

ISSN 2306-9716

МІНІСТЕРСТВО ЕКОЛОГІЇ ТА ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНА ЕКОЛОГІЧНА АКАДЕМІЯ ПІСЛЯДИПЛОМНОЇ ОСВІТИ ТА УПРАВЛІННЯ

ЕКОЛОГІЧНІ НАУКИ

НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ

1(24). Т. 2

КИЇВ – 2019

Екологічні науки : науково-практичний журнал / Головний редактор О.І. Бондар. – К. : ДЕА, 2019. – № 1(24). Т. 2. – 178 с.

Головний редактор:

Бондар О.І., член-кореспондент НААНУ, д.б.н., проф.

Заступник головного редактора:

Нагорнева Н.А.

Науковий редактор:

Машков О.А., д.т.н., проф.

Відповідальний редактор:

Сікачина В.Г.

Відповідальний секретар:

Жук Ю.І.

Редакційна колегія:

Аверін Г.В., д.т.н.; Азаров С.І., д.т.н.;
Азасков В.М., д.т.н.; Антонов А.В., д.т.н.;
Барабаш О.В., д.т.н.; Белецкий В.М., д.т.н.
(Республіка Польща); Білявський Г.О., д.г.-м.н.;
Богдасаров М.А., д.г.-м.н. (Республіка Білорусь);
Бондаренко О.А., д.б.н.; Ващенко В.М., д.ф.-м.н.;
Гавриленко В.В., д.т.н.; Гандзюра В.П., д.б.н.;
Глушков О.В., д.ф.-м.н.;
Захматов В.Д., д.т.н.; Зубова Л.Г., д.т.н.; Ільїн В.М., д.б.н.;

Ільїн О.Ю., д.т.н.; Іващенко Т.Г., к.т.н.;
Козелков С.В., д.т.н.; Коростіль Ю.С.
(Республіка Польща), д.т.н.;
Костишин С.С., д.б.н.; Кравченко Ю.В., д.т.н.;
Крайнов І.П., д.т.н.; Кутлахмедов Ю.О., д.б.н.;
Лапшин Ю.С., д.т.н.; Мальований М.С., д.т.н.;
Машков В.А. (Чеська Республіка), д.т.н.;
Машков О.А., д.т.н.; Мокін В.Б., д.т.н.;
Неділько С.М., д.т.н.; Пашков Д.П., д.т.н.;
Пекло А.М., к.б.н.; Петриашвили Г., д.т.н.
(Республіка Польща);
Петрук В.Г., д.т.н.; Риженко Н.О., д.б.н.; Рудько Г.І., д.т.н., д.г.-м.н., д.г.н.; Соколов Ю.М., д.т.н.;
Тимошенко М.М., к.т.н.; Трофимчук О.М., д.т.н.;
Тупкало В.М., д.т.н.; Фінін Г.С., д.ф.-м.н.;
Христо Атанасов Крагунов (Республіка Болгарія),
PhD, професор;
Улицький О.А., д.т.н.;
Чумаченко С.М., д.т.н.; Шматков Г.Г., д.б.н.;
Prof.Dr. Clemens Walther (Німеччина);
Prof.Dr. Jan-Willem Vahlbruch (Німеччина);
Prof.Dr. Stefan Bister (Німеччина).

Науково-практичний журнал «Екологічні науки» входить до переліку наукових фахових видань із двох галузей наук: Біологічні науки (Наказ Міносвіти України № 153 від 14.02.2014), Технічні науки (Наказ Міносвіти № 642 від 16.05.2014).

Журнал публікує (після рецензування та редагування) статті, які містять нові теоретичні та практичні здобутки в галузі екологічних наук.

ЗМІСТ

ЕКОЛОГІЯ І ВИРОБНИЦТВО	5
Hrebeniuk T.V., Dychko A.O., Bronytskyi V.O. Modelling of process of adsorption at wastewater treatment from phenol.....	5
Kuznyetsov S.I., Sakovych B.P. Multi-tier absorber for cleaning of exhaust gases of kilns.....	8
Улицький О.А., Єрмаков В.М., Луньова О.В., Мілехін П.О. Розроблення алгоритму класифікації потенційно небезпечних об'єктів за галузями промисловості та впливом на природне середовище.....	12
Стратійчук Д.А., Туркевич В.З. Кобальт як екологічно небезпечний складник надтвердих матеріалів: можливі шляхи вирішення проблеми.....	19
Вашкрак У.Ю., Шевчук Л.І., Афтаназів І.С. Знезараження стічних вод виробництва маргарину під впливом газів різної природи в кавітаційних умовах.....	23
Гаджись Е.Н., Варламов Є.М. Дисперсійний аналіз пилу в системах аспірації під час виробництва теплоізоляційних матеріалів із застосуванням удосконаленої експериментальної установки.....	27
Галкіна О.П., Дегтяр М.В. Технології очищення фенольних стічних вод.....	32
Ємець Б.В. Моделювання динамічних характеристик автомобілів під час роботи на окремих видах альтернативного палива.....	37
Клімкіна І.І., Сорока Т.Ю., Харитонов М.М. Дослідження фітомеліоративних властивостей дикорослих рослин на ділянках рекультивації вугільних відвалів Західного Донбасу.....	42
Полякова І.О. Розробка методів підвищення ефективності дезактивації радіаційно забруднених об'єктів.....	47
Славін В.В., Никифорок В.М., Гоферюк В.В. Поліпшення показників роботи легкових автомобілів в умовах експлуатації.....	50
Степова О.В. Розрахунок швидкості електрохімічної корозії під час роботи повздовжніх макрогальванічних пар на ділянці нафтопроводу.....	55
Вдовенко С.В., Вдовенко А.В. Характеристика стічних вод технологічних установок вторинного перероблення нафти.....	59
ЗМІНА КЛІМАТУ	65
Бондар О.І., Вашенко В.М., Лоза Є.А., Патлашенко Ж.І., Шпиг В.М., Банніков О.О., Кризьська Ю.М. Моніторинг та екологічні ризики смерчонебезпеки на територіях Київської та Чернігівської областей.....	65
Підоріна Л.І., Лукашик О.В., Степова О.В., Карташ У.В. Особливості динаміки атмосферного тиску, опадів та повторюваність посух у м. Кременчук.....	71
РОЗВИТОК ПРИРОДНО-ЗАПОВІДНОГО ФОНДУ УКРАЇНИ	77
Драган Н.В., Пидорич Ю.В. Поширення гнилей у віковій діброві дендропарку «Олександрія» НАН України та їх діагностика.....	77
Лисенко Г.М., Шульга О.О., Пасічник С.В. Смоляний рак сосни в Ічнянському національному природному парку: проблеми та шляхи вирішення.....	82
Хрутьба В.О., Рибак М.П., Лук'янова В.В., Хрутьба А.С. Запровадження механізму управління комунікаціями в зонах діяльності природо-заповідних об'єктів (досвід Карпатського біосферного заповідника).....	89
ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОРІЗНОМАНІТТЯ	97
Іванець О.Р. Рід <i>macrothrix baird</i> , 1843 (<i>Cladocera: Anomopoda: Macrothricidae</i>) в гідробіоценозах Українського Розточчя та прилеглих теренів.....	97

Василенко О.М., Онищук І.П. Особливості трофіки ставковиків підроду <i>Peregiana (Mollusca: Pulmonata)</i> за дії різних концентрацій іонів кадмію.....	102
Гейна К.М. Біологічний стан промислового стада товстолобиків Дніпровсько-Бузької гирлової системи.....	108
Калашнікова Л.В. Збереження реліктових видів в умовах <i>ex situ</i>	112
Кратюк О.Л. Видовий склад і динаміка чисельності ратичних <i>Artiodactyla</i> у вольєрах на території Центрального Полісся.....	117
Саварин А.А. О распространении и экологии куторы малой (<i>Neomys anomalus Cabrera, 1907</i>) в Беларуси.....	122
Хом'як І.В., Демчук Н.С., Коцюба І.Ю., Ястребова Я.В. Еколого-ценотична характеристика популяції <i>Heracleum sosnowskyi manden</i> на території Центрального Полісся.....	126
ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ	130
Ганошенко О.М., Голік Ю.С., Журавель В.С. Дослідження складу продуктів горіння під час утилізації відпрацьованих автомобільних масляних фільтрів.....	130
Маркіна Л.М., Крива М.С. Забезпечення екологічно обґрунтованого регулювання утворенням небезпечних речовин під час термічної утилізації гумотехнічних відходів.....	136
СТОРІНКА МОЛОДОГО ВЧЕНОГО	144
Шпак Н.П. Проходження основних фенологічних фаз <i>Sorbus torminalis</i> (L.) Crantz.....	144
Якушева А.В. Розвиток культури <i>Daphnia magna</i> Straus у модифікованому середовищі культивування.....	150
Доценко О.О. Підвищення екологічної безпеки відведення шахтних вод у період будівництва вуглевидобувної шахти.....	153
Критська Я.О. Моніторинг та раціональне використання водних ресурсів у реаліях сьогодення.....	160
Усенко В.Ю. Методика урахування акустичних втрат гвинтовентилятора в енергетичному балансі авіаційної силової установки.....	164
Порохня М.Ф. Аналіз впливу технологічних параметрів процесу карбонізації содобенкарбонатного розчину у виробництві очищеного бікарбонату натрію на ступінь абсорбції CO ₂	169
ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ	174

UDC 504.45:556

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716-2019-1-24-2-1>

MODELLING OF PROCESS OF ADSORPTION AT WASTEWATER TREATMENT FROM PHENOL

Hrebenuk T.V., Dychko A.O., Bronytskyi V.O.

National Technical University of Ukraine

“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

Peremohy prosp. 37, 03056, Kyiv

t.hrebenuk07@gmail.com

aodi@ukr.net

vadim.bronytskyi@gmail.com

Features of process of an adsorption at sewage treatment are considered. Features of accounting of sorption properties of sorption materials are analyzed. The simulation of the dynamics of adsorption in a fixed layer of the sorbent – activated carbon based on the equations of material balance. *Key words*: adsorption, sorbent, phenol, mathematical model, substance.

Моделювання процесу адсорбції під час очищення стічних вод від фенолу. Гребенюк Т.В., Дичко А.О., Броницький В.О. Розглянуто особливості процесу адсорбції під час очищення стічних вод. Проаналізовано особливості врахування сорбційних властивостей сорбційних матеріалів. Проведено моделювання динаміки адсорбції в нерухомому шарі сорбенту – активованому вугіллі – на основі рівнянь матеріального балансу. *Ключові слова*: адсорбція, сорбент, фенол, математична модель, речовина.

Моделирование процесса адсорбции при очистке сточных вод от фенола. Гребенюк Т.В., Дичко А.О., Броницкий В.О. Рассмотрены особенности процесса адсорбции при очистке сточных вод. Проанализированы особенности учета сорбционных свойств сорбционных материалов. Проведено моделирование динамики адсорбции в неподвижном слое сорбента – активированном угле на основе уравнений материального баланса. *Ключевые слова*: адсорбция, сорбент, фенол, математическая модель, вещество.

Statement of a problem. At modern rates of development of industrial production there is more and more relevant a problem of cleaning superficial and sewage. One of the highly toxic pollutants getting to reservoirs and waterways with sewage of the chemical and petrochemical companies is phenol (maximum allowable concentration is 0.001 mg/dm³). Dumping the phenol wastewater in reservoirs and waterways sharply worsens their general sanitary state, having negative impact on live organisms, not only the high toxicity, but also a significant change in the mode of consumption of biogenous elements and the dissolved gases (O₂, CO₂).

The most effective method of sewage treatment from phenol, is adsorption of the last by means of activated carbon, but a shortcoming is the high cost and need of regeneration.

On the basis of considered, the special relevance is acquired by the works directed to receiving and a research of adsorptive properties of cheap and available materials on the basis of waste of natural origin, productions for purification of phenol wastewater.

Analysis of the last researches and publications. In this direction there is a number of publications of

domestic and foreign authors, however information on a research of sorption properties of the sorbents of plant origin widespread in Ukraine in literature are absent.

In work [1] process of adsorption of phenol at sewage treatment of the pharmatsevtichny enterprise is described. As adsorbent usually use activated carbon. The optimum size of particles of adsorbent is 1.5–5 mm. If more fine grains, then liquid filtration resistance increases. The filtering speed depends on concentration of the dissolved substances and fluctuates from 2–4 up to 5–6 m³/h through 1 m² of cross section of a column. Water in a column moves from below up, filling all its section. To avoid adsorbent clogging waste water should not contain the solid weighed impurity.

As a sorbent the slime formed at a stage of the chemical water purification (CWP) at the pharmaceutical enterprise as a result of processes of coagulation and lime application was used. The dried-up slime has humidity of 3%, rather uniform in particle size distribution, has high porosity that is especially important when using its sorption properties in the filtration mode. The low cost of CWP slime, availability allow to exclude its regeneration. At the same time its utilization by burning together

with auxiliary fuel of the station is obviously possible. Therefore extent of cleaning is necessary it is reached with the minimum expenses, and utilization by burning allows to receive additional amount of heat for needs of the enterprise.

The sorbent layer which is filled up in the industrial device which is a system with difficult character. As the main advantages of adsorptive installations – simplicity of instrumentation and depth of cleaning, they have to provide implementation of various requirements of a chemical engineering for effective implementation of process in this connection broad application is found by methods of mathematical modeling. Types of mathematical models are defined by specific conditions of implementation of process in the chosen equipment [2].

In work [3] process of isothermal equilibrium adsorption in dynamic conditions when filtering waste water through an adsorbent layer is considered.

The purpose of modeling is definition of optimal conditions of course of process, management of it on the basis of a mathematical model and transfer of results on an object. The full mathematical model includes the description of communications between the main variables of process in the set modes (static model) and in time upon transition from one mode to another (dynamic model).

Statement of the basic to materials. The solution of this model consists in the choice of the corresponding equations for the description of an operating mode, check of restrictions for input and output parameters, calculations of criterion function. To varied input parameters the particle size distribution of slime, filter-bed height belong. Non-variable input parameters of process are the adsorptive slurry tank, quality of initial water, the set productivity and extent of cleaning.

As regeneration in this technological process is not provided, the solution of mathematical model consists in selection of the corresponding equations for the description of an operating mode. According to duration full the cycle filter in the adsorber will coincide with adsorption time τ [4].

$$\tau = \frac{G(y_2 - y_1)}{\omega_0 S \rho_{c.B} (C_1 - C_2)}, \quad (1)$$

where ω_0 – the fictitious speed of waste water, m/s; S – cross-sectional area of the adsorber, m²; $\rho_{c.B}$ – density of waste water, kg/m³; C_1 and C_2 – concentration of the absorbed phenols in waste water, mg/dm³; G – the mass of slime in a filter-bed.

On experimental data it is possible to receive the value of quantity of G adsorbed in time τ impurity G (τ) or speed of adsorption of $dG/d\tau$, calculated by the equation (1).

The description of dynamics of adsorption is carried out usually taking into account only one or two kinetic parameters: effective longitudinal diffusion, a mass transfer from a liquid stream to granules of adsorbent, diffusion in adsorbent granules. Calculation of mathe-

tical model taking into account all specified kinetic processes is a difficult task.

For a possibility of further calculation for the equations of mathematical model of sorption cleaning in an explicit form we will accept well-known in such cases the assumption:

1. Change of density of a stream of waste water owing to reduction of an adsorbent can be neglected;
2. The movement of a stream in the filter is carried out in one direction with a constant speed.
3. The flow of waste water through the filter will be considered as a pseudo-binary mixture consisting of water and phenols.
4. The sorption layer is considered a continuous porous body with isomorphic properties.
5. Existence of one component in sewage leads to decrease in size of sorption of other components. Components with percentage less than 0.1 % are not considered.

In this case dynamics of adsorption is described by the equations of material balance of the adsorbed substance between firm and liquid phases, kinetics of process of transfer of impurity of a liquid stream in grains of adsorbent and an isotherm of adsorption [4].

Let's assume that the stream of phenolic waste water moves with a linear speed along an adsorbent layer, at first it is not filled with the adsorbed impurity. Then the overall material balance, describes adsorption process, will register in the form of the nonlinear differential equation in separate derivatives:

$$\frac{\partial a}{\partial \tau} + w \frac{\partial c}{\partial h} + \varepsilon \frac{\partial c}{\partial \tau} - D^* \frac{\partial^2 c}{\partial h^2} = 0, \quad (2)$$

where a is the value of adsorption, g/g, c is the current concentration of the adsorptive in the stream, mg/dm³; τ – time, s; w – velocity of the fluid flow, m/s; h is the height of the layer of adsorbent, cm; ε is the porosity of the sorbent; D^* is the longitudinal diffusion coefficient taking into account molecular diffusion and convective mixing along the layer, m²/s.

This equation describes balance of the adsorbed substance between firm and liquid phases. The first member of the equation reflects the number of the pollution coming to the adsorptive filter, the second – the delayed pollution, the third – the number of pollution, there was in a filtrate, the fourth – longitudinal diffusion. However at water purification in adsorbers with a dense bed of the granulated sorbent longitudinal diffusion is insignificant and it is possible with sufficient degree of accuracy to describe the mode of the movement of oily waste water in such adsorber model of ideal replacement, and within a sorbent granule – model of ideal mixture.

The equation of kinetics of process of adsorption is written in the form of [5]:

$$\frac{\partial a}{\partial \tau} = \beta_i (c - c^*), \quad (3)$$

where β_i – volume coefficient of a mass transfer, c⁻¹; c^* – concentration of an adsorbent on an interface

of phases, equilibrium to the current size of adsorption, mg/dm^3 .

The differential equations of a mass exchange in a granular layer are solved taking into account entry and boundary conditions. Distribution of concentration and temperatures in initial timepoint [5]:

$$\tau = 0; 0 \leq h \leq L; a = 0; T = T_0 = \text{const.}$$

The boundary conditions for $h = 0$ are written as:

$$\tau > 0; c = c_0 = \text{const}; a = a(\tau); T = \text{const.}$$

Thus, during the entire process, a stream of liquid enters the layer at a constant concentration of the adsorptive and temperature.

The adsorption isotherm is the main characteristic of the adsorbent. The adsorption isotherm equation is written as [6]:

$$a = f(c). \quad (4)$$

On height of the working layers, it is possible to calculate mass transfer coefficient for each timepoint on the following equation:

$$\beta_i = \frac{a_{i+1} - a_i}{C_{i+1} - C_i} \frac{10^{-3}}{\tau_i}. \quad (5)$$

The coefficient of a mass transfer is influenced by the nature of sorbate and a sorbent, porosity of a sorbent; it monotonously decreases at increase in size of adsorption and the size of granules of a sorbent. The concentration of impurity in water is lower, the more probably hit in purified water is only difficult sorbed components (fig. 1) [5].

From figure 1 it is visible that the smallest discrepancy between experimental and reference points data are reached at approximation by a polynomial of the 3rd order.

Thus, the mass transfer coefficient determined by the equation (5) β_i will be a variable which instant values are different in different timepoints. The nature of a curve corresponds to literary data on studying of change of coefficient of a mass transfer at adsorption. The coef-

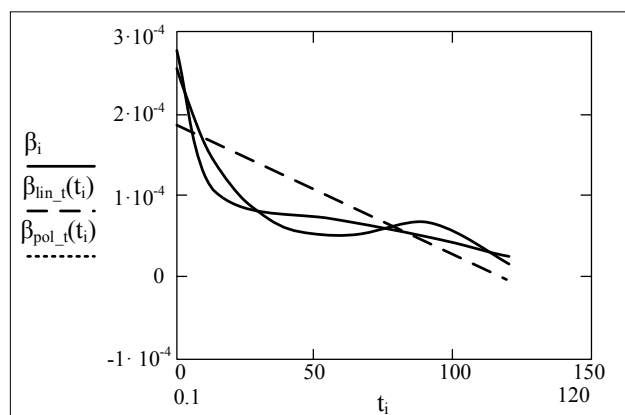


Figure 1. Mass transfer coefficient: β_i – experimental curve; β_{lin_t} – linear approximation; β_{pol_t} – approximation by a polynomial of the 3rd order

cient of a mass transfer can be interpreted as response function of hydrodynamic model on the corresponding perturbation.

Solution of a system of differential equations (2) – (4) is finding of target function. When calculating a material balance of process of adsorption in each differential element of a layer (a grid node) of a sorbent – activated carbon taking into account kinetics of absorption of phenols the surface is formed of drain waters reflects concentration change, both in a layer, and in time.

Conclusions. Mathematical models of process of adsorption at wastewater treatment from phenol on the example of use of activated carbon are considered and analyzed.

In the course of performance of experiments from adsorption kinetics information basis allows to model dynamics of adsorption in a motionless layer of a sorbent – activated carbon on the basis of the equations of material balance in separate derivatives and the subsequent approximation with use of the built-in functions of various computing programs.

Reference

1. Лаптев А.Г., Бородай Е.Н. Математическая модель процесса адсорбции при очистке сточных вод. Москва: «Химия», 2013. 12 с.
2. Бородай Е.Н. Математическое моделирование адсорбционного процесса очистки сточных вод от нефтепродуктов. Казань: КГТУ, 2010. 188 с.
3. Чебакова И.Б. Очистка сточных вод: учеб. пособие. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2001. 84 с.
4. Лаптев А.Г., Сергеева Е.С. Физическое и математическое моделирование сорбционных свойств торфа для очистки воды от нефтепродуктов. Казань: «Химия и экология», 2009. 14 с.
5. Кафаров В.В., Глебов М.Б. Математическое моделирование основных процессов химических производств: учеб. пособие для вузов. Москва: «Высшая школа», 1991. 400 с.
6. Матвейкин В.Г. Математическое моделирование и управление процессом короткоциклового безнагревной адсорбции. Москва: Издательство «Машиностроение-1», 2007. 140 с.

MULTI-TIER ABSORBER FOR CLEANING OF EXHAUST GASES OF KILNS

Kuznyetsov S.I., Sakovych B.P.

Kherson National Technical University
Beryslavske highway, 24, 73008, Kherson
ksieko@rambler.ru

Shown multi-tier hollow absorber spray type. Inside the unit, rotating nozzles of high capacity (10–30 m³/h) are installed with a mechanical drive. This design allows them, without clogging, to work with contaminated and viscous liquids. *Key words:* multi-tier absorber, cleaning of exhaust gases.

Багатоюрусний абсорбер для очищення вихлопних газів вапняно-обпалювальних печей. Кузнецов С.І., Сакович Б.П. Представлений багатоюрусний порожній абсорбер розпорозувального типу. Усередині апарату встановлені форсунки великої продуктивності (10–30 м³/ч), що обертаються з механічним приводом. Така конструкція дає їм змогу працювати із забрудненими та в'язкими рідинами без забивання. *Ключові слова:* абсорбер, очищення вихлопних газів.

Многоюрусный абсорбер для очистки отходящих газов известково-обжиговых печей. Кузнецов С.И., Сакович Б.П. Представлен многоюрусный полый абсорбер распылительного типа. Внутри аппарата установлены вращающиеся форсунки большой производительности (10–30 м³/ч) с механическим приводом. Такая конструкция позволяет им работать с загрязненными и вязкими жидкостями не забиваясь. *Ключевые слова:* абсорбер, очистка отходящих газов.

Problem statement. In the practice of protecting an air basin from pollution by harmful substances, it is often necessary to encounter the need to clean gases, which simultaneously include several harmful components, an example is the flue gases from lime-kiln furnaces, where fuel oil is used as a fuel. The composition of the exhaust gases include SO₂, CO, soot. The choice of the method and equipment for cleaning gases from all components at the same time is difficult due to the complexity of the system and the tendency of limestone dust to grout the working surfaces of the equipment, as a result of which the equipment quickly fails.

Actualization. For purification of waste gases, a spray-type absorption apparatus has been developed. It is made in the form of a hollow cylinder, inside of

which, in height, non-clogging nozzles with a mechanical drive are installed. A distinctive feature of nozzles is their high capacity up to 10–30 m³/h and the absence of narrow sections and channels, which allows working with polluted, viscous liquids and suspensions, while providing a uniform fine spray.

The environmental assessment of the investigated source of atmospheric pollution (Tables 1, 2) shows an excess of the MPC of dust and soot by 4,6 times, by the sum of acidic components by 2,49 times.

Novelty. Analysis of the calcined kiln flue gases showed that they contain both acidic (SO₂, NO_x) and alkaline (CaO, MgO, CaCO₃, MgCO₃) components. The quantitative ratio of alkaline and acidic components allows for their mutual neutralization. This circumstance

Table 1

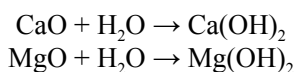
The composition of the exhaust gases of kilns

Components	Chemical formula	Exhaust gas content		Amount	
		% (vol)	g/m ³	kg/h	t/year
Sulfurous anhydride	SO ₂	0,05	1,43	52,86	190,29
carbon monoxide	CO	0,6	7,5	277,55	999,18
Nitrogen oxides	NO _x	0,01	0,205	7,6	27,36
Hydrocarbons	CH ₄	0,006	0,0858	1,58	5,68
Total gaseous				339,59	1240,33
Dust	CaO, MgO	-	0,44	16,28	58,6
Dust	CaCO ₃ , MgCO ₃	-	0,655	24,6	88,52
Soot	C	-	1,235	45,7	164,5
Total solid				86,58	311,68
Total emissions				426,17	1552,01

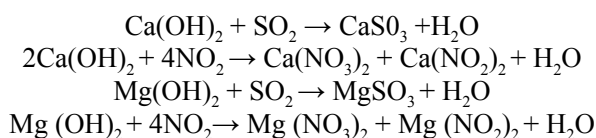
Environmental assessment kiln exhaust gases

Component	Maximum concentration in the surface layer after dispersion, mg/m ³	MAC mg/m ³	Exceedance of maximum permissible concentration
Dust	0,413	0,5	0,826
Soot	0,462	0,15	3,079
Dust + Soot	0,875	-	4,6
SO ₂	0,544	0,5	1,09
NO ₂	0,12	0,085	1,41
SO ₂ + NO _x	0,664	-	2,49
CO	2,854	3	0,95

is used by us in the development of the method of sanitary cleaning of gases. The essence of the method is that the flue gases of lime kilns are subjected to intensive irrigation with water in the hollow apparatus. When this reaction occurs:



Then the resulting products neutralize the acid gases:



Reactions between acid gases and suspensions of CaCO₃ and MgCO₃ are also possible. As a result of the reactions taking place, the exhaust gases are completely neutralized without the use of chemical reagents from outside.

Effective absorption of gas components in the apparatus is achieved due to the developed mass transfer surface, which is formed due to the spraying of a liquid and a high velocity of gas-liquid flows. This also contributes to the repeated absorption of the absorbed gas through the nozzle nozzles, which in this case work as high-performance Venturi nozzles.

Effective gas cleaning from dust and soot is achieved due to wetting of solid particles with finely dispersed dropping liquid, as well as using the method of steam condensation. For this process, water vapor is introduced into the gas stream. In the process of mixing vapor with a dropping liquid, it cools and volumetric condensation, and fine dust and soot particles serve as condensation centers, which leads to their coarsening and separation from the gas stream.

A diagram of an industrial, installation for cleaning exhaust gases from lime kilns is shown in Fig. 1.

The device is a hollow cylinder with a diameter of 2 m and a height of 11 m, mounted on the supports 10. In the upper part of the device there is a drop separ-

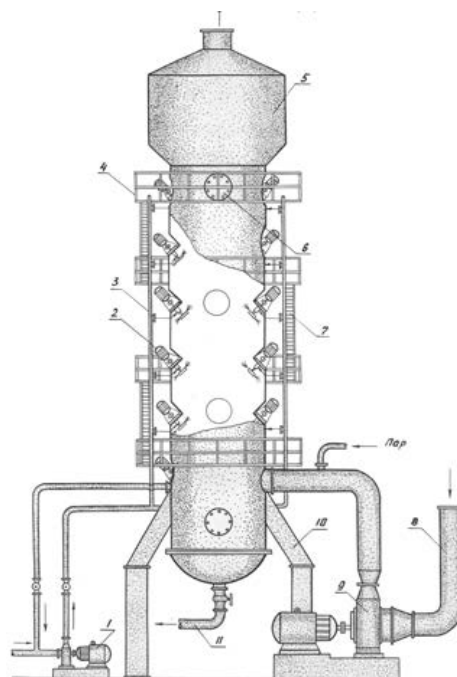


Fig. 1. 1 – pump; 2 – electric motor; 3 – collector of serve of solution; 4 – platform; 5 – corps; 6 – hatch; 7 – stair; 8 – entrance union coupling; 9 – ventillator; 10 – supports; 11 – union coupling for the exit of liquid

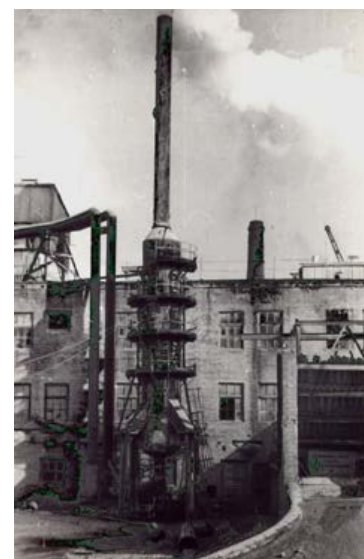


Fig. 2. Model and industrial absorber is set at the Kherson plant

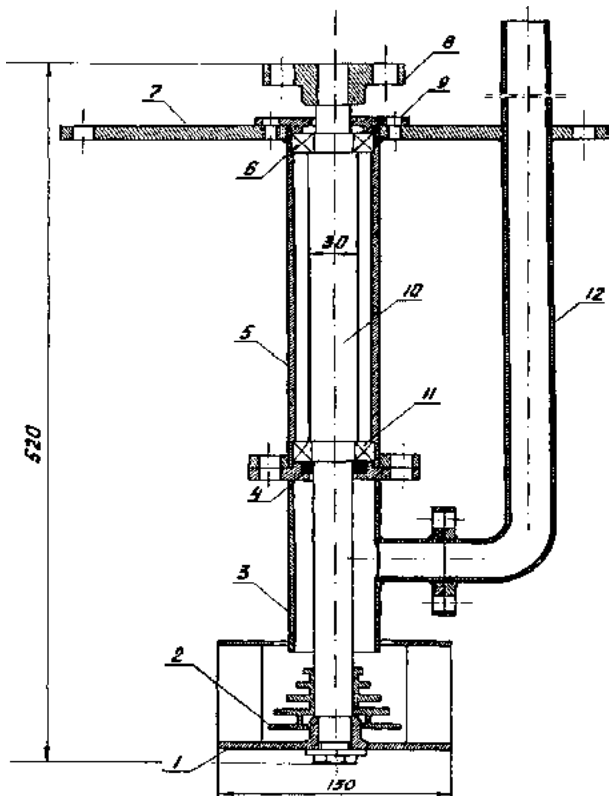


Fig. 3. Chart of industrial mechanical sprayer by the productivity of 3 m³/h: 1 – nebulizer; 2 – distributive device; 3 – union coupling; 4 – compression; 5 – corps; 6 – bearing; 7 – flange; 8 – muff; 9 – lid; 10 – billow; 11 – bearing; 12 – union coupling for a liquid

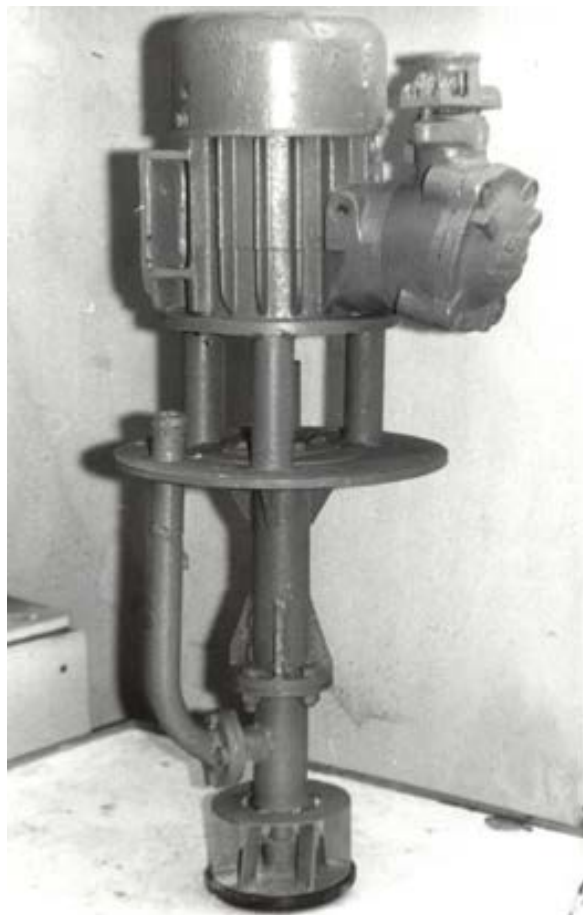


Fig. 4. Industrial sprayer by the productivity of 3 m³/h

Table 3

Characteristics of the waste gas cleaning unit of the limestone kiln

Indicator	Value
Productivity, m ³ /h	20 000
Diameter, m	2
Height, m	11
Gas linear velocity, m/s	1,63
Number of irrigation tiers	6
The number of nozzles in the device	24
The number of nozzles in the tier	4
Nozzle performance, m ³ /h	3
Nozzle engine power, kW	1,5
Amount of the sprayed liquid, m ³ /h	72
Irrigation density, m ³ /m ² ·h	23
Steam consumption, kg/h	200
Hydraulic resistance, Pa	810
Fresh water consumption (feed), m ³ /h	0,02

Gas composition, m ³ /h	Input	Output	Cleaning level, %	Parts catching, tons in year
SO ₂	1,5	0,03	98	193
NO ₂	0,2	0,04	80	26
CO	7,5	6,75	10	34
Dust	1,2	-	100	174
Soot	1,2	0,06	95	82
Sludge is formed in terms of dry product, CaSO ₄				500

ator 5. Gas is supplied to the cleaning through the flue 8 by means of the fan 9. The sludge is drained by fitting 11. The clarified liquid is returned to irrigation, and the sludge is used in the same production. In the apparatus on six tiers, non-clogged nozzles 2 with a capacity of 3 m³/h are installed, four pieces in each. Total of 24 sprayer.

Presenting main material. For even dispersion of liquid in the volume of vehicle of sprayer set under the corner of 45°. The chart of sprayer is shown on Fig. 4. The feed of sprayers comes true by a pump 1 on a collector 3. By means of gas analyzers it is possible to manage work of sprayers, automatically disconnecting

tier, if concentration of harmfulness on the exit of the below set level. It assists the economy of electric power.

The concentration of harmful substances in off-gas after cleaning does not exceed maximum possible. The caught dust is used for creation of bricks. Of long duration exploitation of setting showed her high reliability and efficiency.

Conclusions. Hydrodynamic and aerodynamic descriptions of vehicle are investigational, optimal correlations of structural parameters are educed, basic conformities to law of aleak in him processes and condition of industrial application are certain, efficiency of the worked out equipment is shown.

References

1. Кузнецов И.Е., Троицкая Т.М. Защита воздушного бассейна от загрязнения вредными веществами. Москва : Химия, 1979. 344 с.
2. Гордон Г.М., Пейсахов И.Л. Пылеулавливание и очистка газов. Москва : Химия, 1968. 499 с.
3. Кузнецов И.Е., Шмаг К.И., Кузнецов С.И. Оборудование для санитарной очистки газов. Киев : Техника, 1989. 304 с.
4. Кузнецов С.И. Аэродинамика абсорбера большой единичной мощности. *Проблемы легкой и текстильной промышленности* : тезисы докладов конференции. Киев : Киевский национальный университет технологий и дизайна, 2005. С. 40–44.
5. Основы гидравлики и гидроаэродинамики / В.И. Калацун, Е.В. Дроздова, А.С. Комаров, К.И. Чижик. Москва : Стройиздат, 2001. 296 с.
6. Рамм В.М. Абсорбция газов. Москва : Химия, 1976. 656 с.

РОЗРОБЛЕННЯ АЛГОРИТМУ КЛАСИФІКАЦІЇ ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ЗА ГАЛУЗЯМИ ПРОМИСЛОВОСТІ ТА ВПЛИВОМ НА ПРИРОДНЕ СЕРЕДОВИЩЕ

Улицький О.А., Єрмаков В.М., Луньова О.В., Мілехін П.О.
Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
вул. Митрополита Василя Липківського 35, 03035, м. Київ
Lunovaov@ukr.ua

Розроблено алгоритм класифікації підприємств та об'єктів критичної інфраструктури України за галузями промисловості та впливом на природне середовище: атмосферне повітря, ґрунти, підземні та поверхневі води, лісові ресурси та природно-заповідний фонд. *Ключові слова:* потенційно небезпечні об'єкти, природне середовище, об'єкти критичної інфраструктури, геоінформаційна система, забруднювальні речовини.

Разработка алгоритма классификации потенциально опасных объектов по отраслям промышленности и их влиянию на природную среду. Улицький О.А., Єрмаков В.М., Луньова О.В., Мілехін П.О. Разработан алгоритм классификации предприятий и объектов критической инфраструктуры Украины по отраслям промышленности и по их влиянию на окружающую среду: атмосферный воздух, почвы, подземные и поверхностные воды, лесные ресурсы и природно-заповедный фонд. *Ключевые слова:* потенциально опасные объекты, природная среда, объекты критической инфраструктуры, геоинформационная система, загрязняющие вещества.

Development of an algorithm for the classification of potentially hazardous objects by industry and their impact on the environment. Ulitsky O., Ermakov V., Lunova O., Milekhin P. An algorithm has been developed for the classification of enterprises and objects of critical infrastructure of Ukraine by industry and their impact on the environment: atmospheric air, soil, groundwater and surface water, forest resources, and a natural reserve fund. *Key words:* potentially hazardous objects, natural environment, objects of critical infrastructure, geoinformation system, pollutants.

Постановка проблеми. Концентрація потенційно небезпечних об'єктів (далі – ПНО) на території будь-якого регіону характеризує рівень його техногенного навантаження через співвідношення кількості ПНО в межах регіону та його площі. Саме такий стан спонукав суспільство здійснювати ідентифікацію та облік ПНО, до яких належать суб'єкти господарювання, у власності або користуванні яких є об'єкти, де можуть використовуватися або виготовляються, переробляються, зберігаються чи транспортуються небезпечні речовини, а також на всіх суб'єктах господарювання, що мають намір розпочати будівництво ПНО [1].

Джерелами екологічних загроз є діяльність підприємств гірничодобувної, хімічної промисловості, агропромислового комплексу, об'єктів теплоенергетики, житлово-комунального господарства, функціонування транспорту (забруднення атмосферного повітря викидами цих об'єктів) та ін. Загрози як природного так і техногенного характеру в цих галузях представлено численними процесами і явищами геологічного, гідрометеорологічного та гідрологічного характеру, пожежами у природних екосистемах і загрозами медико-біологічних подій, захворюваністю на соціально небезпечні хвороби, а також наявністю ПНО, що спричиняють значну радіаційну,

хімічну, пожежовибухову, гідродинамічну небезпеку. Найбільшою загрозою є шахти та кар'єри, об'єкти теплоенергетики, підприємства хімічної промисловості та полігони токсичних відходів [3–5].

Сьогодні до актуальних досліджень належать глибокий аналіз причин і наслідків надзвичайних ситуацій в Україні, удосконалення моніторингу стану природно-техногенної безпеки з використанням технологій дистанційного зондування Землі, геоінформаційних систем для своєчасного виявлення й обґрунтованого прогнозування й попередження екологічних та техногенних загроз регіонального, міжрегіонального, трансграничного рівня, та впливу на соціально-економічний розвиток регіонів України.

Результати досліджень. В Україні накопичено позитивний досвід щодо використання технологій геоінформаційних систем ухвалення управлінських рішень за програмою реалізації оцінки загроз безпеці об'єктам критичної інфраструктури (далі – ОКІ) України фахівцями Академії розроблено алгоритм класифікації підприємств та за впливом на навколишнє середовище [2], узгоджено взаємодію програмних засобів оцінки з інформаційними ресурсами та базами даних, визначено послідовність виконання процесів уводу параметрів, оцінки та формування результатів.

Основні функції та завдання алгоритму:

– інформаційний зв'язок зі структурними елементами, що постачають вихідні дані для оцінки загроз безпеці функціонування ОКІ, зокрема інформації електронного картографічного фонду та об'єктів ОКІ;

– оцінка актуальних загроз безпеці експлуатації ОКІ з урахуванням геопросторових параметрів території адміністративних областей України за допомогою прикладних програмних комплексів і засобів просторового ГІС-аналізу;

– формування результатів з оцінювання загроз безпеці функціонування ОКІ для передачі особам, що ухвалюють управлінські рішення УІАС НС;

– надання результовальної інформації для звітів щодо природно-техногенних загроз безпеці ОКІ та порівняння інформації за загрозами об'єктів критичної інформації на регіональному рівні.

Практична реалізація цих функцій передбачає розв'язання відповідних функціональних завдань:

– аналіз статистичних даних щодо характеру прояву небезпечних процесів та передумови виникнення;

– вивчення й оцінка природних і техногенних джерел як загроз безпеці ОКІ регіонального рівня та побудова актуальних сценаріїв розвитку надзвичайних ситуацій;

– визначення зон ризику ОКІ за видами і рівнями природно-техногенної небезпеки;

– формування картографічних, табличних і текстових даних для звітів щодо актуальних загроз ОКІ на територіях підвищеної природно-техногенної небезпеки.

Проведено адаптацію алгоритму для застосування його в автоматизованому режимі у складі геоінформаційної системи. Адаптований алгоритм реалізується поетапно. Для ідентифікації ПНО на місцевості і виявлення змін якісних показників навколишнього середовища з аерокосмічних знімків різних періодів, пропонується залучати інформацію з дистанційного зондування. Для цього в рамках досліджень розроблена структура класифікатора з використанням державного реєстру ПНО та виділено для прикладу два об'єкти господарської діяльності.

Створення та функціонування Класифікатора забезпечують основоположні нормативні документи:

1) Постанова Кабінету Міністрів України від 29.08.2002 № 1288 «Про затвердження Положення про Державний реєстр потенційно небезпечних об'єктів» (Із змінами, внесеними Постановою КМ № 313 (313-2004-п) від 11.03.2004);

2) Наказ МНС від 18.12.2000 № 338 (zareestrovano в Мін'юсті 24.01.2001 за № 62/5253) «Про затвердження Положення про паспортизацію потенційно небезпечних об'єктів» (Із змінами, внесеними наказом МНС N 140 (z0970-05) від 16.08.2005 (zareestrovano в Міністерстві юстиції 01.09.2005 за № 970/11250);

3) Наказ МНС від 06.11.2003 № 425 (zareestrovano в Мін'юсті 26.12.2003 за № 1238/8559) «Про затвердження Положення про моніторинг потенційно небезпечних об'єктів»;

4) Наказ МНС від 23.02.2006 № 98 (zareestrovano в Мін'юсті 20.03.06 за № 286/12160) «Про затвердження Методики ідентифікації потенційно небезпечних об'єктів».

За досліджуваними об'єктами загальні відомості вносяться в інформаційну систему ПНО. Вона ґрунтується на принципах максимального використання організаційних структур суб'єктів моніторингу та єдиної державної системи запобігання і своєчасне реагування на надзвичайні ситуації техногенного та природного характеру, забезпечення сумісності технічного, інформаційного і програмного забезпечення суб'єктів моніторингу, що використовуються ними для виконання завдань моніторингу потенційно небезпечних об'єктів (далі – ПНО).

На основі Класифікатора здійснюється аналіз внесеної до бази даних інформації по ПНО, визначається відповідність до переліків, унесення нових даних до класифікаційних ознак, а також значень.

Коди значень Класифікатора відокремлюють відповідні ознаки класифікації та вносяться в таблицю 1.

Програмне забезпечення Класифікатора ПНО дозволяє здійснювати автоматичний пошук і добір інформації за будь-якими параметрами, які вміщують:

- назву об'єкта;
- територіальне розташування;
- категорію об'єкта;
- вид діяльності;
- техніко-економічні характеристики;
- вид і категорію небезпеки;
- назви і кількості небезпечних речовин та матеріалів та ін., а також за комбінаціями або окремими частинами цих параметрів.

Правило користування Класифікатором ПНО

Значення класифікаційних ознак ПНО відповідно до цього класифікатора визначаються за встановленим порядком.

Значення коду першої колонки у таблиці необхідно вибирати залежно від характеру виробництва та призначення об'єкта. Так, на підприємстві вугільної галузі (шахта «Червоноградська») здійснюється видобування вугілля, виробництво та постачання електричної та теплової енергії.

До кодів першої колонки віднесено такі:

- 323 – теплові електростанції;
- 389 – шахти з підземного видобутку вугілля;
- 391 – породні відвали вугільних шахт, що експлуатуються, недійсні породні відвали висотою більше 30 м, що піддаються горінню, недійсні породні відвали висотою більше 50 м, що несхильні до горіння.

Значення коду другої колонки обирається залежно від видів небезпек ПНО. Коли ПНО призначенні один або два види небезпеки, до значення

Таблиця 1

Інформаційні класифікаційні ознаки потенційно небезпечних об'єктів (ПНО)

Класифікаційні ознаки	Вид основної небезпеки (2 фасет)	Рівень небезпеки (3 фасет)	Рівень надзвичайної ситуації (4 фасет)	Розмір санітарної зони, м (5 фасет)	Кількість працівників у найбільшій зміні (6 фасет)	Термін експлуатації (7 фасет)
Значення ознаки	радіаційна, хімічна, вибухопожежна, пожежна, гідродинамічна, біологічна, фізична, екологічна	помірний, підвищений	державний, регіональний, місцевий, об'єктовий	3000; 1000; 500; 300; 100; 50; менше 50	менше 3; 3-10; 11-20; 21-50; 51-100; 101-1000; більше 1000	рік уведення в експлуатацію об'єкта, рік останнього капітального ремонту об'єкта, рік останнього повного переоснащення об'єкта
320 – підприємства з виробництва та постачання електричної та теплової енергії						
380 – підприємства з видобування руд та нерудних копалин						

коду другої колонки, крім виду небезпеки, додають два нулі або один нуль. За кількості небезпек на об'єкті понад трьох у коді зазначають лише три види основних небезпек у наростальній послідовності. До основних видів віднесено небезпеки, які притаманні НС найвищих рівнів, що можуть виникати на об'єкті. Наприклад, на шахті «Червоноградська» використовують у технологічних процесах вибухову речовину, для яких характерна пожежна та вибухопожежна небезпеки, крім того, для шахти існує гідродинамічна небезпека.

