В., Калінкевич О. М., Кулик О. М., Чіванов В. Д.,  
Коченко О. В.*

МАГНІТОКЕРОВАНІ СОРБЕНТИ НА ОСНОВІ ХІТИНУ КОМАХ  
ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ВІД  
ЗАБРУДНЮВАЧІВ РІЗНОЇ ПРИРОДИ.....48

*Коберник В. С., Маляренко О. Є., Майстренко Н. Ю.*

ЕКОЛОГІЯ І ДЕКАРБОНІЗАЦІЯ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ.....55

*Копач П. І., Якубенко Л. В., Мормуль Т. М., Данько Т. Т.,  
Горобець Н. В., Гальченко З.С., Лубинський Р.С.*

ОЦІНКА ТА ВИБІР ПРОМИСЛОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ У  
ПРОЦЕСІ ПІСЛЯВОСННОГО ЇХ ВІДНОВЛЕННЯ ЗА КРИТЕРІЄМ  
ІНТЕГРАЛЬНОЇ ЕКОЛОГІЧНОЇ РЕСУРСОЄМНОСТІ.....65

*Кремньов В. О., Тимощенко А. В., Беляєв Г. В., Беляєва І. П.,  
Жуков К. Л., Корбут Н. С., Стецюк В. Г.*

СУЧАСНЕ ЛІСІВНИЦТВО УКРАЇНИ І МОЖЛИВОСТІ  
ЙОГО СИНЕРГІЙНОЇ ВЗАЄМОДІЇ З ЕНЕРГЕТИКОЮ.....80

*Кузнецов П. М., Ярощук О. В., Бєдункова О. О.*

ЗАСТОСУВАННЯ ВАРІАБЕЛЬНОСТІ ФОСФОНАТНОЇ  
СТАБІЛІЗАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ ОХОЛОДЖУЮЧОЇ ВОДИ  
ДЛЯ МІНІМІЗАЦІЇ СКИДІВ У ВОДНІ ОБ'ЄКТИ.....92

*Ляшенко А. В.*

ДОСВІД РОЗРОБОК ТА ВПРОВАДЖЕННЯ СУШИЛЬНИХ  
УСТАНОВОК ПРИ ПЕРЕРОБЦІ ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ.....105

<b>Магась Н. І.</b> ОЦІНКА ЯКОСТІ ВОДИ РІЧКИ ПІВДЕННИЙ БУГ ТА ЇЇ ПРИДАТНОСТІ ДЛЯ ПИТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ .....	114
<b>Маларенко О. Є., Майстренко Н.Ю.</b> ОЦІНКА ПОТЕНЦІАЛУ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В СЕКТОРІ ЗАГАЛЬНОГО ДЕРЖАВНОГО УПРАВЛІННЯ ТА НЕКОМЕРЦІЙНИХ ОРГАНІЗАЦІЙ.....	128
<b>Петрушка К. І., Петрушка І. М.</b> РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНІЙ АНАЛІЗ ҐРУНТУ, ПОШКОДЖЕНОГО ВИБУХАМИ.....	138
<b>Пічугін С. Ф., Зима О. Є., Стебляк В. С.</b> АВАРІЇ НА НАФТОГАЗОВИХ РОДОВИЩАХ ЯК ЧИННИК ВПЛИВУ НА ГЛОБАЛЬНУ ЕКОЛОГІЧНУ БЕЗПЕКУ В УКРАЇНІ..	148
<b>Пічугін С. Ф., Оксененко К. О.</b> СУЧАСНІ СПІРАЛЬНО-ФАЛЬЦЕВІ ФЕРМЕНТЕРИ У СКЛАДІ ПІДПРИЄМСТВ ІЗ ВИРОБНИЦТВА БІОЕТАНОЛУ.....	158
<b>Трус І. М., Твердохліб М. М., Галиш В. В., Гомеля М. Д.</b> МАЛОВІДХОДНА ТЕХНОЛОГІЯ ЗНЕЗАЛІЗНЕННЯ ВОДИ.....	171
<b>Федонюк М. А.</b> ОСОБЛИВОСТІ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ НА ВОЛИНІ В КОНТЕКСТІ РЕГІОНАЛЬНИХ ЗМІН КЛІМАТУ.....	184

## РОЗДІЛ ІІ. БІОРІЗНОМАНІТТЯ ТА ЗАПОВІДНА СПРАВА

<b>Лобань Л. О., Дідик Л. В.</b> ФІТОСОЗОЛОГІЧНА ЦІННІСТЬ РЕГІОНАЛЬНИХ ЛАНДШАФТНИХ ПАРКІВ – КЛЮЧОВИХ ТЕРИТОРІЙ ЕКОМЕРЕЖІ ЧЕРНІГІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ.....	198
<b>Скляр В. Г., Ємець О. М., Скляр Ю. Л., Баитовий М. Г.</b> БІОРІЗНОМАНІТТЯ ЗАКАЗНИКА «ВИДІВСЬКИЙ».....	211
<b>Смоляр Н. О., Ханнанова О. Р., Мовчан В. В., Мезенцева Д. О.</b> ПЕРСПЕКТИВИ РОЗШИРЕННЯ ПРИРОДНО-ЗАПОВІДНОЇ МЕРЕЖІ МИРГОРОДСЬКОГО РАЙОНУ ПОЛТАВСЬКОЇ ОБЛАСТІ (УКРАЇНА).....	222
<b>Ярошенко Н. П., Скляр В. Г.</b> ОХОРОНА ЛІСІВ НІМЕЧЧИНИ: ІСТОРИКО-ЕКОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ НА ПРИКЛАДІ ГЕТТІНГЕНСЬКОГО МІСЬКОГО ЛІСУ (GÖTTINGER WALD).....	235
<b>ЗМІСТ</b> .....	244

Наукове видання

**ЕКОЛОГІЯ. ДОВКІЛЛЯ. ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ. 2023.**

Колективна монографія

Рекомендовано до друку вченою радою Національного університету  
«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Технічне редагування – Н.О. Смоляр

Підписано до друку 10.03.2023 р.  
Формат 60x84/16. Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman.  
Друк різнографічний. Умовн. друк. арк. 14,3.  
Наклад 300 прим. Замовлення 2023-139

**Видавництво ПП «Астрая»**

36014, м. Полтава, вул. Шведська, 20, кв. 4

Тел.: +38 (0532) 509-167, 611-694

E-mail: [astraya.pl.ua@gmail.com](mailto:astraya.pl.ua@gmail.com), веб-сайт: [astraya.pl.ua](http://astraya.pl.ua)

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 5599 від 19.09.2017 р.

**Друк ПП «Астрая»**

36014, м. Полтава, вул. Шведська, 20, кв. 4

Тел.: +38 (0532) 509-167, 611-694

Дата державної реєстрації та номер запису в ЄДР

14.12.1999 р. № 1 588 120 0000 010089