Код другої колонки – 345.

Рівень небезпеки об'єкта (значення коду третьої колонки) визначається залежно від наявності у складі ПНО об'єктів підвищеної небезпеки відповідно до постанови Кабінету Міністрів України від 11 липня 2002 р. № 956 «Про ідентифікацію та декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки» (зі змінами) або ПНО підпадає під дію постанови Кабінету Міністрів України від 06 травня 2000 р. № 765.

Наприклад, у складі ПНО відсутні об'єкти підвищеної небезпеки і він не підпадає під дію постанови Кабінету Міністрів України від 06 травня 2000 р. № 765. Отже, рівень небезпеки об'єкта визначається як «помірний».

Код третьої колонки – 0.

Значення коду четвертої колонки вибирається залежно від рівня НС, які можуть виникнути на ПНО. Наприклад, до складу ПНО входять джерела небезпеки, які можуть ініціювати НС місцевого та об'єктового рівнів. Для визначення коду використовується найвищий рівень НС (місцевий).

Код четвертої колонки – 3.

Значення коду п'ятої колонки вибирається залежно від розміру санітарної зони ПНО. Наприклад, на ПНО здійснюється видобування вугілля підземним способом, на території гірничого відводу розташований породний відвал, що експлуатується та піддається горінню та таке ін. Згідно з додатком 4, до «Державних санітарних правил планування та забудови населених пунктів» ця господарська діяльність підпадає під третій клас санітарної небезпеки і має санітарну зону 500 м,

Код п'ятої колонки – 3.

Значення коду шостої колонки визначається залежно від кількості працівників на об'єкті. Наприклад, на шахті «Червоноградська» працює понад 1 000 працівників.

Код шостої колонки – 7.

Значення коду сьомої колонки складається з року та цифри, яка вказує, що в зазначеному році виробництво введено в дію, переоснащено або проведено капітальний ремонт споруди (моста, шляхопроводу тощо). Наприклад, шахта введена в експлуатацію в 1971 р. Із цього часу жодне переоснащення виробництва не проводилось, тобто значення коду сьомої колонки буде 19 711.

Коди значень Класифікатора відокремлюють відповідні ознаки класифікації, що вносяться в таблицю 1.

Прикладом наведемо характеристику експериментальних об'єктів критичної інфраструктури «Шахта «Червоноградська» та ТОВ «ЄВРО – Реконструкція».

«Шахта «Червоноградська». Відокремлений підрозділ «Шахта «Червоноградська» (№ 2 «ВМ») Державного підприємства «Львіввугілля», введений в експлуатацію в 1971 році. Підприємства з видобутку вугілля підпорядковуються Міненерговугілля України, площа гірничого відводу шахти становить 1 904 га, земельного відводу – 90,2 га, проммайданчик – 65,1864 га.

Основні технологічні процеси на підприємстві – це видобування і транспортування на поверхню кам'яного вугілля. Видобуток вугілля на шахті здійснюється механізованими комплексами, проведення підготовчих виробок – прохідницькими комбайнами,

транспортування вугілля в межах виїмкових дільниць – за головним конвеєрним штреком та за відкатним штреком – конвеєрами, за головним відкотним штреком – електровозами і вагонетками. Видане з шахти вугілля на поверхневому технологічному комплексі розподіляється залізничні бункери або на вугільний склад.

Шахтне поле «вскрите» двома центрально-здвоєними стволами: скіповим (глибина 587 м) і клітьовим (глибина 585 м). Спосіб підготовки шахтного поля – панельний. Шахтне поле поділене на дві двосторонні панелі – східну і західну, система розробки – довгими стовпами. Схема провітрювання центральна з поданням свіжого струменя повітря у клітьовому стволі та виданням вихідного струменя у скіповому стволі. Скіповий ствол обладнаний головною вентиляційною установкою.

Видобувні роботи виконуються по пласту n_7^a та n_8^b . Кут залягання пластів становить 0–3.

Таблиця 2

Матеріальний баланс в розрізі виробничого процесу

№ з/п	Продукція	Програма випуску	Найменування сировини	Кількість сировини, т
1	Електрична енергія	1 100 000 тис. кВт*год/рік	Паливо: Вугілля АШ Вугілля Т Природний газ Мазут	274 472 т 68 618 т 156 713 340 м ³ /рік 1 000 т
2	Теплова енергія	1 800 тис. Гкал/рік.		
3	Ремонтно-експлуатаційні роботи			
4	Обслуговування автотранспорту		Дизельне паливо	152 т
5	Лабораторні дослідження		Сірчана кислота Соляна кислота Калій хлористий Натрію гідроокис Метол Вугілля АШ+Т Масло турбінне Водний розчин аміаку Спирт етиловий	120 кг 60 кг 8 кг 5 кг 5 кг 950,8 кг 5,5 кг 73 кг 37,8 кг
6	Підготовка води		Сірчана кислота Натрію гідроокис Вапно негашене Гідразингідрат Водний розчин аміаку	128 т 89 т 600 т 1,4 т 5 т
7	Прання спецодягу		Пральний порошок	20,7 т
Викиди в атмосферне повітря (всього)		1042149,09 т		
Викиди в атмосферне повітря (без урахування CO ₂)		13600,09		

Таблиця 3

Геодезичні координати

Широта			Довгота		
градуси	хвилини	секунди	градуси	хвилини	секунди
(°)	(')	(")	(°)	(')	(")
52	26	53	30	38	38



2004 р.



2005 р.



2008 р.



2010 р.



2012 р.



2017 р.

Рис. 1. Космічне зображення території полігону викидів Дарницької ТЕЦ 2004–2017 рр.

Проведення підготовчих виробок проводиться буровибуховим способом із використанням породонавантажувальної машини ІППН-5 та комбайновим способом за допомогою прохідницьких комбайнів КСП-32, КСП-22, ГПКС, 2ПМБ2. Гірнична маса з проведення гірничих виробок завантажується у вагони ВГ-2.5, які транспортуються за допомогою кінцевої канатної та локомотивної відкатки.

Шахтна вода, що збирається у підземному водозбірнику, відкачується на поверхню трубопроводом у стави-накопичувачі, що є на території шахти № 1 «Червоноградська», ставок складається з двох секцій, перша секція площею 17 га, друга – 16,5 га. Відстійники не є гідроізованими, тому аварійні ситуації на них можуть призводити до скиду шахтних вод у обвідний канал та річку Західний Буг. Шахтні води, що після попереднього відстою і обробки в ставку-накопичувачі скидаються у р. Західний Буг, шкідливого впливу на останню не мають. Спостереження за якістю стічних, технічних вод, поверхневих та підземних проводиться з періодичністю 4 рази в рік. Показниками, що контролюються, є такі: загальна мінералізація води, вміст хлоридів, сульфатів, кальцію, магнію, заліза, нафтопродуктів тощо. Вугілля робочих пластів містить як корисні, так і шкідливі/рідкі, розсіяні і токсичні елементи, тому терикон шахти може бути як джерелом отримання мікроелементів, так і джерелом забруднення навколишнього середовища.

ВП «Шахта «Червоноградська» немає в природоохоронній зоні. В Україні відсутні методики, що дозволяють здійснювати прогнозування впливу на довкілля, особливо в контексті довгострокових перспектив розробки родовищ.

ТОВ «Євро – Реконструкція»

Основною планованою діяльністю є генерація електричної та виробництво теплової енергії:

– випуск електроенергії – 1 100 000 тис. кВт*год/рік;

– випуск тепла – 1 800 тис. Гкал/рік.

Матеріальний баланс у розрізі виробничого процесу наведено в таблиці 2.

Геодезичні координати визначались відповідно до Інструкції щодо порядку визначення геодезичних координат джерел викидів забруднювальних речовин під час проведення державного обліку в галузі охорони атмосферного повітря, затвердженої наказом Міністерства України від 22.05.01 № 190, наведено в таблиці 3.

На рис. 1 представлено серію космічних зображень компанії DigitalGlobe на території полігона викидів Дарницької ТЕЦ за період 2004–2017 рр.

Основне виробництво. Теплоелектростанція (далі – ТЕС) призначена для комбінованого виробництва тепла та електроенергії. ТЕС є комплексом технологічного обладнання, за допомогою якого енергія органічного палива – кам'яного вугілля, мазуту, природного газу – перетворюється в електроенергію та

тепло у вигляді гарячої води або пари, яке використовується побутовими чи промисловими споживачами.

Приймання кам'яного вугілля, його розвантаження, складування та подача до котлоагрегатів виконується персоналом паливно-транспортного цеху, в розпорядженні якого є таке обладнання: вагоноперекидач, ваги (вагонні та стрічкові), паливний склад, система стрічкових конвеєрів, вузлів переилки та іншого обладнання.

Природний газ на станцію подається через станційний газорегулювальний пункт – ГРП, на якому здійснюється регулювання тиску природного газу та його облік.

Головні висновки. Під час проведення наукових досліджень було отримано такі результати:

1) розроблено алгоритм класифікації підприємств та ОКІ за впливом на навколишнє середовище. Він є взаємодією програмних засобів оцінки з інформаційними ресурсами та базами даних, що визначає послідовність кроків для проведення процесів вводу параметрів, оцінки та формування результатів.

Проведено адаптацію алгоритму для застосування в автоматизованому режимі у складі геоінформаційної системи. Для цього в рамках досліджень розроблено структуру класифікатора з використанням державного реєстру ПНО та обрано такі об'єкти господарської діяльності, а саме:

– шахту «Червоноградська» – підприємства з видобування руд та нерудних копалин;

– Дарницьку ТЕЦ (підприємство ТОВ «Євро – Реконструкція» – підприємства з виробництва та постачання електричної та теплової енергії. Було отримано інформацію про джерела забруднення цих підприємств, місця надходження забруднювальних речовин у навколишнє природне середовище – викиди забруднювальних речовин в атмосферу, скидання стічних вод у водні об'єкти, місця складування промислових відходів;

2) під час виконання проекту було розроблено технологічну схему створення ортофотопланів за матеріалами космічного знімання, зокрема підготовчі роботи, розробку проекту створення ортофотопланів, виготовлення ортофотопланів, збір (дешифрування) інформації про потенційно небезпечних об'єктах (ПНО), векторизацію контурів ПНО, виготовлення ортофотокарт із результатами векторизації контурів ПНО, поміщення в базу даних отриманих результатів для подальшого аналізу й використання. Під час дешифрування вирішувалися завдання розпізнавання об'єктів та інтерпретації. Під час розпізнаванні об'єкта здійснювалося віднесення його до одного з класів (типів), список яких заданий;

3) сформована структура бази даних ПНО в середовищі ArcGIS, тобто побудована організаційно-технологічна спеціалізована комплексна геоінформаційна система, призначена для формування, накопичення, зберігання цифрових топографічних даних у середовищі СКБД для забезпечення якіс-

ними цифровими топографічними даними картографічного виробництва і геоінформаційних систем різного призначення.

Обмінний файл та класифікація ПНО та джерел забруднення створена на основі Класифікатора потенційно небезпечних об'єктів критичної інфраструктури, в основу якого покладено результати аналізу даних про ПНО, які зареєстровані у Державному реєстрі потенційно небезпечних об'єктів та Положення про паспортизацію потенційно небезпечних об'єктів.

Кінцевим результатом проведеної роботи є систематизація даних та формування структури інформаційного обмінного файлу (SHAPFILE) для вне-

сення до геоінформаційної системи та бази даних про об'єкти критичної інфраструктури України на прикладі обраних об'єктів критичної інфраструктури Відокремленого підрозділу «Шахта «Червоноградська» Державного підприємства «Львіввугілля» та Дарницької ТЕЦ. Геопросторова векторна інформація розроблена у форматі .dmf та .shp (SHP-файли ArcGIS) точкового, лінійного чи полігонального типу щодо окремих територій ПНО та об'єктів джерел безпеки. Для створення тематичної цифрової карти у програмному середовищі Digitals обрано потрібний шаблон (normal) та систему координат (СК-63, УСК-2000, WGS84" (WGS84) та інші).

Література:

1. Бондарь О.І., Улицький О.А., Єрмаков В.М., Звіт щодо виконання НДР 0117U006967 «Проведення оцінки та вивчення еколого-техногенного стану Донецької та Луганської областей з метою розробки рекомендацій щодо природно-ресурсного відновлення на екологічних засадах», 2017 рік.
2. Бондарь О.І., Мілехін П.О., Улицький О.А., Єрмаков В.М., Звіт щодо виконання НДР 0118U005460 «Розробка методики застосування ортотрансформованих космічних знімків для оцінки стану навколишнього середовища», 2018 рік.
3. Джигирей В.С. Екологія та охорона навколишнього природного середовища. Навчальний посібник, Київ, Знання, 2007, 422 с.
4. Добровольський В.В. Основи теорії екологічних систем. Навчальний посібник., Київ, «Професіонал», 2005, 272 с.
5. Малимон С.С. Основи екології. Підручник. Вінниця: Нова Книга, 2009. 240 с.

КОБАЛЬТ ЯК ЕКОЛОГІЧНО НЕБЕЗПЕЧНИЙ СКЛАДНИК НАДТВЕРДИХ МАТЕРІАЛІВ: МОЖЛИВІ ШЛЯХИ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ

Стратійчук Д.А., Туркевич В.З.

Інститут надтвердих матеріалів імені В.М. Бакуля
Національної академії наук України
вул. Автозаводська, 2, 04074, м. Київ
d_strat@ukr.net

В умовах високих p, T - параметрів ($p=7,7$ ГПа, $T=1800-2100$ °С) із використанням техніки високих тисків розроблено метод отримання надтвердих алмазовмісних керамічних матеріалів, які не містять металічний кобальт. Показано, що отримана надтверда кераміка має високі фізико-механічні характеристики, проявляє значну термостійкість (до 1000 °С) і може бути використана в правлячому та буровому інструменті як альтернатива комерційним композитам, отриманим у системі $C_{\text{АЛМ}} - \text{Со}$.
Ключові слова: екологія, кобальт, високі тиски, надтверда кераміка, алмаз.

Кобальт как экологически опасная составляющая сверхтвёрдых материалов: возможные пути решения проблемы. Стратійчук Д.А., Туркевич В.З. В условиях высоких p, T - параметров ($p=7,7$ ГПа, $T=1800-2100$ °С) и с использованием техники высокого давления разработан метод получения сверхтвёрдых алмазосодержащих керамических материалов, которые не содержат металлический кобальт. Показано, что полученная сверхтвёрдая керамика имеет высокие физико-механические характеристики, проявляет значительную термостойкость (до 1000 °С) и может быть использована в правящем и буровом инструменте как альтернатива коммерческим композитам, полученным в системе $C_{\text{АЛМ}} - \text{Со}$. *Ключевые слова:* экология, кобальт, высокие давления, сверхтвёрдая керамика, алмаз.

Cobalt as environmentally hazardous component of superhard materials: possible ways to solve the problem. Stratiichuk D., Turkevich V. Under conditions of high p, T - parameters ($p=7.7$ GPa, $T=1800-2100$ °C), using a high-pressure technique, a method for producing superhard diamond-containing ceramic materials that do not contain cobalt metal has been developed. It is shown that the obtained superhard ceramics has high physical and mechanical characteristics, exhibits significant heat resistance (up to 1000 °C) and can be used in a dressing and drilling tool as an alternative to commercial composites obtained in the $C_{\text{DIAM}} - \text{Co}$ system. *Key words:* ecology, cobalt, high pressures, superhard ceramics, diamond.

Постановка проблеми і актуальність дослідження. Сьогодні, на жаль, дрібнодисперсний металічний кобальт широко застосовується у виробництві та входить до складу ріжучих пластин різного призначення, надтвердих матеріалів, використовуються в правлячому та буровому інструменті [1–3] тощо. Відомо, що кобальт у значних концентраціях генотоксичен [4, 5], індукує окислювальний стрес, апоптоз [6], імітує в клітинах стан гіпоксії [7], що згодом призводить до активації гліколізу та еритропоезу, а головне – вдихання дрібнодисперсного пилу металічного кобальту провокує ракові захворювання органів дихання і легенів зокрема. Тому роботи із сумішами, які містять металічний кобальт, а також майстерні, де активно використовують кобальтовмісний ріжучий інструмент, потребують особливих методів контролю за забруднюваністю повітря та робочого обладнання.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Серед найбільш розповсюджених кобальтовмісних матеріалів інструментального

призначення слід відзначити керамічні композити, отримані в системі $\text{WC} - \text{Со}$, які виготовляють шляхом вільного спікання у вакуумі (або водню), та надтверді алмазовмісні композити в системі $C_{\text{АЛМ}} - \text{Со}$ [8], які отримують із застосуванням техніки високого тиску в умовах високих p, T - параметрів. Усі вони виготовляються мільярдами одиниць на рік та мають неабиякий комерційний успіх. Серед основних галузей їх застосування – буровий та правлячий інструмент, каменеобробка, а також обробка мідних сплавів, пластики чи деревини. Основна екологічна загроза таких матеріалів – це дрібно-дисперсний (менше 5–10 мкм) кобальтовий пил, який використовується під час їх виробництва, а найголовніше – ультрадисперсні часточки кобальту, що утворюються в результаті механічного зносу ріжучої пластини під час експлуатації та розлітаються на значні відстані.

На рис. 1 наведені дані гранулометричного аналізу шлаку, який зібрано під час точіння Коростишевського граніту алмазними пластинами, отриманими в системі $C_{\text{АЛМ}} - \text{Со}$.

За допомогою електронної мікроскопії було показано, що фракція від 100 нм до 1 мкм містить до 80% об. зерен металічного кобальту. Так, одна ріжуча пластина вагою 3,5 г містить 750 мг кобальту, частина якого разом зі шлаком граніту чи піщанику, наприклад, під час каменеобробки, перетворюється на дрібнодисперсний пил. У випадку використання водяного охолодження під час точіння це призводить до забруднення стічних вод, а у випадку сухої обробки, наприклад, деревини чи пластику, пил забруднює рослинність та ґрунти, потрапляє в дихальні шляхи людини. Враховуючи значний попит на алмазний кобальтовмісний інструмент та великі обсяги його виробництва, масштаби забруднення досить суттєві. Тому отримання високоміцних алмазовмісних пластин, які не містять у своєму складі кобальту, є актуальною екологічною проблемою сьогодення.

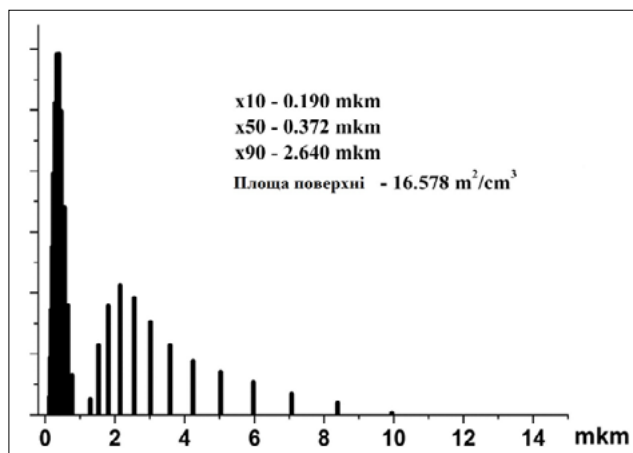
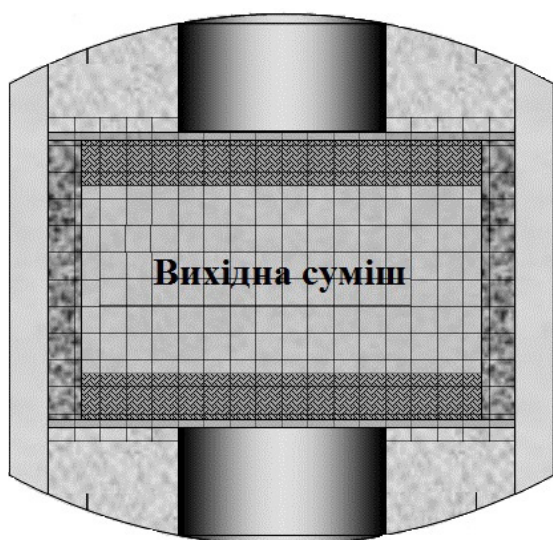


Рис. 1. Результати гранулометричного аналізу шлаку, отриманого під час точіння Коростишевського граніту кобальтовмісними пластинами



а)



б)

Рис. 2. Спрощена схема комірki високого тиску для отримання надтвердої кераміки (а) та загальний вигляд виготовленої керамічної пластини (б)

Новизна. У даній роботі, спираючись на існуючі технології спікання [9] алмазних композитів, запропонована методика виготовлення надтвердої кераміки на базі $C_{\text{АЛМ}}$, в якій ріжучий шар не містить шкідливого кобальту, а її фізико-механічні характеристики значно не поступаються, а в деяких параметрах і перевищують Со- вмісні комерційні аналоги.

Методологічне значення. Експерименти з отримання алмазовмісних пластин проведені в ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України в апараті високого тиску типу «тороїд-30» при тиску 7,7 ГПа в температурному інтервалі 1800–2100 °С. Як вихідні компоненти використано мікропорошок синтетичних алмазів марки АСМ 28/20 та активуючі процес спікання добавки: мікропорошки подвійних карбідів $Nb_{0,28}Ti_{0,72}C$ або $Ti_{0,75}Ta_{0,25}C$ і дрібнодисперсний (1–3 мкм) кремній. Загалом, шляхом мокрого змішування в середовищі ізопропанолу готувалася трикомпонентна гомогенна вихідна шихта: $C_{\text{АЛМ}}$ 80% об., подвійний карбід $Nb_{0,28}Ti_{0,72}C$ або $Ti_{0,75}Ta_{0,25}C$ 15% об. та 5% об. кремнію. Попередньо скомпактована готова суміш розмішувалась у центральній частині комірki високого тиску в трубчастому графітовому нагрівнику, як показано на рис. 2а.

Після дії високого тиску (7,7 ГПа) та температури (не більше 2100 °С) протягом 1 хв унаслідок реакційного спікання та хімічної взаємодії вихідних компонентів були отримані полікристалічні зразки надтвердих композитів, які в подальшому були піддані механічній обробці, та з яких були виготовлені готові ріжучі пластини (рис. 2б) $d = 9,52$ мм, $h = 3,18$ мм, відповідно до стандарту ISO 1832 - 2017 на різальні пластини – RNGN 090300T.

Виклад основного матеріалу. Аналізуючи отриманий композит методом оптичної та електронної мікроскопії, було показано, що він складається

із зерен $C_{\text{АЛМ}}$, які добре сцементовані активаторами спікання. На рис. 3а для прикладу показана схема будови комерційного композиту із системи $C_{\text{АЛМ}} - \text{Co}$ та отриманого в даній роботі безкобальтового матеріалу. Зі схеми видно, що у випадку кобальтовмісного матеріалу за рахунок перекристалізації з кобальтового розплаву алмазні зерна зрощені міцними містками $C_{\text{АЛМ}} - C_{\text{АЛМ}}$, а в міжзеренному просторі локалізовано кобальт, який після спікання композиту залишається в матеріалі. У нашому випадку алмазні зерна скріплені фазою $\beta\text{-SiC}$, яка утворилася внаслідок взаємодії Si (рід.) з алмазним вуглецем, та подвійними карбідами $\text{Nb}_{0,28}\text{Ti}_{0,72}\text{C}$ або $\text{Ti}_{0,75}\text{Ta}_{0,25}\text{C}$, які здатні утворювати тверді розчини заміщення і сприяють спіканню алмазної фази, а також разом із $\beta\text{-SiC}$ підвищують загальну термостійкість композиту. Таким чином, сформовано безкобальтовий надтвердий матеріал із досить високими експлуатаційними характеристиками. Ще одним важливим

стимулом для отримання безкобальтових алмазних матеріалів є їхня значна термостійкість у порівнянні з кобальтовмісними аналогами. Так, відомо, що в композиті $C_{\text{АЛМ}} - \text{Co}$ присутні значні напруження, які виникають у результаті різниці термічного розширення алмаза – $\text{КТР}=1$ мкм/м·К та кобальту – $\text{КТР}=13$ мкм/м·К, а також різниці в теплопровідності алмаза – 2000 Вт/м·К та кобальту – 60 Вт/м·К. Окрім того, за температури вище $700\text{--}800$ ОС починає протікати хімічна реакція між алмазом і кобальтом, яка призводить до перетворення алмаза в графіт та до руйнації керамічного матеріалу. В нашому випадку таких чинників не спостерігається, і матеріал за термостійкістю значно перевищує кобальтовмісну кераміку.

У табл. 1 наведено порівняльну характеристику цих двох матеріалів. Як видно з наведених даних, обидва матеріали характеризуються низькою пористістю і значною твердістю та тріщиностійкістю.

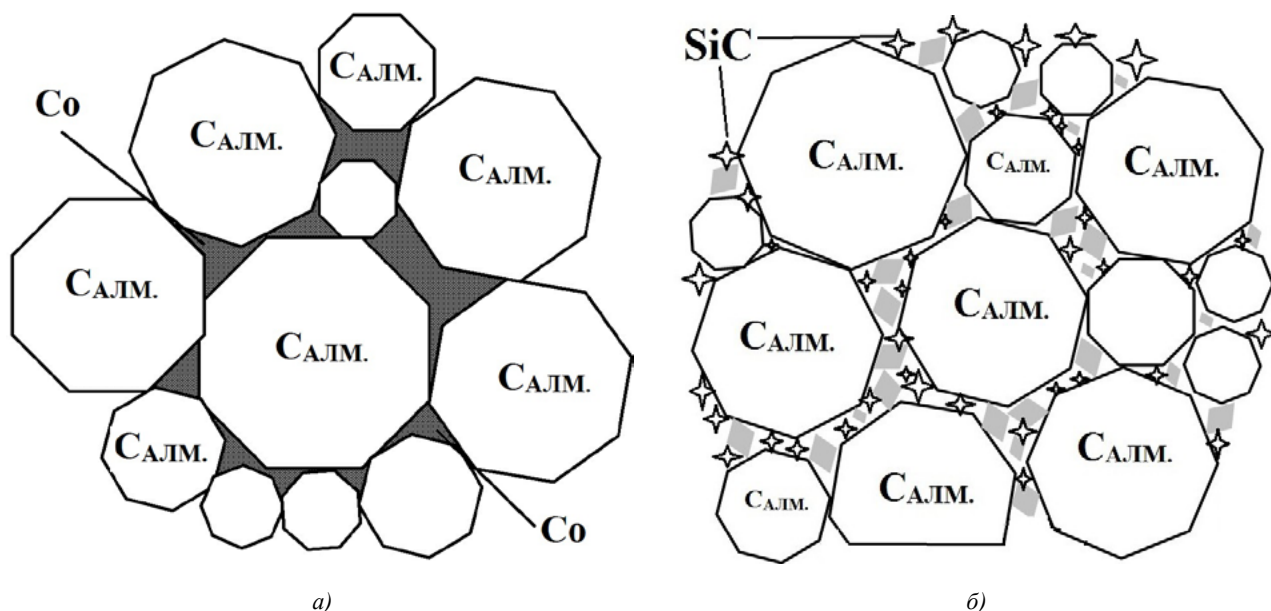


Рис. 3. Схема комерційного надтвердого композиту, отриманого в системі $C_{\text{АЛМ}} - \text{Co}$ (а) та розробленого нами матеріалу: \blacklozenge – зерна подвійного карбиду, \blacklozenge – зерна $\beta\text{-SiC}$ (б)

Таблиця 1

Фізико-механічні характеристики кобальтовмісної кераміки ($C_{\text{АЛМ}} - \text{Co}$) та композитів, отриманих із систем $C_{\text{АЛМ}} - \text{Nb}_{0,28}\text{Ti}_{0,72}\text{C} - \text{Si}$ або $C_{\text{АЛМ}} - \text{Ti}_{0,75}\text{Ta}_{0,25}\text{C} - \text{Si}$

Властивості та характеристики	$C_{\text{АЛМ}} - \text{Co}$	$C_{\text{АЛМ}} - \text{Nb}_{0,28}\text{Ti}_{0,72}\text{C} - \text{Si}$	$C_{\text{АЛМ}} - \text{Ti}_{0,75}\text{Ta}_{0,25}\text{C} - \text{Si}$
густина, г/см ³	3,74–3,77	3,42–3,51	3,49–3,55
пористість, %	~ 0,1	~ 0,1	~ 0,1
твердість за Вікерсом (HV10), ГПа · м ^{1/2}	55–60	57–60	58–62
Тріщиностійкість (K_{IC}) МПа Ч	10–12	8–10	9–11
Пружні модулі (акуст. метод), ГПа:			
Модуль Юнга	800±36	925±36	955±36
Модуль зсуву	285	364	384
модуль всебічного стискування	395	469	479
Термостійкість, °С	~770–800	970–990	980–1030
Показник зносостійкості, мг/Кг	2,1	2,9	2,7

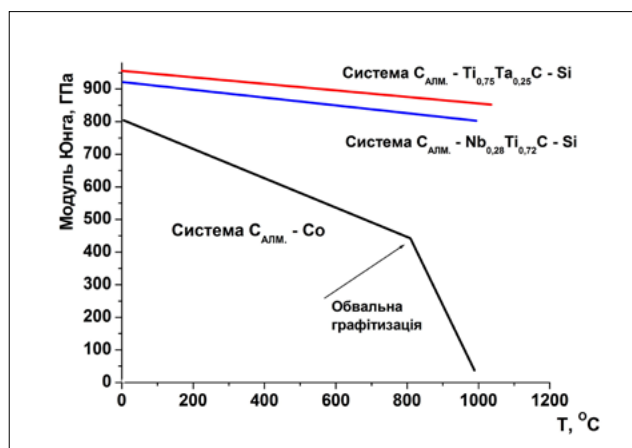


Рис. 4. Залежність модуля Юнга від температури відпалу на повітрі для Co- вмісних пластин та для матеріалів, отриманих у системі $C_{\text{АЛМ}} - Nb_{0,28}Ti_{0,72}C-Si$ або $C_{\text{АЛМ}} - Ti_{0,75}Ta_{0,25}C - Si$

Під час випробувань шляхом поздовжнього різання із заданою глибиною впровадження поверхні корундового круга було показано, що показник зносостійкості (I , мг/кГ) для матеріалу із системи $C_{\text{АЛМ}} - Co$ становить 2,1 мг/кГ, тоді як безкобальтова кераміка показала зносостійкість 2,9 мг/кГ та 2,7 мг/кГ відповідно. Однак все кардинально змінюється після нагріву пластин на повітрі, що імітує процес високошвидкісного точіння, коли в зоні різання

розвиваються високі температури, або процес пайки в буровий інструмент, коли температура припою може сягати вище 850 °C. Так, кобальтовмісні пластини втрачають більше 40% своєї різальної здатності, тоді як розроблений нами матеріал слабо змінює свої фізико-механічні властивості.

На рис. 4 показано залежність пружних модулів (модуля Юнга) від температури відпалу керамічних пластин. Так, видно, що у випадку кобальтовмісної кераміки пластини значно погіршують свої характеристики під час нагрівання, а за температури вище 800 °C проходить їх графітизація з різким падінням характеристик. Термостійкість пластин, отриманих із систем $C_{\text{АЛМ}} - Nb_{0,28}Ti_{0,72}C-Si$ або $C_{\text{АЛМ}} - Ti_{0,75}Ta_{0,25}C - Si$, оцінена як 990 °C та 1030 °C відповідно.

Головні висновки та перспективи використання результатів дослідження. Таким чином, використовуючи розроблену нами методику спікання в умовах високих тисків та температур алмазних мікропорошків з такими активуючими добавками, як подвійні карбіди $Nb_{0,28}Ti_{0,72}C$ або $Ti_{0,75}Ta_{0,25}C$ та дрібнодисперсний кремній, були отримані надтверді алмазовмісні пластини, які не містять кобальту, мають високі фізико-механічні властивості, термостійкі та можуть бути застосовані в буровому і правлячому інструменті, не завдаючи шкоди навколишньому середовищу.

Література

1. Геологоразведочный породоразрушающий инструмент на основе алмазов и сверхтвердых материалов / Н.В. Соловьев и др. Новочеркасск : ЮРГТУ (НПИ), 2009. 334 с.
2. Uehara K., Yamaya S. High pressure sintering of diamond by cobalt infiltration. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*. 1988. Vol. 4. P. 219–223.
3. Пат №8,074,748 US. Thermally-stable polycrystalline diamond element and compact, and applications therefor such as drill bits / Miess, et al. Publ Dec 13, 2011.
4. De Boeck M., Kirsch-Volders M., Lison D. Cobalt and antimony: genotoxicity and carcinogenicity. *Mutat Res*. 2003. Vol. 533. P. 135–152.
5. Lison D. et al. Update on the genotoxicity and carcinogenicity of cobalt compounds. *Occup Environ Med*. 2001. Vol. 58. P. 619–625.
6. Pulido M.D., Parrish A.R. Metal-induced apoptosis: mechanisms. *Mutat Res*. 2003. Vol. 533. P. 227–241.
7. Bruick R.K. Oxygen sensing in the hypoxic response pathway: regulation of the hypoxia-inducible transcription factor. *Genes Dev*. 2003. Vol. 17. P. 2614–2623.
8. Пат №34175 С2 ИА. Алмазно-твердоплавна пластинка / М.В. Новіков та ін. Опубл. 12.02.2001 р. Бюл. № 1.
9. Nozhkina A.V. et al. The formation of a diamond layer on a carbide substrate during diamond interaction with Si, WC and Co. *High Pressure Research*. 2000. V. 18. P. 325–330.

ЗНЕЗАРАЖЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ВИРОБНИЦТВА МАРГАРИНУ ПІД ВПЛИВОМ ГАЗІВ РІЗНОЇ ПРИРОДИ В КАВІТАЦІЙНИХ УМОВАХ

Вашкрак У.Ю., Шевчук Л.І., Афтаназів І.С.
Національний університет «Львівська політехніка»
пл. Святого Юра, 2, 79000, м. Львів
UlianaVashkurak@gmail.com
shev.lili2206@gmail.com
ivan.aftanaziv@gmail.com

Вивчено вплив газів різної природи – азоту, кисню, повітря, суміші газів азоту і кисню у співвідношенні 1:1 – на процес очищення стічних вод ВП «Львівський жиркомбінат», відділення маргарину. Проведено дослідження впливу барботованого газу як у кавітаційних умовах, так і без них. Розраховано ступені знезараження води в кавітаційних умовах. Наведено ряд згубного впливу газів на біологічні забруднення. *Ключові слова:* стічні води, кавітація, біологічні забруднення, гази різної природи.

Обеззараживание сточных вод производства маргарина под влиянием газов различной природы в кавитационных условиях. **Вашкурак У.Ю., Шевчук Л.И., Афтаназив И.С.** Изучено влияние газов различной природы – азота, кислорода, воздуха, смеси газов азота и кислорода в соотношении 1:1 – на процесс очистки сточных вод ОП «Львовский жиркомбинат», отделение маргарина. Проведено исследование влияния барботованого газа как в кавитационных условиях, так и без них. Рассчитано степени обеззараживания воды в кавитационных условиях. Приведен ряд пагубного влияния газов на биологические загрязнения. *Ключевые слова:* сточные воды, кавитация, биологические загрязнения, газы различной природы.

Disinfection of wastewater of margarine production under the influence of the gases of different nature in cavitation conditions. **Vashkrak U., Shevchuk L., Aftanaziv I.** The influence of gases of different nature – nitrogen, oxygen, air, a mixture of nitrogen and oxygen gases in the ratio of 1: 1 to the process of wastater treatment – VP “Lviv fat plant”, branch of margarine as studied. The study of the influence of bubble gas in both cavitation conditions and without them is carried out. Has calculated the degrees of water disinfection in cavitation conditions. A number of harmful effects of gases on biological pollution are presented. *Key words:* wastewater, cavitation, biological pollution, gases of various nature.

Постановка проблеми. Зростання потужностей підприємств олійно-жирової галузі на сьогоднішньому етапі розвитку харчової промисловості призводить до утворення надзвичайно великих кількостей відпрацьованих вод, які формують стічні води виробничого процесу. До складу таких стічних вод входять не лише органічні, але й біологічні забруднення.

Обслуговуючі очисні споруди нездатні очистити забруднені стічні води до рівня санітарних вимог. Це створює вагомую екологічну проблему, оскільки зумовлює забруднення поверхневих вод. Основним джерелом їх надходження є стоки виробництв харчової олії [1]. Біологічні речовини, які присутні у стічних водах, дають поштовх процесам гниття, цвітіння води, зараження її хвороботворними бактеріями, а також становлять негативний вплив на довкілля.

Актуальність дослідження. Сьогодні якісне очищення стічних вод олійно-жирової галузі потребує значних зусиль і створює серйозну проблему для навколишнього середовища. Тому пошук нових економічно доцільних технологій очищення стічних вод є актуальним для забезпечення екологічної безпеки

олійних і маргаринних виробництв. До таких технологій належать кавітаційні технології очищення стічних вод, які дають змогу одночасно руйнувати забруднення стічних вод різного походження.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Стічні води різних підприємств відрізняються за типом і кількістю забруднювачів, для знешкодження яких необхідно застосовувати різні методи водоочиснення. Важливим завданням є пошук і дослідження методів, які були б ефективними для різного роду забруднювачів. Нами проведено дослідження, які підтверджують ефективність застосування кавітації в поєднанні з газами різної природи для стічних вод пивоварної промисловості [2]. Аналогічні дослідження є необхідними і для стічних вод, одержаних внаслідок виробництва маргарину.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Кавітація – це утворення в рідині порожнин низького тиску, які швидко ростуть, а потім асиметрично розриваються з великою інтенсивністю. Явище кавітації зазвичай можна розглядати як хмару бульбашок, що утворюються поблизу ульт-

тразвукового (УЗ) джерела (УЗ рога) [3]. Бурхливий розрив бульбашок під час кавітації викликає екстремальні локальні температури та тиски, що виробляють вільні радикали та дають початок багатьом хімічним реакціям (наприклад, окислення забруднюючих речовин, стерилізація, полімеризація, десульфурація тощо). Водночас у потоці кавітації генеруються потокові струми, надзвичайно швидкі мікроструми і величезні сили зсуву, що сприяє широкому діапазону фізичних (механічних) впливів (наприклад, емульгування, фрагментація частинок, осередки порушення, гомогенізація, диспергування, деагломерація, дегазація тощо) [4].

Основний принцип УЗ ґрунтується на руйнуванні як бактеріальних клітин, так і важко деградуючих органічних речовин. Під час вивчення впливу УЗ на мікроорганізми, які містяться у стічних водах целюлозної промисловості, експеримент проводився за двох різних частот (35 кГц, 130 кГц) для різних періодів часу (5, 10, 20 і 30 хв). Аналіз результатів проводився за різними параметрами (ХСК, БСК, загальний фосфор і загальний азот). Було встановлено, що у міру збільшення частоти та тривалості проведення дослідів зменшилася кількість бактерій, а також частота 130 кГц була більш ефективною, ніж 35 кГц [5].

Методика УЗ очищення води досліджується за різних умов: як основний метод очищення, як попередня обробка або як комбінований метод з іншими методами дезінфекції (УФ, використання хлору, озону). Встановлено, що більш висока швидкість потоку, вища електрична потужність і більш висока питома енергія призводять до швидшого видалення бактерій. Проводилися дослідження УЗ як процесу попередньої обробки для підвищення ефективності використання гіпохлориту натрію для інактивації *E. Coli* за 20 і 850 кГц. Застосування частоти УЗ 850 кГц може бути дуже ефективним за тривалості 1 хв, тоді як частоту УЗ 20 кГц з хлоруванням краще використовувати в короткий період. В іншому дослідженні показано вплив УЗ попередньої обробки за 500 Вт і 20 кГц на діоксид хлору (ClO_2). Зрозуміло, що під час дії УЗ досягнуто більш високої інактивації. Доведено вплив УЗ за 36 кГц і 200 Вт та відсутності й присутності 1,0 г/мл діоксиду титану (TiO_2), під час дослідження інактивації *Legionella*. Як показали дослідження, без TiO_2 всього 18% життєздатних клітин *Legionella* інактивували, тоді як із TiO_2 97% клітин інактивували через 30 хв [6].

Під час дослідження впливу УЗ на зменшення кількості водоростей у водоймах встановлено, що короткочасний вплив УЗ сприяє «згортанню» газових вакуолей водоростей, що призводить до втрати плавучості та регулюючої здатності і, відповідно, локалізації клітин. До 30, 60, 90, 120 і 150 секунд обробки УЗ, відповідно 8.55, 35.22, 67.22, 90.67 і 100% водоростей було знищено. Крім того, збільшення часу обробки УЗ має значний вплив на видалення водоростей. Результати показують, що немає

значного скорочення популяції водоростей менш ніж за 30 секунд проведення дослідів [7].

Новизна. Експериментальне доведення ефективності спільного застосування УЗ з газами різної природи для знезараження стічних вод виробництва маргарину та визначення газу, який у поєднанні з УЗ проявляє найбільш згубну дію на біологічні забруднення.

Методологічне або загальнонаукове значення. Санітарно-епідеміологічна оцінка якості води визначається мікробним числом (далі – МЧ) – загальною кількістю бактерій в 1 мл. Суть методу полягає у визначенні загальної кількості мікроорганізмів, здатних рости на агарі за температури $37 \pm 0,5^\circ\text{C}$ протягом 24 год в 1 мл води з подальшим обліком колоній, що виростили в цьому середовищі. Експерименти проводилися за таких сталих значень: частоти – 22 кГц, температури – 298 К, тиску – $1 \cdot 10^5$ Па, змінною була лише природа газу.

Виклад основного матеріалу. УЗ хвилі впливають на різноманітні мікроорганізми – патогенні й непатогенні, анаеробні й аеробні, вегетативні й спорові, а також руйнують продукти їхньої життєдіяльності. Бактерицидна дія УЗ хвиль залежить від такого: параметрів даних фізичних факторів (інтенсивності, частоти коливань, експозиції); морфологічних особливостей збудника (розміру і форми бактеріальної клітини, наявності капсули, хімічного складу мембрани, віку культури).

Під час спільної обробки УЗ та кисню МЧ стічних вод досягає найкращого результату. Впродовж всього процесу проведення дослідів значення МЧ значно зменшується ($326,8 \cdot 10^6 \text{ КУО/см}^3$ до $13,5 \cdot 10^6 \text{ КУО/см}^3$), отже вода знезаражується в 1,98 рази.

Важливо зазначити, що барботування самим киснем досліджуваної води призводить до суттєвого зростання мікроорганізмів протягом перших 30 хв – з $29,4 \cdot 10^6 \text{ КУО/см}^3$ до $33,2 \cdot 10^6 \text{ КУО/см}^3$. Проте протягом наступних 30 хв спостерігаємо спад кривої, що свідчить про зменшення МЧ з $33,2 \cdot 10^6 \text{ КУО/см}^3$ до $27,6 \cdot 10^6 \text{ КУО/см}^3$ і, відповідно, зменшення у 1,63 рази від початкового значення. Під час використання УЗ – зменшення МЧ з $14,2 \text{ КУО/см}^3$ до $10,6 \text{ КУО/см}^3$, тобто у 1,33 рази. Це зменшення є досить незначним, тому ми можемо зазначити, що знезараження стоків лише УЗ вважається неефективним.

На рис. 2 наведено результати, одержані під час впливу азоту на знезараження води. Найвищий ступінь знезараження одержано за спільної дії УЗ та барботованого газу азоту в досліджувану воду, це значення МЧ зменшується з $17,8 \cdot 10^6 \text{ КУО/см}^3$ до $7,5 \cdot 10^6 \text{ КУО/см}^3$. Під час застосування лише азоту можемо спостерігати також ефективний результат, а саме: зменшення МЧ з $38,5 \cdot 10^6 \text{ КУО/см}^3$ до $21 \cdot 10^6 \text{ КУО/см}^3$. Дія самого лише УЗ є найменш ефективною.

Вагомий ефект на знезараження стоків спричиняє суміш газів азоту та кисню у співвідношенні

1:1 (рис. 3). Значення МЧ зменшується (з $26,44 \cdot 10^6$ КУО/см³ до $12,17 \cdot 10^6$ КУО/см³), впродовж усього досліду число мікроорганізмів зменшувалося рівномірно. Під час додавання до суміші газів азоту та кисню ультразвукових хвиль стає помітним вагоме зменшення мікроорганізмів, проте протягом першої години досліду кількість мікроорганізмів різко зменшується з $26,44 \cdot 10^6$ КУО/см³ до $11,48 \cdot 10^6$ КУО/см³, тобто у 2,3 рази. Під час наступної години МЧ знижується більш плавно у 1,28 рази. На час завершення досліду МЧ зменшилось з $26,44 \cdot 10^6$ КУО/см³ до $9 \cdot 10^6$ КУО/см³. Тому застосування суміші газів з ультразвуком можна вважати більш доречним, ніж саму суміш газів.

З рис. 4 можна зробити висновок, що під дією повітря в досліджуваній воді збільшується кількість мікроорганізмів. Найбільший приріст спос-

стерігається в перші 30 хв досліду, МЧ збільшується з $25,44 \cdot 10^6$ КУО/см³ до $26,68 \cdot 10^6$ КУО/см³. Проте впродовж наступних 30 хв експерименту бачимо суттєве зменшення з $26,68 \cdot 10^6$ КУО/см³ до $23,24 \cdot 10^6$ КУО/см³. Під час наступної години спостерігаємо плавний спад кривої, тобто кількість мікроорганізмів поступово зменшується.

Під час барботування повітря МЧ зменшується у 1,5 рази. За сумісної дії УЗ хвиль і повітря спостерігаємо дещо інший результат, число мікроорганізмів почало зменшуватись одразу після початку проведення досліду з $25,44 \cdot 10^6$ КУО/см³ до $14 \cdot 10^6$ КУО/см³, тобто у 1,8 рази.

На рис. 5. наведено порівняльний вплив природи барботованих газів на мікробіологічні забруднення у стічних водах жиркомбінату. Найефективнішим виявився вплив суміші газів азоту та кисню, спосте-

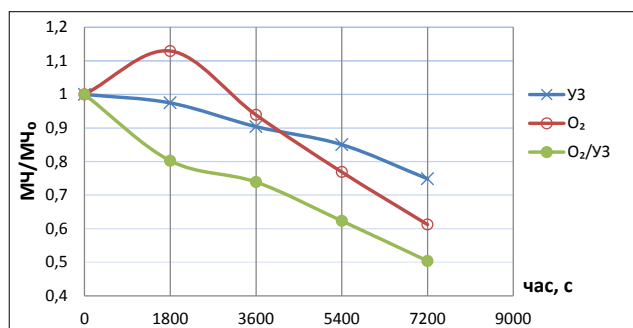


Рис. 1. Залежність відношення МЧ/МЧ₀ стічних вод ВП «Львівський жиркомбінат» в атмосфері кисню від часу за різних умов процесу

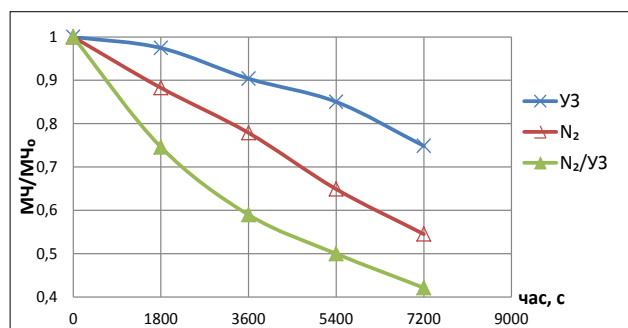


Рис. 2. Залежність відношення МЧ/МЧ₀ стічних вод ВП «Львівський жиркомбінат» в атмосфері азоту від часу за різних умов процесу

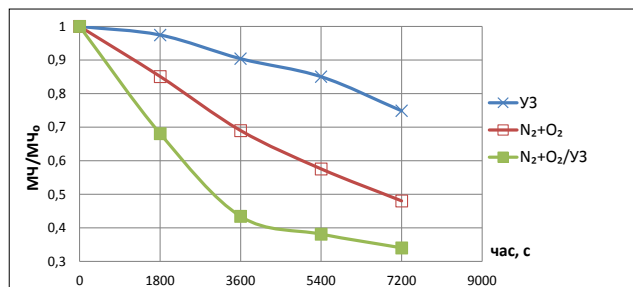


Рис. 3. Залежність відношення МЧ/МЧ₀ стічних вод ВП «Львівський жиркомбінат» в атмосфері азоту з киснем від часу за різних умов процесу

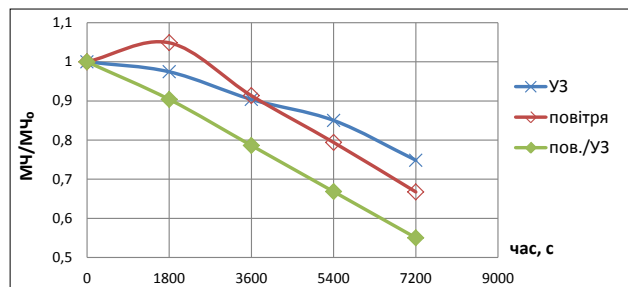


Рис. 4. Залежність відношення МЧ/МЧ₀ стічних вод ВП «Львівський жиркомбінат» в атмосфері повітря від часу за різних умов процесу

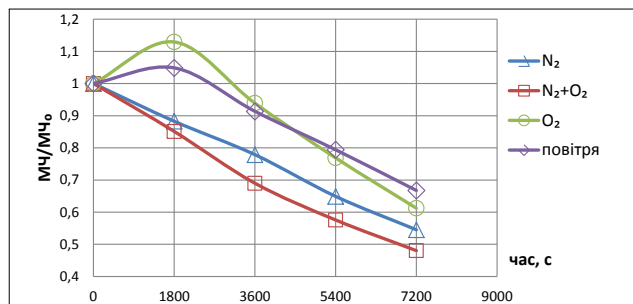


Рис. 5. Залежність відношення МЧ/МЧ₀ стічних вод ВП «Львівський жиркомбінат» в атмосфері різних газів від часу за різних умов процесу

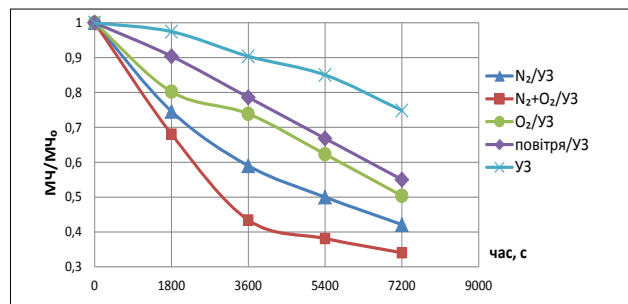


Рис. 6. Звукохімічна залежність відношення МЧ/МЧ₀ стічних вод ВП «Львівський жиркомбінат» в атмосфері різних газів від часу за різних умов процесу

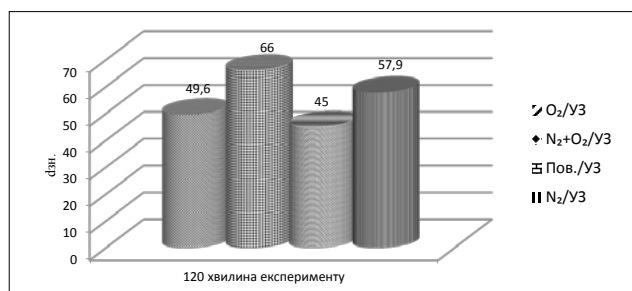


Рис. 7. Степінь знезараження на 120 хв досліджуваної води в присутності газів різної природи з використанням ультразвукових хвиль

рігається активний спад кривої впродовж двох годин експерименту. Підтвердженням цього є зменшення МЧ у 2,08 рази від початкового значення. Під час барботування азоту спостерігаємо близьке значення, МЧ знизилось у 1,83 рази.

Дія кисню та повітря впродовж перших 30 хв майже ідентична, спостерігається приріст мікроорганізмів. Упродовж наступних 30 хв кількість мікроорганізмів суттєво зменшується, МЧ для кисню та повітря зменшується у 1,06 рази та 1,09 рази відповідно. Проте впродовж двогодинного дослідження МЧ для кисню знизилось у 1,63 рази, а для повітря – у 1,49 рази. Утім, дані значення є надто малими порівняно з попередніми дослідженнями, тому використання кисню, а також повітря можна вважати недоцільним.

Аналізуючи сумісний вплив газів та УЗ (рис. 6), спостерігаємо, що найменш ефективним є вплив самого УЗ. за дії азоту з УЗ видно, що кількість мікроорганізмів плавно спадає, а МЧ зменшується в 1,8 рази. Обробка досліджуваної стічної води киснем з УЗ дає порівняно кращий результат, при цьому МЧ спадає в 1,98 рази. Проте під впливом азоту з УЗ результат покращується і МЧ знижується у 2,37 рази.

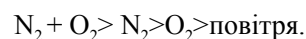
Найкращого ефекту досягнуто під час використання суміші газів азоту та кисню у співвідношенні 1:1 з УЗ, впродовж першої години кількість мікроорганізмів різко спадає, при цьому МЧ зменшується у

2,94 рази. Тому для найбільш ефективного очищення стічних вод доречно застосовувати суміш газів з УЗ.

На рис. 7 наведено ступені знезараження води в кавітаційних умовах.

Застосування УЗ з газами різної природи суттєво покращує знезараження стічних вод. За спільної дії суміші газів азоту та кисню з УЗ ступінь знезараження становить 66%. Вплив азоту з УЗ поступається спільній дії кисню з УЗ, ступінь знезараження за дії азоту з УЗ становить 57,9%. Посередній результат одержано під час обробки досліджуваної води киснем з УЗ, ступінь знезараження – 49,6%. Найменш ефективним є вплив повітря з УЗ, де досягається ступінь очищення 45%.

На основі проведених досліджень впливу природи газів на кавітаційне знезараження стічних вод жиркомбіанату встановлено відносний ряд згубного впливу газів за кавітаційних умов на біологічні забруднення:



Головні висновки і перспективи подальших досліджень. На основі проведеного дослідження впливу природи барботованого газу на знезараження стічних вод жиркомбіанату було встановлено, що найефективнішим є барботування суміші газів азоту та кисню у співвідношенні 1:1 в кавітаційних умовах. Експериментально доведено, що за сумісної дії УЗ з газом відбувається підвищення знезаражувальної дії. Найвищого результату досягнуто за сумісної дії суміші газів азоту та кисню у співвідношенні 1:1 з УЗ. Розраховано і наведено ступені знезараження стічної води в кавітаційних умовах. Відповідно до одержаних результатів встановлено ряд згубного впливу газів на біологічні забруднення в умовах кавітації.

Перспективою подальших досліджень є зміна основних параметрів процесу – температури і тиску – для досягнення глибшого очищення стічної води від біологічних забруднень та одержання вищого ступеня знезараження води.

Література

1. Пономаренко Р.В. Підвищення рівня екологічної безпеки питного водопостачання регіону в умовах забруднення поверхневого джерела. *Екологічна безпека*. Кременчук: КрНУ, 2013. Вип. 1/2011(15).
2. Використання кавітаційних технологій для очищення стічних вод пивоварні. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. Серія: «Хімія, технологія речовин та їх застосування». № 868. С. 267–272.
3. Шевчук Л.І., Старчевський В.Л., Кавітація. Фізичні, хімічні, біологічні та технологічні аспекти. Видавництво Львівської політехніки, 2014. 376 с.
4. Acoustic Cavitation: The driving force behind ultrasonic processing Alexey Peshkovsky, Ph D Industrial Sonomechanics Jan, 2 2016.
5. Kumar et al., J Chem. Effect of Two Waves of Ultrasonic on Waste Water Treatment *Journal of Chemical Engineering & Process Technology Process Technol.* 2014, 5:3 DOI: 10.4172/2157-7048.1000193.
6. Doosti M.R., Kargar R., Sayadi M.H. Water treatment using ultrasonic assistance: Environment and Civil *Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences*. 2012. No 2(2). P. 96–110.
7. Application of Ultrasonic Technology for Water and Wastewater Treatment. *AH Mahvi School of Public Health and Center for Environmental Research, Tehran University of Medical Sciences*. 2009. Iran Vol. 38. No. 2. P. 1–17.

ДИСПЕРСІЙНИЙ АНАЛІЗ ПИЛУ В СИСТЕМАХ АСПІРАЦІЇ ПІД ЧАС ВИРОБНИЦТВА ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ УДОСКОНАЛЕНОЇ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

Гаджисв Е.Н., Варламов Є.М.

Український науково-дослідний інститут екологічних проблем
вул. Бакуліна, 6, 61166, м. Харків
edwardsportik@gmail.com
varlamov.niiep@gmail.com

У статті наведено дані промислового обстеження систем аспірації під час виробництва мінеральної вати. Розглянуто функціональні залежності інтегрального розподілу за еквівалентним розміром часток пилу за результатами статистичної обробки дисперсійного аналізу регресивного виду. Наведено короткий опис і результати випробування запропонованої конструкції для дисперсійного аналізу пилу. На основі результатів дисперсійного аналізу пилу мінеральної вати запропоновано підхід до визначення функціональної залежності інтегрального розподілу залежно від еквівалентного розміру часток. *Ключові слова:* пил, частка, мінеральна вата, дисперсійний аналіз, мокра очистка, просок, викид, атмосфера, система, знепилювання.

Дисперсионный анализ пыли в системах аспирации при производстве теплоизоляционных материалов с применением усовершенствованной экспериментальной установки. Гаджиев Е.Н., Варламов Е.М. В статье представлены данные промышленного обследования систем аспирации при производстве минеральной ваты. Рассмотрены функциональные зависимости интегрального распределения по эквивалентному размеру частиц пыли по результатам статистической обработки дисперсионного анализа регрессивного вида. Представлены краткое описание и результаты испытания предложенной конструкции для дисперсионного анализа пыли. На основе результатов дисперсионного анализа пыли минеральной ваты предложен подход к определению функциональной зависимости интегрального распределения в зависимости от эквивалентного размера частиц. *Ключевые слова:* пыль, частица, минеральная вата, дисперсионный анализ, мокрая очистка, просок, выброс, атмосфера, система, обеспыливание.

Dispersion analysis of dust in aspiration systems in the production of thermal insulation materials using advanced experimental equipment. Hadzhiev E., Varlamov E. The article presents data from an industrial survey of aspiration systems in the production of mineral wool. The functional dependences of the integral distribution with respect to the equivalent size of dust particles are considered according to the results of statistical processing of dispersive analysis of a regressive form. A brief description and test results of the proposed design for the dispersive analysis of dust are presented. Based on the results of dispersion analysis of mineral wool dust, an approach is proposed to determine the functional dependence of the integral distribution depending on the equivalent particle size. *Key words:* dust, particle, mineral wool, analysis of variance, wet cleaning, overshoot, emission, atmosphere, system, dedusting.

Постановка проблеми. У зв'язку зі зростаючими темпами промислового і цивільного будівництва в нашій країні потрібне створення нових екологічно чистих, досить дешевих і ефективних будівельних матеріалів.

Аналіз досвіду різних країн у вирішенні проблеми енергозбереження показує, що одним із найбільш ефективних шляхів її вирішення є скорочення втрат тепла через огорожувальні конструкції будівель, споруд, промислового обладнання, теплових мереж тощо.

У зв'язку з цим найбільш інтенсивно розвивається виробництво і застосування виробів із мінеральної вати. Обсяг їх випуску перевищив 65% від загального обсягу всіх вироблених теплоізоляційних матеріалів [1; 2].

Виклад основного матеріалу. Виробництво мінеральної вати включає в себе ряд технологічних стадій, зумовлених виділенням пилу, а також газоподібних речовин, теплоти і вологи, що, у свою чергу, негативно позначається на стані навколишнього середовища і здоров'я людини. Сюди варто віднести операції підготовки сировинних матеріалів, складання шихтової суміші, плавлення вихідних компонентів, переробку розплаву у волокно, осадження теплоізоляційного матеріалу та формування його шару, введення сполучного, теплової обробку мінерального килима, отримання готових виробів.

Процес виробництва мінеральної вати починається зі складу сировини. За допомогою козлового крана сировина завантажують у приймальний бункер із живильником, далі сировину рухають по стріч-

кових конвеєрах, і тоді вона потрапляє в елеватори і бункер відсіву з колосниковими ґратами, далі скеровується в бункери з дозаторами, де сировину рівномірно висипають на стрічкові конвеєри, за якими подається в коксо-газову вагранку. У вагранці сировину плавиться за високих температур (до 1500°C), після досягнення необхідної температури розплав по жолобу подається на обертову багатовалкову центрифугу. На поверхню багатовалкової центрифуги подається повітря і завдяки відцентровій силі й потоку повітря з розплаву утворюються волокна мінеральної вати, які покриваються сполучною речовиною, що складається з водного розчину фенолформальдегідних смол; відходи, утворені під час цього процесу, потрапляють у спеціальний бункер. Далі завдяки маятниковому розкладчику килим, що утворюється з вати, укладають на стрічковий конвеєр, по якому килим мінеральної вати скеровується в камеру полімеризації, де розчин зі смоли просочує волокна, під впливом температури твердне, і кінцевий продукт отримує необхідні властивості. З камери полімеризації килим надходить на ділянку різання, на якому він нарізається поздовжньо і поперечно на плити необхідних розмірів [2; 3].

У частині виробництва мінеральної вати можна виділити такі найбільш негативні в екологічному аспекті технологічні процеси, які є джерелами виділення основних забруднюючих речовин:

- вивантаження з вагонів сировини (пилу неорганічний до 70% SiO₂).
- перевантаження і транспортування на конвеєрі (пилу «Королько», базальту, доломіту, коксу, пилу неорганічного до 70% SiO₂);
- коксова вагранка (пилу неорганічного до 70% SiO₂, вуглецю окис CO, азоту двоокис NO₂, сірки окис SO₂);
- відкрите місце розливу (виділення окис вуглецю CO в приміщення);
- камера волокноосадження (фенол, формальдегід, аміак);
- виділення забруднюючих речовин у робоче приміщення за відкритого транспортування матеріалу від камери волокноосадження до входу в камеру полімеризації (фенол, формальдегід, аміак);
- камера полімеризації й термозбіжна камера (фенол, формальдегід, аміак, пил мінеральної вати);
- розпилування виробів (пил мінеральної вати);
- ємності для приготування і переливу сполучних (фенол, формальдегід);
- вивантаження шлаку з вагранки (пил неорганічний до 70% SiO₂);
- пересипання, завантаження вихідного матеріалу в бункери в шихтовому відділенні з вбудованою теплою стоянкою;
- злив смоли з автоцистерн на майданчику для зливу смоли [4; 5].

Як показує практика проведеного обстеження систем аспірації на підприємствах із виробництва

теплоізоляційних матеріалів, значна залишкова кількість пилових інгредієнтів високого ступеня дисперсності викидається в атмосферу.

Визначення розмірів частинок пилу, функціональної залежності розподілу діаметрів (розмірів) частинок знаходить усе більше застосування в різних теоретичних дослідженнях і практичних розробках високоефективних пиловловлювачів систем знепилювання. Вирішенню цього актуального завдання присвячено значну кількість праць, наприклад [6–9]. Опис методик проведення дисперсійного аналізу пилу також широко представлений у літературі [7; 8; 10].

Наприклад, у роботах [11–15] вказано деякі шляхи та рекомендовано схемотехнічні рішення, що забезпечують зниження викидів пилу в атмосферу під час використання різноманітних пиловловлювачів у системах знепилювання будіндустрії з використанням результатів дисперсійного аналізу пилу (апаратів відцентрово-інерційного типу, наприклад ВЗП і пристроїв мокрого очищення).

В останні роки проводяться дослідження дисперсійного складу частинок пилу, зокрема, з використанням мікроскопічного методу з різними цілями [16–18]. У роботі [16] для оцінки та порівняння якості дисперсії, розподілу навісок-проб наночастинок у різних середовищах використовувалися електронна і світлова мікроскопія.

Під час відбору проб атмосферного повітря було встановлено наявність високих концентрацій SiO₂ до 70% (0,25 мг/м³) і фенолу (0,06 мг/м³) в пробах вуличного пилу в житловій забудові, розташованій поблизу виробництва теплоізоляційних матеріалів.

Треба також особливо виділити нове видання [19], яке присвячене дослідженню та систематизації широкого кола питань фундаментального характеру, пов'язаних із дисперсійним аналізом і дисперсним складом частинок пилу з використанням мікроскопічного методу. У роботі приділяється значне місце властивостям і характеристикам пилу, інтегральному розподілу та їх опису у вигляді ряду функціональних залежностей.

Отож проведений огляд невеликої частини науково-технічної літератури показав, що подальше вдосконалення методик і пристроїв проведення дисперсійного аналізу пилу, отримання нових, ряду інших параметрів (розподілу по масі $D(m_v)$ і гідравлічної крупності $D(d_{p_{90}})$) для нових груп речовин матеріалів, які застосовуються в процесах виробництва теплоізоляційних матеріалів, залишаються актуальними. При цьому однією з необхідних умов під час удосконалення і розроблення нових ефективних конструкцій пиловловлювачів є використання результатів дисперсійного аналізу пилу. Це важливо для отримання необхідних низьких значень проскоку частинок пилу в розроблюваних нових конструкціях під час подальшого практичного впровадження даних пиловловлювачів.

Проведені дослідження ряду джерел викидів в атмосферу на підприємствах із виробництва теплоізоляційних матеріалів показують, що один із найбільш істотних вкладів у забруднення повітряного басейну міських і урбанізованих територій і забудови вносять викиди неорганічного пилу SiO_2 , оксидів азоту і фенолформальдегіду. У виробництві теплоізоляційних матеріалів, як було зазначено вище, виділяється ряд забруднюючих речовин, основна маса яких становить пил мінеральної вати і пил із вмістом SiO_2 від 20 до 70%. Під час обстеження ряду підприємств із виробництва мінеральної вати та вивчення пилової обстановки проведено визначення питомих пиловиділень і концентрацій пилу. Запиленість пилоповітряного потоку, що надходить із технологічних обсягів, які транспортують механізми (конвеєри, місця перевантаження, течки в бункери-силоси) в системи аспірації, може досягати на початкових ділянках до 8–12 г/с [11; 20]. При цьому в деяких ділянках аспіраційних систем максимально-разові значення пилу можуть досягати величини $\text{ММР} = 10,0\text{--}15,0$ г/с.

У рамках проведеного промислового обстеження було проведено відбір проб пилу мінеральної вати, доломіту (пил із вмістом SiO_2 від 20 до 70%), у системах аспірації транспортерів, камер полімеризації, бункерів і коксо-газової вагранки. Виконаний за результатами цього дослідження аналіз показав, наприклад, що дрібнодисперсні фракції з розміром частинок пилу доломіту (пил із вмістом SiO_2 від 20 до 70%), $\delta_4 = 5$ мкм і менше, становлять близько 95% від загальної маси пилу, що викидається в атмосферу. Аналіз показав, що дрібнодисперсні фракції з розміром частинок пилу мінеральної вати (пил із вмістом SiO_2 від 20 до 70%), $\delta_4 = 5$ мкм і менше становлять близько 80% від загальної маси пилу, що викидається в атмосферу. Значення середньомедіанного діаметра частинок пилу мінеральної вати змінюється залежно від місця волок проб і продукції, що випускається від 2 до 10 мкм.

Для вловлювання частинок дрібних фракцій пилу, які «просакували» через апарати інерційного типу в системах очищення викидів, треба особливо враховувати функціональні залежності за інтегральними функціями розподілу, наприклад за еквівалентними розмірами частинок пилу $D(d_{pe})$, величину середньомедіанного діаметра частинок δ_{50} та ряд інших параметрів [14].

Відомим підходом до визначення ефективних діаметрів, або еквівалентних розмірів частинок пилу d_{pe} , є експериментальне вивчення



Рис. 1. Графік інтегрального розподілу часток пилу D за діаметрами d_{pe} на ділянці перевантаження доломіту

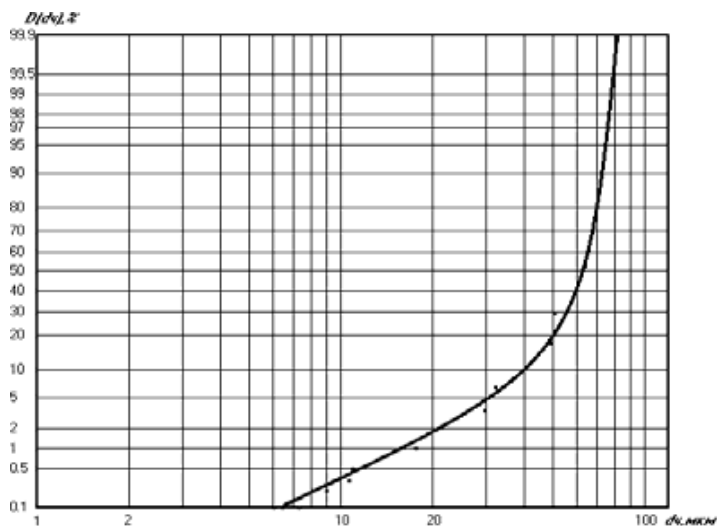


Рис. 2. Графік інтегрального розподілу D за розмірами d_{pe} для частинок пилу доломіту на початковій ділянці в системі аспірації обладнання (бункер, транспортер)

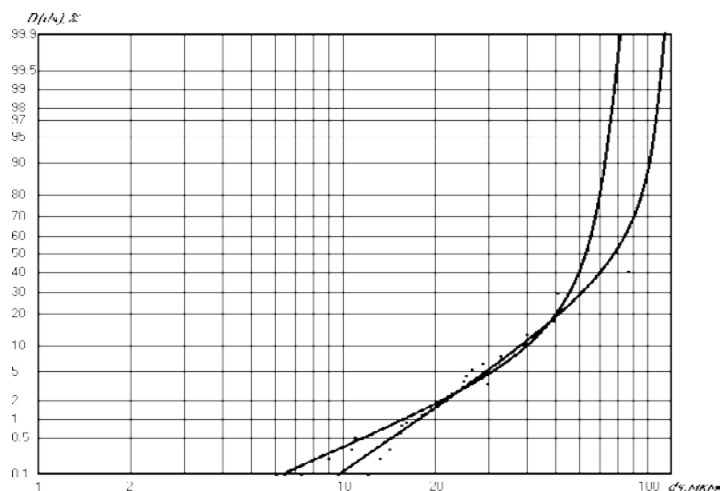


Рис. 3. Графік інтегрального розподілу D за розмірами d_{pe} для частинок пилу мінеральної вати із вмістом SiO_2 від 20 до 70%, доломіту (перед системами знепилювання системи аспірації)

дисперсного складу пилу теплоізоляційних матеріалів із використанням нової модифікації лабораторної установки [21], розробленої у Волгоградському державному архітектурно-будівельному університеті. Нова модифікація пристрою була досліджена і використана для проведення комплексного дисперсійного аналізу пилу. У проведеному нами дослідженні використовувалася також методика, докладно викладена в роботі [10], із застосуванням комп'ютера.

Отримувані під час експериментального дослідження результати ефективних діаметрів d_p , або еквівалентних діаметрів частинки пилу d_{pe} на установці [21], повною мірою не виключають впливу

таких явищ, як ковзання і випадкове зачеплення, тимчасове відкладення частинок пилу на поверхні стінок седиметричної трубки установки [21]. У модифікації пристрою [21] була проведена заміна седиметричної трубки на дифузор. Сукупність ряду елементів модифікації пристрою [21], описаних у заявці на патент, дає змогу істотно знизити тимчасове відкладення і налипання на поверхні стінок дифузора частинок пилу, що певною мірою підвищує достовірність результатів дисперсійного аналізу пилу. Це пояснюється розподілом на досліджуваній поверхні залежно від швидкості осадження u_s в газі або швидкості витання u_p . На швидкість осадження u_s частинки пилу (відрізняється несуттєво від швидкості витання u_p), вимірювані на модифікації пристрою [21], меншою мірою впливали стінки седиметричного елемента – дифузора.

На малюнках 1–5 наведено графіки інтегрального розподілу часток пилу мінеральної вати до і після системи знепилювання систем аспірацій виробництва теплоізоляційних матеріалів сухим способом, на яких проводились експериментальні дослідження.

Рекомендації літератури [6; 14] дали можливість застосувати такі види залежностей для визначення $D(d_{pe})$, як функції їх еквівалентних розмірів d_{pe} у вигляді:

$$D(d_{pe}) = Ad_{pe} + B, \quad (1)$$

де, наприклад, $A = tg(\alpha)$.

Величини A і B були визначені під час статистичної обробки результатів експериментальних даних дисперсійного аналізу пилу і графіків інтегрального розподілу $D(d_{pe})$ за розмірами частинки пилу d_{pe} , наведених на рисунках 1–5.

У фізичному сенсі кут α є показником або ступенем дисперсності пилу Δ_d . Аналітично отримуване чисельне значення величини $tg(\alpha)$ характеризує ступінь дрібнодисперсного пилу Δ_d . Чим більше $tg(\alpha)$ (кут α), тим пил має склад вищого рівня дрібнодисперсних Δ_d .

Крім того, варто зазначити, що з досліджених зразків видів пилу пил мінеральної вати більш дрібнодисперсний (Δ_d1) та має більш високу ймовірність ступеня «проскоку» в системах знепилювання, ніж пил доломіту із вмістом SiO_2 від 20 до 70% (Δ_d2), $\Delta_d1 > \Delta_d2$.

Можлива також більш точна апроксимація результатів експериментальних даних дисперсійного аналізу пилу під час статистичної обробки поліномом, наприклад, другого порядку:

$$D(d_{pe}) = Cd_{pe}^2 + Ed_{pe} + F, \quad (2)$$

де C , E і F – постійні величини для досліджуваного зразка.

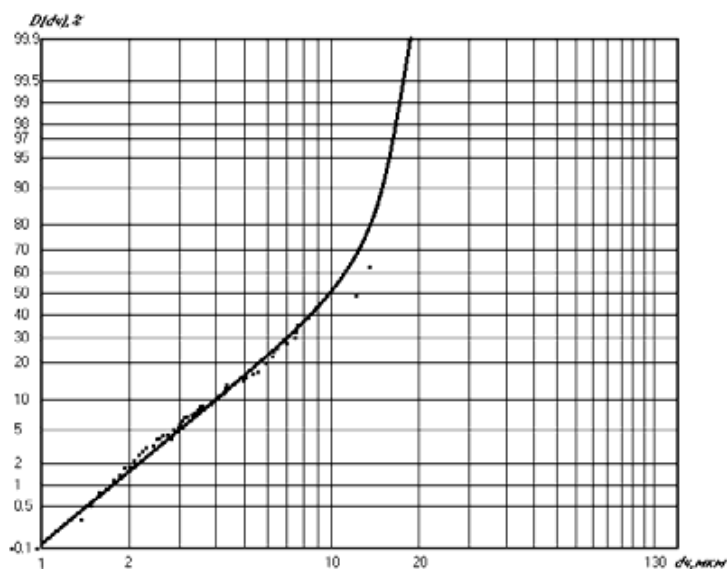


Рис. 4. Графік інтегрального розподілу D за розмірами d_{pe} для частинок пилу мінеральної вати і доломіту (після системи знепилювання з використанням ВЗП)

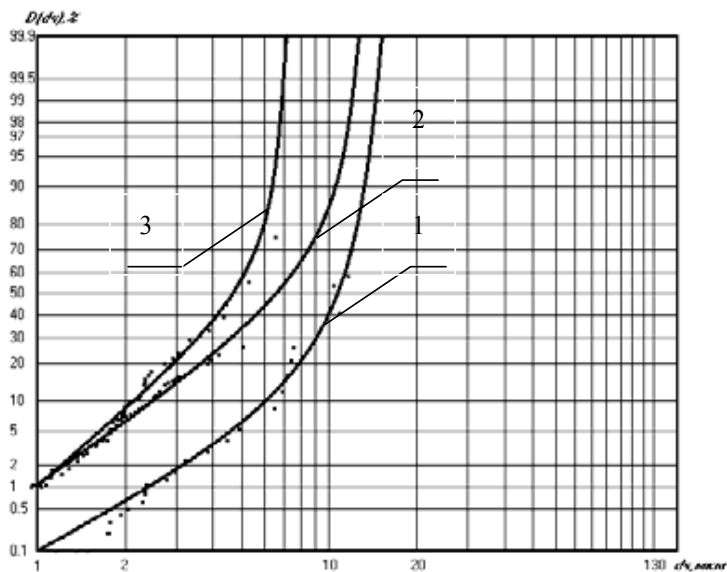


Рис. 5. Графік інтегрального розподілу D за розмірами d_{pe} для частинок пилу мінеральної вати із вмістом SiO_2 від 20 до 70%, і доломіту (після систем знепилювання з використанням ВЗП – 1 і пилловловлювача мокрого очищення – 2, 3)

Головні висновки. Удосконалення систем очищення викидів промисловості та будіндустрії може бути реалізовано на основі застосування запропонованої модифікації лабораторної установки проведення комплексного дисперсійного аналізу пилу. Нова модифікація пристрою значною мірою підвищує достовірність результатів дисперсійного аналізу пилу.

На основі літературних і експериментальних даних результатів дисперсійного аналізу пилу

мінеральної вати і доломіту запропоновано деякі види визначення функціональної залежності інтегрального розподілу залежно від еквівалентного розміру часток пилу в аналітичному вигляді. У роботі наведено функціональні залежності інтегрального розподілу по еквівалентному розміру часток пилу за результатами статистичної обробки дисперсійного аналізу у вигляді регресій і проведено їх аналіз.

Література

1. Балтернас П.Б. Обезпилювання повітря на підприємствах будматеріалів. М.: «Будвидат», 1991.
2. Комар А.Г. Будівельні матеріали і виробы. М.: «Вища школа», 1988, 522 с.
3. Горчаков Г.И., Баженов Ю.М. Строительные материалы. М.: «Стройиздат», 1986. 688 с.
4. Технология производства цемента. URL: <https://base.safework.ru>.
5. Новый справочник химика технолога. Технология производства цемента. URL: chemanalytica.com/book/novyy_spravochnik_khimika_i_tekhnologa/10_protsesty_i_apparaty_khimicheskikh_tekhnologiy_chast_II/7192.
6. Фукс Н.А. Механика аэрозолей. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 352 с.
7. Коузов П.А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов. Л.: «Химия», 1987. 264 с.
8. Коузов П.А. Методы определения физико-химических свойств промышленных пылей. Л.: «Химия», 1983. 138 с.
9. Азаров В.Н. Комплексная оценка пылевой обстановки и разработка мер по снижению запыленности воздушной среды промышленных предприятий: автореф. дисс. ... д-ра техн. наук: спец. 05.26.01. Ростов-на-Дону, 2004, 48 с.
10. Азаров В.Н., Сергина Н.М. Методика микроскопического анализа дисперсного состава пыли с применением персонального компьютера (ПК). Волгогр. гос. арх.-строит. акад., Волгоград, 2002. Деп. в ВИНТИ 15.07.2002 № 1332-80002. 7 с.
11. Азаров В.Н. О фракционном составе пыли в рабочей зоне и инженерно-экологических системах. *Международ. науч.-техн. конф. «Технология, строительство и эксплуатация инженерных систем»*. СПб, 2002. С. 10–13.
12. Сергина Н.М. Пути снижения пыли извести в атмосферу при производстве строительных материалов. *Альтернативная энергетика и экология*. 2013. № 11. С. 53–55.
13. Жуликов В.В., Железнов В.А. Очистка дымовых ваграночных газов. *Сборник научных трудов «Технологические процессы и оборудование в минераловатном производстве»*. Теплопроект, Москва, 1989. С. 44–50.
14. Азаров В.Н., Кошкарев С.А., Николенко М. А. Снижение выбросов систем обеспыливания с использованием дисперсионного анализа пыли в стройиндустрии. *Инженерный вестник Дона*. 2014. URL: ivdon.ru/tu/magazine/archive/n1y2015/2838.
15. Маринин Н.А. Исследование дисперсного состава пыли в инженерно-экологических системах и выбросах в атмосферу предприятий стройиндустрии: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: спец. 05.23.19. Волгоград, 2014. 20 с.
16. Sager T.M. et al. Improved method to disperse nanoparticles for in vitro and in vivo investigation of toxicity. *Nanotoxicology*. 2007. V. 1. №. 2. P. 118–129.
17. Ordonez A. et al. Distribution of heavy metals in the street dusts and soils of an industrial city in Northern Spain. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 2003. V. 44. №. 2. P. 0160–0170.
18. Kalejaiye O. et al. Effectiveness of dust dispersion in the 20-L Siwek chamber. *Journal of loss prevention in the process industries*. 2010. V. 23. №. 1. P. 46–59.

ТЕХНОЛОГІЇ ОЧИЩЕННЯ ФЕНОЛЬНИХ СТИЧНИХ ВОД

Галкіна О.П., Дегтяр М.В.

Харківський національний університет міського господарства
імені О.М. Бекетова
вул. Маршала Бажанова, 17, 61002, м. Харків
helen.smilka31@gmail.com

У статті розглянуто та систематизовано наукові підходи та технології з очищення стічних вод коксохімічних підприємств відповідно до їхньої класифікації з метою раціонального використання водних ресурсів на коксохімічних підприємствах і скорочення шкідливого впливу на навколишнє середовище в сучасних екологічних умовах. *Ключові слова:* фенольні стічні води, оборотне водопостачання, коксохімічні підприємства, технологія, екологія, виробництво

Технологии очистки фенольных сточных вод. Галкина Е.П., Дегтяр М.В. В статье рассмотрены и систематизированы научные подходы и технологии по очистке сточных вод коксохимических предприятий в соответствии с их классификацией с целью рационального использования водных ресурсов на коксохимических предприятиях и сокращения вредного воздействия на окружающую среду в современных экологических условиях. *Ключевые слова:* фенольные сточные воды, оборотное водоснабжение, коксохимические предприятия, технология, экология, производство.

Phenolic wastewater treatment technologies. Galkina O., Dehtiar M. The article reviews and systematizes scientific approaches and technologies for wastewater treatment at coke plants due to their classification with the goal of rational use of water resources at coke plants and reducing the harmful environmental impact of common environmental conditions. *Key words:* phenolic wastewater, circulating water supply, coke plants, technology, ecology, production.

Постановка проблеми і актуальність дослідження. У водні об'єкти України скидається більше 2 млрд м³/рік неочищених і недостатньо очищених промислових стічних вод, що загрожує погіршенням екологічного стану навколишнього середовища та збільшує навантаження на нього [1–4]. Збільшення обсягу промислових стічних вод зумовлюється зростаючою потребою у виробництві коксу, який використовується як енергоносіє. Стічні води коксохімічних підприємств – одні з найнебезпечніших в екологічному відношенні джерел забруднення водойм [1–3]. Тому їхнє очищення згідно із встановленими сучасними нормами для очищення промислових вод вимагає застосування екологічно чистих та ефективних технологій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У сучасних екологічних умовах норми в галузі очищення промислових стічних вод стають більш обмежувальними. Тому постає потреба у розро-

бленні нових технологічних рішень, що забезпечать високу ефективність очищення технологічних вод промислових підприємств, зокрема коксохімічних. Рекомендується застосовувати технологію утилізації фенольних стічних вод коксохімічних підприємств, яка дає змогу мінімізувати, а в деяких випадках припинити скидання фенольних стоків у міську каналізацію [3].

Аналіз останніх публікацій дав змогу виділити основні технологічні рішення та наявні проблеми очищення фенольних стічних вод. Нині на коксохімічних підприємствах основні матеріальні вкладення здійснюються у будівництво нових коксових батарей та їх вдосконалення або в інші очисні споруди [3; 4]. Для забезпечення вимог санітарних норм необхідно здійснювати складну обробку фенольних стічних вод залежно від їхнього якісного складу. З огляду на високу токсичність фенольних стічних вод коксохімічних підприємств розроблені й застосо-

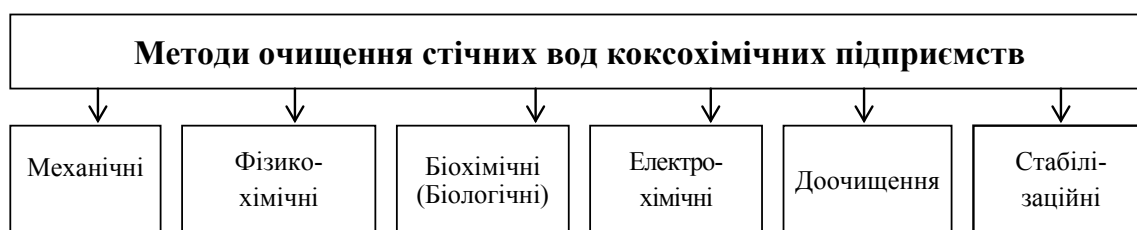


Рис. 1. Методи очищення (підготовки) стічних вод коксохімічних підприємств

вуються на практиці різні способи їх знешкодження (рис. 1) [3; 4].

Різноманітний склад коксових стічних вод є основною проблемою під час вибору способу очищення. Якість стічних вод коксохімічного виробництва коливається в широких межах. У таких водах містяться 0,3–0,5 г/дм³ завислих речовин, смол і масел – 0,4–1,8 г/дм³, фенолів – 0,2–3 г/дм³ і більше аміаку – 0,1–0,4 г/дм³, цианідів і роданідів – 0,8–3 г/дм³, органічних речовин БПК₅. Традиційно підготовку фенольних стічних вод проводять за такою схемою (рис. 2).

На коксохімічних заводах інших країн знефенолювання стічних вод проводиться екстракційним методом, а їхнє доочищення – біологічним [1–4]. На окремих заводах встановлено кварцеві фільтри, які ефективно витягують смолисті речовини з надсмольної води, і флотаційні установки для знемаслення стічних вод, а також біологічні установки для знешкодження стічних вод [3; 4].

Процес очищення стічних вод здійснюється комплексом біохімічних очисних споруд [4]:

– біохімічні установки, що містять таке: хімічний реактор, усереднювач рівень біореактора I (денітрифікацію сполук азоту в анаеробних умовах), рівень біореактора II (біодеградація з нітрифікацією в аеробних умовах), кінцеві відстійники, усереднювачі та резервуари для зберігання очищених стічних вод, гравітаційні згущувачі шламу і фільтр-преси шламу [4].

– біологічна обробка стічних вод із використанням нітрифікації та процесів денітрифікації [4].

Схема біологічної очистки технологічних вод наведена на рисунку 3.

При цьому основним завданням під час вибору ефективного обладнання з очищення води є зниження навантаження на забруднення до нормативних показників [5; 6]. Багатоступінчаста обробка фенольних стічних вод забезпечує очищення води за показниками, зазначеними в законодавчих вимогах, окрім ПАУ, вільних цианідів і сульфідів. Для того, щоб задовольнити нові вимоги, коксохімічні заводи будуть змушені в найближчому майбутньому модернізувати свої наявні очисні споруди або запровадити нові рішення.

Метою дослідження є аналіз поточного стану методів очищення фенольних стічних вод на коксохімічних підприємствах у сучасних екологічних умовах, аналіз наявних екологічних проблем на ПРАТ «Харківський коксовий завод» і розроблення ефективного методу їх вирішення. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати якість та умови утворення промислових стічних вод коксохімічних підприємств;
- проаналізувати наявні екологічні нормативи до якості фенольних стічних вод перед скиданням у водойми, ґрунт або міські очисні споруди;
- аналіз та розроблення ефективних методів очищення фенольних стічних вод.

Виклад основного матеріалу. Особливість технології коксохімічного виробництва зумовлює значну кількість стічних вод у процесі коксування вугільної шихти, уловлювання та переробки хімічних продуктів коксування.

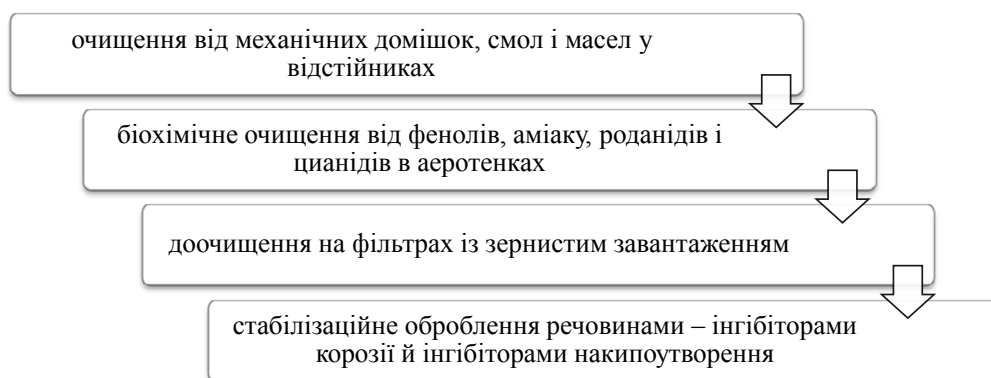


Рис. 2. Схема підготовки фенольних стічних вод

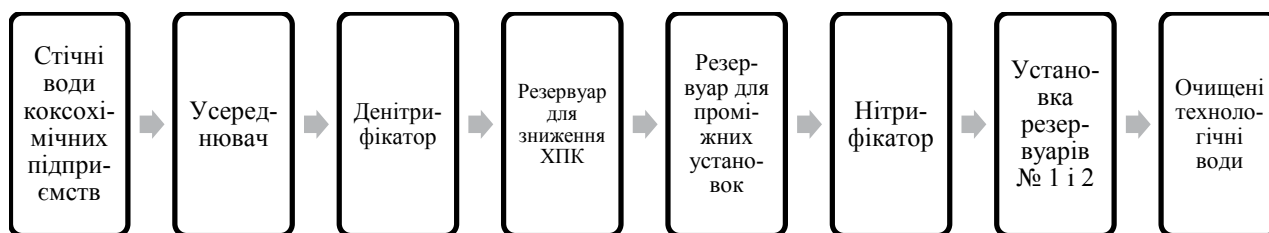


Рис. 3. Схема біологічної обробки технологічних вод [4]

Установлено, що найбільшим джерелом забруднення вод є надлишкова аміачна вода, що утворюється з пірогенетичної вологи шихти [3; 4]. Серед основних забруднень стічних вод коксохімічних підприємств виділяють такі показники: смоли і масла, феноли, аміак, роданіди, цианіди та сульфіді [2–4]. Висока концентрація цих забруднюючих речовин та їх токсичність зумовлюють необхідність у складній та ефективній обробці води перед скиданням у водойми, ґрунт і каналізаційну мережу. Варто зазначити, що лише 3–5 % стічних вод коксохімічних виробництв скидають за межі заводів. Здебільшого вони використовуються для мокрого гасіння коксу, що дає змогу скоротити або запобігти надходженню шкідливих речовин у водойми.

Водовідведення коксохімічного виробництва містить відповідні потоки, класифікація яких наведена на рис. 4 [3]. Найбільший обсяг забруднених стоків належить фенольним стічним водам. У загальнозаводському стоці коксохімічного виробництва, крім фенолів містяться аміак, сірководень, цианіди, бензоли, смоли, які є основними носіями канцерогенних речовин.

На коксохімічних підприємствах із мокрим гасінням коксу виділяють декілька категорій забруднених стічних вод (див. рис. 5) [3].

Коксохімічне виробництво є великим джерелом споживання свіжої води. Для очищення виробничих стічних вод від фенолів і роданідів на

ПраТ «Харківський коксовий завод» застосовують біохімічну установку. Перед подачею води на міські очисні споруди її якість, яка скидається в міську каналізаційну мережу, має відповідати вимогам, що пред'являються КП «Харківводоканал» згідно з Правилами прийому стічних вод у каналізаційну систему м. Харкова (табл. 1).

Дані таблиці 1 свідчать про те, що показники якості стічних вод заводу перевищують гранично допустимі значення вмісту фенолів і азоту амонійного та хлоридів, а за деякими показниками взагалі не контролюються. Тому установки очищення води на коксохімічних заводах зобов'язані адаптувати свої очисні споруди до нових обмежень забруднюючих речовин (табл. 1).

Харківський коксовий завод не здійснює відчутного впливу на якість підземних вод і не приносить значного внеску в проблему підтоплення території району, основною проблемою якого є велика кількість споживання води з артезіанських свердловин, унаслідок чого необхідним є підвищення ефективності роботи систем оборотного водопостачання підприємства.

Оцінювання впливу підприємства на стан поверхневих вод – рік Лопань і Уди – здійснюється шляхом розрахунку поверхневого стоку з території підприємства. Оскільки підприємство не має зливової каналізації, то з поверхневим стоком виносяться забруднюючі речовини, внаслідок чого відбувається

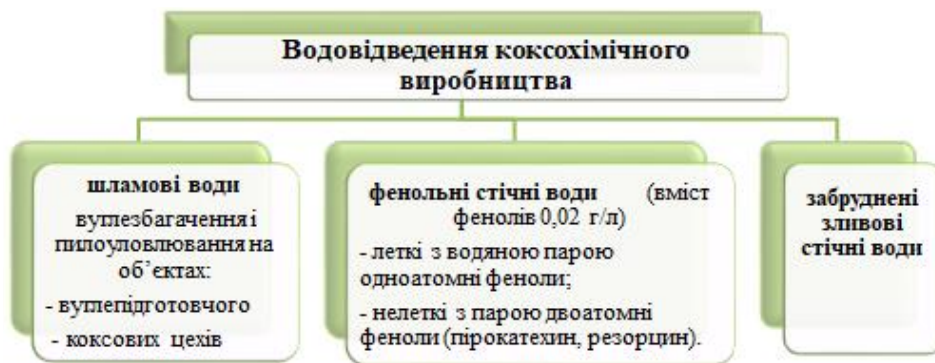


Рис. 4. Водовідведення коксохімічного виробництва

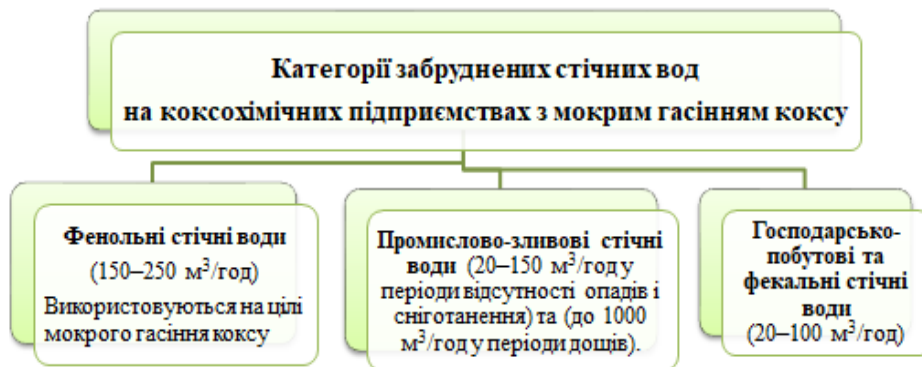


Рис. 5. Категорії забруднень стічних вод

**Усереднені показники складу стічних вод, які скидаються в міську каналізацію
на ПрАТ «Харківський коксовий завод»**

№ п/п	Показники	Одиниця вимірювань	Концентрація речовин перед скидом у каналізацію				
			ПрАТ «ХКЗ»	Норми*	Норми** [5]	Норми** 2006 [6]	Норми** 2014 [7]
1.	pH	од.	8,7–9,0	6,5–9,0			
2.	Завислі речовини	мг/дм ³	41–50	150			
3.	Хлориди	мг/дм ³	860–1460	500	-	1000	1000
4.	Азот амонійний	мг/дм ³	46–66	50	-	100–200	10
5.	Нітрати	мг/дм ³	1,1–1,5	15			
6.	Нітриди	мг/дм ³	0,12	5		10	1
7.	Загальний азот	мг/дм ³	-	-	15–50	-	30
8.	Феноли	мг/дм ³	4–19	20	0,5	15	0,1
9.	Роданіди	мг/дм ³	7,6	50			
10.	Ціаніди	мг/дм ³	0,01–0,02	0,8	0,1	0,5	0,1
11.	БПК ₅	мгО ₂ /дм ³	-	-	20	*	25
12.	ХПК	мгО ₂ /дм ³	70–106	-	220	*	250
13.	Сульфати	мг/дм ³	71–111	300			
14.	Сульфіди	мг/дм ³	0	1,5	0,1	-	0,2
15.	СПАР	мг/дм ³	0,19–0,2	0,2			
16.	Поліциклічні ароматичні вуглеводи (ПАУ)	мг/дм ³			0,05	15	15
17.	Тіоцианіди	мг/дм ³	-	-	-	30	10

* Норми, встановлені КП «Харківводоканал»; ** норми, встановлені в європейських країнах.

забруднення річки Лопань. Кількість і характеристику неочищених промислово-злизових стічних вод на ПрАТ «Харківський коксовий завод» наведено на рис. 6.

Унаслідок виконаного розрахунку кількості неочищених поверхнево-злизових стічних вод визначено, що на території підприємства протікає 52,5 тис. м³/рік промислово-злизових стічних вод. Через відсутність зливової каналізації та очищення промислово-злизових стічних вод коксового заводу поверхневі води несуть навантаження за забруднюючими показниками (рис. 7).

Отож через відсутність на підприємстві зливової каналізації та створюваного навантаження від поверхневого стоку підприємство є джерелом впливу на екологічний стан ріки Лопань. Рекомендується організувати збір та очищення зливових і талих вод до норм встановлених «Харківкомуночиствод».

Головні висновки та перспективи дослідження. Проведений аналіз екологічних проблем на підприємстві дав змогу встановити основні екологічні проблеми на ПрАТ «Харківський коксовий завод» та шляхи їх вирішення (рис. 8).

На рисунку 8 наведено основні екологічні проблеми на ПрАТ «Харківський коксовий завод», визначено пріоритети їх вирішення та запропоновано відповідні заходи. Установлено головні екологічні проблеми на підприємстві, а саме:

– скидання стічних вод у міську каналізаційну мережу і висока вартість оплати;

– велике водоспоживання і висока вартість збору за спеціальне водокористування;

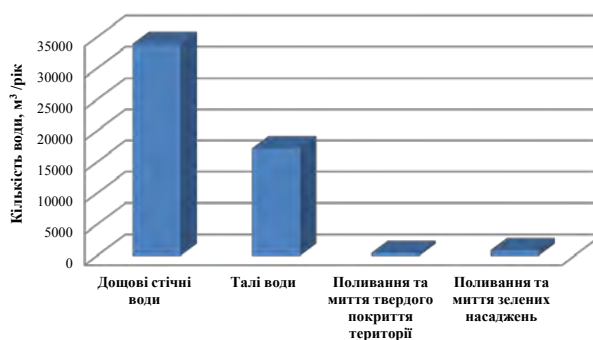


Рис. 6. Кількість неочищених промислово-злизових стічних вод на ПрАТ «Харківський коксовий завод»

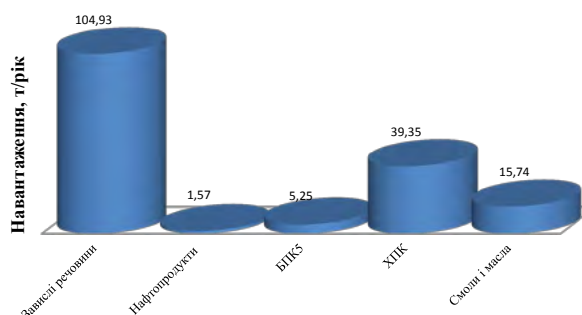


Рис. 7. Досліджуване навантаження від поверхневих вод на ПрАТ «Харківський коксовий завод», т/рік



Рис. 8. Оцінка екологічних проблем на ПрАТ «Харківський коксовий завод» і шляхи їх вирішення

– викиди в атмосферу фенолів від вежі гасіння.

Найвні проблеми можна вирішити шляхом підвищення ефективності роботи системи оборотного водопостачання та біохімічної установки. Підвищення ефективності роботи біохімічної установки досягається шляхом інтенсифікації процесу фізико-хімічного очищення фенольних вод за допомогою дозування ефективного флокулянта Extraflock ($D = 4 \text{ мг/дм}^3$) [8].

Рекомендується здійснювати дозування композиції для запобігання корозії, яка включає інгібітор нітрифікації. Підготовку води пропонується здійснювати в окремій ємності з подальшим фільтруванням і обробленням ультрафіолетовими

променями з подальшим дозуванням в оборотну систему водопостачання заводу. Крім того, використання мікрофільтрів і ультрафіолетових променів також призводить до зменшення кількості завислих речовин в оборотній системі, до нормативних показників і безперебійної роботи спіральних теплообмінників [8; 9].

Отже, пропонується спосіб утилізації фенольних вод із використанням кондиціонованого фенольного стоку спільно зі свіжою водою (чи замість свіжої води) дає змогу знизити кількість реагентів, а також значно скоротити скидання стічних вод у міську каналізаційну мережу та відбір свіжої води з артезіанської свердловини.

Література

- Demadis K.D. et al. Industrial water systems: problems, challenges and solutions for the process industries. Desalination: New Water Culture of South East European Countries-AQUA 2005: Materials of the International Conference, Athens, 21–23 October 2005. Greece: Athens. Vol. 213 (1–3), 2007. P. 38–46.
- Бальцер Д.В., Павлович Л.Б. Использование очищенных фенольных сточных вод в водоснабжении коксохимического производства. *Водоснабжение и санитарная техника*. 2012. № 12. С. 52–58.
- Лісогор О.С. Замкнені системи оборотного водопостачання коксохімічних виробництв: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.23.04 – «Водопостачання, каналізація»; Харків. держ. техн. ун-т буд-ва та арх. Харків, 2001. 18 с.
- Bargiel P., Zabochnicka-Świątek M. Technologies of Coke Wastewater Treatment in the Frame of Legislation in Force. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*. 2018. Vol. 29. №. 1. S. 11–15.
- Decyzja Wykonawcza Komisji z dnia 28 lutego 2012 roku ustanawiająca konkluzje dotyczące najlepszych dostępnych technik "BAT" zgodnie z Dyrektywą Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/75/ UE w sprawie emisji przemysłowych w odniesieniu do produkcji żelaza i stali, 2012/135/UE.
- Rozporządzenie Ministra Budownictwa z dnia 14 lipca 2006 r. w sprawie sposobu realizacji obowiązków dostawców ścieków przemysłowych oraz warunków wprowadzania ścieków do urządzeń kanalizacyjnych, Dz.U. 2006 nr 136 poz. 964.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2014 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego, Dz.U. 2014 poz. 1800.
- Nesterenko S.V., Tkachev V.A., Smilka E.P. Reducing the corrosion losses of metals when using phenolic wastewater in coke-plant cooling systems. *Coke and Chemistry*. 2013. Vol. 56. №. 8. P. 286–291.
- Пат. 109035 Україна С 23 F 11/18, С 02 F 1/50. Композиція для запобігання корозії металів в оборотних системах та спосіб утилізації стічних вод промислових підприємств, які містять амонійний азот / С.В. Нестеренко, О.П. Смілка, В.І. Григоров, Л.Д. Канцедал, Л.П. Банніков, В.О. Ткачов (Україна); Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О.М. Бекетова. № u2013 07467; заявл. 12.06.13; опубл. 10.07.15, Бюл. № 13.

МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АВТОМОБІЛІВ ПІД ЧАС РОБОТИ НА ОКРЕМИХ ВИДАХ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ПАЛИВА

Ємець Б.В.

Житомирський національний агроекологічний університет
Старий бульвар, 7, 10008, м. Житомир
bogdan1199@ukr.net

У конструкторських бюро та лабораторіях Житомирського національного агроекологічного університету більше двадцяти років створювались дослідні зразки транспортних засобів, які працюють на альтернативному паливі. Зміна показників зовнішньої роботи переобладнаних двигунів на окремих видах (водопаливній емульсії, генераторний газ) альтернативного палива, що можуть бути встановлені на вантажних автомобілях сільськогосподарського призначення, зумовлює зміну динамічних характеристик цих автомобілів, які були досліджені відповідно до умов аграрного виробництва. *Ключові слова:* динамічна характеристика, автомобіль, сільськогосподарське призначення, альтернативне паливо.

Моделирование динамических характеристик автомобилей во время работы на отдельных видах альтернативного топлива. Емец Б.В. В конструкторских бюро и лабораториях Житомирского национального агроэкологического университета более двадцати лет создавались опытные образцы транспортных средств, работающих на альтернативном топливе. Изменение показателей внешней работы переоборудованных двигателей на отдельных видах (водотопливной эмульсии, генераторный газ) альтернативного топлива, которые могут быть установлены на грузовых автомобилях сельскохозяйственного назначения, обуславливает изменение динамических характеристик этих автомобилей, которые были исследованы в соответствии с условиями аграрного производства. *Ключевые слова:* динамическая характеристика, автомобиль, сельскохозяйственное назначение, альтернативное топливо.

Modeling dynamic characteristics machinery using particular types of alternative fuel. Yemets B. Prototype vehicles from alternative fuels were created more than twenty years ago in construction bureaus and laboratories of the Zhytomyr National Agroecological University. The change of external work indexes in refitted engines that can be installed on agricultural trucks, using particular types of alternative fuel (water-fuel emulsion, generator gas) causes the change of dynamic characteristics, as it was investigated according to the conditions of agricultural production. *Key words:* dynamic characteristic, automobile, agricultural machinery, alternative fuel.

Постановка проблеми. Проблема забруднення навколишнього середовища притаманна багатьом країнам і сьогодні набула глобального характеру. Найбільшими забруднювачами повітря в Україні і Житомирській області зокрема є автомобільні транспортні засоби [1]. Бензиновий двигун внутрішнього згоряння на 1 км шляху викидає в навколишнє середовище близько 70 г оксиду вуглецю, 25 г оксиду азоту, свинець, оцтовий альдегід, бензол, ацетилен, бенз-х-пірен, бенз-х-атрофен і ще близько 220 шкідливих для живих організмів речовин [2].

Актуальність дослідження. Актуальним є застосування альтернативних видів палива, які, можливо, спершу частково замінять бензин. Один із способів вирішення проблеми альтернативи експлуатації нафтопродуктів – це можливість роботи як бензинових двигунів, так і дизелів автомобілів на генераторному газі (ГГ) [3], інший – це робота автомобільних двигунів на водопаливних емульсіях [4].

Але зміна показників зовнішньої роботи переобладнаних двигунів для роботи на альтернативному паливі, що можуть бути встановлені на вантажних автомобілях сільськогосподарського призначення,

зумовлює зміну динамічних характеристик цих автомобілів, яка має бути досліджена відповідно до умов аграрного виробництва.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Робота виконана відповідно до Державної науково-технічної програми за номером 5.5 «Ресурсозберігаючі та енергоефективні технології машинобудування» за напрямом – «Розробка технологій конвертації двигунів на альтернативні види палива», визначених Міністерством освіти і науки України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основи теоретичних досліджень тягово-швидкісних властивостей, зокрема динамічності, автомобілів викладені в наукових роботах Е.Р. Чудакова, Г.В. Зимелева, Б.С. Фалькевича, Я.Є. Фаробіна, М.С. Туревського та багатьох інших [5; 6; та інші]. Наприклад, М.С. Туревський зазначає, що динамічність – це здатність автомобіля виконувати транспортну роботу з найбільшою швидкістю.

Тягово-швидкісні властивості автомобіля оцінюють за допомогою його динамічної характеристики, графіка прискорень і швидкісної характеристики

розганяння. Динамічний фактор, інваріантний щодо маси автомобіля, найбільш об'єктивно оцінює його тягово-швидкісні властивості [6].

Динамічний фактор, введений академіком Е.А. Чудаковим, дорівнює відношенню залишкової сили тяги до сили тяжіння від повної маси автомобіля:

$$D = \frac{P_\delta - P_w}{G_a} = \frac{P_a}{G_a}, \quad (1)$$

де $P_a = P_p - P_w$ – залишкова сила тяги, яка може бути використана на подолання сил опору дороги та розгону автомобіля; G_a – сила тяжіння від повної маси автомобіля (M_a).

Беручи до уваги рівняння тягового балансу автомобіля [6] і припускаючи, що $\cos \alpha = 1$, а $\sin \alpha = 0$, де α – кут підйому, вираз для динамічного фактора можна записати так:

$$D = \varphi \cdot \cos \alpha \pm \sin \alpha \pm (\delta/g) \cdot \frac{dV}{dt}, \text{ або } D = \psi \pm (\delta g). \quad (2)$$

Під час усталеного руху $D = \psi$ можна зразу визначити максимальну швидкість руху автомобіля в заданих умовах. Динамічна характеристика допомагає порівнювати тягово-швидкісні властивості автомобілів, зокрема сільськогосподарського призначення, з різною масою.

Динамічною характеристикою автомобіля називають графік залежності динамічного фактора D під час повного завантаження автомобіля від швидкості руху на різних передачах трансмісії. Щоб не перераховувати під час кожної зміни навантаження величину динамічного фактора, динамічну характеристику доповнюють номограмою завантажень. Динамічна характеристика, доповнена номограмою навантажень і графіком контролю буксування, називається динамічним паспортом автомобіля. Користуючись динамічною характеристикою, можна вирішувати завдання з визначення показників динамічності автомобіля.

О.Д. Бумага показав, що для автомобілів, які працюють на газоподібному паливі, можливі два підходи до визначення передаточних відношень трансмісії. Перший – це пристосування трансмісії автомобіля до двигуна, що працює на газоподібному паливі, шляхом корекції передаточного відношення головної передачі або введення додаткового редуктора у трансмісію автомобіля. Другий – це розроблення нової трансмісії автомобіля, найбільш повно пристосованої до двигуна, що працює на газоподібному паливі [6]. Другий підхід, як правило, малорентабельний.

У першому підході показано, що під час переобладнання бензинових автомобілів у газобалонні необхідно домагатися того, щоб показники тягово-швидкісних властивостей газобалонних і базових (з двигунами, що працюють на бензині) модифікацій найменше відрізнялися між собою. Зважаючи на порівняльний характер розрахунків, їх проводять за однією і тією самою методикою [5]. Цю методику в роботі використано також для пристосування тран-

смсії автомобіля до двигуна, що працює на водопаливній емульсії, шляхом введення додаткового редуктора у трансмісію автомобіля.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Мета дослідження – покращити динамічні характеристики автомобілів сільськогосподарського призначення під час роботи на альтернативному паливі (генераторному газі, водопаливних емульсіях) методом введення додаткового редуктора. Для досягнення поставленої мети завдання дослідження сформульовано так: виконати аналіз стану теоретичних досліджень тягово-швидкісних властивостей автомобілів та їх динамічних характеристик зокрема; розрахувати параметри динамічної характеристики автомобіля сільськогосподарського призначення під час роботи на водопаливній емульсії порівняно з базовими бензиновими характеристиками; покращити отримані динамічні характеристики автомобіля сільськогосподарського призначення під час роботи на альтернативному паливі (генераторному газі, водопаливних емульсіях) методом введення додаткового редуктора.

Новизна. Уперше саме для автомобілів сільськогосподарського призначення під час роботи на альтернативному паливі (генераторному газі, водопаливних емульсіях) змодельовано параметри динамічних характеристик, які можна покращити, якщо використати метод введення додаткового редуктора в трансмісію таких автомобілів.

Методологічне або загальнонаукове значення. Теоретичні дослідження проводилися з використанням основних положень інтегрального та диференціального числення, математичного моделювання, теорії автомобіля. Експериментальні дослідження проводилися із використанням газогенераторних установок Житомирського національного агро-екологічного університету (ЖНАЕУ) відповідно до прийнятої методики і галузевих стандартів із застосуванням вимірювального обладнання лабораторій ЖНАЕУ.

Виклад основного матеріалу. Визначати і досліджувати показники тягово-швидкісних властивостей (далі – ТШВ) і динамічних характеристик зокрема досить складної механічної системи «автомобіль» та аналізувати вплив на неї зовнішніх чинників (водія, дороги, навколишнього середовища) найкраще на математичній моделі, заснованій на диференціальному рівнянні руху автомобіля [5]:

$$\frac{dV}{dt} \cdot M_a \cdot \delta_{об} = P_{кол}(V) - P_{он}(V, V^2) \pm G_a \cdot \sin \alpha, \quad (3)$$

де M_a – повна маса автомобіля, кг; $\delta_{об}$ – коефіцієнт, який ураховує обертові маси автомобіля; $P_{кол}(V)$ – повна колова сила на ведучих колесах автомобіля, Н; $P_{он}(V, V^2)$ – сума сил опору руху автомобіля, які залежать від швидкості його руху, Н; $G_a \cdot \sin \alpha$ – сила опору підйому, Н; G_a – сила тяжіння від повної маси автомобіля, Н; α – кут поздовжнього нахилу полотна

дороги; V – швидкість руху автомобіля, м/с; dV/dt – прискорення автомобіля, м/с².

У розрахунках показників ТШВ автомобілів найбільш зручним є використання залежності крутного моменту у функції частоти обертання ω колінчастого валу двигуна $M_k = f(\omega)$ у вигляді:

$$M_k = a \cdot \omega^2 + b \cdot \omega + c, \quad (4)$$

де a, b, c – сталі коефіцієнти, котрі визначають за допомогою інтерполяційної формули Лагранжа [3]:

$$a = \frac{M_{dmin}}{A_{11}} + \frac{M_{dmax}}{A_{12}} + \frac{M_{eN}}{A_{13}},$$

$$b = \left[\frac{(\omega_N + \omega_M) \cdot M_{emin}}{A_{11}} + \frac{(\omega_N + \omega_{min}) \cdot M_{emax}}{A_{12}} + \frac{(\omega_{min} + \omega_M) \cdot M_{eN}}{A_{13}} \right],$$

$$c = \left(M_{emin} \cdot \frac{\omega_M \cdot \omega_N}{A_{11}} + M_{emax} \cdot \frac{\omega_N \cdot \omega_{min}}{A_{12}} + M_{eN} \cdot \frac{\omega_{min} \cdot \omega_M}{A_{13}} \right),$$

де $A_{11} = \omega_{min}^2 - \omega_{min}(\omega_N + \omega_M) + \omega_N \cdot \omega_M$; $A_{12} = \omega_M^2 + \omega_M(\omega_N + \omega_{min}) + \omega_N \cdot \omega_{min}$; $A_{13} = \omega_N^2 + \omega_N(\omega_M + \omega_{min}) + \omega_M \cdot \omega_{min}$; ω_{min} , $M_{k,min}$ – мінімальна кутова швидкість колінчастого валу двигуна, рад/с, та крутний момент, Н·м, за цієї кутової швидкості; $M_{k,max}$, ω_M – максимальний крутний момент двигуна, Н·м, та кутова швидкість колінчастого валу двигуна, рад/с, що йому відповідає; M_N , ω_N – крутний момент, Н·м, та кутова швидкість колінчастого валу двигуна, рад/с, що відповідають його максимальній потужності.

Використавши відомі параметри швидкісної зовнішньої характеристики двигуна під час роботи на водопаливній емульсії [4], за допомогою рівняння (2) знайшли крутний момент двигуна, а потім рухома колова сила для автомобіля сільськогосподарського призначення ГАЗ-САЗ-3507-01. Значення коефіцієнтів A_{11} , A_{12} і A_{13} для двигуна ЗМЗ-53, що працює як на бензині та генераторному газу, так і водопаливній емульсії, наведено в таблиці 1.

Таблиця 1
Значення коефіцієнтів A_{11} , A_{12} і A_{13}
для двигуна ЗМЗ-53

Паливо	Коефіцієнти		
	$A_{11} \times \omega_N^2$	$A_{12} \times \omega_N^2$	$A_{13} \times \omega_N^2$
Бензин	0,406	- 0,148	0,235
Водопаливна емульсія	0,403	- 0,151	0,235
Генераторний газ	0,398	- 0,156	0,238

Аналіз таблиці 1 показує, що зміна частоти обертання колінчастого валу у режимі максимального крутного моменту не перевищує 10%, тобто за апроксимації крутного моменту двигуна можна користуватися одним і тим самим поліномом.

Для двигуна ЗМЗ-53 розраховано величину коефіцієнтів апроксимуючого поліному ($a = -0,0015$, $b = 10,39$, $c = 792,3$) для визначення крутного

моменту цього двигуна, що працює на різному пальному, які практично збігаються із характеристиками, що наведені у роботах О.Д. Бумаги.

З урахуванням залежностей $M_k = f(\omega)$ та $V = F(\omega)$ колова сила на ведучих колесах:

$$P_{кол.i} = A_i \cdot V^2 + B_i \cdot V + C_i, \quad (5)$$

де $A_i = a \cdot \frac{U_i^3 \cdot \eta_i}{r_a r_e^2}$, $B_i = b \cdot \frac{U_i^2 \cdot \eta_i}{r_a \cdot r_e}$, $C_i = c \cdot \frac{U_i \cdot \eta_i}{r_a}$, U_i – загальне передаточне число трансмісії автомобіля на i -й передачі; η_i – коефіцієнт корисної дії трансмісії; r_e та r_k – динамічний радіус і радіус кочення колеса, м.

Використавши паспортні дані автомобіля сільськогосподарського призначення ГАЗ-САЗ-3507-01 і формулу (1), розраховали параметри його динамічної характеристики під час роботи на водопаливній емульсії порівняно з базовими бензиновими характеристиками (рис. 1). Аналіз характеристики показує, що заміна бензину на водопаливну емульсію як палива для двигуна ЗМЗ-53 автомобіля ГАЗ-САЗ-3507-01 погіршує показники ТШВ на різних передачах у середньому від 7 до 26%. З літератури відомо, що використання генераторного газу як палива для двигуна автомобіля погіршує показники ТШВ до 35 % [1; 3; та інші]. Щоб покращити вищезгадані показники та одержати однакові показники тягово-швидкісних властивостей бензинових і переобладнаних (у формулі (6) позначено індексом «п») модифікацій, необхідно щоб праві частини рівняння (5) були або однаковими, або мало відрізнялися між собою, тобто:

$$A_{i\bar{p}} \cdot V^2 + B_{i\bar{p}} \cdot V + C_{i\bar{p}} = A_{in} \cdot V^2 + B_{in} \cdot V + C_{in}, \quad (6)$$

Виразимо передаточне число $U_{mp,n}$ трансмісії автомобіля, що працює на альтернативному паливі, через передаточне відношення базової модифікації.

$$\text{Отримаємо: } U_{mp,n} = \beta \times U_{mp}$$

За однакових швидкостей руху, які можна прийняти величинами сталими для кожної з передач, сталими будуть також значення коефіцієнтів A_p , B_p , C_p , і тому рівняння (6) представлено в такому вигляді:

$$\dot{a}_i \times \frac{U_{\dot{\omega}\dot{\omega}}^3}{r_k^2 \times r_d} \times \beta^3 \times V^2 + b_i \times \frac{U_{\dot{\omega}\dot{\omega}}^2}{r_k \times r_d} \times \beta^2 \times V + c_i \times \frac{U_{\dot{\omega}\dot{\omega}}}{r_d} \times V \times \beta =$$

$$= \dot{a}_i \times \frac{U_{\dot{\omega}\dot{\omega}}^3}{r_k^2 \times r_d} \times V^2 + b_i \times \frac{U_{\dot{\omega}\dot{\omega}}^2}{r_k \times r_d} \times V + c_i \times \frac{U_{\dot{\omega}\dot{\omega}}}{r_d} \times V. \quad (7)$$

Після перетворень отримують рівняння виду:

$$\alpha_{11} \beta^3 + \alpha_{12} \beta^2 + \alpha_{13} \beta + \alpha_{10} = 0, \quad (8)$$

де $\dot{a}_{11} = \dot{a}_i \times \frac{U_{\dot{\omega}\dot{\omega}}^3}{r_k^2 \times r_d} \times V^2$, $\dot{a}_{12} = b_i \times \frac{U_{\dot{\omega}\dot{\omega}}^2}{r_k \times r_d} \times V$, $\dot{a}_{13} = c_i \times \frac{U_{\dot{\omega}\dot{\omega}}}{r_d} \times V$.

У таблиці 2 наведено результати розрахунку коефіцієнтів a_{11} , a_{12} , a_{13} , a_{10} для всіх передач автомобіля ГАЗ-САЗ-3507-01 з двигуном ЗМЗ – 53.

Наведемо рівняння (8) до виду:

$$\beta^3 + \frac{\dot{a}_{12}}{\dot{a}_{11}} \times \beta^2 + \frac{\dot{a}_{13}}{\dot{a}_{11}} \times \beta + \frac{\dot{a}_{10}}{\dot{a}_{11}} = 0 \text{ або}$$

$$\beta^3 + \dot{a} \times \beta^2 + b \times \beta + c = 0. \quad (9)$$

У свою чергу рівняння (9) заміною невідомого $y = \beta + \frac{a}{3}$.

$\left(\beta = y - \frac{a}{3}\right)$ перетворюється на так зване зведене рівняння:

$$y^3 + py + q = 0, \quad (10)$$

де $p = -\frac{a^2}{3} + b$; $q = 2\left(\frac{a}{3}\right)^3 - \frac{a \times b}{3} + c$.

Відомо, що кількість дійсних коренів рівняння (8) залежить від знака його дискримінанта

$$D = \left(\frac{p}{3}\right)^3 + \left(\frac{q}{2}\right)^2.$$

Для визначення дискримінанта знайшли значення коефіцієнтів a , b і c . Проведені розрахунки показали, що незалежно від передачі $a = -10,397$; $b = -3,906$; $c = 23,849$. За цих значень коефіцієнтів $D = 7772,6 > 0$, тобто рівняння (8) має один дійсний корінь і два комплексно спряжені.

За цих значень коефіцієнтів $D = 7772,6 > 0$, тобто рівняння (8) має один дійсний корінь і два комплексно спряжені. Оскільки комплексні корені стосовно до передаточного числа не мають сенсу, то треба розглядати тільки дійсний корінь, який визначимо за формулою Кардано: $y = A + B$, де $A = \sqrt[3]{\frac{q}{2} + \sqrt{D}}$,

$$B = \sqrt[3]{\frac{q}{2} - \sqrt{D}}, \quad D = \left(\frac{p}{3}\right)^3 + \left(\frac{q}{2}\right)^2.$$

Заміною $\beta = y - \frac{a}{3}$ знаходимо корінь рівняння (9), тобто значення коефіцієнта β , що показує, як необ-

Таблиця 2

Значення коефіцієнтів за даними автомобіля ГАЗ-САЗ-3507-01

Передача	Коефіцієнти			
	a_1	a_2	a_3	a_0
1	- 11295,4	129037	45591	285611
2	- 6243,5	71194	25121	157532
3	- 3491,4	39804	14035	88057
4	- 1832,2	18865	4580	44803

хідно змінити передаточні відношення трансмісії автомобіля ГАЗ-САЗ-3507-01, двигун якого працює на альтернативному паливі, щоб динамічні показники такого автомобіля були однаковими з базовою (бензиною) модифікацією. Якщо автомобіль ГАЗ-САЗ-3507-01 буде працювати на генераторному газі, то значення коефіцієнта $\beta = 1,412$ у разі роботи на водопаливній емульсії $\beta = 1,331$. Необхідне передаточне відношення трансмісії при цьому може бути забезпечено або додатковим редуктором із встановленими передаточними відношеннями, або головною передачею, передаточне відношення якої в β раз більше передаточного відношення базової моделі.

Головні висновки. Оцінка тягово-швидкісних властивостей і динамічності автомобілів під час зменшення потужності їх двигуна до 40 % (зокрема, під час роботи на альтернативному паливі) показує, що це призводить до зменшення показників цих властивостей. Покращення тягово-швидкісних і динамічних властивостей автомобілів у цьому разі може бути досягнуто завдяки оптимізації системи «двигун – трансмісія», наприклад введенням додаткового редуктора.

Запропонована методика визначення передаточних відношень трансмісії автомобіля, що працює на альтернативному паливі, заснована на тому, що колові сили на ведучих колесах базової моделі та її переобладнаної модифікації однакові. За цією методикою визначено передаточні відношення трансмісії автомобіля ГАЗ-САЗ-3507-01, що працює на окремому (водопаливній емульсії, генераторний газ) альтернативному паливі. Показано, що зміною передаточного відношення трансмісії у 1,412 (за використання генераторного газу) та 1,331 рази (за використання водопаливної емульсії) забезпечується рівність колових сил базової моделі та її переобладнаної модифікації.

Перспективи використання результатів дослідження. Надалі доцільно виконати на основі техніко-економічної оцінки прийнятих рішень багатофакторні експериментальні дослідження модернізованих трансмісій, переобладнаних для роботи на альтернативному паливі, автомобілів сільськогосподарського призначення.

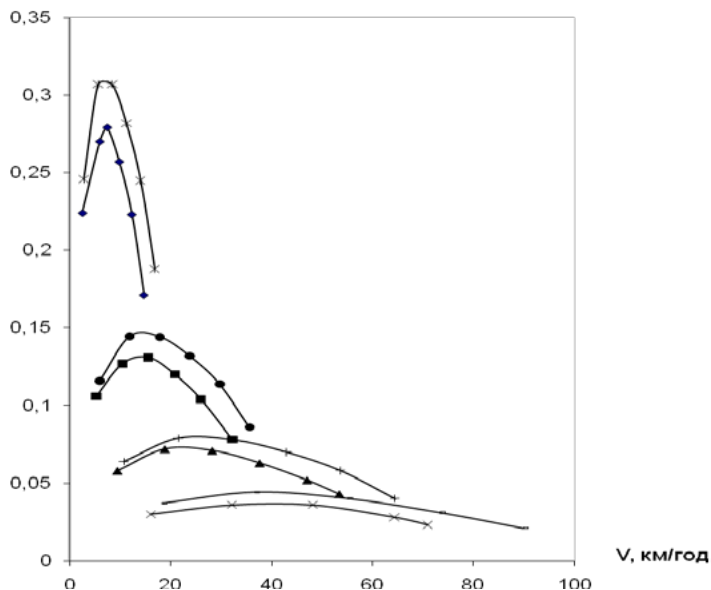


Рис. 1. Динамічні характеристики автомобіля ГАЗ-САЗ-3507-01 під час роботи на водопаливній емульсії (менші значення динамічного фактора та швидкості) порівняно з роботою на бензині

Література

1. Мельник М.В., Ємець Б.В., Поліщук О.С. Обґрунтування продуктивного використання газового палива для бензинових двигунів автомобілів. *Вісник ЖНАЕУ*. 2010. № 2 (27). С. 139–145.
2. Ємець Б.В. Моделювання та покращення паливної економічності автомобілів сільськогосподарського призначення. *Вісник ЖНАЕУ*. 2016. № 2 (56). Т. 1. С. 268–273.
3. Ємець Б.В. Визначення максимальної швидкості руху автомобілів сільськогосподарського призначення на генераторному газі. *Вісник ЖНАЕУ*. 2017. № 1 (58). Т. 1. С. 221–230.
4. Моделювання показників тягово-швидкісних властивостей автомобіля під час його роботи на водопаливних емульсіях / Ємець Б.В., Пустовіт С.В., Поліщук О.С., Ємець Л.В. *Вісник ЖНАЕУ*. 2016. № 1 (53). Т. 1. С. 317–324.
5. Чудаков Е.А. Теория автомобиля. Москва: «Машгиз», 1950. 343 с.
6. Туревский Н.С. Теория автомобиля. Москва: «Высшая школа», 2005. 240 с.

ДОСЛІДЖЕННЯ ФІТОМЕЛІОРАТИВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДИКОРОСЛИХ РОСЛИН НА ДІЛЯНКАХ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ВУГІЛЬНИХ ВІДВАЛІВ ЗАХІДНОГО ДОНБАСУ

Клімкіна І.І.¹, Сорока Т.Ю.¹, Харитонов М.М.²

¹Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»
пр. Яворницького, 19, 49005, м. Дніпро
irina.i.klimkina@gmail.com, soroka.tania.1998@gmail.com

²Дніпровський державний аграрно-економічний університет
вул. Сергія Єфремова, 25, 49600, м. Дніпро
envteam@ukr.net

Стаття присвячена дослідженню фітомеліоративних властивостей дикорослих форм *Bromopsis inermis* та *Lathyrus tuberosus*, що зростають на ділянках рекультивації вугільних відвалів Західного Донбасу. За даними фізико-хімічного аналізу ґрунтів встановлено перевищення норми вмісту важких металів та інших токсичних елементів, а також недостатній рівень вмісту доступних для рослин форм фосфору та азоту. Визначено високу здатність рослин до накопичення важких металів і цінних рідкісних елементів. Показано, що досліджувані рослини можуть бути використані для технологій фітореMediaції (очищення ґрунтів від важких металів та інших токсичних елементів) і фітомайнінгу з метою отримання рідких елементів. **Ключові слова:** вугільні відвали, *Bromopsis inermis*, *Lathyrus tuberosus*, важкі метали, рідкоземельні метали, фітореMediaція, фітомайнінг.

Исследование фитомелиоративных свойств дикорастущих растений на участках рекультивации угольных отвалов Западного Донбасса. Климкина И.И., Сорока Т.Ю., Харитонов Н.Н. Статья посвящена исследованию фитомелиоративных свойств дикорастущих форм *Bromopsis inermis* и *Lathyrus tuberosus*, произрастающих на участках рекультивации угольных отвалов Западного Донбасса. По данным физико-химического анализа почв установлено превышение нормы содержания тяжелых металлов и других токсичных элементов, а также недостаточный уровень содержания доступных для растений форм фосфора и азота. Установлено высокую способность растений к накоплению тяжелых металлов и ценных редких элементов. Показано, что исследуемые растения могут быть использованы для технологий фиторемедиации (очистка почв от тяжелых металлов и других токсичных элементов) и фитомайнинга с целью получения редких элементов. **Ключевые слова:** угольные отвалы, *Bromopsis inermis*, *Lathyrus tuberosus*, тяжелые металлы, редкоземельные металлы, фиторемедиация, фитомайнинг.

Investigation the phytomeliorative properties of native plants on reclaimed coal dumps in Western Donbass. Klimkina I., Soroka T., Kharytonov M. The paper is devoted to the study of phytomeliorative properties of native plants *Bromopsis inermis* and *Lathyrus tuberosus* growing on the coal dump reclamation sites in Western Donbas. The soil physical and chemical analysis has shown the excess of heavy metals and other toxic elements to the norm parameters, and insufficient level of phosphorus and nitrogen forms in soil available to plants. High ability of plants to accumulate the heavy metals and valuable rare elements has been determined. It has been shown that the plants under investigation can be used for phytoremediation technologies (soil purification from heavy metals and other toxic elements) as well as for phytomining technologies in order to obtain the rare elements. **Key words:** Coal Dumps, *Bromopsis inermis*, *Lathyrus tuberosus*, Heavy Metals, Rare Earth Elements, Phytoremediation, Phytomining.

Постановка проблеми. В умовах сьогодення внаслідок розвитку гірничовидобувної і гірничопереробної промисловості відбувається значне порушення земної поверхні, через що набувають особливої гостроти розроблення і впровадження природоохоронних технологій. Накопичення великих об'ємів техногенних відходів у відвалах призводить до порушень природних ландшафтів, забруднення всіх складових навколишнього природного середовища, вилучення з господарчого обігу значних площ земельних угідь [1].

Для запобігання негативним процесам виникає необхідність у прогнозі ризику забруднення навколишнього природного середовища, який повинен

базуватися на результатах хімічного аналізу розкритих гірських порід, та оцінці їх фітотоксичних властивостей, що пов'язані із зниженням рН, підвищенням міграції токсичних солей важких металів після їх винесення на земну поверхню [2].

Актуальність дослідження. Природне заростання вугільних відвалів після гірничотехнічної рекультивації вважається важливою частиною відновлення природного середовища. Знижені значення рН, наявність великої кількості рухомих форм важких металів, алюмінію, мала вологоємність та інші несприятливі процеси негативно впливають на швидкість озеленення вугільних відвалів. За відсутності вегетативного покриву спостерігаються

активні процеси фізичного і хімічного вивітрювання, за якого порода руйнується, перетворюється в пил і стає одним з основних джерел забруднення атмосфери, ґрунтів, поверхневих і ґрунтових природних вод [1–4].

Вибір методів для відновлення техногенних територій, особливо в гірничодобувній і промисловій областях, визначається її кліматичними умовами, типом, рівнем і формою забруднення, особливостями ландшафту і технологіями, що використовуються для отримання кінцевого продукту гірничо-збагачувального комплексу.

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями. В останні роки методи фітореємедіації, які забезпечують фітоекстракцію (або фітомайнінг) – видалення металів шляхом їх накопичення в рослинних органах, – отримали широке визнання [3–8]. Цей метод більш вигідний порівняно з іншими методами очищення забруднених територій: він недорогий, і є можливість отримати додаткову продукцію. Сьогодні фітомайнінг визначається як використання зелених рослин для комерційного вилучення цінних металів із ґрунту з їх високою концентрацією.

Фітомайнінг розглядається як технологія фітоекстракції, яка дає змогу витягувати економічно цінні метали із субстрату (зокрема, з відвалів гірничодобувної промисловості). При цьому ключова роль у фітоекстракції і фітомайнінгу належить рослинам – гіперакумуляторам металів. Такі рослини повинні поглинати метали із субстрату, утримувати їх у тканинах кореня, а потім транспортувати їх у надземну частину. Здатність утворювати велику кількість надземної біомаси протягом одного вегетаційного періоду, простота збору врожаю, здатність рости і розвиватися в несприятливих умовах також є важливими особливостями рослин – гіперакумуляторів металів, які, перш за все, визначаються специфічністю субстрату. Розглянутими недоліками фітоекстракції важких металів є порівняно мала глибина очищення субстрату залежно від глибини вкорінення використовуваних рослин і повільні темпи вилучення важких металів із субстрату [6].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розробленню технологій фітомайнінгу передують численні дослідження з вивчення закономірностей накопичення металів в органах рослин, що ростуть на забруднених ґрунтах [9]. Дослідження з розроблення екологічних технологій (біологічна рекультивация антропогенних ландшафтів, що утворилися внаслідок діяльності гірничодобувної промисловості) [4] та їх подальше практичне використання (особливо в сільському господарстві) проводяться вже майже півстоліття. Проте в останні роки приділяється велика увага розробленню комерційно життєздатних технологій із використання гіперакумуляторних видів рослин для накопичення цінних елементів [6–8, 10].

Метою роботи було вивчити стійкість домінантних видів диких рослин, які зростають на рекультивованих вугільних відвалах Західного Донбасу, до підвищених концентрацій важких металів та інших токсичних елементів, а також перспективи використання цих рослин для технологій фітореємедіації і фітомайнінгу.

Об'єкти та методи досліджень. Відбір зразків для дослідження проводили на базі Павлоградського дослідного стаціонару рекультивации порушених земель ДДАЕУ у Західному Донбасі, який був закладений у 1976 р. в заплаві річки Самара з метою пошуку заходів відновлення природного потенціалу порушеної території. Схема рекультивации земель передбачала вивчення ефективності перекриття шахтних відвалів різними за потужністю шарами ґрунтової маси чорнозему з відсутністю та наявністю екрануючого прошарку лесоподібного суглинку (рис. 1).

Треба зазначити, що в усіх варіантах рекультивации шороку (до 1997 р.) на дослідних ділянках вирощували культури польової сівозміни. До минулого року у зв'язку з реформуванням ВО «Павлоградвугілля» ділянки були під природним заростанням. Основа ділянок рекультивации була сформована шаром гірської породи (8–10 м), поверх якої були насипані ґрунтові субстрати різної потужності. У наших дослідженнях вивчалися ділянки рекультивации з нанесенням на породу чорнозему потужністю 30 см (ділянка 2), 50 см (ділянка 3) і 70 см (ділянка 4) (рис. 1).

Для хімічного аналізу були відібрані зразки ґрунтів із глибини 0–20 см, а також зразки рослинного матеріалу домінантного виду *Bromopsis inermis*. Крім того, досліджували хімічний склад *Lathyrus tuberosus*, що трапляється лише на ділянках із прошарком чорнозему більш ніж 50 см. Зразки рослинного матеріалу та ґрунтових субстратів були висушені, оброблені і підготовлені до фізико-хімічного аналізу відповідно зі стандартними методами для спектрофотометричного та ICP-MS аналізів. Усі аналізи проводили у 5-кратній повторності.

Було проведено комплексний аналіз таких фізико-хімічних показників, як рН, питома електропровідність ґрунту (ЕС), кількісний вміст поживних речовин для рослин, а саме іонів NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , а також валовий вміст мікроконцентрацій важких металів, інших токсичних елементів і рідких металів.

Проби ґрунтів відбирали згідно з чинними ДСТУ 4287:2004 та ДСТУ ISO 10381-2:2004. Вони були доведені до повітряно-сухого стану, після чого зробили ґрунтово-водні витяжки у співвідношенні 1:10. рН водної витяжки визначали за ГОСТ 17.5.4.01-84, питому електропровідність – за ДСТУ ISO 11265:2001. Для визначення вмісту органічних речовин у ґрунті використовували метод сухого спалювання за ДСТУ Б В.2.1-16:2009.

Наступним визначали кількісний вміст іонів NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} фотометричним методом відпо-

відно до німецьких стандартів «DIN-Norm». Вміст NO_3^- визначали відповідно до методики DIN 38405-9. Нітрати через додавання розчину концентрованих сірчаної та фосфорної кислот реагують із 2,6-диметилфенолом з утворенням 4-нітро-2,6-диметилфенолу. Останній надає розчину оранжевого забарвлення, оптичну щільність якого вимірюють за довжини хвилі 338 нм.

Концентрацію іонів NH_4^+ визначали за індофеноловим методом згідно з DIN 38406-5. В основі методу лежить реакція аміаку з фенолом у присутності окислювача гіпохлориту натрію. Продуктом реакції є індофенол, який у лужному середовищі забарвлює розчини в синій колір. Оптичну щільність розчинів вимірюють за довжини хвилі 625 нм.

Вміст іонів PO_4^{3-} визначали за DIN EN ISO 6878. В основі цього методу лежить здатність фосфат-іонів утворювати з молібдатом амонію фосфорномолібденову гетерополексислоту (ФМГПК) – стійку в кислому середовищі та забарвлену в жовтий колір сполуку. Інтенсивність забарвлення жовтої ФМГПК слабка, тому для визначення фосфору використовували її відновлену форму, інтенсивно забарвлену в синій колір. Оптичну щільність розчинів вимірювали за довжини хвиль 880 нм. Під час додавання відновника Mo(VI) , що входить до складу ФМГПК, переходить до Mo(V) з утворенням «фосфор-молібденової сині». Вільні Mo(VI) і Mo(V) , що не входять до складу ФМГПК, також утворюють забарвлені в синій колір з'єднання. Щоб уникнути відновлення Mo(VI) , що входить до складу молібденово-кислого амонію, процедуру відновлення ФМГПК проводили в м'яких умовах. Як відновник використовували аскорбінову кислоту в присутності антимонілтартрату калію – $\text{K(SbO)C}_4\text{H}_4\text{O}_6$, який прискорює утворення відновленої форми ФМГПК і сприяє її стійкості. Утворення пофарбованого в синій колір комплексу відбувається у слабкислому середовищі. Головним компонентом, що заважає під час фотометричного визначення фосфору, є Fe(III) , для

усунення впливу якого здійснювали його відновлення до Fe(II) .

Валовий і водорозчинний вміст мікроелементів визначали на підставі методу мас-спектрометрії з індуктивно зв'язаною плазмою (ICP-MS) на базі лабораторії Інституту біологічних наук Технічного університету «Фрайберзька гірничої академія». Підготовку проб для аналізу валового вмісту елементів здійснювали згідно з ISO 11464:1994 та ДСТУ ISO 14869-1:2005 за розчинення проб ґрунту кислотним плавленням.

Перевищення норми вмісту важких металів у ґрунті визначали за допомогою індексу забруднення [11; 12], а здатність до накопичення хімічних елементів у тканинах рослин – за коефіцієнтом біологічного накопичення [13].

Статистичну обробку результатів дослідження виконано за допомогою пакету програми «Microsoft Excel 2010».

Виклад основного матеріалу. Результати дослідження фізико-хімічних показників ґрунтових субстратів із ділянок рекультивації свідчать про коливання показника рН ґрунту від $6,0 \pm 0,58$ для ділянки 2 (яка була сформована насипним шаром чорнозему 30 см) до $8,4 \pm 0,17$ для ділянки 6 (що сформована насипним шаром червоно-бурої глини), показника питомої електропровідності – від $13 \mu\text{S}/\text{cm}$ для ділянки 4 (яка була сформована насипним шаром чорнозему 70 см) до $104 \mu\text{S}/\text{cm}$ для ділянки 6.

Варто зазначити, що показники питомої електропровідності водних суспензій, наприклад чорноземів типових, становлять у межах від 35 до $103 \mu\text{S}/\text{cm}$, орного шару ясно-сірого лісового ґрунту – $24-25 \mu\text{S}/\text{cm}$. Електропровідність пов'язана головним чином із мінеральним складом ґрунту, його вологістю, ємністю катіонного обміну, рівнем солоності, органічних речовин, характеристиками підґрунтя, а також із властивостями ґрунту, які впливають на ефективність його екологічних функцій, зокрема родючість.

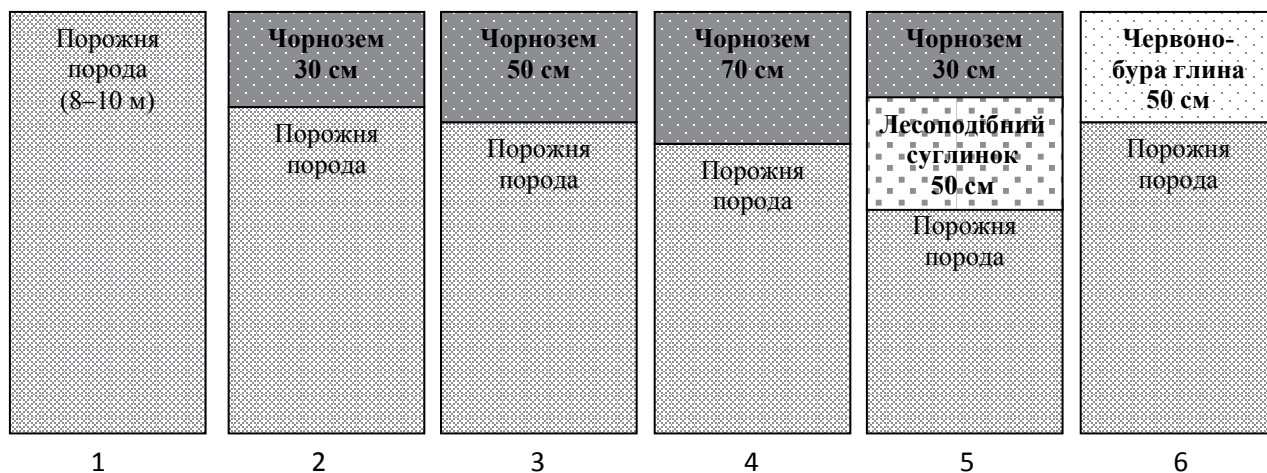


Рис. 1. Варіанти рекультивації відвалів (шахта «Павлоградська», Західний Донбас)

Що стосується забезпеченості ґрунтів елементами мінерального живлення рослин, то родючими вважаються ґрунти, якщо в середньому вміст PO_4^{3-} становить 500–1000 мг/кг. Отримані результати вказують на недостатній рівень вмісту доступної для рослин форми фосфору в усіх дослідних точках – він коливається від $6,5 \pm 0,83$ до $7,7 \pm 0,94$ мг/кг.

Ґрунтові концентрації NH_4^+ та NO_3^- залежать від біологічної активності, отже, можуть коливатися залежно від умов, таких як температура і вологість. Нітрати легко вилугуюються з ґрунту великою кількістю опадів. Типовими концентраціями катіону NH_4^+ у ґрунті вважаються 0,2–1,0 мг/кг; аніону NO_3^- концентрації, які не перевищують 130 мг/кг. Вміст катіону NH_4^+ у ґрунті дослідних ділянок є в межах від $4,72 \pm 0,42$ до $6,2 \pm 0,36$ мг/кг, а вміст аніону NO_3^- – від $18,8 \pm 4,91$ до $41,3 \pm 12,32$ мг/кг.

Загалом, результати свідчать про недостатню кількість доступного рослинам форм азоту та фосфору.

Накопичення важких металів у ґрунті протягом певного періоду часу може призвести до надмірного поглинання цих елементів рослинами.

Після аналізу вмісту 11 елементів у шарі ґрунту 0–20 см серед них виявили перевищення норми вмісту важких металів у 6 (у порядку убування) – $\text{As} > \text{Fe} > \text{Co} > \text{Zn} > \text{Cu} > \text{Cr}$.

Результати дослідження біогеохімічних показників за важкими металами в дикорослих культурах на ділянках рекультивації. У наших дослідженнях із ділянок рекультивації були відібрані зразки двох спонтанно-зростаючих видів рослин: *Bromopsis inermis* (росте на всіх ділянках рекультивації) і *Lathyrus tuberosus* (трапляється тільки на 3-ій ділянці з найбільш товстим шаром чорнозему – 70 см).

Кострець безостий (*Bromopsis inermis*) – багаторічний кореневищний злаковий вид озимо-ярого типу розвитку. Це цінний універсальний вид, незамінний на схилах, які піддаються водній та вітрової ерозії, витримує затоплення. Кормова цінність трави висока, її добре поїдають усі види тварин завдяки високій кількості вегетативних пагонів. Добре росте на різних типах ґрунтів, малопридатні для нього кислі, засолені та заболочені ґрунти. Швидко витісняє з травостою інші трави. Культура має високу зимо- та холодостійкість, посухостійка й тіневитривала, проте не витримує високого рівня стояння підґрунтових вод.

Чина бульбиста (*Lathyrus tuberosus*) – багаторічна, холодостійка рослина з тонким стеблом, кормова

рослина, багата протеїнами, в потовщених коренях містяться запаси поживних речовин, відома як медоносна і декоративна рослина. Віддає перевагу супіщаним і суглинистим ґрунтам, помірній вологості та нейтральній кислотності ґрунту.

Аналіз умісту мікроелементів у ґрунтах і рослинних зразках показав, що з 37 елементів у 26 йде перевищення співвідношення коефіцієнта біологічного накопичення у *B. inermis* над *L. tuberosus* у 2–3 рази, Mn (6.9 раз), Cd (7.7 раз) і Ge у 20 разів, в інших 5 елементах (Mg, Cu, Zn, Mo, Rh) *L. tuberosus* накопичує більше, ніж *B. inermis* в 1–2 рази і є більш стійким до дії важких металів та інших токсичних елементів.

З 40 елементів, що аналізувалися, *B. inermis* проявив більшу здатність накопичувати 32 елементи, тоді як *L. tuberosus* активно накопичував лише 8 елементів. Співвідношення концентрацій як корисних, так і токсичних елементів, включно з важкими металами, а також рідкими металами, накопиченими в тканинах злакових і бобових рослин, представлені в такій послідовності: $\text{P} > \text{Mg} > \text{Cu} > \text{S} > \text{Zn} > \text{Mo} > \text{Rh} > \text{Re}$ (перевищення в діапазоні від 2,5 до 1 раз); $\text{Ge} > \text{Si} > \text{Mn} > \text{Cd} > \text{Cr} > \text{Co} > \text{U} > \text{Gd} > \text{Tb} > \text{Er} > \text{Dy} > \text{Tm} > \text{Sm} > \text{Ho} > \text{Nd} > \text{Yb} > \text{Lu} > \text{Th} > \text{Pr} > \text{Ce} > \text{Y} > \text{Eu} > \text{As} > \text{Sc} > \text{Al} > \text{V} > \text{La} > \text{In} > \text{Ga} > \text{Fe} > \text{Ag} > \text{Pb}$ (17,6–1,1 раз).

Результати досліджень біогеохімічних показників за рідкими елементами на ділянках рекультивації порід шахтних відвалів показали, що більшість рідких елементів не накопичується в тканинах рослин у концентраціях вище, ніж у ґрунтах. Встановлено, акумуляція германію у наземній частині *B. inermis* була у 20 разів більше порівняно з *L. tuberosus*. Водночас чина бульбиста поглинала родію в 1,04 рази більше, ніж кострець безостий.

Головні висновки. Проведений аналіз показав високий меліоративний потенціал досліджуваних видів рослин. На поширення та зріст дикорослих форм активний вплив здійснює якісний і кількісний склад мінерального живлення рослин.

Перспективи використання результатів дослідження базуються на можливості застосування дикорослих видів *Bromopsis inermis* та *Lathyrus tuberosus*, які зростають на дослідних ділянках рекультивації вугільних відвалів, для технологій фітореMediaції (очищення ґрунтів від важких металів та інших токсичних елементів) і фітомайнінгу з метою отримання рідких елементів.

Література

1. Kharytonov M.M. and Kroik A.A. Environmental Security of Solid Wastes in the Western Donbas Coal Mining Region, Ukraine. *Environmental Security and Ecoterrorism, NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security*, H. Alpas et al. (eds.). 2011. P. 129–138.
2. Klimkina I., Kharytonov M., Zhukov O. Trend Analysis of Water-Soluble Salts Leaching Along Surfaces of Reclaimed Mine Dumps in Western Donbass (Ukraine). *Environmental Research, Engineering and Management*. 2018. Vol. 74. No 2. P. 82–92.
3. Sheoran V., Sheoran A.S. and Poonia P. Soil Reclamation of Abandoned Mine Land by Revegetation: A Review. *International Journal of Soil, Sediment and Water*. 2010. Vol. 3: Iss. 2. Art. 13. ISSN: 1940-3259.
4. Баранов В.І., Книш І.М., Блайда І.А., Вашук С.П., Гавриляк М.С. Очерет звичайний – фіторедеміант важких металів у дренажних канавах породних відвалів вугільних шахт. *Біологічні Студії / Studia Biologica*. 2012. Т. 6. №1. С. 93–100. DOI: <https://doi.org/10.30970/sbi.0601.188>.
5. Ogoke E.C. Accumulation of Heavy Metal in Soil and Their Transfer to Leafy Vegetables with Phytoremediation Potential. *American Journal of Chemistry*. 2015. No 5(5). P. 125–131.
6. Timofeeva S.S., Ulrikh D.V., Timofeev S.S. Phytomining Perspectives in Rehabilitation of Mining and Industrial Areas of South Ural. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2017. DOI: 10.1088/1755-1315/66/1/012030.
7. Wiche O., Heilmeier H. Germanium (Ge) and rare earth element (REE) accumulation in selected energy crops cultivated on two different soils. *Minerals Engineering*. 2016. No 92. P. 208–215.
8. Wiche O., Szekely B., Kummer N.-A., Moschner C. and Heilmeier H. Effects of intercropping of oat (*Avena sativa* L.) with white lupin (*Lupinus albus* L.) on the mobility of target elements for phytoremediation and phytomining in soil solution. *International Journal of Phytoremediation*. 2016. DOI: 10.1080/15226514.2016.1156635.
9. Conesa H.M., Evangelou M.W.H., Robinson B.H. and Schulin R. A Critical View of Current State of Phytotechnologies to Remediate Soils: Still a Promising Tool? *The Scientific World Journal*. 2012. Vol. 84. Article ID 173829, 10 pages. DOI:10.1100/2012/173829.
10. Laço A., Radulov I., Berbecea A., Laço K., Crista F. The transfer factor of metals in soil-plant system. *Research Journal of Agricultural Science*. 2012. No 44 (3). P. 67–72.
11. Doležalová Weissmannová H., Pavlovský J. and Chovanec P. Heavy metal Contaminations of Urban soils in Ostrava, Czech Republic: Assessment of Metal Pollution and using Principal Component Analysis. *Int. J. Environ. Res*. 2015. 9(2):683-696. ISSN: 1735-6865.
12. Lu S.G. and Bai S.Q. Contamination and potential mobility assessment of heavy metals in urban soils of Hangzhou, China: relationship with different land uses. *Environmental Earth Science*. 2010. No 60. P. 1481–1490.
13. Готвянська В.О., Демура В.І. Розподіл та накопичення важких металів в ґрунтово-рослинному покриві в умовах техногенного впливу. *Вісник Дніпропетровського університету. Серія: «Геологія. Географія»*. 2014. Вип. № 15. ISSN: 2313-2159.

РОЗРОБКА МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДЕЗАКТИВАЦІЇ РАДІАЦІЙНО ЗАБРУДНЕНИХ ОБ'ЄКТІВ

Полякова І.О.

LLC «TechnoChemAtom»

вул. Юрія Шумського 5, 02098, м. Київ

polyakova_ira@ukr.net

У статті наводяться попередні результати експериментальних досліджень із дезактивації локальних поверхневих забруднень матеріалів нуклідами Cs, Sr та викладено особливості процесу дезактивації шляхом організації газофазного масоперенесення за рахунок хімічних транспортних реакцій та застосування спеціально розроблених технічних засобів. *Ключові слова:* поверхнєве забруднення, радіаційне забруднення, транспортні реакції, радіоактивні відходи, ядерно-паливний цикл.

Разработка методов повышения эффективности дезактивации радиационно загрязненных объектов. Полякова И.А.

В статье приводятся предварительные результаты экспериментальных исследований по дезактивации локальных поверхностных загрязнений материалов нуклидами Cs, Sr а также показано особенности процесса дезактивации путем организации газофазного массопереноса за счет химических транспортных реакций и применения специально разработанных технических средств. *Ключевые слова:* поверхностное загрязнение, радиационное загрязнение, транспортные реакции, радиоактивные отходы, ядерно-топливный цикл.

Development of methods of increase efficiency decontamination of radiation - contaminated objects. Polyakova I.O. The preliminary results of experimental studies on the deactivation of local surface contamination of materials with Cs, Sr nuclides are given in the article. The peculiarities of the deactivation process are also shown by means of gas-phase mass transfer through chemical transport reactions and application of specially developed technical means. *Key words:* surface contamination, radiation pollution, transport reactions, radioactive waste, nuclear fuel cycle.

Постановка проблеми. Радіоактивне забруднення поверхонь складної форми й конфігурації, розташованих горизонтально, вертикально, під нахилом, а також виробничого обладнання різних геометричних форм, металевих, дерев'яних, скляних, бетонних та інших поверхонь, різної шорсткості, тріщинуватості та глибини розколів, вологих та/або маслянистих, відбувається за рахунок відкладення і проникнення хімічних сполук нуклідів углиб структури матеріалів на глибини від 0,1 до 10 мм. Післяаварійні нукліди за умов взаємодії з природним середовищем зв'язуються у вигляді окисів, гідроокисів Cs та Sr, окисів Pu, Am, U та інших сполук.

Проведено порівняльний аналіз методів дезактивації радіаційно-забруднених поверхонь. У лабораторних умовах перевірено принципову можливість дезактивації радіаційно забруднених поверхонь із застосуванням піноподібних, пастоподібних складів різної реології.

Було розроблено інноваційні засоби дезактивації, що вміщують поверхнево-активні речовини та мінімальний уміст води у складі та дозволяють ефективно дезактивувати поверхні різного ступеня забруднення. Утворювані при цьому вторинні радіоактивні матеріали (радіоактивні відходи (далі – РАВ) у твердій формі, з мінімальним об'ємом іммобілізуються та розміщуються у спеціальні контейнери.

Метою роботи була розробка дезактивувальних сумішей, розробка дистанційних засобів нанесення дезактивувальних сумішей на забруднені поверхні, способи й засоби знімання сумішей, що вміщують радіонукліди (вторинні РАВ), з одночасним розміщенням у спеціальних пакетах-збірниках, визначення ступеня дезактивації радіаційно-забруднених поверхонь зразків інноваційними дезактивувальними засобами.

Рівні загального допустимого радіоактивного забруднення робочих поверхонь, шкіри персоналу (протягом робочої зміни) α -активними нуклідами та β -активними нуклідами лежать у межах від 1 до 200 част./хв \times см² (для α -активних нуклідів) та від 100 до 10000 част./хв \times см² (для β -активних нуклідів) [1], зокрема забруднення буває фіксоване та нефіксоване.

Для ефективної дезактивації поверхонь у лабораторних умовах уперше розроблено методи і хімічний склад, що направлені на видалення забруднень радіаційно-хімічної природи:

- шляхом утворення колоїдних розчинів твердих частинок із фіксацією у вигляді спеціальної «сухої піни» або гелю/пасти, що легко видаляється;
- шляхом переводу забруднень у водорозчинний стан, фіксації у вигляді стійких комплексів з адсорбцією пористими матеріалами або відкачуванням

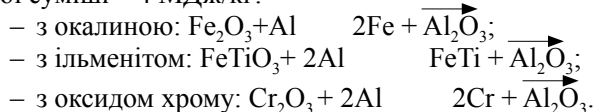
насосами із застосуванням спеціальних насадкових пристроїв;

– шляхом переведення забруднень у леткі з'єднання, що поглинаються спеціальними леткими матеріалами із використанням спеціальних технічних засобів (для очищення від забруднень, фіксованих у тріщинах та порах).

Фундаментом для розробки дезактивувальних сумішей спеціалістами LLC «TechnoChemAtom» для дезактивації локальних забруднень на великомасштабних поверхнях став «сухий метод», заснований на швидкоплинному процесі горіння самозапалювальної суміші (далі – СЗС) розробленого та апробованого на реальних об'єктах спеціалістами ДСП «Техноцентр», м. Чорнобиль [2]. Порошкова суміш реагентів із неметалами, наприклад окисів та металів-відновників, зволожується розчином зв'язки (спирт, мінеральна сіль), наноситься на поверхню та після сушіння ініціюється реакція горіння.

Інтенсивність та повнота СЗС реакцій залежить від засобу зменшення ΔF – вільної енергії утворення сполук з елементів. Зіставлення ΔF величин показує, що найбільш сильними відновниками окисів є Са, Mg, Al, Ti.

Для суміші заліза (окаліни), мінералу ільменіту, окису хрому та алюмінію реакція протікає за схемою з великим видаленням тепла, наприклад для останньої суміші – 4 МДж/кг:

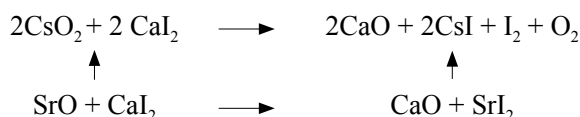


Під час горіння СЗС температура досягає 3 000°C, що перевищує температуру плавлення продуктів реакції, тому утворюється шлак у литому вигляді. Швидкість горіння складає від 10^{-3} до 10^{-1} м/с. При

цьому відбувається розігрів забрудненої нуклідами поверхні, спікання з утворенням шлаку, який швидко видаляється механічним шляхом разом із забрудненням [3]. Регулювання температури відбувається інертною добавкою, наприклад окисом алюмінію чи аналогічним продуктом реакції, температура в межах згасання складає 1500–1700 °С.

Виклад основного матеріалу. Дослідження можливостей дезактивації інноваційними піноподібними та пастоподібними сумішами проводиться шляхом моделювання процесу з використанням природної суміші стабільних ізотопів Cs та Sr. Поверхні необхідно обробити нітратами CsNO_3 та $\text{Sr(NO}_3)_2$, після цього прогріти до температури розкладання нітратів (585–570 °С) до окисів металів та NO_2 .

Збільшення ефективності дезактивації та повного видалення нуклідів із тріщин та пор поверхонь до дезактивувальної суміші додають йодиди та броміди, що є транспортувальним засобом, отриманим за умов взаємодії окисів нуклідів, які осіли у глибоких тріщинах, із паром, наприклад CaI_2 . Теоретично, цей процес можна описати за допомогою таких реакцій:



Для здійснення транспортної реакції масоперенесення необхідними є транспортувальна речовина та температурний градієнт, масоперенесення здійснюється з менш нагрітої до гарячої зони [4].

За загального тиску 1 атм. для масоперенесення у більш гарячу зону достатньо парціального тиску йодиду нукліду 10^{-6} атм [4].

Оцінка ефективності масоперенесення з тріщин за допомогою лазерного маспектрального аналізу

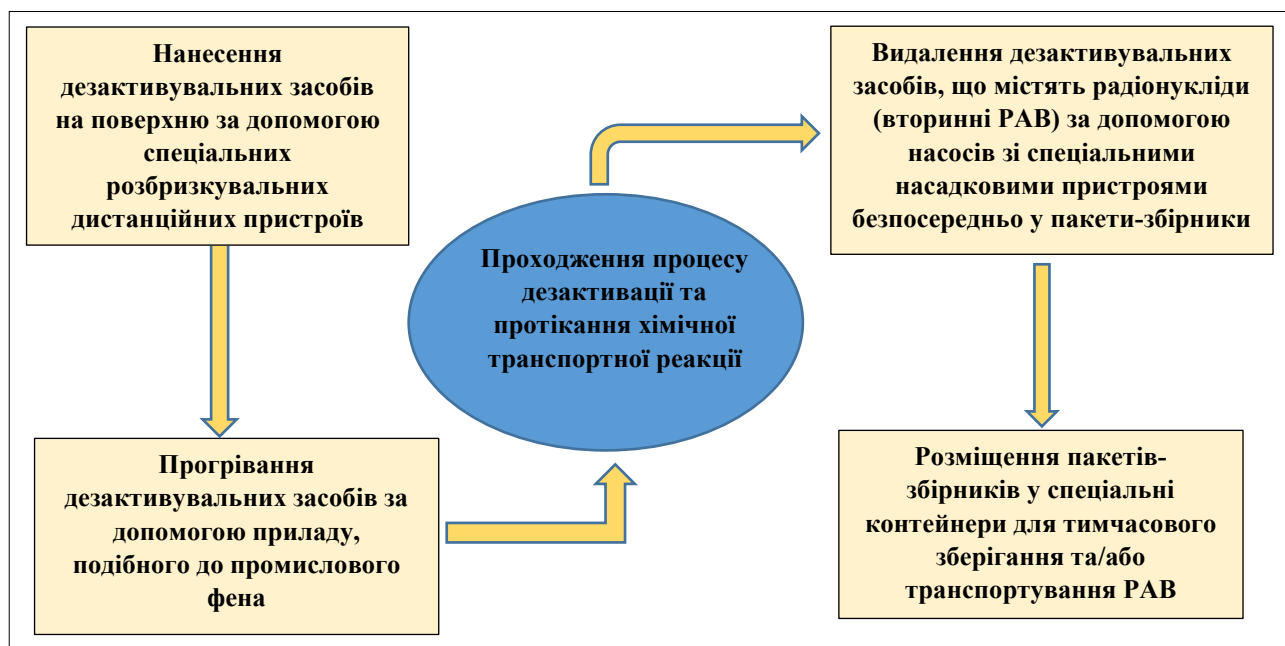


Рис. 1. Технологічний процес дезактивації поверхнево забруднених матеріалів

показав кращі результати на бетоні та цеглі (горизонтально розташовані поверхні від 75 до 95%), на асфальті та інших більш шорстких поверхнях ефективність масоперенесення, тому і ступінь дезактивації є нижчим, результати, отримані спеціалістами ДСП «Техноцентр», є дуже близькими за значенням, ефективність масоперенесення, оцінена за допомогою лазерного маспектрального аналізу, показала кращі результати на бетоні (до 90%), а на асфальті через локальне оплавлення та замурування тріщин і розколів ефективність масоперенесення нижча [5].

Технологічний процес дезактивації можна схематично показати за допомогою такої блок-схеми, показаної на рис. 1.

Головні висновки. Технологічний процес дезактивації інноваційним методом забезпечить мінімальний контакт персоналу із забрудненою поверхнею, зменшить час перебування людини у зоні впливу іонізуючого випромінювання та попередить надходження радіаційного забруднення у довкілля.

Однією зі значних переваг цієї розробки є мінімізація РАВ, зокрема рідких. Швидке та безпечне розміщення пакетів-збірників із РАВ у спеціальні контейнери для тимчасового зберігання та/або транспортування відходів.

Основними споживачами дезактивувальних засобів із застосування технічних пристроїв є підприємства, діяльність яких пов'язана з використанням та застосуванням хімічних та радіоактивних речовин, а також сумішей, зокрема підприємства ядерно-паливного циклу (до них належать підприємства урановидобувної та переробної промисловості, атомні електричні станції тощо), підприємства з радіаційно-ядерними технологіями, підприємства з поводження з радіоактивними відходами, медичні заклади (зокрема онкологічні інститути та клініки), радіаційно-хімічні, радіологічні та інші лабораторії, оздоровчі заклади тощо. А також підприємства з видобування нафти і газу, інших корисних копалин (дезактивація насосно-компресорних труб та іншого обладнання).

Література

1. Державні санітарні правила «Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України» (ОСПУ-2005), Затв. Наказом МОЗ України від 02.02.2005, № 54.
2. Гринько А.М., Зыков Г.А. Контроль содержания примесей в объектах окружающей среды методом лазерного микроанализа. Эргономика. Санкт-Петербург, 1992, 114 с.
3. Способ очистки загрязненного радионуклидами асфальта. Проспект. Мос. НПО «Радон», 1999 г.
4. Шефер Г. Химические транспортные реакции. Москва, Мир, 1964, С. 127.
5. Гринько О.М., Гецько П.І., Шидлик С.Д. Дезактивація поверхневих забруднень екзотермічною сумішшю // Матеріали науково-технічної конференції рятувальників «Проблеми поводження з радіоактивними відходами в Україні», Київ. 2008, С. 52–54.

ПОЛІПШЕННЯ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ ЛЕГКОВИХ АВТОМОБІЛІВ В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Славін В.В.¹, Никифорок В.М.², Гоферюк В.В.²

¹Чернівецький факультет
Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»
вул. Головна 203-а, 58000, м. Чернівці
slavinmail@ukr.net;

²Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича
вул. Коцюбинського 2, 58012, м. Чернівці
nijj1995@gmail.com, volodya.nikiforuk@gmail.com

У роботі проведено дорожні, стендові, розрахункові порівняльні дослідження паливо-економічних, екологічних, енергетичних показників роботи та тягово-швидкісних властивостей серійного легкового автомобіля зі штатною карбюраторною системою живлення та обладнаного електронною системою впорскування бензину зі зворотнім зв'язком і трикомпонентним каталітичним нейтралізатором в умовах експлуатації. *Ключові слова:* автомобіль, бензиновий двигун, карбюратор, система впорскування, паливна економічність, екологічні показники, математична модель, екологічні норми.

Улучшения показателей работы легковых автомобилей в условиях эксплуатации. Славин В.В., Никифорок В.М., Гоферюк В.В. В работе проведены дорожные, стендовые, расчетные сравнительные исследования топливно-экономических, экологических, энергетических показателей работы и тягово-скоростных свойств серийного легкового автомобиля со штатной карбюраторной системой питания и оборудованного электронной системой впрыска бензина с обратной связью и трехкомпонентным каталитическим нейтралізатором в условиях эксплуатации. *Ключевые слова:* автомобиль, бензиновый двигатель, карбюратор, система впрыска, топливная экономичность, экологические показатели.

The improve a value of automobile under service conditions. Slavin V., Nikiforuk V., Goferyuk V. The work carried out road, bench, calculated comparative studies of fuel-economic, environmental, energy performance and traction-speed properties of a mass-produced automobile with a standard carburetor power system and equipped with an electronic fuel injection system with feedback and a three-way catalytic converter. *Key words:* automobile, gasoline engine, carburetor, injection system, fuel efficiency, environmental performance.

Постановка проблеми. Нині процес автомобілізації носить глобальний характер як у світі, так і в Україні. Про ріст автомобілізації свідчить кількість автомобілів на 1 000 жителів, яка в Україні перебуває в межах 202 од. Цей показник із-поміж країн ЄС на тисячу жителів є вкрай низьким, більш-менш нормальним вважається рівень автомобілізації від 400 до 500 автомобілів на тисячу жителів [1].

Незважаючи на те, що рівень автомобілізації в Україні значно нижчий, ніж у Європі, забруднення навколишнього середовища транспортними засобами є доволі гострою проблемою. Криза 2008 року спричинила суттєвий спад продажів нових автомобілів в Україні, що призвело до старіння рухомого складу. На початок 2012 року 60% автомобілів, зареєстрованих в Україні, мали термін експлуатації понад 10 років, а 27% автомобілів – понад 15 років. Крім того, за останні десять років парк автомобілів в Україні зазнав значних якісних змін, унаслідок чого малолітражні екологічно привабливіші автомобілі було витіснено з ринку великогабаритними авто, які завдають більше шкідливих впливів на довкілля, насамперед через значні обсяги викидів шкідливих речовин в атмосферу [2].

Актуальність дослідження. Зростання автомобільного парку спричинює негативний вплив на навколишнє середовище, забруднюючи його шкідливими викидами відпрацьованих газів автомобілів.

Постановою Верховної Ради України за № 188/98-ВР «Про основні напрямки державної політики України у галузі охорони довкілля, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки» ще у 1998 році екологічну ситуацію в Україні було визнано кризовою [3].

Виконуючи своє призначення, автотранспорт, як правило, завдає також негативного впливу навколишньому середовищу, викидаючи в атмосферу велику кількість забруднювальних речовин. Як відомо, значна концентрація цих речовин спостерігається у місцях великого скупчення транспорту, що є властивим для великих промислових міст країни [4].

Шкідливі викиди автотранспорту в Україні щороку підвищуються й у багатьох містах вони складають 90–95% від загальної кількості викидів забруднювальних речовин в атмосферне повітря. Серед пересувних джерел викиди оцінюються так: автомобільний транспорт – 86,5%, літаки і залізничний транспорт – по 1,6%, морський – 2,8% [5].

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями. У Європі автотранспорт посідає друге місце у збільшенні викидів CO_2 , що призводить до парникового ефекту в навколишньому середовищі. Згідно з планами Європейської комісії, до 2012 року необхідно знизити викиди CO_2 новими автомобілями до 120 г/км пробігу, тобто майже на 20%. Вимоги будуть зростати й досягнуть норм викидів CO_2 у кількості 95 г/км до 2020 року [6].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Так, для поліпшення екологічних показників, паливної економічності та тягово-швидкісних властивостей легкових автомобілів зі значним пробігом у представлений роботі пропонується метод заміни застарілої системи живлення двигуна з іскровим запалюванням на електронну розподілену систему впорскування палива та зворотним зв'язком типу LH-Motronic. Рішенням завдання покращення експлуатаційних показників автомобілів в умовах експлуатації займаються такі вчені, як Ю.Ф. Гутаревич [4], А.В. Гунько, І.В. Манько [1] та ін.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. У роботі проводяться експериментальні дослідження використання системи впорскування зі зворотним зв'язком та системами нейтралізації шкідливих викидів у легкових автомобілях із карбюраторним двигуном в умовах експлуатації.

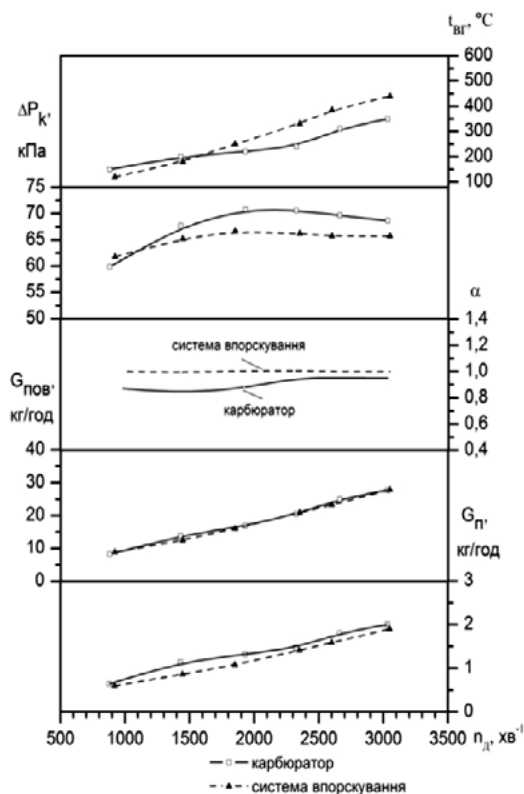
Новизна. Екологічні, паливо-економічні та енергетичні показники карбюраторного двигуна та легкового автомобіля, обладнаного електронною системою впорскування бензині та трикомпонентним каталітичним нейтралізатором відпрацьованих газів в умовах експлуатації.

Виклад основного матеріалу. Спочатку в лабораторії випробування двигунів визначалися порівняльні характеристики двигуна зі штатною системою живлення та системою впорскування в швидкісних режимах активного холостого ходу (рис. 1) [7].

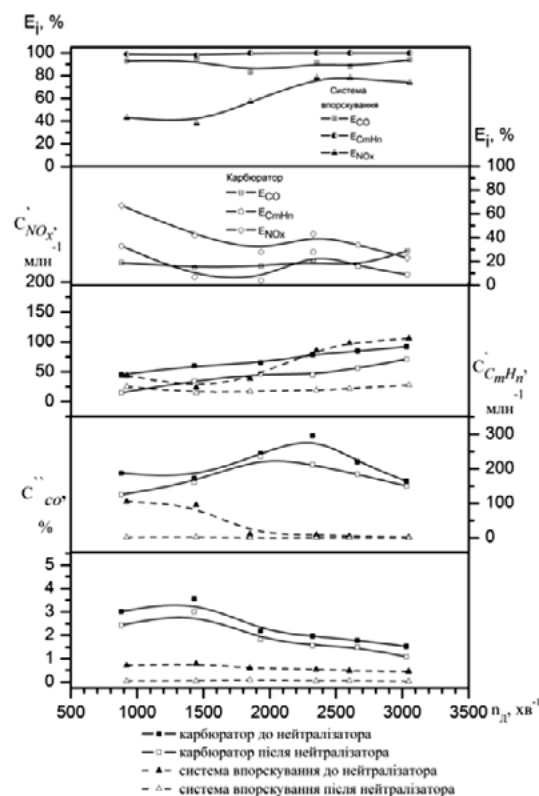
Як видно, система впорскування зменшує витрату палива на 11,1% (рис. 1 а). Характеристика з карбюраторною системою в режимах активного холостого ходу має збагачений склад паливно-повітряної суміші, що характеризується підвищеними концентраціями CO , C_mH_n у відпрацьованих газах під час відбору проб до трикомпонентного каталітичного нейтралізатора порівняно з цими показниками під час застосування системи впорскування. Концентрації NO_x в режимах холостого ходу не є значними і різниця для різних систем живлення близька до точності заміру цієї речовини.

Як видно з рис. 1 б, система впорскування забезпечує ефективну нейтралізацію CO , C_mH_n у межах 88–100% в усьому швидкісному режимі.

Ефективність нейтралізації NO_x за частот обертання 2350–3050 xv^{-1} перебуває в межах 73–78%, а за низьких частот ефективність нейтралізації NO_x



а) паливо-економічні показники



б) екологічні показники

Рис. 1. Характеристики активного холостого ходу двигуна 4Ч7,6/6,6 із різним типом системи живлення

знижується до 43,2%, що пояснюється зниженням температури відпрацьованих газів ($t_{в2}$). Ефективність нейтралізації зі штатною системою живлення за всіма складниками значно нижча, окрім нейтралізації NO_x за низьких частот обертання, що можна пояснити більш високою температурою ($t_{в2}$) перед нейтралізатором [8].

На рис. 2 показано навантажувальну характеристику двигуна за частоти обертання колінчастого валу двигуна 2 000 хв⁻¹.

Як видно з рисунка 2 а, система впорскування покращує паливну економічність двигуна. Зниження питомої витрати палива за навантажувальною характеристикою складає 5%. Підвищились енергетичні показники двигуна: за повного навантаження потужність двигуна із системою впорскування зросла на 6,6%.

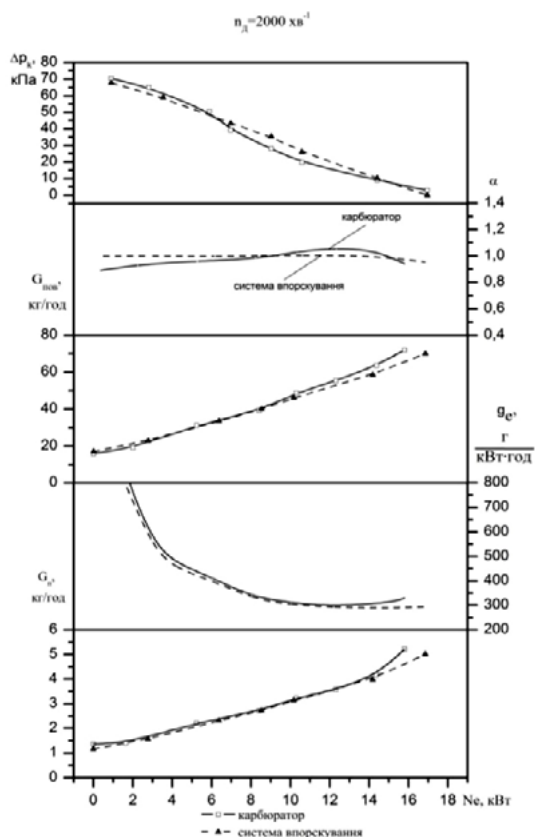
Як бачимо, екологічні показники двигуна покращуються із системою впорскування, про що свідчать низькі концентрації шкідливих речовин у відпрацьованих газах до і після трикомпонентного каталітичного нейтралізатора (рис. 2 б).

Двигун зі штатною карбюраторною системою в режимах малих навантажень і холостого ходу має підвищені концентрації продуктів неповного згоряння (CO , C_mH_n) порівняно із системою впорскування (рис. 2 б).

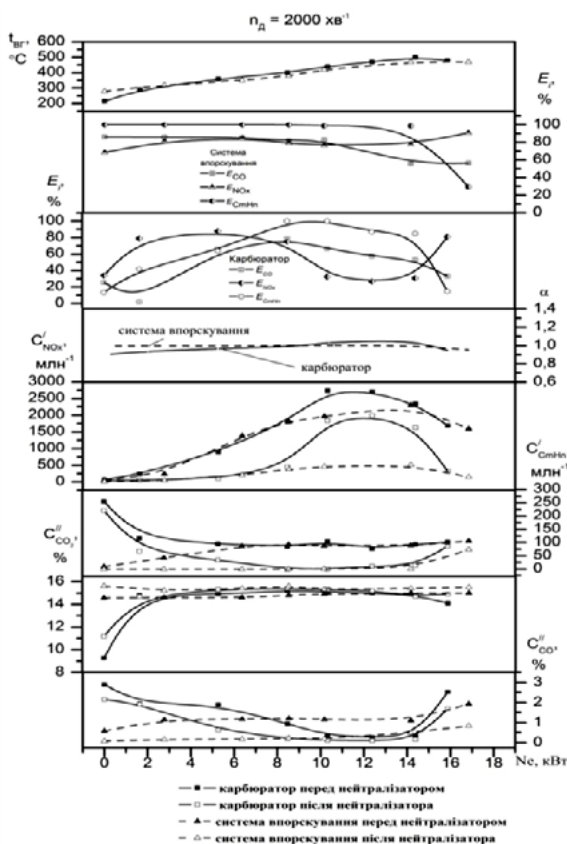
У діапазоні середніх навантажень і близьких до повного за карбюраторною системою концентрації NO_x також вищі. Це пояснюється збідненням складу суміші. Температура відпрацьованих газів ($t_{в2}$) вища в тих навантаженнях, де паливоповітряна суміш більш бідна з тією чи іншою системою. На ділянці найбільш ефективного згоряння ($\alpha = 1,03...1,05$), де концентрації CO і C_mH_n мінімальні, концентрація NO_x найбільша. Це пояснюється високими температурами процесу згоряння і достатньою кількістю кисню для протікання термічних реакцій утворення NO_x . На ділянці, де $\alpha=0,95-0,94$ концентрація NO_x трохи нижча, хоча температура згоряння максимальна. Це є наслідком недостатньої кількості кисню.

Отже, різна зміна складу суміші з тією чи іншою системою відобразатиметься на концентраціях i -ої шкідливої речовини на виході з трикомпонентного каталітичного нейтралізатора. Як видно з рис. 2 б, у режимах холостого ходу ефективність нейтралізації CO і C_mH_n перебуває в межах 86–100% для системи впорскування, а з карбюраторною системою – 13–25%.

У навантажувальних режимах до збагачення паливно-повітряної суміші нейтралізація шкідливої речовини CO і C_mH_n під час використання системи впорскування становить 79–100% із карбюраторною системою 45–78% відповідно. За повного наванта-



а) паливно-економічні показники



б) екологічні показники

Рис. 2. Навантажувальна характеристика двигуна 4Ч7,6/6,6 із різним типом системи живлення

ження відбувається збагачення $\alpha=0,95-0,94$, нейтралізація для обох систем знижується. Ефективність нейтралізації NO_x в усьому діапазоні навантажувальної характеристики підвищується від 69% до 91% із системою впорскування, що пояснюється зростанням температури відпрацьованих газів ($t_{вг}$). До того ж робота двигуна з карбюраторною системою забезпечує меншу ефективність нейтралізації NO_x (34–81%). Це пояснюється збагаченням складу суміші.

Після здійснення порівняльних досліджень двигуна зі штатною системою та системою впорскування тривали подальші дослідження автомобіля із системою впорскування і системою нейтралізації відпрацьованих газів на роликовому стенді AVL (рис. 3) [9].



Рис. 3. Автомобіль під час виконання їздового циклу

За результатами умовного руху автомобіля на бігових барабанах одержано значення витрати палива. Фрагмент отриманих результатів заміру витрати палива із системою впорскування показано на рис. 4.

Питомі масові викиди шкідливих речовин (г/км) під час виконання їздового циклу на роликовому стенді визначалися під час використання повно-поточної системи змішування відпрацьованих газів моделі CVS (Constant volume system) та газоаналітичної системи моделі MEXA7400DEGR фірми HORIBA.

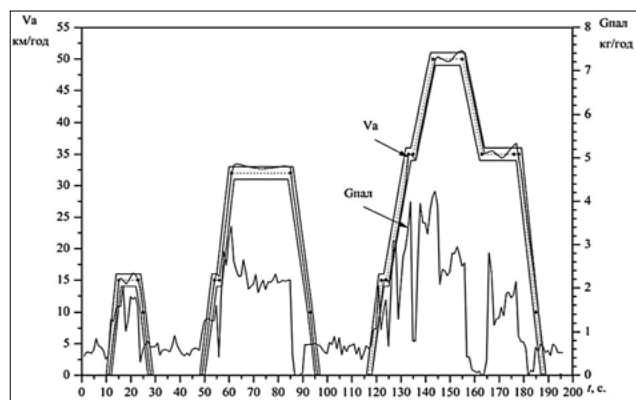


Рис. 4. Фрагмент руху автомобіля за їздовим циклом

Визначені питомі масові викиди шкідливих речовин за випробування наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Розраховані екологічні показники автомобіля з системою впорскування в русі Європейським їздовим циклом, г/км

Показники роботи автомобіля	Норми Євро-2, г/км	Система впорскування
G_{CO}	2,2	1,08
$G_{C_mH_n}$	$\Sigma_{C_mH_n+NO_x} =$	0,21
G_{NO_x}		0,17
G_{CO_2}	-	211,52
G_{xCO}	-	8,93

Із таблиці видно, що питомі масові викиди шкідливих речовин автомобіля із системою впорскування не перевищують допустимих нормованих значень i -ої речовини, які підтверджують відповідність його до екологічних норм рівня «Євро-2».

Випробування полягали у визначенні експлуатаційної витрати палива автомобіля. Під час дорожніх випробувань витрату палива заміряли об'ємним витратоміром палива [10].

Усталений рух автомобіля виконувався з інтервалом 20 км/год, при цьому початковою була швидкість руху 20 км/год, а кінцевою – 100 км/год, які є поширеними в умовах експлуатації, рис. 7.

Як видно з рис. 5, залежності питомих витрат палива в усталеному русі збігаються. Завдяки своїй робочій характеристиці технічно справній і відрегульованій згідно з рекомендаціями заводувиробника карбюратор за постійної швидкості споживає не більше бензину, ніж електронна система впорскування.

Відомо, що тип системи живлення впливає на потужність двигуна, що характеризує тягово-швидкісні властивості автомобіля. Для перевірки цього проведено порівняльні дослідження для визначення динаміки розгону автомобіля до швидкості 90 км/год із карбюратором і системою впорскування за проміжного положенні дросельної заслінки ($\varphi_{др}=70\%$),

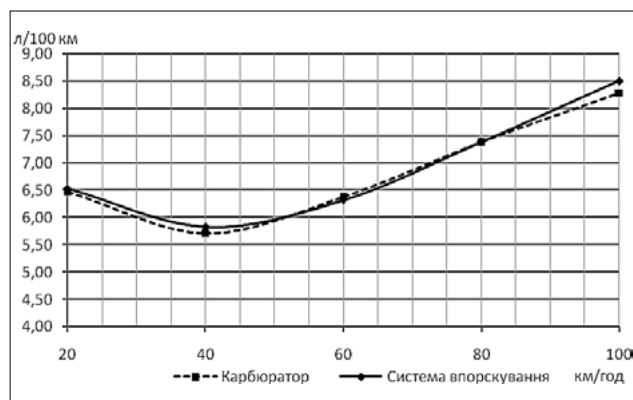


Рис. 5. Паливна характеристика автомобіля

Таблиця 2

Результати дослідження динаміки розгону автомобіля

№ п/п заїзду	Карбюратор		Система впорскування		Зміна показників, %	
	Середній час, с.	Середня витрата палива, см ³	Середній час, с.	Середня витрата палива, см ³	Час, с.	Витрата палива, см ³
1	24,09	68,3	22,93	63	4,81%	7,75%
2	24,50	73	23	60		
3	23,75	72	23,48	70		
4	24,08	64	22,61	60		
5	24,29	67	23,55	63		
6	23,54	67	22,58	60		
7	24,42	67	22,41	65		
Серед.	24,095	68,328	22,94	63		
σ_x	0,132	0,877	0,203	1,380		

яке широко використовується в умовах експлуатації. Результати дорожніх випробувань наведено в таблиці 2.

Як видно з цих даних, перехід до системи впорскування забезпечує зниження часу розгону на 4,81%, при цьому витрата палива за розгін знижується на 7,75%.

Головні висновки. Порівняльні дослідження бензинового двигуна на навантажувальному стенді з різними системами живлення показали, що робота із системою впорскування дозволяє зменшити витрату палива на 11,1%, у навантажувальній характеристиці в середньому на 5%, причому підвищилися енергетичні показники двигуна за повного навантаження, зокрема потужність зростає на 6,6%.

Експериментальні дані, одержані під час випробування на моделювальному роликівому стенді за режимами Європейського міського їздового циклу, свідчать про підвищення екологічного рівня двигуна автомобіля із системою впорскування та меншу

витрату палива за цикл під час порівняння зі штатною системою живлення двигуна.

Порівняльні випробування легкового автомобіля ВАЗ-21051 зі штатною системою живлення та системою впорскування бензину показали, що використання системи впорскування зменшує витрату палива в міських умовах на 7,3%. Під час руху автомобіля з постійною швидкістю витрата палива є однаковою для обох систем живлення. Динаміка розгону автомобіля покращується за роботи двигуна із системою впорскування бензину. Перехід до системи впорскування забезпечує зниження часу розгону на 4,81%, при цьому витрата палива за розгін знижується на 7,75%.

Після введення екологічних норм рівня «Євро-5» виникає проблема переведення автомобілів із пробігом для підтримки екологічних норм хоча б 3 та 4 рівня. Для цього необхідно використовувати інший блок та програму керування, введення в конструкцію двигуна системи автоматичної зміни фаз газорозподілу.

Література

1. Гунько А.В., Славін, І.В., Манько В.В. Шляхи зниження шкідливих викидів легковими автомобілями в умовах експлуатації. *«Вісник Національного транспортного університету»*. 2011. № 22. С. 118–126.
2. Олена Токмиленко. Фіскальні методи регулювання викидів CO₂ автотранспортом в Україні. *Національний екологічний центр України*. 2014. С. 20. URL: http://necu.org.ua/wp-content/uploads/Transport-UA_web_v2.pdf (дата звернення: 12.11.2018).
3. Редзюк А.М. Автомобільний транспорт України: стан, проблеми, перспективи розвитку. *Державний автотранспортний науково-дослідний і проектний ін-т*. 2005. С. 208.
4. Гутаревич Ю.Ф. Снижение вредных выбросов и расхода топлива двигателями автомобилей путем оптимизации эксплуатационных факторов: дис. ... доктора техн. наук: 05.22.10; 05.04.02. Киев, 1985. 533 с.
5. European Environment Agency. Towards a resource-efficient transport system TERM 2009: indicators tracking transport and environment in the European Union. 2010. 47 pp.
6. Славін В.В. Вплив типу системи живлення на показники паливної економічності автомобілів. *Проблеми транспорту*. 2012. № 9. С. 198–201.
7. Славін В.В. Вплив каталітичного нейтралізатора на токсичність двигуна з іскровим запалюванням. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія «Технічні науки»*. 2018. № 1 (257). С. 232–236.
8. Славін В.В., Манько І.В., Гунько А.В. Вплив типу системи живлення на екологічні показники автомобіля в умовах експлуатації. *Вісник технічного університету «ХП»*. Збірник наукових праць. Серія «Автомобіле- та тракторобудування». Харків: НТУ «ХП». 2015. № 9 (1118). С. 69–76.
9. Редзюк А.М., Устименко В.С., Клименко О.А. Уведення екологічних норм Євро-3 – Євро-6 в Україні, аналіз структури парку автомобілів за екологічними ознаками. *Автошляховик України*, 2011. № 4. С. 2–7.
10. J. Martin, T. Henrichs. European Environment Agency Environmental indicator report 2012. Ecosystem resilience and resource efficiency in a green economy in Europe 2012. EEA, Copenhagen. 2012. С. 156. URL: <http://www.eea.europa.eu/publications> (дата звернення: 12.11.2018).

РОЗРАХУНОК ШВИДКОСТІ ЕЛЕКТРОХІМІЧНОЇ КОРОЗІЇ ПІД ЧАС РОБОТИ ПОВЗДОВЖНІХ МАКРОГАЛЬВАНІЧНИХ ПАР НА ДІЛЯНЦІ НАФТОПРОВОДУ

Степова О.В.

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка
пр. Першотравневий 24, 36011, м. Полтава
alenastepovaja@gmail.com

Розглянуто фактори, що впливають на екологічну безпеку експлуатації нафтопроводів. Розв'язана задача розрахунку швидкості електрохімічної корозії трубопроводу під час роботи повздовжніх макрогальванічних пар на ділянці нафтопроводу. Перевагою даної моделі є можливість прогнозування розвитку корозії сталі за часом, що є важливим для визначення залишкового ресурсу трубопроводу. *Ключові слова:* сталевий нафтопровід, електрохімічна корозія, гальванічний елемент, модель корозії, швидкість корозії, екологічна безпека.

Расчет скорости электрохимической коррозии при работе продольных макрогальванических пар на участке нефтепровода. Степова Е.В. Рассмотрены факторы, влияющие на экологическую безопасность эксплуатации нефтепроводов. Решена задача расчета скорости электрохимической коррозии трубопровода при работе продольных макрогальванических пар на участке нефтепровода. Преимуществом данной модели является возможность прогнозирования развития коррозии стали по времени, что является важным при определении остаточного ресурса трубопровода. *Ключевые слова:* стальной нефтепровод, электрохимическая коррозия, гальванический элемент, модель коррозии, скорость коррозии, экологическая безопасность.

Calculation of the rate of electrochemical corrosion during the operation of longitudinal macro galvanic pairs in the pipeline section. Stepova O. The factors influencing ecological safety of exploitation of oil pipelines are considered. The problem of modeling the electrochemical corrosion of a pipeline with the work of longitudinal macrogalvanic pairs is solved. The advantage of this model is the ability to predict the development of steel corrosion over time, which is important in determining the residual life of the pipeline. *Key words:* steel oil pipeline, electrochemical corrosion, galvanic cell, corrosion model, corrosion rate, environmental safety.

Постановка проблеми. Серед основних екологічних проблем, пов'язаних із функціонуванням нафтогазової галузі, автори [1] виділяють транспортування нафти й газу та вирішення проблеми екологічної безпеки під час експлуатаційних робіт. Цей напрям ґрунтується на недопущенні екологічних аварій і катастроф, пов'язаних з експлуатацією трубопроводного транспорту. Аналіз причин ушкоджень нафтопроводів указує на те, що переважною причиною виходу їх з ладу є процес корозії сталеві труби внаслідок вільного доступу активуючих електродитів – технологічних розчинів солей, кислот, лугів та ін. Такі конструкції потребують особливої уваги та періодичного моніторингу корозійного стану їх зовнішньої поверхні. Окремі методи оцінки корозійного стану нафтопроводів побудовані на врахуванні процесів корозії сталі, які представлені емпіричними формулами, не пов'язуються з наявністю пошкоджень в ізоляційних покриттях, наявних електродитів тощо. Коректні ж оцінки корозійного стану нафтопроводів можливо отримати тільки на базі вивчення самого процесу корозії в даних умовах та його впливу на опір конструкції.

Актуальність дослідження. Перші збудовані нафтопроводи працюють більше 48 років [2; 3],

середній термін їх експлуатації становить понад 35 років. Термін експлуатації системи сталевих нафтопроводів України у багатьох випадках наближається до планового. Виявлені численні корозійні пошкодження зовнішніх і внутрішніх поверхонь труб загострюють проблему подальшої надійної та екологічно безпечної експлуатації. Зі збільшенням термінів їх експлуатації все актуальнішою стає проблема ефективної та безперервної роботи трубопроводного транспорту, яка забезпечується організацією періодичної технічної діагностики стану елементів трубопроводів та ремонту в місцях виявлених недопустимих дефектів.

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями. Тема відповідає актуальним напрямкам науково-технічної політики України в галузі дослідження технічного стану будівель і споруд, що експлуатуються, які висвітлені в Постанові Кабінету Міністрів України № 409 від 5 травня 1997 р. «Про забезпечення надійності і безпечної експлуатації будівель, споруд та інженерних мереж» та в Рішенні Міжвідомчої комісії з питань науково-технологічної безпеки при Раді національної безпеки та оборони України від 14 лютого 2002 р. «Про технічний стан і залишковий ресурс

конструкцій та споруд основних галузей господарства України». Дослідження виконані в межах держбюджетної науково-дослідної роботи Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка: «Ефективні конструктивно-технологічні рішення об'єктів транспортування та зберігання нафти і нафтопродуктів у складних інженерно-геологічних умовах».

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Питанням безпечної експлуатації нафтопроводів та їх екологічної безпеки присвячено праці багатьох учених. Аспекти електрохімічної корозії та особливості ґрунтової корозії, корозійні умови в різних регіонах України досліджено такими вченими, як В.В. Рогозник, Ю.П. Гужов, Ю.О. Кузьменко [4]. Моделюванню залежностей корозії металу від факторів навколишнього середовища та прогнозуванню довговічності трубопроводів в умовах корозійних впливів велику увагу приділено в наших роботах [5–8]. Однією з перших моделей, які описують руйнування металу під впливом навколишнього агресивного середовища, є закони Фарадея. Існують й інші математичні моделі руйнування металу трубопроводів під дією оточуючого середовища інших авторів і вчених, але всі вони є в чомусь подібними і схожими. Це виявляється в тому, що в залежності моделей входять багато різних поправкових коефіцієнтів, які є справедливими лише для трубопроводів, котрі не зазнають локального агресивного впливу. Тож, наведені моделі не дають змогу з достатньою точністю описати процеси електрохімічної корозії нафтопроводів.

Чисельні дослідження щодо поведінки сталі за електрохімічної корозії були проведені закордонними вченими [9; 10], але під час досліджень не враховано вплив локальних корозійних пошкоджень та умов експлуатації конструкцій.

Незважаючи на те, що цій проблемі присвячені численні дослідження вітчизняних і закордонних авторів, у цей час вона ще повністю не вирішена, й багато питань залишаються відкритими. Часті розриви трубопроводів вимагають пошуку нових технічних рішень, спрямованих на забезпечення їхньої безпечної експлуатації, підвищення довговічності й стабільності функціонування. Тому проблема оцінки корозійного зносу труби, забезпечення безпечної експлуатації й підвищення довговічності трубопроводів, безсумнівно, залишається актуальною й своєчасною.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. У процесі проектування та експлуатації нафтопроводів недостатньо враховується їхній вплив на довкілля й оцінюється екологічна безпека експлуатації нафтопроводів. Аналіз причин відмов трубопроводів показує, що більше 60% усіх відмов відбулися з причин корозії металу труб.

Метою роботи є розроблення залежностей для розрахунку універсальної характеристики електрохі-

мічної корозії (електрохімічного струму) підземного сталевих нафтопроводу під час роботи повздовжніх макрогальванічних пар.

Методологічне або загальнонаукове значення. Результати даної наукової роботи в комплексі з іншими дослідженнями дадуть змогу визначити потенційні корозійно-небезпечні ділянки місцевості для підземних сталевих трубопроводів, дозволять попередити виникнення аварійних ситуацій та негативних впливів на довкілля шляхом вчасного вжиття необхідних заходів.

Виклад основного матеріалу. Л.Я. Цикерманом [11] розглянуто вплив макрогальванічних елементів, які утворюються між віддаленими на значну відстань анодами та катодами на швидкість корозії трубопроводу. Встановлено, що збільшення відстані між катодом та анодом інтенсифікує корозійний елемент за рахунок збільшення катодної площі на один анод.

Протяжність макрогальванічних пар на трубопроводних елементах може бути різною. Вона залежить від навколишніх умов, омичного опору ґрунту та ін. У процесі зволоження ґрунту значно полегшується анодний процес і зменшується омичний опір системи. Підсихання ґрунту впливає на омичний опір ґрунту та анодну поляризованість сталі. Тому в процесі зволоження та підсихання струм макрогальванопари змінюється.

Усереднене значення матеріальних втрат на аноді може бути розраховано за відомою залежністю:

$$M = \frac{1}{F} \cdot \frac{A}{n} \cdot I \cdot t, \quad (1)$$

де M – маса металу, що виділилася; A – атомна вага металу; n – валентність металу; I – сила струму; t – час протікання струму.

Доведено, що середньодобова сила струму збільшується з ростом частоти зволоження і практично співпадає з глибиною ураження трубопроводу.

Якщо середню глибину ураження на трубопроводі позначити через δ , а довжину ураженої ділянки через l , то кількість розчиненого металу можна визначити за формулою: $M = \pi d \delta \cdot l \rho$

або

$$\frac{1}{F} \cdot \frac{A}{n} \cdot I \cdot t = \pi d \delta \cdot l \rho, \quad (2)$$

де d – діаметр трубопроводу; ρ – щільність металу.

Звідси

$$\delta = \frac{A \cdot I t}{F n \cdot \pi d \cdot l \rho}, \quad (3)$$

Внаслідок різноманітних умов, у яких експлуатуються трубопроводи, виникають труднощі врахування врівноважуючих струмів під час роботи макрогальванічних пар у разі корозійних процесів на трубопроводах. Тому для розрахунку можна приймати тільки чисельні наближені методи, наприклад, викладені у [Metcalf G. I. – Journal of the Institute of Metals, 1953, v. 81. pt. 6, p. 269–278], під час розрахунку макрогальванічних елементів на підземних трубопроводах.

Розіб'ємо умовно нафтопровід по довжині на m ділянок, у межах яких прийемо постійні параметри, що визначають кінетику корозійних процесів. Кожному відрізьку нафтопроводу відповідає своя швидкість корозії та потенціал корозії, своя поляризаційна діаграма. Між цими ділянками виникають урівноважуючі струми, які замикаються по оточуючому нафтопроводу ґрунту. Струм I_i , який припадає на відрізок трубопроводу з i -м номером, можна розглядати як зовнішній поляризуючий струм, що змінює швидкість корозії трубопроводу.

Потенціал U_i відрізьку з номером i визначається як різниця електричного потенціалу між металом трубопроводу та нескінченно віддаленою точкою

$$U_i = \varphi_{ci} + \Delta\varphi_i + I(R_{pi} + \tau_{ii}) + \sum_{k=1}^{i-1} (\tau_{ki} + \eta_{ki}) \cdot I_k + \sum_{k=i+1}^m (\tau_{ki} + \eta_{ki}) \cdot I, \quad (4)$$

де m – число ділянок; I_i, I_k – струми, припадаючі на i -у та k -у ділянку; φ_{ci} – потенціал корозії відрізьку з номером i ; $\Delta\varphi_i = \frac{I_i R_{ni}}{S}$ – зміна потенціалу корозії

під дією поляризуючого струму; R_{ni} – питома поляризуємість металу, яка залежить від поляризуючого струму j_i ; R_{pi} – опір розтіканню струму; η_{ki}, τ_{ki} – функції впливу, чисельно рівні потенціалу, який виникає на відрізьку з номером i під дією одиничного струму, відповідно стікаючого з відрізьку k та його дзеркального відображення відносно поверхні трубопроводу.

Оскільки струм I_i гальванічного походження, то можна записати ще одне рівняння:

$$\sum_{i=1}^m I_i = 0, \quad (5)$$

Враховуючи, що питомий електричний опір трубопроводу значно менший від оточуючого ґрунту, можна також записати, що

$$U_i = U = const. \quad (6)$$

Рівняння (4) та (5) утворюють систему з $2m$ нелінійних алгебраїчних рівнянь відносно невідомих U_i та I_i . Вона може бути зведена до системи з $(m+1)$ -го рівняння відносно U та I :

$$U = \varphi_{ci} + I_i \left(R_{pi} + \tau_{ii} + \frac{R_{ni}}{S_i} \right) + \sum_{k=1}^{i-1} (\tau_{ki} + \eta_{ki}) I_k + \sum_{k=i+1}^m (\tau_{ki} + \eta_{ki}) I, \quad (7)$$

Нелінійність системи зумовлена нелінійністю залежності питомої поляризуємість R_{ni} від щільності поляризуючого струму j_i . Однак для кожного i -го відрізьку R_{ni} можуть бути обраховані й табульовані.

Рішення системи (7) може бути здійснене звичайним чисельним методом. Уже із задовільною точністю результати можуть бути отримані в разі застосування наступного простого ітераційного методу.

З фізичного змісту задачі виходить, що завжди

$$I_i \left(R_{pi} + \tau_{ii} + \frac{R_{ni}}{S_i} \right) > \sum_{k=1}^{i-1} (\tau_{ki} + \eta_{ki}) I_k + \sum_{k=i+1}^m (\tau_{ki} + \eta_{ki}) I_k.$$

Тому перше наближення значень струмів I_i знаходимо рішенням системи

$$\begin{cases} U = \varphi_{ci} + I_i \left(R_{pi} + \tau_{ii} + \frac{R_{ni}^0}{S} \right); \\ \sum_{i=1}^m I_i = 0. \end{cases}$$

Тоді

$$I_i = \frac{S_i}{S_i (R_{pi} + \tau_{ii}) + R_{ni}^0} \cdot \frac{\varphi_{ci} \cdot S_i}{\sum_{i=1}^m S_i (R_{pi} + \tau_{ii}) + R_{ni}^0} \cdot \frac{R_{ni}^0}{\sum_{i=1}^m \frac{S_i}{S_i (R_{pi} + \tau_{ii}) + R_{ni}^0}}, \quad (8)$$

де R_{ni}^0 – значення питомих поляризуємість за відсутності струму.

Тоді швидкість електрохімічної корозії різних ділянок трубопроводу можна записати формулою:

$$i_{kop} = \frac{1,91 \cdot 10^{-4} \cdot C_n D (a^2 - 1)}{R(1 - a^2 - 2a \cdot \cos \Theta) \cdot \ln a} + \frac{I_i}{S_i}. \quad (9)$$

Перспективи використання результатів дослідження. Перевагою отриманої залежності є можливість оцінки корозійного стану ділянки нафтопроводу під час роботи повздовжніх макрогальванічних пар, передбачення та прогнозування розвитку корозійних процесів на поверхні металу нафтопроводу.

Досліджуючи динаміку втрати товщини стінки трубопроводу, на ділянці планується розробити методіку оцінки залишкового ресурсу ділянок трубопроводу за несучою здатністю та придатністю до подальшої експлуатації. Оцінка втрат товщини стінок трубопроводу дає можливість раціонально спланувати ремонтні роботи, прогнозувати реальні строки роботи конструкції, переглянути режим експлуатації.

Література

1. Побережний Л.Я. та ін. Підвищення рівня екологічної безпеки трубопровідних мереж нафтогазового комплексу України. *Науково-технічний журнал «Техногенно-екологічна безпека»*. 2017. № 1. С. 24–31.
2. Поляков С. та ін. Електрохімічний моніторинг магістральних трубопроводів на корозійно-небезпечних ділянках. *Фізико-хімічна механіка матеріалів*. 2008. Спец. вип. № 7. Т. 2. С. 761–766.
3. Ждек А.Я., Грудз В.Я. Визначення залишкового ресурсу тривало експлуатованих нафтопроводів із врахуванням наявних корозійних дефектів та умов експлуатації. *Науковий вісник: ІФНТУНГ*. 2012. № 2 (32) С. 58–66. URL: <http://nv.nung.edu.ua/sites/nv.nung.edu.ua/files/journals/032/12zaydue.pdf>.

4. Рогознюк В.В. та ін. Технічна експлуатація систем захисту від підземної корозії магістральних нафтопроводів. Київ : Техдіагаз, 2000. С. 3–5.
5. Степова О.В. Врахування корозійних процесів сталевих нафтопроводів з метою підвищення екологічної безпеки. *Екологічні науки: науково-практичний журнал* ; головний редактор О.І. Бондар. Київ : ДЕА, 2018. № 1 (20). Т. 2. С. 15–21.
6. Stepova O., Parashchiienko I., Lartseva I. Calculation of steel pipeline corrosion depth at the work of galvanic corrosion element operating. *International Journal of Engineering & Technology*. 2018. Vol. 7. № 3.2. P. 431–435. Міжнародна наукометрична база Scopus. DOI: 10.14419 / ijet.v7i3.2.14566. URL: <http://www.sciencepubco.com/index.php/ijet/article/view/14566/5916>.
7. Stepova O., Parashchiienko I. 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*. 2017. Vol 2. № 1 (86). P. 15–20. URL: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/96425>.
8. Побережний Л.Я. Закономірності корозійно-механічної деградації трубопроводів у складних умовах експлуатації : автореф. дис. ... докт. техн. наук. Івано-Франківськ : Івано-Франківський націон. техн. ун-т нафти і газу. 2008. 34 с.
9. Xue H.B., Cheng Y.F. Electrochemical corrosion behavior of X80 pipeline steel in a near-neutral pH solution. *Materials and corrosion*. 2010. Vol. 61. Issue 9. P. 756–761.
10. Yang Yan, Wang Shuli, Chuang Wen. Experimental Study on Alternating Current Corrosion of Pipeline Steel in Alkaline Environment. *International Journal of Electrochemical science: Int. J. Electrochem. Sci*. 2016. Vol 11. P. 7150–7162.
11. Цикерман Л.Я. Диагностика коррозии трубопроводов с применением ЭВМ. Москва, Недра. 1977. 103 с.

ХАРАКТЕРИСТИКА СТИЧНИХ ВОД ТЕХНОЛОГІЧНИХ УСТАНОВОК ВТОРИННОГО ПЕРЕРОБЛЕННЯ НАФТИ

Вдовенко С.В.¹, Вдовенко А.В.²

¹ТОВ «Укргазпромбуд»
вул. Арсенальна, 20, 04116, м. Київ
vdovenko1@gmail.com

²Національний університет біоресурсів і природокористування України
вул. Генерала Родінцева, 19, 03041, м. Київ
vav08@ukr.net

У статті наведено розгорнуту характеристику стічних вод, що утворюються на різних технологічних установках вторинного перероблення нафти (установці каталітичного крекінгу, установці гідроочищення дизельного палива, установці каталітичного риформінгу, бітумній установці, установці сповільненого коксування, установці очищення гасу, установці селективного очищення оливи, установці депарафінізації оливи, установці гідроочищення оливи, установці поліпропілену), що входять до складу технологічних схем отримання кінцевих нафтопродуктів на нафтопереробних заводах України. Виконано оцінювання відповідності якісних характеристик стоків вимогам технологічних регламентів і чинних нормативних документів, що регулюють водовідведення нафтопереробних заводів. Розроблено рекомендації щодо раціонального очищення та повторного використання стоків для підвищення рівня екологічної та економічної безпеки нафтопереробних заводів. *Ключові слова:* промислові стічні води, хімічний аналіз, нафтопереробний завод, екологічна безпека.

Характеристика сточных вод технологических установок вторичной переработки нефти. Вдовенко С.В., Вдовенко А.В. В статье приведена развернутая характеристика сточных вод, образующихся на различных технологических установках вторичной переработки нефти (установке каталитического крекинга, установке гидроочистки дизельного топлива, установке каталитического риформинга, битумной установке, установке замедленного коксования, установке очистки керосина, установке селективной очистки масла, установке депарафинизации масла, установке полипропилена, установке гидроочистки масла), входящих в состав технологических схем получения конечных нефтепродуктов на нефтеперерабатывающих заводах Украины. Произведена оценка соответствия качественных характеристик стоков требованиям технологических регламентов и действующих нормативных документов, регулирующих водоотведение нефтеперерабатывающих заводов. Разработаны рекомендации по рациональной очистке и повторному использованию стоков для повышения уровня экологической и экономической безопасности нефтеперерабатывающих заводов. *Ключевые слова:* промышленные сточные воды, химический анализ, нефтеперерабатывающий завод, экологическая безопасность.

Waste water characteristics of downstream oil processing units. Vdovenko S., Vdovenko A. The article presents the expanded description of wastewater generated at various downstream oil processing units (catalytic cracking unit, diesel hydrotreatment unit, catalytic reforming unit, bitumen unit, deley coking unit, kerosene treatment unit, selective oil treatment unit, oil dewaxification unit, oil hydrotreatment unit, polypropylene unit), which are part of the process schemes of obtaining final petroleum products at the refineries of Ukraine. The assessment of the compliance of the quality characteristics of the wastewater with the requirements of the technological regulations and the current normative documents regulating the drainage of oil refineries is carried out. Recommendations for rational cleaning and reuse of wastewater for improving the ecological and economic safety of oil refineries have been developed. *Key words:* industrial waste water, chemical analysis, oil refinery, environmental safety.

Постановка проблеми. Нафтопереробна галузь України є значним споживачем води, що постачається із природних джерел, і, відповідно, значним джерелом скидів стічних вод до водоймищ. Наприклад, питоме водоспоживання та водовідведення до водоймища на АТ «Укртатнафта» становить 0,14 м³ та 0,12 м³ відповідно на тонну переробленої нафти [1]. Загалом, у нафтопереробній галузі, включно з тимчасово законсервованими нафтопереробними заводами (далі – НПЗ), середній питомий показник водоспоживання становить 0,3 м³/т (або 0,63 м³/т із урахуванням споживання води ТЕЦ і котельними), а водовідведення на очисні споруди становить 0,32

м³/т (або 0,28 м³/т скиди безпосередньо до водоймищ) [1–5]. Тому проблема раціоналізації водного господарства НПЗ має дуже актуальне значення як із погляду його економічної ефективності, так і в соціально-економічному плані.

Проте перед тим, як перейти до розроблення будь-яких заходів із раціонального використання водних ресурсів та очищенню стічних вод НПЗ, необхідно мати чітке уявлення про їхню загальну кількість, про характер їхнього скиду та постійність їхнього складу, про кількість забруднювальних речовин, що відводяться від технологічного устаткування. Така характеристика може бути отримана лише внаслідок

Таблиця 1

Характеристика основних видів стічних вод типового НПЗ

Вид стічних вод	Вміст, мг/дм ³						ХСК	рН
	Феноли	Завислі	Нафтопродукти	Сульфіди	Солі	БСК _{повн}		
Нафтовмісні нейтральні	–	100–300	1000–8000	–	700–1500	150–300	300–500	7,2–7,5
Солевмісні (стоки ЕЛЗУ)	10–20	300–800	1000–10000	30000–40000	30000–40000	800–1500	2000–5000	7,2–8,0
Сірчисто–лужні	6000–12000	300	8000–14000	30000–50000	–	65000–95000	10000–150000	13–14
Кислі	–	–	2500	–	–	–	–	2–4
Сульфідвмісні	4–5	300–400	10000–15000	300–500	–	2500–3500	–	5–6

док обстеження водного господарства підприємства безпосередньо на місці протягом досить тривалого періоду і дасть змогу відповісти на основне питання – чи склад і кількість стічних вод зумовлені фактичними потребами чи вони зумовлені випадковими причинами (неконтрольованими, несанкціонованими або аварійними скидами тощо). Виконавши таке обстеження, можна накреслити шляхи активного впливу на кількість стічних вод і забруднювальних речовин із метою їх зниження до фактично неминучого рівня, що є основою для проектування нових або технічного переоснащення наявних очисних каналізаційних споруд і системи каналізації НПЗ [6].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Безпосередні вимоги та рекомендації з базових показників вмісту забруднювальних речовин у промислових стічних водах основних технологічних процесів перероблення нафти та нафтопродуктів наведено у нормативних і керівних документах України [7; 8]. Нормативну базу РФ, що регламентує розроблення проектів виробничого водопостачання та каналізації НПЗ, переглянуто в бік встановлення більш жорстких нормативних вимог до якості стічних вод, базуючись на останніх досягненнях науки і техніки, передової технології, прогресивного обладнання, ощадного використання сировинних і енергетичних ресурсів [9].

Характеристику основних видів стічних вод типового НПЗ паливно-нафтохімічного профілю наведено в таблиці 1 [10–12].

Локальне очищення передбачається для технологічних стоків, відведення яких на загальнозаводській системі каналізації може призвести до перевищення допустимих для загальнозаводських очисних споруд концентрацій окремих інгредієнтів або до їхнього забруднення специфічними речовинами, що ускладнюють очищення сумарного потоку [7; 9; 13].

Стоки виробничої каналізації технологічних установок вторинного перероблення нафти відводять на очисні споруди здебільшого по самопливним мережам. На деяких НПЗ система каналізації працює у режимі загального скиду стічних вод, що значно погіршує їхнє ефективне очищення [14] та зумовлює непродуктивну витрату реагентів і енергоносіїв на очисних спорудах.

Властивості стічних вод технологічних установок, що зумовлюють необхідність застосування тих чи інших заходів з їх очищення, характеризуються насамперед даними їхнього аналізу. Тому аналітичний контроль стічних вод є одним із найбільш відповідальних етапів відповідних обстежень задля вдосконалення структури водоспоживання та водовідведення НПЗ.

Метою дослідження є пошук рішень із раціонального використання водних потоків, базуючись на даних комплексного аналітичного та виробничого контролю технологічних процесів вторинного пере-

роблення нафти і моніторингу режиму роботи технологічного устаткування. Керуючись отриманими даними, встановити відповідність якості стічних вод вимогам внутрішньозаводських стандартів і нормативних документів, а також виявити потенціал НПЗ щодо зменшення норм водоспоживання та водовідведення для технологічних процесів вторинного перероблення нафти.

Виклад основного матеріалу. Характеристика стічних вод установок вторинного перероблення нафти. Під час вторинних процесів перероблення нафти відбувається зміна хімічного складу сировини. При цьому утворюються антропогенні органічні та неорганічні сполуки, що мають вплив на забруднення стічних вод [15].

Технологічні конденсати, що утворюються під час конденсації водяної пари в технологічних процесах каталітичного крекінгу, каталітичного риформінгу, сповільненого коксування, містять у високих концентраціях феноли, амонійний азот, сульфід та цианіди – високотоксичні речовини для бактеріальної флори секцій біохімічного очищення стоків і природних водоймищ. Дані забруднювальні речовини утворюються у реакторах здебільшого під час перебігу термодеструктивних процесів розкладання гетероатомних сполук, що входять до складу нафтопродуктів. У зв'язку з тим, що НПЗ переробляє сиру

нафту з вмістом сірки до 0,33% мас., технологічні конденсати зазначених установок характеризуються нижчим вмістом сульфідів порівняно із середнім показником у нафтопереробній галузі для НПЗ, що переробляють сірчисту західно-сибірську нафту. Окрім якості сирової нафти, на склад і якість технологічних конденсатів впливають тип застосованих реагентів та інгібіторів корозії.

Централізоване очищення технологічних конденсатів здійснюється у відпарних колонах установок каталітичного крекінгу та гідроочищення дизельного палива з виділенням зверху колон кислих газів, що спрямовуються на факел, та очищеної води знизу колон, що охолоджується та відводиться на загальнозаводські очисні споруди в кількості 40–50 м³/год. Характеристики технологічних конденсатів різних установок перероблення нафти та нафтопродуктів наведено в таблиці 2. Із цих аналізів видно, що очищені конденсати доцільно використовувати у процесах підготовки нафти і на установках гідроочищення для промивання реакційних газів. Очищений конденсат із підвищеним вмістом фенолу доцільно використовувати для промивання нафти в електродегідраторах, оскільки в сировинну нафту дозують 2% розчин лугу, а за рН 6–7 відбувається екстракція з води до 85 % фенолів, що позитивно впливає на роботу секції біохімічного

Таблиця 2

Характеристика технологічних конденсатів установок вторинного перероблення нафти

Показник	Кат. крекінг (конденсат)	Кат. крекінг (відпарені стоки)	Гідроочищення дизпалива (конденсат)	Гідроочищення дизпалива (відпарені стоки)
Температура, °	38–45	36–60,5	38,9–45,1	47,2–53,5
	Не нормується	40*	Не нормується	40*
	Не нормується	40**	Не нормується	40**
Водневий показник, рН	8,15–9,36	7,8–9,84	7,9–9,2	8,8–9,92
	Не нормується	7–8,5*	Не нормується	7–8,5*
	Не нормується	7–8,5**	Не нормується	7–8,5**
Нафтопродукти, мг/дм ³	12,4–16,1	2,8–5,6	0,1–1,9	0,05–1,8
Завислі частинки, мг/дм ³	Відсутність	Відсутність	Відсутність	Відсутність
Сухий залишок, мг/дм ³	96–107	72–104	145–189	85–101,5
Хлориди, мг/дм ³	31,5–48,4	27,4–54,4	47,3–84,2	22,2–38,9
Сульфати, мг/дм ³	28,8–42,5	9,6–27,8	65,2–78,4	41,8–52,4
Азот амонійний, мг/дм ³	26,4–133	0,33–6,4	0,9–2,9	0,3–0,8
	до 900*	30*	до 450*	50*
Сульфідиди, мг/дм ³	363–560	0,42–6,4	8,4–19,7	0,12–3,1
	до 1400*	10*	до 100*	10*
Феноли, мг/дм ³	264–538	28,2–32,2	98,1–158,9	0,42–2,9
	до 275*	50*	до 200*	50*
БСК ₅ , мг О ₂ / дм ³	405–880	280–420	310–540	78–150
ХСК, мг О ₂ / дм ³	2350–2980	1270–2160	1210–1510	270–350
АСПАР, мг/дм ³	0,11–0,31	0,09–0,12	0,034–0,058	0,017–0,032
Цианіди, мг/дм ³	12,4–19,8	0,49–0,52	2,87–5,12	0,18–0,29
Іони заліза Fe ³⁺ , мг/дм ³	0,18–1,25	0,09–0,15	0,07–0,14	0,05–0,31

* – внутрішньозаводські норми; ** – рекомендації нормативних документів ВУПІ–97, ПБ–09–563–03.

очищення стоків другої системи каналізації загальнозаводських очисних споруд.

Технологічний конденсат рефлюксної місткості стабілізаційної колони доцільно використовувати як агент-турбулізатор, що подається у змішувачі технологічної печі установки в кількості 4–6 м³/год для запобігання коксоутворення і прогару труб печі. Поповнення резервуару-відстійника освітленої води раціонально здійснювати балансовою кількістю відпарених технологічних конденсатів або умовно чистими стічними водами установки поліпропілену. Конденсат, що утворюється в коксовій камері, характеризується високим вмістом нафтопродуктів і високою температурою. Проте місткості для відстоювання та теплообмінники для охолодження конденсату працюють незадовільно, що слугує причиною потрапляння до каналізації некондиційних стоків. Вирішити цю проблему можна шляхом заміни чи ремонту відповідних апаратів або спрямувавши стоки до загальнозаводських розділочних резервуарів обводнених нафтопродуктів.

На установках каталітичного риформінгу та гідроочищення дизельних палив замаслені продувочні і дренажні стічні води спрямовуються на сепаратори СРІ, оснащені лабіринтними перетинками для переміщення і збирання нафтопродуктів у місткості задля їхнього повторного перероблення, а попередньо очищена стічна вода відводиться із сепаратора на очисні споруди. Технологічні конденсати із сировинних місткостей і сепараторів гідрогенізатора спрямовуються до відпарних ректифікаційних колон для очищення здебільшого від аміаку та сірководню, а далі – на очисні споруди НПЗ. У разі порушення температурного режиму у відпарних колонах конденсат очищується незадовільно, що зумовлює підвищення концентрацій антропогенних забруднювальних речовин (азот амонійний, сульфід, феноли) вище проектних значень у стоках на вході в очисні споруди.

Природа утворення конденсату в бітумному виробництві інша. Сучасна технологія отримання нафтових бітумів полягає в окисненні нафтових залишків киснем повітря без каталізатора. При цьому основна частина кисню 65–80% витрачається на утворення води, а решта іде на утворення вуглекислого газу та органічних сполук, що містять у своєму складі кисень. Для запобігання утворенню пожежо-, вибухонебезпечних середовищ до верхньої частини окиснювальної колони подається водяна пара. За необхідності у парову фазу у розпиленому виді подається вода для зйому тепла реакції окиснення для підтримання стабільної температури процесу. Гази та пари з окиснювальної колони через холодильник надходять до сепаратора, з якого несконденсовані гази окиснення виводяться на спалювання до печі, а відгон до дренажної місткості,

з якої нафтопродукт після відстоювання відводиться на повторне перероблення, а конденсат водяної пари спрямовується до каналізації. Товарний бітум охолоджується в кінцевих погрузних холодильниках, гаряча вода з яких спрямовується безпосередньо до промканалізації у значних обсягах. Для запобігання цьому рекомендується перевести установку на обігове водопостачання, що дасть змогу скоротити скиди на очисні споруди до 20 м³/год. Вода від пропарювання та промивання насосів надходить до промканалізації у незначній кількості.

Стічні води установки виробництва поліпропілену характеризуються низьким вмістом органічних і неорганічних домішок, тому можуть використовуватися для підживлення резервуару-відстійника установки УЗК, блоків обігового водопостачання тощо. Характеристики стічних вод технологічних установок вторинного перероблення нафти наведено в таблиці 3.

Хімічний аналіз стічних вод виконано на базі санітарної лабораторії досліджуваного НПЗ за стандартизованими методиками [16].

Головні висновки. Комплексний аналітичний і виробничий контроль технологічних процесів вторинного перероблення нафти й моніторинг режиму роботи технологічного устаткування упродовж шести місяців виявив резерви виробництва зі скорочення скидів стічних вод на очисні споруди до 40–50 м³/год тільки завдяки використанню відпарених технологічних конденсатів і стоків установки поліпропілену для внутрішніх потреб НПЗ. Це дає змогу скоротити споживання прісної води, зменшити гідравлічне навантаження на очисні споруди на 10–15 %, заощадити енергетичні ресурси і реагенти, а також зменшити загальну концентрацію фенолу у стічних водах, що покращить роботу секції біохімічного очищення стічних вод. Виявлені перевищення концентрації забруднювальних речовин у скидах стічних вод установок УЗК та бітумної пов'язані із експлуатацією застарілих і зношених систем уловлювання нафтопродуктів, проте ці недоліки можуть бути усунені під час проведення планового ремонту установок. Загальний потенціал НПЗ зі зменшення водовідведення завдяки раціональній організації розподілення води та стоків серед внутрішніх споживачів становить до 25%.

Перспективи використання результатів досліджень. Отримані дані є важливими для нафтопереробної галузі та наочно показують реальні шляхи скорочення скидів на очисні споруди від установок вторинного перероблення нафти. Створення загальної бази даних із характеристиками стічних вод технологічних установок по всіх НПЗ України дасть змогу робити порівняльний аналіз і переймати найкращий досвід з якісного і кількісного зменшення скидів, що принесе користь як національній економіці, так і справі захисту довкілля.

Таблиця 3

Характеристика стічних вод технологічних установок вторинного перероблення нафти

Показник	Риформінг (промстоки)	Кат. крекінг (промстоки)	Бітумна (промстоки)	Бітумна (конденсат)	Гідроочищення дизпалива (промстоки)
Температура, °	27,8–39,5	59,0–62,5	32,5–38,0	21,5–31,0	42,2–50,0
	40*	40*	40*	40*	40*
	40**	40**	40**	40**	40**
Водневий показник, рН	7,03–9,37	8,48–9,71	7,85–8,23	4,5–6,1	7,88–8,29
	7–8,5*	7–8,5*	7–8,5*	7–8,5*	7–8,5*
	7–8,5**	7–8,5**	7–8,5**	7–8,5**	7–8,5**
Нафтопродукти, мг/дм ³	9,0–12,6	18,0–27,6	653–7248	1505–9120	15,0–21,0
	300*	300*	500*	500*	300*
	250**	300**	800**	800**	200**
Завислі частинки, мг/дм ³	5,2–36,8	16,0–61,6	122–1717	32,5–178	44,6–63,3
Сухий залишок, мг/дм ³	228–560	130–363	14588–25912	450–611	607–1112
Хлориди, мг/дм ³	106–230	35,5–126,0	6558–9120	95,4–115,8	355–656
Сульфати, мг/дм ³	84,0–172,0	51,0–88,0	4250–7749	281–387	165–361
Азот амонійний, мг/дм ³	0,17–2,98	1,84–122	0,82–2,83	0,92–2,15	0,45–1,49
Сульфіди, мг/дм ³	0,27–0,35	0,44–360	0,33–0,52	0,14–0,38	0,33–0,70
Феноли, мг/дм ³	0,027–0,08	30,2–540	4,0–8,9	37,8–59,8	1,1–300,0
Фосфати, мг/дм ³	0,41–1,84	0,1–0,6	0,057–0,084	0,15–0,71	0,21–1,17
БСК ₅ , мг О ₂ / дм ³	40,0–162,0	140–196	120–320	60–90	80–276
ХСК, мг О ₂ / дм ³	300,0–430,0	480–920	950–1860	1210–3010	430–720
АСПАР, мг/дм ³	0,13–0,39	0,16–0,24	0,17–0,19	0,07–0,13	0,47–1,04
Іони заліза Fe ³⁺ , мг/дм ³	0,12–0,28	0,09–0,35	0,19-	0,95–6,1	0,34–0,65

Продовження таблиці 3

Показник	УЗК (промстоки)	Поліпропілен (промстоки)	Оливне виробництво (промстоки)	Очищення керосину (промстоки)
Температура, °	37,0–42,0	45,0–62,1	51,5–66,4	28,0–31,5
	40*	40*	40*	40*
	40**	40**	40**	40**
Водневий показник, рН	8,84–9,10	7,26–7,90	5,31–5,80	7,21–12,12
	7–8,5*	7–8,5*	7–8,5*	7–8,5*
	7–8,5**	7–8,5**	7–8,5**	7–8,5**
Нафтопродукти, мг/дм ³	344–12873	1,0–1,5	19,0–31,0	71-
	1500*	300*	300*	750*
	800**	300**	400**	150**
Завислі частинки, мг/дм ³	162–527	5,8–14,0	14,0–19,7	45,7–129,1
Сухий залишок, мг/дм ³	–	192–298	150–262	8426–22841
Хлориди, мг/дм ³	–	88,0–160,0	53,0–124,0	3625–10565
Сульфати, мг/дм ³	–	52,0–76,0	48,0–65,3	2306–3368
Азот амонійний, мг/дм ³	53,7–91,2	–	–	2,98–124,0
Сульфіди, мг/дм ³	0,78–2,34	–	–	0,59–28,2
Феноли, мг/дм ³	16,5–80,0	–	–	7,5–1003
Фосфати, мг/дм ³	–	–	–	–
БСК ₅ , мг О ₂ / дм ³	208–800	64,0–170,0	152–240	168–3200
ХСК, мг О ₂ / дм ³	1520–2061	230,0–430,0	518–760	1670–57300
АСПАР, мг/дм ³	0,12–1,75	–	–	0,24–60,0
Вміст фурфуролу, мг/дм ³	Відсутність	Відсутність	14,4–20,0	Відсутність
Іони заліза Fe ³⁺ , мг/дм ³	0,78–1,98	0,03-	0,15–0,48	0,37–0,98

* – внутрішньозаводські норми; ** – рекомендації нормативних документів ВУПІ-97, ПБ-09-563-03.

Література

1. Заключительный отчет по проекту модернизации нефтеперерабатывающего завода компании «Укртатнафта», LG Engineering and Construction Corp, 2004.
2. Техніко-економічне обґрунтування реконструкції ВАТ «НПК-Галичина», ВАТ «Укрнафтохімпроект». Київ, 2007.
3. Технико-экономическое обоснование реконструкции ЗАО «Херсонский НПЗ», ОАО «Укрнефтехимпроект». Киев, 2007.
4. Отчет «Потери нефти и нефтепродуктов на ОАО «Лисичанскнефтеоргсинтез»», ГУП «ВНИИУС», г. Казань, 2002.
5. Обзор по водоснабжению, канализации и очистке сточных вод нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий в 1986 г., БашНИИИП. Уфа, 1987.
6. Лапшин М.И. Разработка способов очистки сточных вод. М.: «Издательство академия наук СССР», 1952. 244 с.
7. Ведомственные указания по проектированию производственного водоснабжения, канализации и очистки сточных вод предприятий нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности. М.: «Министерство топлива и энергетики СССР», 1986. 88 с.
8. ВНТП–81–85. Нормы технологического проектирования предприятий по переработке нефти и производству продуктов органического синтеза. М.: «Миннефтехимпром СССР», 1985. 59 с.
9. ВУТП–97. Ведомственные указания по проектированию производственного водоснабжения, канализации и очистки сточных вод предприятий нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности. М.: «Министерство топлива и энергетики РФ», 1997. 72 с.
10. Баннов П.Г. Основные методы контроля загрязнения окружающей среды на НПЗ. СПб.: «Химиздат», 2006. 304 с.
11. Абросимов А.А. Экология переработки углеводородных систем. М.: «Химия», 2002. 608 с.
12. Pearce K., Whyte D. Water and wastewater management in the oil refining and re-refining industry. Republic of South Africa: Water research commission. 2016. 56 p.
13. Petroleum refining water/wastewater use and management. London: IPIECA. URL: http://www.savetexaswater.org/bmp/industrial/doc/Refining_Water_Best_Practices.pdf.
14. Vdovenko S. Experience of organic polymers usage at the refinery waste water treatment plant. Поступ в нафтопереробній та нафтохімічній промисловості: тези доп. IX Міжнар. наук.-техн. конф. Львів, 2018. С. 461–464.
15. Братичак М.М., Гринишин О.Б. Технологія нафти і газу. Львів: Вид-во «Львівська політехніка», 2013. 180 с.
16. Лурье Ю.Ю. Аналитическая химия промышленных сточных вод. М.: «Химия», 1984.

ЗМІНА КЛІМАТУ

УДК 551.515.3+550.394.2

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716-2019-1-24-2-14>

МОНІТОРИНГ ТА ЕКОЛОГІЧНІ РИЗИКИ СМЕРЧОНЕБЕЗПЕКИ НА ТЕРИТОРІЯХ КИЇВСЬКОЇ ТА ЧЕРНІГІВСЬКОЇ ОБЛАСТЕЙ

Бондар О.І.¹, Ващенко В.М.¹, Лоза Є.А.¹, Патлашенко Ж.І.¹,
Шпиг В.М.², Банніков О.О.¹, Кризська Ю.М.¹

¹Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, 03035, Київ
danileo@ukr.net;

²Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України та НАН України
пр. Науки, 37, 03028, Київ
vitold82@i.ua

На основі аналізу екологічної смерчонебезпеки на територіях Київської та Чернігівської областей України проведено географічний розподіл смерчів за 1999–2018 рр. Досліджено статистику смерчів, і визначено сумарні площі руйнувань смерчами. За даними відкритих зарубіжних каталогів і результатами дистанційного зондування Землі показано, що річна ймовірність виникнення руйнівного смерчу на площі 1 000 км² становить $5,3 \cdot 10^{-2}$ рік⁻¹ для територій двох областей, що на 3–5 порядків перевищує значення ймовірності для оцінки екологічної небезпеки різних об'єктів на території України. Доведено, що ця величина може бути ще більшою через смерчі, які відбулися реально, але не були зареєстровані за ефектом селекції спостережень. Розроблено пропозиції щодо вдосконалення системи моніторингу та прогнозу смерчів на території України. *Ключові слова:* смерч, водойма, вивал лісу, екологічна безпека.

Мониторинг и экологические риски смерчопасности на территориях Киевской и Черниговской областей. Бондарь А.И., Ващенко В.Н., Лоза Е.А., Патлашенко Ж.И., Шпиг В.М., Банников А.А., Кризская Ю.М. На основе анализа экологической смерчопасности на территориях Киевской и Черниговской областей Украины проведено географическое распределение смерчей за период 1999–2018 гг. Исследована статистика смерчей, и определены суммарные площади разрушений смерчами. По данным открытых зарубежных каталогов и результатам дистанционного зондирования Земли показано, что годовая вероятность возникновения разрушительного смерча на площади 1000 км² составляет $5,3 \cdot 10^{-2}$ год⁻¹ для территории двух областей, что на 3–5 порядков превышает значения вероятности для оценки экологической опасности различных объектов на территории Украины. Доказано, что эта величина может быть ещё на порядок больше за счёт смерчей, которые состоялись реально, но не были зарегистрированы по эффекту селекции наблюдений. Разработаны предложения по усовершенствованию системы мониторинга и прогнозу смерчей на территории Украины. *Ключевые слова:* смерч, водоём, вывал леса, экологическая безопасность.

Monitoring and ecological risks of tornadoes hazard in Kyiv and Chernihiv oblasts. Bondar O., Vashchenko V., Loza Ye., Patlashenko Zh., Shpyg V., Bannikov O., Kryzaska Yu. This paper analyzes tornadoes ecological hazard in territory of Kyiv and Chernihiv oblasts of Ukraine. The geographical distribution of tornadoes in 1999–2018 was plotted and analyzed. The tornado statistics was investigated and total area of destruction by tornadoes was estimated. Based on open tornado databases and remote Earth sounding data the yearly probability of a destructive tornado over 1000 km² area was estimated to be $5.3 \cdot 10^{-2}$ year⁻¹ for total area of the oblasts. This value is 3–5 orders higher than the one used to calculate ecological safety of different objects in Ukraine. This value may be one more order higher due to real tornadoes which were not registered due to observation selectivity effect. Proposals for improvement of tornado monitoring and forecast in Ukraine were made. *Key words:* tornado, water body, forest destruction, ecological safety.

Постановка проблеми. Смерчі здатні знищувати великі площі лісових масивів, викачувати з водойм воду та переносити її на великій відстані разом із біотою та забруднюючими речовинами, які містяться в товщі води та в донних відкладеннях. Смерчі також можуть пошкоджувати й руйнувати природні

та антропогенні об'єкти, спричиняти смертельні випадки і травмування.

Загальна щорічна кількість смерчів та їх екологічна небезпека на території України, як і на територіях інших країн Європи [1-4], дуже важко оцінювати. Зокрема, на території України можливе

виникнення надзвичайно руйнівних смерчів класів потужності EF4 і навіть EF5 за вдосконаленою шкалою Фудзіті-Пірсона [3].

Унаслідок вибуху смерчів біля с. Раків Ліс Волинської області в червні 1997 р. загинуло 4 людей і 17 травмовано, зруйновано близько 200 будинків, знищено та пошкоджено понад 600 км² посівів. Для ліквідації наслідків цього смерчу було залучено понад 1 700 людей та 100 одиниць спеціальної техніки [5].

Руйнівний смерч у 1988 р. обминув густонаселені території та спричинив вивал лісу на площі понад 18 км² на 2–7 км південніше м. Березань Київської області. Важливо також звернути увагу на те, що менш потужний смерч Даулатпур-Сатурія у квітні 1989 р. на території Бангладеш призвів до загибелі 1 300 і травмування майже 12 000 людей. У червні 2001 р. поблизу м. Фастів Київської області смерч викачав воду з водойми площею 3 га. Біля с. Євминка Чернігівської області в червні 2012 р. унаслідок унікального явища вибуху смерчів було зруйновано близько 30 житлових будинків, їх фрагменти рознесено на кілька кілометрів [3] й вивалено близько 0,8 км² лісу [2]. Аналогічний вибух смерчів поблизу м. Прип'ять Київської області у 2010 р. також спричинив вивал лісу на площі понад 5,8 км² [2].

За даними каталогу European Severe Weather Database [6; 7], у 2018 р. з 1 січня по 14 грудня на території України було зареєстровано 16 смерчів, з них 10 – над морською поверхнею у Криму та Одеській області та 3 пилових й 1 шкваловий вихор (за назвою gustnado). Деякі з цих смерчів спричинили руйнування природних та антропогенних об'єктів і травмування людей.

Отже, дослідження рівнів екологічної смерчонебезпеки на територіях Київської та Чернігівської областей є актуальною проблемою для наукових досліджень.

Виклад основного матеріалу.

Характеристика водних об'єктів і лісових масивів.

У таблиці 1 наведено кількість і площу водних і лісових об'єктів на досліджуваних територіях на основі опублікованої інформації [8-12].

Як свідчать дані таблиці 1, показники лісистості територій Київської та Чернігівської областей досить близькі. Загальні площі областей і локальні кліматичні умови також подібні. Сумарна площа водних об'єктів різниться майже у 4 рази, переважно через площі Київського та Канівського водосховищ.

Отже, і Київська, і Чернігівська області мають схожі характеристики гідрологічних і лісових об'єктів, що дає змогу порівнювати смерчонебезпеку на їхніх територіях і розглядати її усереднене значення для сумарних територій обох областей.

Географічний розподіл смерчів.

На рисунку 1 зображено карту Київської та Чернігівської областей із гідрологічними об'єктами, географічними координатами випадків спостереження і реєстрації смерчів за даними відкритих каталогів [7; 13-18]. Координати вивалів лісу ідентифіковані за результатами дистанційного зондування Землі [2]. Аналіз показників і побудова карт були виконані за допомогою розробленої авторами спеціалізованої геоінформаційної системи на основі Free Pascal з використанням Castle Game Engine і Lazarus.

На карті (рис. 1) прослідковується схожа однорідність географічного розподілу зареєстрованих смерчів, що узгоджується з попередніми висновками [1].

Пунктирною лінією на карті окреслено територію, на якій ідентифікацію вивалів лісу смерчами проводили на основі даних дистанційного зондування Землі [2]. Площа цієї області становить близько 20 км², або 32 % від досліджуваної території за 2006–2012 рр., тобто 35 % від ефективного періоду спостережень, який використовували у розрахунках. Рівень лісистості для територій Чернігівської та Київської областей становить 20–40 % [9; 11]. Це свідчить, що за результатами аналізу даних дистанційного зондування Землі було виявлено лише 2–4 % загального числа смерчів, які реально від-

Таблиця 1

Основні характеристики водних і лісових об'єктів на територіях Київської та Чернігівської областей

Показник	Київська область ^a	Чернігівська область ^b
Площа області	28,9 тис. км ²	31,9 тис. км ²
Сумарна площа водних об'єктів	2,3 тис. км ² 8 %	0,6 тис. км ² 2 %
Кількість великих річок	3	2
Кількість середніх річок	8	8
Кількість малих річок	1511	1560
Загальна площа водосховищ і ставків	1,6 тис. км ²	0,1 тис. км ²
Кількість водосховищ	62	24
Кількість ставків	3175	1839 ^b
Загальна площа лісового фонду	7,5 тис. км ²	7,4 тис. км ²
Лісистість території	20,4 %	20,7 %

^a – до Київської області включено м. Київ; ^b – загальна кількість ставків на території Чернігівської області [10] може бути заниженою.

булися на досліджуваній території. Отже, реальна кількість руйнівних смерчів на територіях Київської та Чернігівської областей за 20 років становила 500–1000 смерчів, тобто 25–50 смерчів · рік⁻¹, причому досить потужних, щоб спричинити вивали лісу на площі 2 га і більше. Ця величина також узгоджується з нашими попередніми висновками [1-3].

Кількісні характеристики смерчонебезпеки.

У таблиці 2 наведено статистику випадків рестації смерчів на досліджуваних територіях за 1999–2018 рр. [2; 7; 13-18].

Рівень смерчонебезпеки для об'єкта в межах Київської або Чернігівської областей оцінюється за допомогою річної ймовірності руйнівного смерчу на площі 1 000 км² за формулою [14]:

$$P = 10^3 \cdot S_i / (S_o \cdot T), \quad (1)$$

де S_o – площа відповідної області; S_i – загальна площа руйнувань, спричинених смерчами; T – досліджуваний період 1999–2018 рр.

Розрахунок річної ймовірності P за допомогою (1) ускладнюється відсутністю інформації про загальну площу руйнувань S_i для більшості смерчів, що спостерігалися на території України. При цьому для 40–50 % зареєстрованих смерчів у каталогах відсутні оцінки класу потужності. Тому нами проведено оцінку площі S_i (табл. 3) на основі даних відкритих каталогів [7; 13-17] та результатів дистанційного зондування вивалів лісу смерчами [2; 18].

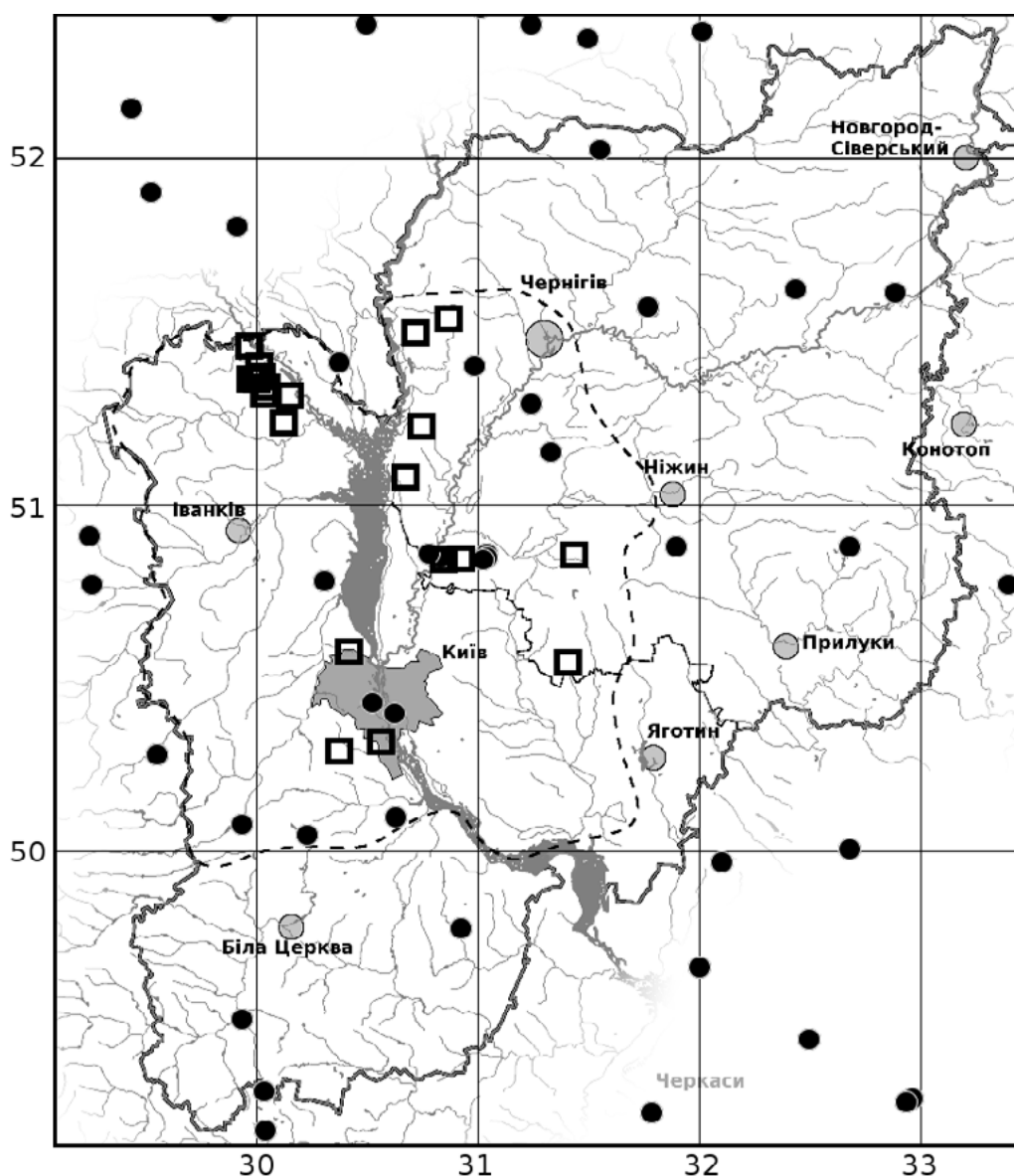


Рис. 1. Географічний розподіл смерчів на територіях Київської та Чернігівської областей.

- – смерчі, зареєстровані у відкритих каталогах у 1999–2018 рр.,
 - – смерчі, виявлені за даними дистанційного зондування Землі у 2006–2012 рр.
- Рівнопрямісна проекція, 29,1° – 33,5° сх. д., 49,2° – 52,4° пн. ш.

Площа руйнувань смерчами невідомої потужності (i) визначена на основі даних про частоту смерчів різних потужностей у Європі [13] за формулою:

$$s = \sum \rho_i \cdot s_i, \quad (2)$$

де i – потужність смерчу (EF0–EF5), ρ_i – середня частота смерчів відповідної потужності на території Європи, s_i – середня площа руйнувань смерчем відповідної потужності.

Розрахована за формулою (1) річна ймовірність P виникнення руйнівного смерчу на площі 1 000 км² за даними таблиць 2 і 3 для ефективного періоду спостережень 1999–2018 рр. становить $4,5 \cdot 10^{-2}$ рік⁻¹ для території Київської області й $6,1 \cdot 10^{-2}$ рік⁻¹ для

Чернігівської області та $5,3 \cdot 10^{-2}$ рік⁻¹ для сумарної території двох областей. Ці значення на 3–5 порядків перевищують величину ймовірності, яка зазвичай використовується для оцінки екологічної небезпеки різних природних та антропогенних об'єктів на території України. На основі висновку, одержаного в попередньому розділі про реальну кількість потужних смерчів на територіях Київської та Чернігівської областей, можна стверджувати, що оцінка річної ймовірності виникнення руйнівного смерчу на досліджуваних територіях може бути ще на один порядок більшою через високу ймовірність нерестрації фактичного виникнення та проходження смерчу на території України.

Таблиця 2

Кількість смерчів, зареєстрованих на територіях Київської та Чернігівської областей, і розрахункові значення рівня смерчонебезпеки

Показник	Київська область	Чернігівська область
Загальна кількість смерчів, зареєстрованих у каталогах 1999–2018 рр.	10	9 ^с
Сумарна площа руйнувань, спричинених смерчами, зареєстрованими у каталогах ^d	20,2 км ²	31,6 км ²
Кількість подій вивалів лісу смерчами у 2006–2012 рр.	12 ^{е, f}	7 ^{с, е}
Сумарна площа вивалів лісу, спричинених смерчами	5,9 км ²	7,7 км ²
Загальна площа руйнувань S_i	26,1 км ²	39,3 км ²
Середня щорічна кількість смерчів	1,1 рік ⁻¹	0,8 рік ⁻¹
Середня щорічна площа руйнувань, спричинених смерчами ^g	1,3 км ² рік ⁻¹	2,0 км ² рік ⁻¹
Річна ймовірність виникнення руйнівного смерчу на площі 1000 км ²	$4,5 \cdot 10^{-2}$ рік ⁻¹	$6,1 \cdot 10^{-2}$ рік ⁻¹
	$5,3 \cdot 10^{-2}$ рік ⁻¹	

^с – вибух смерчів поблизу с. Євминка зареєстрований у міжнародних каталогах і незалежно за даними дистанційного зондування Землі був врахований у рядку «Кількість подій вивалів лісу смерчами» як два окремих вивалів лісу на підставі того факту, що вибух смерчів утворив два просторово розділені осередки біля с. Євминка (0,6 км²) та с. Савин (0,2 км²) Козелецького району; ^d – оцінку виконували за результатами, наведеними в табл. 3; ^е – два випадки вивалів лісу смерчем поблизу м. Славутич Київської області у 2006 р. і 2011 р. були віднесені до Чернігівської області, оскільки ці території розташовані її межах; ^f – враховано явище «вибуху смерчів» (щонайменше 9 смерчів на півночі Київської області), виявлене у 2010 р. за даними дистанційного зондування Землі [2]; ^g – найбільші руйнування спричиняються потужними смерчами класу EF2 і вище, які є дискретними явищами і спостерігаються на територіях Київської та Чернігівської областей майже кожні 5 років

Таблиця 3

Розрахункові площі руйнувань, спричинених смерчами на території Київської та Чернігівської областей

Клас потужності смерчу	Площа руйнувань на один смерч ^h	Зареєстровано смерчів у 1999–2018 рр. за даними каталогів		Сумарна площа руйнувань	
		Київська область	Чернігівська область	Київська область	Чернігівська область
EF5	100 км ²	0	0	-	-
EF4	50 км ²	0	0	-	-
EF3	10 км ²	0	1 ^с	-	10 км ²
EF2	5 км ²	1	2 ^с	5 км ²	10 км ²
EF1	1 км ²	3	2 ^с	3 км ²	2 км ²
EF0	0,2 км ²	1	0	0,2 км ²	-
Невідомо	2,4 ⁱ км ²	5	4 ^с	12 км ²	8,6 км ²
Загалом		10	9	20,2 км²	31,6 км²

^h – площа руйнувань смерчами відповідної потужності оцінювали за даними [18]; ⁱ – площа руйнувань смерчами невідомої потужності

Підходи до вдосконалення моніторингу та прогнозування смерчів.

Мережа спостережень за смерчами, яка є сьогодні в Україні, неспроможна дати надійну інформацію для раннього виявлення, спостереження, прогнозування смерчів та попередження екологічної смерчонебезпеки. Тому для розроблення конкретних пропозицій щодо методів, засобів і характеристик моніторингу смерчів доцільно використовувати ретроспективні дані зарубіжних каталогів і дані дистанційного зондування Землі. Також необхідно використовувати принципово нові дані щодо явищ і процесів, які відбуваються в системі атмосфера – підстилаюча поверхня Землі і спричиняють виникнення та супроводжують розвиток смерчів, зокрема динамічних процесів взаємодії смерчів з атмосферою та земною поверхнею. Перспективним також є застосування спеціалізованих засобів дистанційної реєстрації світіння атмосфери в оптичному та радіодіапазонах, які виникають на ранніх стадіях зародження смерчу. Доцільно також розвивати спектральні і спектрополяриметричні методи, акустичні, радіолокаційні, сейсмічні спостереження смерчів, які дають змогу отримувати більш повну інформацію про динамічний стан атмосфери.

Для оперативного гідрометеорологічного прогнозу виникнення смерчів пропонуються три підходи:

1. Використання оперативних даних супутникових і радіолокаційних засобів [19; 20].

2. Виявлення сприятливих для утворення смерчів передумов в атмосфері, зокрема макромасштабних атмосферних процесів [21; 22]. Цей підхід дає можливість досліджувати процес формування, час існування, швидкість переміщення, швидкість вітру у вихорі та інші властивості смерчу шляхом:

– використання дискримінантних функцій, отриманих на великому архівному масиві даних аерологічних зондувань або прогностичних даних, отриманих за допомогою чисельних моделей прогнозу погоди, що дає змогу прогнозувати смерчі із завчасністю до 48 год. та справджуваністю понад 78% [23; 24];

– побудови теоретичних чи напівемпіричних моделей для практичного застосування [25–28];

– визначення енергії нестійкості атмосфери або так званих індексів нестійкості/стійкості атмосфери [29; 30].

3. Прогнозування атмосферних умов із високою географічною роздільною здатністю порядку 0,1 км. Однак такий метод потребує високих обчислювальних потужностей. У масштабах України це 1 ПФлопс і більше, що не є досяжним сьогодні.

Перспективним також є використання чисельної мезомасштабної моделі з горизонтальною роздільністю порядку 20 км для прогнозу смерчів, пов'язаних із конвективною хмарністю [31; 32].

Головні висновки. Екологічна смерчонебезпека на територіях України та більшості країн Європи залишається недооціненою, незважаючи на значні екологічні наслідки, економічні збитки, загибель і травмування людей унаслідок впливу смерчів.

За даними відкритих міжнародних каталогів і даними дистанційного зондування Землі побудовано географічний розподіл фактів реєстрації смерчів на територіях Київської та Чернігівської областей у діапазоні 29,1° – 33,5° сх. д. і 49,2° – 52,4° пн. ш.

У період 1999–2018 рр. на територіях Київської та Чернігівської областей за даними відкритих каталогів спостерігали 19 смерчів, додатково за даними дистанційного зондування Землі було ідентифіковано 19 вивалів лісу смерчами.

Розрахункова загальна площа руйнувань і вивалів лісу, спричинених смерчами за останні 20 років, становить 26,1 км² у Київській області та 39,3 км² – у Чернігівській.

Виявлено, що на територіях Київської та Чернігівської областей реальна частота смерчів становила 25–50 смерчів/рік⁻¹, причому досить потужних, щоб спричинити вивали лісу на площі 2 га і більше.

Розрахункова річна ймовірність виникнення руйнівного смерчу на площі 1000 км² становить 4,5 · 10⁻² рік⁻¹ для території Київської області, 6,1 · 10⁻² рік⁻¹ для Чернігівської області та 5,3 · 10⁻² рік⁻¹ для територій обох областей. Цей результат на 3–5 порядків перевищує значення ймовірності, яка зазвичай використовується для оцінки екологічної небезпеки різних природних та антропогенних об'єктів на території України.

Запропоновано шляхи вдосконалення й розвитку сучасних підходів до виявлення, спостереження та прогнозування смерчів на території України.

Література

1. Ващенко В.М., Кордуба І.Б., Лоза Є.А., Патлашенко Ж.І., Банніков О.О., Кризька Ю.М. Статистика смерчів на території України на основі нових даних. *Геофізичний журнал*. 2018. Т. 40. №. 3. С. 199–213.
2. Ващенко В.М., Лоза Є.А., Кордуба І.Б., Патлашенко Ж.І., Банніков О.О. Нові можливості космічного дистанційного зондування вивалів лісу смерчами на території України. *Екологічна безпека*. 2018. № 1. С. 20–25.
3. Бондар О.І., Ващенко В.М., Шпиг В.М., Лоза Є.А., Кордуба І.Б., Патлашенко Ж.І., Банніков О.О., Кризька Ю.М. Смерчі на території України та їх екологічна небезпека. *Екологічні науки*. 2018. № 2 (21). С. 107–113.
4. Antonescu B., Schultz D., Holzer A., Groenemeijer P. Tornadoes in Europe: An Underestimated Threat. *American Meteorological Society*. 2017. DOI:10.1175/BAMS-D-16-0171.1.
5. Стеблюк М.І. Цивільна оборона та цивільний захист: підручник. Київ, 2013. 487 с.
6. Dotzek N., Groenemeijer P., Feuerstein B., Holzer A. Overview of ESSL's severe convective storms research using the European Severe Weather Database ESWD. *Atmos. Res.* 2009. No. 93. P. 575–586.

7. European Severe Weather Database. *European Severe Storms Laboratory*. URL: <https://www.eswd.eu> (дата звернення: 14.12.2018).
8. Денисова А.И., Тимченко В.М., Нахшина Е.П. и др. Гидрология и гидрохимия Днепра и его водохранилищ. Київ, 1989. 216 с.
9. Регіональна програма розвитку лісового господарства Київської області на період до 2015 року «Ліси Київщини». *Київське обласне та по м. Києву управління лісового та мисливського господарства*. URL: <https://kyivlis.gov.ua/lisy-kyivshhyny> (дата звернення: 14.12.2018).
10. Гребінь В.В., Хільчевський В.К., Сташук В.А., Чунар'ов О.В., Ярошевич О.С. Водний фонд України: штучні водойми – водосховища і ставки: довідник. Київ, 2014. 164 с.
11. Ліси Чернігівщини. *КП «Чернігівоблагроліс», Чернігівська Обласна Рада*. URL: <https://agrolis.cn.ua/nasha-organizaciya/lisy-chernigivshchyny> (дата звернення: 14.12.2018).
12. Доповідь про стан навколишнього природного середовища в Чернігівській області за 2017 рік. *Департамент агропромислового розвитку, екології та природних ресурсів Чернігівської обласної державної адміністрації*. URL: <http://apk.cg.gov.ua/index.php?id=24511&tp=1> (дата звернення: 14.12.2018).
13. Datenbank über Tornado Fälle Weltweit. URL: <https://www.tornado-map.de> (дата звернення: 14.12.2018).
14. Руководство по безопасности РБ-022-01 «Рекомендации по оценке характеристик смерча для объектов использования атомной энергии». Госатомнадзор России. 2002. 46 с.
15. Интернет-журнал meteoweb.ru. URL: <http://meteoweb.ru> (дата звернення: 20.12.2018).
16. Каталог смерчей на территории России, Казахстана, Украины и Белоруссии в 2013 году. *Земля. Хроники. Жизни*. URL: <http://earth-chronicles.ru/news/2014-01-09-57543> (дата звернення: 20.12.2018).
17. Каталог смерчей на территории Российской Федерации и стран бывшего СССР в 2012 году. URL: <https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=1Wdxk4vgK1TDAMGoi4Cul85jwuAE> (дата звернення 20.12.2018).
18. Shikhov A., Chernokulsky A. A satellite-derived climatology of unreported tornadoes in forested regions of northeast Europe. *Remote Sensing of Environment*. 2018. Vol. 204. P. 553-567.
19. Dixon M., Wiener G. TITAN: Thunderstorm identification, tracking, analysis and nowcasting – a radar-based methodology. *J. Atmos. Oceanic Tech.* 1993. Vol. 10. P. 785-797.
20. Wilson J.W., Crook N.A., Mueller C.K., Sun J., Dixon M. Nowcasting Thunderstorms: A Status Report. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 1998. Vol. 79. P. 2079-2099.
21. Снитковский А.И. Смерчи на территории СРСР. *Метеорология и гидрология*. 1987. № 9. С. 12-25.
22. Charles A. Doswell III. The Distinction between Large-Scale and Mesoscale Contribution to Severe Convection: A Case Study Example. *Weather and Forecasting*. 1987. Vol. 2. P. 3-16.
23. Переходцева Э.В., Золин Л.В. Гидродинамико-статистический прогноз и экспертная система прогноза смерчей на Европейской территории России. *Труды Гидрометцентра России*. 2008. Вып. 342. С. 45-54.
24. Переходцева Э.В. Анализ устойчивости гидродинамико-статистической модели прогноза шквалов и смерчей для территории России. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2009. Т. 1. Вып. 6. С. 155-162.
25. Матвеев Л.Т. Правила качественного анализа условий вихреобразования в атмосфере и некоторые результаты их проверки// *Метеорология и гидрология*. 1956. № 4. С. 28-30.
26. Ромов А.И. Об изменении вихря и циркуляции скорости в атмосфере. *Тр. УкрНИГМИ*. 1955. Вып. 4. С. 18-28.
27. Ромов А.И., Шишкин Н.С., Сосновская Р.П. Смерчи на Украине 30 мая 1985 г. *Метеорология и гидрология*. 1987. № 2. С. 27-36.
28. Лесков Б.Н., Пірнач Г.М., Сирота М.В., Шпиг В.М. Смерчі у Криму 22 липня 2002 року. *Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту*. 2007. Вип. 256. С. 75-91.
29. Tajbakhsh S., Ghafarian P., Sahraian F. Instability indices and forecasting thunderstorms: the case of 30 April 2009. *Journal Natural Hazards Earth Syst. Sci.* 2012. Vol. 12. P. 403-413.
30. Kaltenböck R., Diendorfer G., Dotzek N. Evaluation of thunderstorm indices from ECMWF analyses, lightning data and severe storm reports. *Journal Atmospheric Research*. 2009. Vol. 93. P. 381-396.
31. Shpyg V., Budak I. WRF reflectivity simulation and verification of thunderstorm forecast by radar and surface observation. *16th International Radar Symposium: 24–26 June 2015: Symposium Materials*. Dresden, 2015. P. 610-615.
32. Shpyg V., Budak I. Estimation of effectiveness of thunderstorms observation and their forecast by the instability indices. *7th International Verification Methods Workshop: 03–11 May 2017, Berlin, Germany. Annalen der Meteorologie*. Berlin, 2017. Vol. 51. P. 81.

ОСОБЛИВОСТІ ДИНАМІКИ АТМОСФЕРНОГО ТИСКУ, ОПАДІВ ТА ПОВТОРЮВАНІСТЬ ПОСУХ У М. КРЕМЕНЧУК

Підоріна Л.І.¹, Лукашик О.В.¹, Степова О.В.², Карташ У.В.³

¹Кременчуцька загальноосвітня школа І–ІІІ ступенів № 31
вул. Героїв України 39-А, 39622, м. Кременчук
profiplyus12@gmail.com;

²Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка
пр. Першотравневий 24, 36011, м. Полтава
alenastepovaja@gmail.com;

³Київський національний університет імені Тараса Шевченка
вул. Володимирська 60, 01033, м. Київ
mrskartash.ul@gmail.com

Розглянуто питання динаміки атмосферного тиску, опадів та повторюваності посух у Кременчуці за десятирічний період спостережень на Кохнівській метеостанції. Опрацьовано метеорологічні показники за 1979–1988 роки. Визначено та вперше описано такі неперіодичні зміни клімату міста, як міждобова мінливість, добові, щомісячні, сезонні, річні коливання та аномалії тиску, мінливість сум опадів, тривалість та інтенсивність, кількість, періодичність та тривалість посух. Виявлено, що у Кременчуці спостерігаються часті і суттєві коливання атмосферного тиску, особливо добові та сезонні, що є несприятливим фактором для людей, які мають проблеми зі здоров'ям, проте переважає високий атмосферний тиск і антициклонічна діяльність. Виявлено, що саме восени часто бувають посухи: за 10 років – 6 посух, найсухіший місяць – березень. Результати дослідження пропонується взяти до уваги медичним, комунальним та іншим службам міста. *Ключові слова:* тиск, коливання, мінливість, аномалії, опади, тривалість, періодичність, посухи.

Особенности динамики атмосферного давления, осадков и повторяемости засух в г. Кременчуге. Пидорина Л.И., Лукашик А.В., Степова А.В., Карташ У.В. Рассмотрены вопросы динамики атмосферного давления, осадков и повторяемости засух в Кременчуге за десятилетний период наблюдений на Кохновской метеостанции. Использованы метеоданные за 1979–1988 годы. Определены и впервые описаны неперiodические такие изменения климата города, как межсуточная изменчивость, суточные, ежемесячные, сезонные, годовые колебания и аномалии давления, изменчивость сумм осадков, количество, периодичность и продолжительность засух. Выявлено, что в Кременчуге наблюдаются частые и существенные колебания давления, особенно суточные и сезонные, что весьма неблагоприятно для людей, имеющих проблемы со здоровьем. В целом, преобладает высокое давление и антициклоническая деятельность. Выявлено, что именно осенью часто бывают засухи: за 10 лет – 6 засух, самый сухой месяц – март. Результаты исследований предлагается принять во внимание медицинским, коммунальным и др. службам города. *Ключевые слова:* давление, колебания, изменчивость, аномалии, осадки, продолжительность, периодичность, засухи.

The peculiarities of the dynamics of atmospheric pressure precipitation and the draughts recurrence in Kremenchuk. Pidorina L., Lukashyk O., Stepova O., Kartash U. Perform a comprehensive analysis of the dynamics of atmospheric pressure, precipitation and recurrence of droughts in Kremenchug for a ten-year observation period at the Kokhnyvska Meteorological Station (for 1979–1988.) Results. An unexpected result was obtained during the studying of atmospheric pressure dynamics in Kremenchug: fluctuations in pressure are so frequent and large that one can confidently say that the city's climate is unfavorable for the health of people with cardiovascular problems. It was revealed that significant changes in atmospheric pressure are observed in Kremenchug: daily, monthly, seasonal, annual, which is the result of the cyclones and anticyclones activity. February, March and November are hazardous for meteorological people, when there are intermittent fluctuations of pressure greater than 20 mm Hg. Art. In summer fluctuations are slight. Despite the fact that in the temperate latitudes there is a low pressure belt, high atmospheric pressure and anticyclonic activity prevail in the city. Kremenchug belongs to the arid warm agro-climatic zone, where drought is a frequent phenomenon. It was found that during 10 years there were 6 droughts. The vast majority of droughts are not in summer, but in autumn, and the driest month is March. Practical value. The results of the study are of practical importance and can be used in various sectors of the city economy, in particular, in construction, transport, housing and communal services, in medical and educational institutions. *Key words:* pressure, fluctuation, changeability, anomalies, precipitation, duration, frequency, draughts.

Постановка проблеми. Вибір теми наукового дослідження визначив проблему відсутності детального та ґрунтового аналізу спостережень, проведених на Кременчуцькій метеостанції з 1963 по 1994 рік, і, як наслідок, відсутність повного опису

особливостей клімату міста. Аналіз змін клімату в місті, зокрема атмосферного тиску, періодичності та тривалості посух, ніким із дослідників не виконувався. Опис динаміки атмосферного тиску взагалі невідомий, публікації на цю тему відсутні.

Актуальність дослідження. Зважаючи на те, що клімат впливає на всі сфери людського життя, господарство, екологію, а динаміка атмосферного тиску – на здоров'я людей, а також зважаючи на те, що метеостанція припинила у 1994 році систематичні спостереження, актуальність виконання комплексної характеристики клімату Кременчука не викликає сумнівів.

Метою статті є комплексний аналіз динаміки атмосферного тиску, опадів та повторюваності посух у Кременчуці за десятирічний період спостережень (за 1979–1988 рр.).

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

У наукових працях зустрічається загальний опис клімату міста за період із 1968 по 1993 рік [1; 2; 3], а також є кліматична характеристика аеродрому в Кременчуці за 1963–1968 та 1985–1994 роки, але в них відсутня характеристика низки таких метеорологічних елементів, як міждодова мінливість тиску, коливання тиску: добові, щомісячні, сезонні, річні, річний перебіг атмосферного тиску, річні та щомісячні аномалії тиску, мінливість сум опадів, тривалість та інтенсивність опадів, середня кількість днів поспіль без опадів, кількість, періодичність та тривалість посух у місті.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Саме тому визначення, розрахунок, опис динаміки атмосферного тиску, опадів та повторюваності посух у місті, врахування особливостей даних атмосферних процесів є не тільки необхідним складником характеристики клімату міста, але й необхідною умовою для досягнення належного рівня екологічної безпеки жителів міста.

Новизна полягає в тому, що: а) виконано більш детальну комплексну характеристику клімату Кременчука; б) уперше описано неперіодичні зміни клімату міста, міждодову мінливість, індекс континентальності, особливості динаміки атмосферного тиску, періодичність та кількість посух; виявлено особливості клімату, специфічні для міста, які лишилися поза увагою дослідників.

Виклад основного матеріалу. Дослідження проводилися впродовж двох років. Матеріал для дослідження отриманий безпосередньо на метеорологічній станції, зокрема впродовж місяця виписано метеорологічні показники за кожен добу, проведено усереднення температури, вологості повітря, атмосферного тиску, напрямку та швидкості вітру, кількості опадів, форм хмар, метеорологічних явищ. Описано 3 652 дні у 120 таблицях. Статистична обробка виписаних даних така: проведено усереднення температур, тиску, вологості за кожен місяць, рік, за 10 років. Визначено міждодову мінливість температур, тиску, кількість днів із тиском нижчим за нормальний, кількість опадів, переважальний напрямок вітру, кількість спостережень за формами хмар, кількість метеорологічних явищ та інше. Складено

52 таблиці. Проведено математичну обробку статистичних даних, зокрема побудовано графіки перебігу середніх температур, тиску, вологості, роз вітрів за кожний місяць, рік, сезон та за десятирічний період, графіки кореляції відносної вологості і температури, вологості, тиску і температури (усього 390 графіків та 147 роз вітрів). Зіставлення отриманих результатів проводилося з даними публікації Ірини Михайлівни Соколової «Клімат та фенологія Кременчука у 1968–1993 роках», посібниками «Кліматична характеристика аеродрому м. Кременчука» за 1963–1968 та 1985–1994 роки з іншими публікаціями [1; 2; 3; 4].

На основі проведеного статистичного та математичного аналізу отримано такі результати:

1) особливості міждодової мінливості тиску.

Наслідком активної діяльності баричних систем (циклонів і антициклонів) у нашій місцевості є неперіодичні коливання тиску. Загальну характеристику цих коливань відображає такий показник, як *міждодова мінливість* тиску – середнє багаторічне значення з добових різниць тиску, взяте за абсолютною величиною. Біля земної поверхні в помірних широтах середня міждодова мінливість тиску складає 2,2–7,5 мм рт. ст. Узимку, коли циклонічна діяльність розвинута більше, мінливість теж є більшою [4].

У Кременчуці міждодова мінливість тиску за дев'ятирічний період спостереження складає 3,7 мм рт. ст., щорічні показники коливаються від 3,2 до 3,9, *що вище за середні значення для помірних широт!* Узимку мінливість найбільша – 5,1, щорічні сезонні показники перебувають у межах від 4,4 до 5,5. Улітку мінливість найменша – 2,4, щорічні сезонні показники – від 2,2 до 2,8. Весною мінливість складає 3,4, щорічні сезонні показники – від 3,1 до 3,9, восени мінливість дещо вища – 3,8, щорічні показники – від 2,9 до 4,7 мм рт. ст. Серед місяців року найбільшу мінливість за дев'ятирічний період має грудень – 5,5 (max. – 7,2 у грудні 1988 року), та січень – 5,4 (max. – 6,7 у січні 1985 року); найнижчу має липень – 2,3, травень, червень і серпень (min. – 1,7 у червні 1981 та серпні 1982 року). Таким чином, за вказаний період спостерігалися коливання міждодової мінливості тиску від 1,7 до 7,2 мм рт. ст. Ці та інші показники свідчать про наявність періоду *активної циклонічної діяльності (зима, осінь) та періоду спокійної циклонічної діяльності (літо, весна).*

Кременчук належить до таких місць, де спостерігаються суттєві (!) коливання атмосферного тиску, зокрема добові, щомісячні, сезонні, річні, що є наслідком активної діяльності баричних систем – циклонів і антициклонів. Це важливо враховувати, адже коливання тиску є небезпечними для людей зі шкірними, шлунково-кишковими та серцево-судинними захворюваннями.

Від інтенсивності циклонічної діяльності залежить міра, межі коливання тиску в певному місці впродовж місяців, років. Найбільші коливання атмосферного тиску впродовж місяця за дев'ятиріч-

ний термін спостереження характерні для лютого місяця (49,6 мм рт. ст.), грудня (48,8 мм рт. ст.) та березня (47,1 мм рт. ст.). Найменші коливання тиску характерні для липня (19 мм рт. ст.), а також для серпня (21, 5 мм рт. ст.) та червня (27,8 мм рт. ст.). Найбільші коливання тиску впродовж одного місяця зафіксовано у лютому 1979 року – 49,6 мм рт. ст., найменші – у липні 1983 року – 10,3 мм рт. ст. У зимові періоди коливання атмосферного тиску складають 34,8–49,6 мм рт. ст., у весняні – 26,0–39,8 мм рт. ст., літні – 16,4–27,0 мм рт. ст., осінні – 26,2–42,5 мм рт. ст.

Упродовж одного року найбільша різниця між найвищим і найнижчим значенням тиску спостерігалася у 1979 році – 49,6 мм рт. ст. За дев'ять років зафіксовано коливання тиску від 735,8 до 786,4 мм рт. ст. (амплітуда – 50,6 мм рт. ст.). (Усі значення тиску тут і надалі приведені до рівня моря). За дев'ятирічний термін спостереження різниця тиску між ними є вищою, ніж за 35-річний період спостереження у Москві (777,7–745,5=32,2 мм рт. ст.) [4]. Середньорічні коливання тиску в Кременчуці складають 43,2 мм рт. ст. Максимальні значення тиску – від 778,8 до 786,4 мм рт. ст. відзначалися взимку, восени та у березні місяці (максимум 786,4 мм рт. ст. – 17.02.1979 року). Мінімальні – від 738,5 до 735,8 мм рт. ст. зафіксовано взимку та у листопаді (мінімум 735,8 мм рт. ст. – 14.12.1981 року). Для порівняння: абсолютний максимум на Україні (799,2 мм рт. ст.) зареєстрований у Львові 21.01.1907 р., абсолютний мінімум (709,8 мм рт. ст.) – у Києві 13.03.1930 року. Амплітуда – 89,4 мм рт. ст. 22 листопада 2008 року у Кременчуці під час проходження циклону о 23:00 був зареєстрований тиск 722 мм рт. ст. Метеостанція цього дня о 15 годині зареєструвала тиск 726 мм рт. ст. Підтвердити значення 722 мм рт. ст. не є можливим, адже метеостанція, що проводила щогодинні цілодобові спостереження з 1963 року, припинила їх вести у 1994 році за браком фінансування. І зараз проводить спостереження тільки з 8 до 15 години в робочі дні, обслуговуючи Кохнівський аеродром.

Найбільше коливання атмосферного тиску впродовж однієї доби зафіксовано 12 березня 1983 року – 26,6 мм рт. ст. Схожі коливання тиску (>20 мм рт. ст.) спостерігаються у лютому, березні та листопаді. Добові коливання тиску більші за 10 мм рт. ст. спостерігаються у середньому один раз на тиждень у січні та грудні місяці, один раз у два тижні – у лютому та листопаді, один раз на місяць – у березні, квітні, вересні, жовтні, майже відсутні з травня по вересень місяць. Коливання атмосферного тиску від 5 до 10 мм рт. ст. за добу спостерігаються частіше: через кожні три доби взимку, через кожні чотири доби восени, у березні і квітні. Улітку таке коливання тиску спостерігається 1–2 рази на місяць [5].

Загалом, у січні та грудні місяці добові коливання атмосферного тиску більші за 5 мм рт. ст. спостерігаються через день, у лютому та листопаді – через

кожні дві доби. Разом із показниками міждобової мінливості тиску це свідчить про те, що взимку, восени і весною у Кременчуці спостерігається активна діяльність баричних систем (циклонів та антициклонів);

2) річні зміни атмосферного тиску. Річний перебіг атмосферного тиску в Кременчуці упродовж кожного з дев'яти років спостереження змінювався з року в рік. Так, у 1981 році найвищий середньомісячний показник тиску спостерігався у січні (775,2 мм рт. ст.), а найнижчий – у грудні (757,2 мм рт. ст.). У 1983 році найвищий тиск спостерігався у грудні (766,3 мм рт. ст.), а найнижчий – у липні (758,4 мм рт. ст.). Але в інші 7 років спостережень простежується певна закономірність: *найвищі середньомісячні показники атмосферного тиску характерні для жовтня, листопада, а також для лютого та березня, а найнижчі – для червня і липня.* Такі особливості зміни тиску за середньомісячними значеннями зумовлені характером циклонічної діяльності у Кременчуці, адже в річному перебігу переважає антициклоніальний тип погоди.

У вересні формується Сибірський антициклон, який охоплює у жовтні весь материк двома відрогами. Один із них утворює полосу підвищеного тиску, яка проходить у напрямку Саратов-Харків-Кременчук-Кишинів («Вісь Воєйкова»). У листопаді переважають антициклони, що надходять із заходу. У грудні та січні посилюється циклонічна діяльність, пов'язана з Ісландською депресією, теплими вологими повітряними масами з Атлантичного океану та Середземномор'я, внаслідок чого знижуються середньомісячні значення тиску. У лютому та особливо у березні часто проникають арктичні повітряні маси та зумовлені ними антициклони, на що значно впливає Сибірський антициклон, який існує до квітня. Улітку, особливо у липні, різко переважає циклонічна діяльність, пов'язана з Ісландською депресією, мають вплив Арктичний, а також Азорський максимуми [1; 6; 7].

Максимальне середньомісячне значення атмосферного тиску (за 9 років) у жовтні складає 766,7 мм рт. ст., мінімальне – у липні – 759,8 мм рт. ст. Річна амплітуда тиску дорівнює 6,9 мм рт. ст. Для порівняння: у Москві річна амплітуда складає 765–758,2 = 6,8 мм рт. ст. У пустелі Гобі річна амплітуда – 30 мм рт. ст. Чим далі від океанів, тим більша річна амплітуда. На території України річна амплітуда атмосферного тиску зростає з північного заходу на південний схід із 6 до 9 мм рт. ст. [7].

Не дивлячись на те, що у помірних широтах розташований планетарний пояс зниженого атмосферного тиску і мав би переважати впродовж багатьох років тиск нижчий за 760 мм рт. ст., то у Кременчуці кількість днів із тиском вищим за нормальний *втричі більша, ніж зі зниженим*: у середньому щорічно 114 днів спостерігається середньодобовий тиск нижчий за нормальний та 251 день – вищий за нормальний або нормальний. Найбільша кількість днів із під-

вищеним середньодобовим тиском: восени – 77 днів (83,8%) із 92-х, у жовтні – 28 днів (89%), а також у лютому – 21 день (74%), у березні – 23 дні (73%). У жовтні 1985 та 1987 року та у вересні 1982 року жодного дня середньодобовий тиск не опускався нижче за 760 мм рт. ст. Найменша кількість днів із підвищеним середньодобовим тиском спостерігалася влітку – 52 дні (57%) з 91-го, у липні – 16 днів (51%), у червні – 17 днів (55%). У червні 1988 та 1985 року тільки 4 та 7 днів відповідно середньодобовий тиск був вищим за нормальний. *Середнє багаторічне (за 9 років) значення атмосферного тиску в Кременчуці складає 763 мм рт. ст., восени – 765 мм рт. ст., узимку – 764 мм рт. ст., весною – 762,7 мм рт. ст., улітку – 760,3 мм рт. ст.* Така невідповідність у зональному розподілі тиску пояснюється тим, що взимку над материками тиск унаслідок більшого вихолодження поверхні підвищується, а влітку – знижується. На території України тиск підвищений також унаслідок меншої рухливості антициклонів (пересічно – 35 антициклонів за рік) у порівнянні з циклонами (43 циклони за рік) [1; 3].

Слід зауважити, що всі значення тиску, які містяться у цій статті, приведені до рівня моря. *Фактичні ж заміри тиску, проведені на метеорологічній станції – на 7,8 мм рт. ст. нижчі, адже метеостанція розташована на висоті 78 м над рівнем моря. Таким чином, у Кременчуці фактично переважає понижений тиск, середнє багаторічне значення якого складає 755,2 мм рт. ст.;*

3) річні та щомісячні аномалії тиску. Середні за місяць значення тиску за один і той же календарний місяць у Кременчуці в різні роки відрізняються один від одного. Певно, вони відрізняються і від багаторічного значення кожного місяця, тобто від його кліматичної норми. На жаль, ця норма стосовно Кременчука взагалі невідома, ніким не розраховувалася, відсутня в публікаціях. Саме тому для вирахування відхилення середнього значення тиску окремого місяця певного року від багаторічного значення тиску того ж місяця – аномалії тиску певних місяців – використовуємо наявний матеріал: середньомісячні значення тиску за дев'ятирічний термін спостережень. Середньомісячні аномалії тиску над Європою у середніх широтах складають 2,2–3 мм рт. ст. узимку та 0,75–1,5 мм рт. ст. улітку. У Кременчуці – 1,8–3,2 та 0,4–1,7 мм рт. ст. відповідно. Середньомісячна аномалія взимку складає 2,4 мм рт. ст., влітку – 0,9 мм рт. ст. Зі збільшенням континентальності клімату щомісячні аномалії тиску зменшуються: наприклад, у Санкт – Петербурзі – 4,5 мм рт. ст., а в Барнаулі – 2,25 мм рт. ст. В окремі роки щомісячні аномалії можуть бути набагато більшими: в Ісландії – 31,5 мм рт. ст., у Парижі – 20,2 мм рт. ст. [4]. У Кременчуці в січні 1981 року аномалія складала 10,6 мм рт. ст.

Середні річні значення тиску в окремі роки також відхиляються від багаторічного середнього зна-

чення. Це річні аномалії і вони менші за щомісячні. Середня річна аномалія тиску в помірних широтах – 0,75 мм рт. ст. У Кременчуці – 0,6 мм рт. ст. В окремі роки річні аномалії можуть бути набагато більшими, зокрема в Ісландії – 6,7 мм рт. ст. За дев'ятирічний період найвище значення річної аномалії – 1,1 мм рт. ст. було у 1986 році. Щомісячні аномалії тиску одного знаку охоплюють великі площі земної поверхні. Якщо у певному пункті середній тиск за місяць був, наприклад, нижчим за норму, то і в сусідніх місцях він був також таким, тобто аномалії тиску мають просторову протяжність, тому що вони пов'язані з такими особливостями циклонічної діяльності, які спостерігаються на великих просторах;

4) мінливість сум опадів. Посухи. Найвологішим був 1980 рік, коли випало **832,6 мм** опадів, найсухішим – 1983 рік – **321,7 мм**, що у 2,6 рази менше від найбільшого значення. Дошовими також були 1985 рік (668,3 мм) та 1981 рік (638,2 мм). У липні 1985 року випало 112,5 мм опадів, у серпні 1985 року – 124,6 мм, у березні 1985 року – 109,5 мм. Найсухішими видалися 1983 (321,7 мм), 1984 (391 мм), 1987(393 мм), 1982 (398,1 мм) роки.

Посуха – це явище, зумовлене тривалою нестачею атмосферних опадів під час підвищення температури повітря і його низькою вологістю в теплий період року. Залежно від сезону розрізняють весняні, літні та осінні посухи. Південна частина Полтавської області входить до посушливої, дуже теплої агрокліматичної зони [1; 3; 8]. У 1978 році посуха тривала влітку з 28 травня по 4 липня 38 днів, $f = 69,8\%$, кількість опадів – 9 мм. Восени з 29 серпня по 4 жовтня за 37 днів, ($f = 70,7\%$) випало 9,5 мм опадів. У 1982 році з 28 лютого до 3 квітня за 35 днів випало 2,6 мм опадів. Із 11 вересня по 15 жовтня за 45 днів ($f = 85\%$) випало 2,8 мм, а з 18 жовтня по 6 грудня за 50 днів випало 4,9 мм опадів ($f = 81\%$). У 1983 році з 14 серпня по 12 жовтня за 60 днів випало 7 мм опадів ($f = 80,7\%$), а з 15 листопада по 21 грудня за 37 днів – 2 мм опадів ($f = 80\%$). У 1985 році з 1 жовтня по 2 листопада за 33 дні випало 7,5 мм опадів ($f = 80,4\%$), мало опадів випало і в березні – 5,7 мм ($f = 80,7\%$). У 1986 році з 25 лютого по 10 квітня за 45 днів випало 7,5 мм опадів ($f = 75,3\%$); з 1 серпня по 6 жовтня за 67 днів випало 6,7 мм опадів ($f = 61,8\%$). Найнижчі середні добові значення вологості становлять 47,6 та 48%. У 1987 році з 29 вересня по 4 листопада за 37 днів не випало ні краплини дощу, середня вологість за цей період складала 65%, найнижче середнє значення за добу – 43%.

Найбільша кількість посух у Кременчуці трапляється восени: 6 років із 10-ти. Періодичність посух – кожні 1,7 років. Найсухішою була осінь 1983 року, коли випало 26,8 мм опадів за норми 113 мм. *Найтриваліша посуха спостерігалася восени 1986 року – 67 днів.* Улітку посухи спостерігалися два роки з десяти. Проте **найсухішим у Кременчуці є березень** із середньою кількістю

опадів 24,5 мм (норма становить 29 мм) та з чотирма посухами у 1982, 1984, 1985, 1986 роках;

5) тривалість та інтенсивність опадів.

Кількість днів з опадами за місяць та за рік разом із сумами опадів є важливим кліматичним елементом. Для рослин важливим є те, чи випадали опади декілька днів на місяць, чи випадали часто і розділялись рівномірно. У степовій зоні навіть велика злива не поліпшить стан рослин у посуху, якщо вона була єдина. На Україні середня кількість днів з опадами на півдні за рік – 70–100, у Кременчуці – 117. Найбільше днів з опадами було у 1980 році – 153 (832,6 мм), у 1981 році – 137 (638,2 мм), найменше – у 1983 році – 95 (321,7 мм), у 1982 році – 99 (398,1 мм). Найбільша кількість днів з опадами спостерігається взимку – 37 (за кількістю опадів – найменше (103,6 мм). Улітку – 29 днів з опадами (193,2), навесні – 28 днів (105,4 мм), восени – 23 дні (107 мм). Серед місяців року найбільше днів з опадами у січні (13), у лютому і грудні (12), найменше – у жовтні (6), вересні і серпні (7). Найбільша кількість днів з опадами – 18 спостерігалась у січні 1979 та у листопаді 1980 року.

Середня за 10 років кількість днів підряд без опадів – 4,2, найбільша – восени – 5,7 весною – 4,5, влітку – 4. Серед місяців року найбільші середні значення у жовтні – 8,5, у вересні – 6,3, у серпні – 6,4, найменші – у січні – 3,1, лютому і грудні – 3,4. У жовтні 1987 року це значення склало 31 день, у вересні 1983 та серпні 1986 року – 14,5, у березні 1986 та серпні 1983 року – 13. Найменші середні значення за місяць: у січні 1987 р. – 1,7, у червні 1984, листопаді 1980, 1981 р. – 1,8. *Максимальна кількість днів підряд без опадів – 37 у 1987 р., 28 – у жовтні 1983 р., по 26 – у травні 1986 та серпні 1988 року.*

Середня добова інтенсивність опадів – це середня кількість опадів, що випали в день з опадами. У Кременчуці: 509,1 мм: 117 днів = 4,3 мм. У Центральній Європі – 4–8 мм, весною – 105,4: 28 = 3,8 мм, улітку – 193,2: 29 = 6,7 мм, восени – 107: 23 = 4,6 мм, узимку – 103,6: 37 = 2,8 мм. У червні 1980 року – 232,6: 12 = 19,4 мм.

Добові максимуми опадів на південному заході України досягають 210 мм, у Карпатах – 300 мм [9], у Кременчуці – 108,9 мм (червень 1980 р.). Найбільші добові максимуми спостерігаються з червня по жовтень, найменші – у листопаді і грудні.

Власні спостереження за кількістю опадів у Кременчуцькій ЗОШ №31, що проводяться ретельно з 2012 року, дали несподіваний результат: у районі Молодіжного щороку фіксується перевищення середньої у місті річної кількості опадів, яке складає 900–1400 мм. Вочевидь, роль ядер конденсації на Молодіжному відіграють промислові викиди від потужних підприємств КТЕЦ, КЗТВ, КНПЗ, завдяки яким щодня фіксується перевищення ГДК по пилу в повітрі в районі Молодіжного [9; 10; 11].

Головні висновки. Отже, щодо змін атмосферного тиску Кременчук є надзвичайно «неспокійним» містом із постійними і суттєвими коливаннями тиску більшу половину року (восени, взимку і весною). Так, упродовж доби тиск може знизитися на 26,6 мм рт. ст. (1983 р.), а коливання тиску більші за 5–10 мм рт. ст. за добу взимку відбуваються через кожні 3 доби. Небезпечними для метеозалежних людей є лютий, березень та листопад, коли спостерігаються коливання тиску, більші за 20 мм рт. ст. Улітку коливання незначні.

Зміни атмосферного тиску, зокрема підвищення (компресії) і особливо його зниження (декомпресії) до нормального, є вкрай небезпечними для здоров'я, адже підвищену чутливість до перепадів тиску мають особи середнього та похилого віку з різними хронічними захворюваннями серцево-судинної, нервової, дихальної систем, опорно-рухового апарату.

Незважаючи на те, що в помірних широтах проходить пояс пониженого атмосферного тиску, у Кременчуці переважає високий тиск і антициклонічна діяльність. Середньорічний показник тиску – 763 мм рт. ст., середня за рік кількість днів із тиском нижчим за 760 мм рт. ст. є втричі меншою за кількість днів із високим тиском. Високий тиск переважає взимку, низький – улітку. Винятком є грудень.

Мало б сенс передати медичним закладам міста результати досліджень динаміки атмосферного тиску в Кременчуці з метою врахування виявлених особливостей у лікувальній практиці.

Половина з 10 років – «сухі» роки з малою кількістю опадів – 321 мм у середньому. Найбільше опадів випадає влітку, найменше – узимку. Опади у середньому випадають через кожні 4 доби. Але у жовтні 1987 р. за 31 день не випало жодної краплі дощу.

Кременчук належить до посушливої теплої агрокліматичної зони, де посухи є частим явищем. За 10 років було 6 посух, найтриваліша – 67 днів у 1986 році. Більшість посух бувають не влітку, а восени, а найсухішим місяцем є березень. Ці знання мають ураховувати служби міста, які займаються озелененням міста та вирощуванням культурних рослин.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати дослідження можуть бути використані у різних галузях господарства міста, зокрема у будівництві, транспорті, житлово-комунальному господарстві, в медичних та освітніх закладах, а також для розробки заходів з охорони атмосферного повітря від забруднення. *На превеликий жаль, після 1994 року не можна говорити про клімат у місті, зокрема про його зміни у часі, адже Кохнівська метеостанція, яка щоденно працювала з 1963 року і на якій проводилися щогодинні спостереження кваліфікованими спеціалістами, у 1994 році припинила свою діяльність.* Зараз метеостанція обслуговує Кохнівський аеродром і працює з 8 до 15 години у робочі дні. У Кременчуці є автоматична мете-

останція, але багато метеорологічних показників вона неспроможна зафіксувати: характер опадів (дощ, сніг, град, крупа та тривалість випадіння), ожеледицю, паморозь, росу, іній, туман, хмарність та тривалість даних метеорологічних явищ. До речі, це надзвичайно важливо для роботи промислових підприємств, комунальних та інших служб міста, розгляду ДТП і т. ін. Зрозуміло, що без урахування метеорологічних явищ та інших метеорологічних

показників комплексну характеристику клімату Кременчука виконати не видається можливим, тому надзвичайно важливо провести ґрунтовний комплексний статистичний аналіз наявних метеорологічних даних не тільки за 10 років, а й за всі роки спостережень на метеостанції з 1963 по 1994 рік. Перспективи подальших розвідок у цьому науковому дослідженні можуть бути тільки після відновлення цілодобової роботи метеостанції.

Література

1. Передати нащадкам. Екологічне краєзнавство: [науково-популярні розповіді]. Полтава: «Верстка», 2006. 306 с.
2. Солошич И.А., Соколова И.М. Особенности климата г. Кременчуга и аспекты формирования экологического риска. *Людина і довкілля*. 2001. № 23. С. 173–177.
3. Булава Л.М. Аналіз змін клімату міста Полтави за 1961-2011 роки. *Географія на Полтавщині: сучасний стан і перспективи розвитку: збірник статей регіональної наукової конференції, 5 квітня 2012 року*. Полтава, 2012. С. 11–15.
4. Кліматичні стандартні норми (1961–1990 рр.). Київ: Центральна геофізична обсерваторія, 2002. 402 с.
5. Тарасенко А.Р., Пробитюк Ю.С., Левочко Б.В., Підоріна Л.І. Деякі особливості змін атмосферного тиску у м. Кременчуці. *Матеріали конференції. XIX Міжнародна науково-технічна конференція студентів та молодих учених «Актуальні проблеми життєдіяльності суспільства»*. 2012. С. 264–266.
6. Загула В.І., Мисник С.В. Деякі особливості антициклонічної діяльності на території України в різні сезони року. *Метеорологія, кліматологія та гідрологія*. Київ, 2008. Вип. 50. Ч. 1. С. 51–57.
7. Переведенцев Ю.П., Васильев А.А., Шанталінский К.М., Гурьянов В.В. Климатические изменения приземных полей атмосферного давления и температуры воздуха в умеренных широтах Северного полушария. *Метеорология и гидрология*. 2017. № 7. С. 81–93.
8. Єрмоленко Н.С., Хохлов В.М. Порівняння просторово-часових характеристик посух в Україні на початку та наприкінці ХХ сторіччя. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2012. № 10. С. 65–72.
9. Паламарчук Л.В., Шпиг В.М., Гуда К.В. Умови формування сильних опадів холодного періоду року на рівнинній території України. *Фізична географія та геоморфологія*. 2014. Вип. 2. С. 110–120.
10. Palamarchuk L. Numerical simulation in optimization of precipitation enhancement field experiment Weather Modification Conference, Morocco, 2003.
11. Підоріна Л.І., Левочко Б.В., Пробитюк Ю.С. Залежність кількості опадів від запиленості атмосфери в районі Молодіжного у місті Кременчуці. *Матеріали конференції. XX Міжнародна науково-технічна конференція студентів, аспірантів та молодих учених «Актуальні проблеми життєдіяльності суспільства»*. 2013. С. 264–266.

РОЗВИТОК ПРИРОДНО-ЗАПОВІДНОГО ФОНДУ УКРАЇНИ

УДК 630.433: 630.18

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716-2019-1-24-2-16>

ПОШИРЕННЯ ГНИЛЕЙ У ВІКОВІЙ ДІБРОВІ ДЕНДРОПАРКУ «ОЛЕКСАНДРІЯ» НАН УКРАЇНИ ТА ЇХ ДІАГНОСТИКА

Драган Н.В., Пидорич Ю.В.

Державний дендрологічний парк «Олександрія»
Національної академії наук України
Дендропарк «Олександрія», 09113, м. Біла Церква
ninapark@ukr.net, alexandriapark@ukr.net

Показано поширення гнилей у старовіковій діброві дендропарку «Олександрія» НАН України. Про наявність скритих гнилей свідчили побічні ознаки (дупла, суховершинність, сухобокості, ходи комах, тютюнові гілки, плодові тіла дереворуйнуючих грибів тощо). Враховуючи поширення цих ознак і наявність на окремих деревах по кілька патологій, носіями скритих гнилей можуть бути 1 725 (86,1%) дубів діброви. Плодові тіла дереворуйнуючих грибів були виявлені лише на 140 дубах (7%). Ця ознака не може показувати всі масштаби ураження насадження скритими гнилями. 18,4% дубів мали скриті гнилі кореневої і комлевої частини, 22,1% – стовбурової, 17,5% – верхівкової зони, 22,5% – кількох частин дерева, 3,1% – усього дерева. У дубових деревостанах стиглого і перестиглого віку виявлення скритих гнилей за побічними ознаками не становить труднощів. *Ключові слова:* дендропарк «Олександрія», вікова діброва, гнилі, побічні ознаки скритих гнилей, плодові тіла дереворуйнуючих грибів.

Распространение гнилей в вековой дубраве дендропарка «Александрия» НАН Украины и их диагностика. Драган Н.В., Пидорич Ю.В. Показано распространение гнилей в старовозрастной дубраве дендропарка «Александрия» НАН Украины. О наличии скрытых гнилей свидетельствовали косвенные признаки (дупла, суховершинность, сухобокости, ходы насекомых, табачные ветви, плодовые тела дереворазрушающих грибов и прочее). Учитывая распространение данных признаков и наличие на отдельных деревьях по несколько патологий, носителями скрытых гнилей могут быть 1 725 (86,1%) дубов дубравы. Плодовые тела дереворазрушающих грибов были выявлены только на 140 дубах (7%). Этот признак не может показывать всех масштабов поражения насаждения скрытыми гнилями. 18,4% дубов имели скрытые гнили корневой и комлевой частей, 22,1% – стволовой, 17,5% – верхушечной зоны, 22,5% – нескольких частей дерева, 3,1% – всего дерева. В дубовых древостоях спелого и переспелых возрастов выявление скрытых гнилей при помощи косвенных признаков не составляет сложностей. *Ключевые слова:* дендропарк «Александрия», вековая дубрава, гнили, косвенные признаки скрытых гнилей, плодовые тела дереворазрушающих грибов.

The distribution of rot in the old-aged oak forest “Alexandria” of the nas of Ukraine is shown. Dragan N., Pidorch Yu. Secondary signs (hollows, dry tops, dry sides, insect passage, tobacco branches, fetal bodies of wood-destroying mushrooms, etc.) were the signs of latent rots. Given the distribution of these characteristics and the presence of several trees on several pathologies, the carriers of hidden rot can be 1725 (86.1%) oaks of the oak forest. Fruit bodies of wood-destroying mushrooms were found only in 140 oak trees (7%). This attribute can not show all scales of planting damage by hiding rot. 18.4% of the oak had a hidden rotten root and complex part, 22.1% – stem, 17.5% – apical zone, 22.5% – several parts of the tree, 3.1% – the whole tree. In oak tree-trees of ripe and over-aged age, the detection of hidden-and-frozen rot as a side effect does not present a problem. *Key words:* Aleksandria dendropark, age-old oak, rot, secondary signs of hidden rot, fruit trees of wood-destroying mushroom.

Постановка проблеми. Гнилі є основними чинниками всихання дібров [1]. Значне поширення гнилей спостерігається в діброві дендропарку «Олександрія», який входить до складу природно-заповідного фонду України. Нині діброва є залишками лісового масиву, на основі якого 225 років тому почав створюватися чудовий парк-садиба, названий іменем його володарки «Олександрією». Зараз дубове насадження площею

44,6 га є основним ландшафтом парку та потребує постійного контролю за її станом.

Актуальність дослідження. Одне з актуальних завдань у дослідженні стану діброви дендропарку – визначення поширення гнилей, що дасть змогу оцінити стан окремих дерев і діброви загалом, прогнозувати її життєздатність.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Причини

руйнування дібров, що відбувається протягом останніх 300 років, є предметом дослідження вчених багатьох країн. Незалежно від причин, які призводять до ослаблення дібров, їх безпосередню загибель спричиняють шкідники і хвороби, головним чином гнилі. Дослідження розповсюдження гнилей у віковій діброві дендропарку, яка внесена до переліку природних об'єктів, що становлять національне надбання України, буде внеском у збереження природних дібров.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Найбільш поширеною і небезпечною є скрита гниль, яка важко піддається розпізнаванню [1]. Грунтовні праці, присвячені цій проблемі, з'явилися в перші десятиліття минулого століття [1; 2] і не втратили своєї актуальності донині. В останні часи з'явилося багато досліджень біології та екології дереворуйнівних грибів [3–6].

Виділення не виділених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Наявні дослідження стосувалися визначення внутрішніх скритих патологій дерева з метою оцінки їх господарської шкоди [1, 2] і проводилися в деревостанах, вік яких був оптимальний для рубань. Подібні дослідження в ботанічних установах не проводилися, в окремих випадках давалася загальна оцінка збереженості деревостанів [7].

Новизна. Робота присвячена поширенню гнилового процесу в дібровах старовинних парків, що зазнали, з одного боку, негативних впливів під час облаштування та подальшої експлуатації парків, з іншого – у цих же установах проводяться активні заходи з обмеження рекреаційного навантаження та захисні заходи. Основний напрям наших досліджень – виявлення скритих гнилей старовікових дерев за зовнішніми, макроскопічними ознаками.

Методологічне або загальнонаукове значення.

Ці дослідження можуть мати практичне значення. Зокрема, Санітарні правила [8] не враховують багатьох ознак скритих гнилей, тоді як останні можуть сигналізувати про серйозні патології дуба.

Метою наших досліджень було виявлення поширення гнилей у віковій діброві дендропарку «Олександрія».

Методи: Ознаки скритих гнилей встановлювали за І.І. Журавльовим [9]. Визначення плодкових тіл проводили за допомогою атласів [10] і визначників [11]. Робота виконана в рамках лісопатологічного моніторингу стану вікової діброви, організованого нами у 2008 році [12].

Залежно від розташування на частинах дерева і на повздовжньому розрізі гнилі поділяються на кореневі, комлеві (до 2 метрів заввишки), стовбурові, вершинні, скрізні (по всій довжині стовбура), гнилі скелетних гілок і вершин. За розташуванням гнилі на поперечному перерізі кореня, стовбура чи гілки розрізняють ядрові, заболонні та ядрово-заболонні (змішані) гнилі [13].

Велику роль у поширенні гнилей грають сучки. Їх стан є важливою діагностичною ознакою під час визначення наявності гнилей [1; 2; 9]. Наявність сухих скелетних гілок, ран від їх обломів є однією з найбільш поширених патологій вікових дубів дендропарку. 89,8% дубів мають сухі великі скелетні гілки. Обламані на різній відстані від стовбура сухі скелетні гілки виявлені на 20,9% дерев. У 5,7% дерев гілки обламані на межі зі стовбуром, у 2,2% – під час обламування великих скелетних гілок виривалася частина деревини стовбура.

Всихання скелетних гілок є природним очищенням стовбура. На вікових деревах відмерлі гілки служать місцем проникнення основних стовбурових гнилей і є зовнішніми ознаками ураження стовбурів строкатою ситовою і бурою тріщинуватою гнилями. Через великі відмерлі гілки відбувається 48% випадків зараження стовбура бурою тріщинуватою гниллю [14]. За даними І.Я. Шемякіна [15], 87% випадків ураження стовбурів псевдотрутовиком були пов'язані з пасинком – товстим суком.

Необрізані сухі скелетні гілки дають обломи, які практично ніколи не проходять «по кільцю» меристематичних тканин, що унеможливорює процес заростання рани [2]. У діброві дендропарку такі обломи виявлені на 1 279 дубах (63,8%). На певній відстані від стовбура залишається «пеньок» від гілки. У разі наявності «пенька» процеси деструкції скелетної гілки продовжуються, відпадає кора, в самому

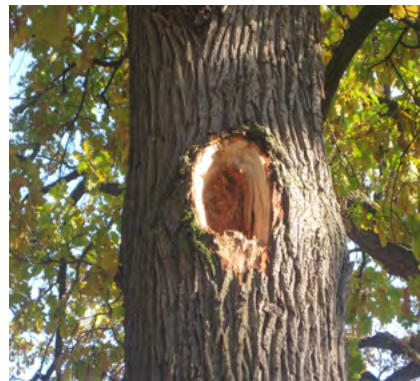
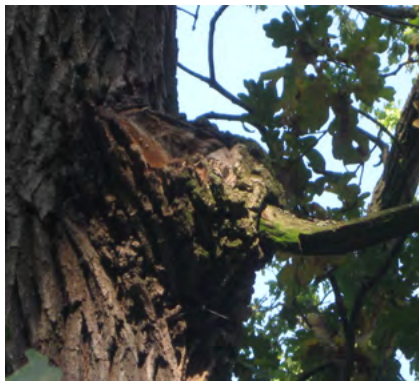


Рис. 1. Розвиток гнилевих процесів на місці сучків

«пеньку» і в місці його прикріплення до стовбура розвиваються гнилові процеси. Рідше (3,6% дубів) під час облому великих скелетних гілок виривається частина деревини стовбура або утворюється дупло (за наявності внутрішньої гнилі в дуба) (рис. 1).

Подальший розвиток гнилі в стовбурі залежить від швидкості затягування рани і виду гриба. У місці заростання сучка, біля основи відмерлої гілки, утворюється так звана ранева пляма. Вона становить собою поверхню кори із зімкнутими валиками калуса, що прикриває поверхню зарослого сучка і розцінюється як ознака наявності скритих гнилей [9].

Із виявлених нами 1 107 дубів із раневими поверхнями лише у 126 на раневій плямі і навколо неї не було патологій, у 376 дубів на закритій корою поверхні сучка були дупла, виразки, плодові тіла тощо. У 605 дубів (30,2%) на обломаній чи обрізаній гілці починав утворюватися калусний валик, проте заростання рани так і не відбувалося, і на зрізі чи обломі з'являлися різні патологічні явища. У 4,8% дубів було потовщення стовбура в сучкового вузла. Напливи (здуття) біля сучків невеликих розмірів характеризують присучкову невелику гниль. Вона супроводжується сучковими дуплами та є діагностичною ознакою ураження стовбурів бурю тріщинуватою гниллю від сірчано-жовтого трутовика і дубової губки [16].

Всихання скелетних гілок відбувалося і в кронах дубів, що приводило до суховершинності. Суховершинність дерева свідчить переважно про ураження дуболюбивим трутовиком [17]. У діврові дендропарку суховершинить 200 дубів (10% від загальної кількості). У 174 дерев (8,7%) всихає менше 1/3 частини крони, у 23 дерев (1,1%) – до двох третин і лише у 3 дерев (0,1%) всихає вся крона. Траплялися також дерева без верхівки. У діврові виявлено 31 дерево (1,5%) із втраченою верхівкою.

Розвиток заболонних гнилей приводить до утворення значних площ омертвілих ділянок деревини, відомих як сухобокості, а під час окільцювання стовбура патологією – до суховершинності і сухостою [2]. Для сухобокості характерна вдавненість, по краям вона оточена напливами у вигляді валика. Типовими

руйнівачами заболони є стереум жовтий, опеньок. У діврові парку сухобокості різного розміру були виявлені на 526 дубах (26,2%). Здебільшого вони були в комлевій зоні (327 дерев – 16,3%) (рис. 2), менше – у верхній частині стовбура – 52 (2,5%) і найменше – на стовбурі вище комлевої зони – 20 дерев (1,0%). У великій кількості дубів – 127 (6,3%) – сухобокості були в кроні в місці розгалуження верхівкових гілок. Досить швидко сухобокості «прогресують», відкриваючи дупло. За 10 років спостережень такий процес відбувся у 78 дубів у комлевій зоні і в 145 дубів у верхівковій зоні.

Дупла як остання стадія ядрових гнилей сформувалися на 496 дубах (24,7%), 291 дерево (14,5%) мали дупла великого і середнього розміру, 205 (10,2%) – малого розміру (5–10 см). У 157 дерев дупла до 10 см у діаметрі були на зарослих і незарослих сучках або зрізаних скелетних гілках, на пухлинах поперечного раку, біля плодових тіл тощо. Розташування дупел великих розмірів підлягало тій самій закономірності, що й сухобокостей – найбільше в комлевій зоні і в розгалуженнях великих скелетних гілок у кроні.

Механічні пошкодження розглядають як ознаки наявності скритих гнилей. Такими переважно є морозобійні тріщини та грозобоїни. Морозобійні пошкодження можуть бути «вхідними воротами» для проникнення інфекції [18]. Кількість дерев із морозобійними тріщинами в діврові становить 110 екз. (5,4% дерев). Нині в незначній кількості дерев (15 екз.) на місці морозобійних незакритих тріщин утворилися виразки, гнилі, дупла.

Грозобоїни належать до одних із найбільш небезпечних патологій [19]. У діврові дендропарку ця патологія виявлена у 12 (0,5%) дубів. У більшості дубів по ходу морозобійних тріщин розвивалися патологічні явища.

Здатність поперечного раку в кінцевому результаті утворювати незаживаючі рани, що слугують вхідними воротами для проникнення спор дереворуйнівних грибів, дає змогу зарахувати це захворювання до потенційно небезпечних [17]. Цією патологією в діврові дендропарку уражено 598 (29,8%) дерев дуба. На 135 деревах (6,7%) на великих пухли-



Рис. 2. Сухобокості в комлевій зоні дубів

нах виявлені глибокі тріщини, виразки з оголенням деревини, на 7 деревах – дупла.

В окремих місцезростаннях у 123 дубів (6,1%) спостерігалися припіднятність та оголення кореневих лап. Припіднятність кореневих лап (скелетних коренів у шийки комеля) – ознака раневих гнилей, дуплості стовбура. На цих же ділянках значна частина дубів мала комлеві напливи (кобли). Кобли – ознака розвитку псевдоядра та ядрової гнилі [17] (рис. 3).

Внутрішні гнилі «виходять» на поверхню стовбура по деревині великих незарослих сучків, де гриб утворює плодові тіла [5]. Ця патологія виявлена на 140 деревах дубу (7%). Дуже небезпечними для життя є кореневі гнилі. Відомі білі гнилі, що спричиняються дубовим кореневим трутовином (*Inonotusdryadeus* (Pers. ExFr.) Murr, опеньком (*Armillariamellea* Quel), стереумом байковим або дубовим (*Stereum gausapatum* Fr.) тощо. Біла заболонна і біла периферійна гнилі є найбільш небезпечними в степових і лісостепових районах України, здатними уражувати живі гриби і швидко приводити їх до загибелі [5]. У прикореневій зоні стовбурів нами було виявлено плодові тіла кореневого дубового трутовика – на 12 екз. дуба (0,6%), на 9 дубах (0,4%) – стереума байкового або дубового, на 17 деревах – опенька. Найбільш поширеним у кореневій зоні були плодові тіла печіночниця – 48 дерев (2,4%). Гниль, спричинена цим грибом, не становить серйозної небезпеки для життя дерева, оскільки спричиняє слабе загнивання деревини [17].

Гнилі стовбурів спричиняються цілим рядом грибів. У діброві дендропарку виявлені несправжній дубовий трутовик (*Phellinus robustus* (Karst.) Bourd. et Galz (11 дубів, 0,5%), дубовий трутовик (*Inonotus dryophilus* (Berk.) Murr.) (13, 0,6%), дубова губка (*Daedalea quercina* L. ex Fr.) (4 дерева IV категорії життєвого стану), сірчано-жовтий трутовик (*Polyporus sulfureus* (Bull.) Fr.) (7 дубів). Несправжній дубовий трутовик спричиняє жов-

то-білу ядрову гниль стовбура, хвороба не призводить до швидкого відмирання дерева, вона може тривати 50 років і більше, далі дерево всихає чи гине від бурелому. Дубовий трутовик спричиняє строкату центральну гниль стовбура [5]. Він належить до небезпечних грибів. Сірчано-жовтий трутовик спричиняє буру призматичну гниль стовбурів. Гниль розвивається переважно приховано в центральній частині стовбура, охоплюючи до 80% його висоти. Цей гриб належить до небезпечних і завдає великої шкоди дібровам [16].

Поширеним явищем була наявність плодових тіл грибів на великих скелетних і верхівкових гілках дубів. Ці гриби спричиняють всихання скелетних гілок, що призводить до ослаблення дерева і суховершинності [17]. Вершинне всихання спричиняється, зокрема, некротичними грибами *Vuilleminia comedens* Maire, *Clithris quercina* (Pars.) Rehm та іншими збудниками, які проникають через поранення та обламані сучки. Деколи ці гриби переходять у живу частину дерева, спричиняючи некрози кори і жовто-білу верхинну заболонну гниль.

На 21 дереві дуба було виявлено по два різних види дереворуйнуючих грибів на різних частинах стовбура. Ще на 19 деревах дуба виявлені не ідентифіковані нами плодові тіла, або залишки дереворуйнуючих грибів.

Ми не змогли врахувати наявність усіх плодових тіл, оскільки багато з них утворюються в перший період вегетації, швидко сохнуть і руйнуються комахами, інші (печіночниця) збираються відвідувачами. Проте майже рівна кількість дубів із плодовими тілами зберігається протягом більш як 10 років. У В.М. Гайдамаки (2004–2007 роки) цей показник дорівнював 9,5% [20]. За результатами наших обстежень: у 2008–2012 роки – 8,1%, у 2013–2017 роки – 7%. З іншого боку, не у всіх випадках активного гнилового процесу утворюються плодові тіла, у 90% гнилі розвиваються приховано [1; 2].



Рис. 3. Патологічні явища в комлевій зоні дубів

Враховуючи поширеність у діброві дендропарку всіх виявлених ознак прихованих гнилей і наявність на деревах по кілька патологій, носіями прихованих гнилей можуть бути 1 725 дубів. У 369 (18,4%) були гнилі кореневої і комлевої частини, у 441 (22,1%) – стовбура, у 350 (17,5%) – верхівки і скелетних гілок. Тобто дещо більше половини дубів (57,9%, або 1160 екз.) мають ознаки прихованих гнилей однієї частини стовбура. У 22,6% (452 екз.) дубів гнилевий процес охопив кілька зон, у 130 дубів, або 6,5% – верхівки і комлевої частини, у 189 (9,4%) – верхівки і стовбура, у 133 (6,6%) – комлевої частини і стовбура. У невеликій кількості дубів – 63 (3,1%) – гнилевий процес охопив усе дерево.

Плодові тіла були виявлені лише на 140 дубах. Отже, наявність плодових дереворуйнівних грибів не може бути достатньою і самостійною ознакою та показувати всі масштаби поширення прихованих гнилей у діброві дендропарку. Водночас контроль за появою і поширенням плодових тіл несе важливу інформацію для ідентифікації типу гнилі, її поширення за ландшафтними ділянками діброви, дає змогу використовувати цю ознаку в числі інших для прогнозу життєздатності окремих дубів і діброви загалом. Це обстеження виконане в рамках моніторингу стану діброви, організованого нами у 2008 році, зокрема обстеження фітосанітарного стану діброви, що проводиться раз у 5 років. Регулярне ж обстеження

діброви дасть змогу виявити значно більшу кількість дерев із плодовими тілами, більшу кількість їх видів, що дасть можливість мати більш повне уявлення і дати більш точні прогнози.

На відміну від дерев віку рубань, у старовікових дубів зовнішні ознаки вже виражені досить чітко і чисельні, добре діагностуються, дають характеристики розмірів гнилі, певною мірою допомагають діагностувати тип відпаду – кореневий, стовбуровий, верхівковий. Труднощі становить переважно діагностика патологічних явищ у верхівковій зоні, особливо, коли дерева високі, в розвилці скелетних гілок важко побачити дулла та інші патології, та в кореневій зоні.

Головні висновки.

1. Прихованими гнилями уражено 1 725 (86,1%) дубів парку. У 1 160 дубів гнилями уражена лише одна частина стовбура, у 452 – кілька частин і у 63 дубів – усе дерево.

2. Плодові тіла, які виявлені лише на 140 дубах, не можуть бути достатньою і самостійною ознакою та показувати всі масштаби поширення прихованих гнилей у діброві дендропарку.

3. У старовікових дубів зовнішні ознаки чисельні та виражені досить чітко, добре діагностуються, дають характеристики розмірів гнилі, певною мірою допомагають діагностувати тип відпаду – кореневий, стовбуровий, верхівковий.

Література

1. Вакин А.Т. Грибные болезни и другие пороки дубрав. Москва: «Рослестехиздат», 1932. 128 с.
2. Матвеев-Мотин А.С., Алексеев И.А. Скрытые пороки древесины и методы их распознавания. 3-е изд., расшир. и дополн. Москва: «Гослесбумиздат», 1963. 210 с.
3. Степанова Н.Т., Мухин В.А. Основы экологии дереворазрушающих грибов. М.: «Наука», 1979. 100 с.
4. Говорова Г.А. Видовая и расовая специализация фитопатогенных грибов. *Микология и фитопатология*. 1987. Т. 21. Вып. 5. С. 467–471.
5. Цилюрик А.В., Корниенко В.П. Дереворазрушающие грибы и состояние дубовых насаждений Правобережной Лесостепи Украины. *Сборник трудов УСХА*. К.: 1977. С. 111–116.
6. Исиков В.П., Конопля Н.И. Дендромикология. Луганск: «Альма-Матер», 2004. 347 с.
7. Клименко Ю.О., Кузнецов С.И., Черняк В.М. Старовинні парки України загальнодержавного значення: довідник. Ч. I. Полісся та Лісостеп. Тернопіль: «Мандрівець», 1996. 106 с.
8. Санітарні правила в лісах України. К., 1995. 19 с.
9. Журавлєв И.И. Диагностика болезней леса. М.: Изд-во с.-х. литературы, журналов и плакатов. 1962. 194 с.
10. Зерова М.Я. Атлас грибов Украины. К.: «Наук. думка», 1974. 252 с.
11. Журавлєв И.И., Селиванова Т.Н., Черемисинов Н.А. Определитель грибных болезней деревьев и кустарников. М.: «Лесн. пром-сть», 1979. 248 с.
12. Драган Н.В. Мониторинг состояния вековой дубравы дендрологического парка «Александрия» НАНУ. *Проблемы природоохранной организации ландшафтов*. Новочеркасск: «Лик», 2013. Ч. 1. С. 147–153.
13. Лесная энциклопедия / Под ред. Г.И. Воробьева. М.: «Сов. энциклопедия», 1985. 563 с.
14. Селочник Н.Н., Кондрашова Н.К. Общая оценка состояния насаждений по данным рекогносцировочного и детального лесопатологического исследований. *Состояние дубрав Лесостепи*. М.: «Наука», 1989. С. 138–153.
15. Шемякин И.Я. Некоторые новые данные к характеристике ложного дубового трутовика и вызываемой им гнили. *Тр. Воронеж. гос. зап.-ка.* 1959. Вып. 8. С. 287–293.
16. Дунаева Е.Н., Дунаев А.В., Калугина С.В. Исследование патосистемы «дуб черешчатый – серно-жёлтый трутовик в порослевых дубравах Белгородской области. *Лесной вестник*. 2014. № 5. С. 27–32.
17. Воронцов А.И. Патология леса. М.: «Лесн. пром-ть», 1978. 270 с.
18. Шевченко С.В., Цилюрик А.В. Лесная фитопатология. Киев: «Вища школа», 1986. 384 с.
19. Кагарманова Е.С. Грозобины на дубе. *Вестник ВГУ*. Воронеж, 2007. № 1. Ст. 208–211.
20. Гайдамак В.М. Дубрава дендропарка «Александрия»: современная структура и состояние, способы оптимизации. *Будівництво та реконструкція ботанічних садів в Україні*. Сімферополь, 2006. С. 31–33.

СМОЛЯНИЙ РАК СОСНИ В ІЧНЯНСЬКОМУ НАЦІОНАЛЬНОМУ ПРИРОДНОМУ ПАРКУ: ПРОБЛЕМИ ТА ШЛЯХИ ВИРІШЕННЯ

Лисенко Г.М., Шульга О.О., Пасічник С.В.
Ічнянський національний природний парк
вул. Лісова, 43, 16700, м. Ічня
lysenkoukr@gmail.com, ichn_park@ukr.net

Проаналізовано поширення смоляного раку сосни, викликаного *Cronartium flaccidum* (Alb. et Schw.) Wint. та *Peridermium pini* (Willd.) Kleb., у заповідних лісостанах хвойних порід на території Ічнянського національного природного парку (Чернігівська область). Зазначені мікози провокують подальше ураження стовбуровими шкідниками основного виду-ценозоутворювача – *Pinus sylvestris* L., що призводить до кардинальної зміни видового складу, просторової структури та способів функціонування соснових лісів. Запропоновано використання усталених алгоритмів і методів лісозахисту, що певною мірою суперечать деяким положенням «Санітарних правил у лісах України» (2016 р.), а тому необхідна їх корекція. *Ключові слова*: смоляний рак сосни, заповідні лісостани, заходи боротьби.

Смоляной рак сосны в Ичнянском национальном природном парке: проблемы и пути решения. Лисенко Г.М., Шульга А.А., Пасечник С.В. Проанализировано распространение смоляного рака сосны, вызванного *Cronartium flaccidum* (Alb. et Schw.) Wint. и *Peridermium pini* (Willd.) Kleb., в заповедных хвойных лесах на территории Ичнянского национального природного парка (Черниговская область). Упомянутые микозы провоцируют дальнейшее заражение стволовыми вредителями основного вида-ценозообразователя – *Pinus sylvestris* L., приводящие к кардинальному изменению видового состава, пространственной структуры и способов функционирования сосновых лесов. Предложено использование ныне действующих алгоритмов и методов защиты лесов, которые в определенной степени противоречат некоторым положениям «Санитарных правил в лесах Украины» (2016 г.), а потому необходима их коррекция. *Ключевые слова*: смоляной рак сосны, заповедные леса, методы борьбы.

Pine cancer resin in the Ichnya National Natural Park: problems and solutions. Lysenko G., Shulga A., Pasichnik S. The spread of resin pine cancer caused by *Cronartium flaccidum* (Alb. et Schw.) Wint. and *Peridermium pini* (Willd.) Kleb., in reserved coniferous forests on the territory of the Ichnyansky National Natural Park (Chernihiv region) is analyzed. Mentioned mycoses provoke further infection with stem pests of the main type of coenogeous agent – *Pinus sylvestris* L., leading to a fundamental change in the species composition, spatial structure and methods of functioning of pine forests. It is proposed to use the existing algorithms and methods for protecting forests, which to some extent contradicts some provisions of the “Sanitary Rules in the Forests of Ukraine” (2016), which requires their correction. *Key words*: pine cancer resin, reserved forests, protection methods.

Постановка проблеми. Збереження біологічного різноманіття як головної передумови забезпечення структурно-функціональної стійкості природних та антропогенно трансформованих екосистем є одним з основних завдань, що стоять перед світовою науковою спільнотою. У цьому аспекті важливе значення в реалізації таких завдань мають об'єкти природно-заповідного фонду.

Однак стан природоохоронних територій сьогодні залишається досить складною проблемою внаслідок як об'єктивних, так і суб'єктивних чинників. Більшість наявних зараз об'єктів природно-заповідного фонду не повною мірою виконують поставлені перед ними завдання – збереження видового й ценотичного різноманіття на основі процесів самовідтворення природно-територіальних комплексів. Саме тому в більшості об'єктів природно-заповідного фонду України застосовують регуляційні заходи, спрямовані на підтримання стану резерватних екосистем, збереження їх структури та складу компонентів.

Не є винятком і лісові екосистеми Ічнянського національного природного парку (далі – Ічнянський НПП). Незважаючи на впровадження заповідних режимів, ліси досліджуваної території являють собою складну мозаїку фітоценогічних комплексів, що перебувають у стані нестійкої рівноваги, до того ж загрози втрати їх стійкості мають тенденцію до посилення. Це пояснюється минулою господарською діяльністю в лісах, за якої інтенсивно вилучалися одні види та висаджувалися інші, часто не типові для цих екотопів, швидко поширювалися інвазійні види, як правило, євритопні з потужною життєвою стратегією, що пригнічують поновлення зональних видів-ефікаторів [1].

На тлі зазначених процесів одним із важливих біотичних екологічних чинників є фітопатологія різного генезису, насамперед зумовлені дією паразитарних видів грибів. Ураження лісостанів найчастіше має локальний характер. Проте повне невтручання в перебіг мікоінвазій призводить до масового

поширення збудника хвороби, що спостерігається останнім часом у лісовій зоні України. Саме тому мікологічний моніторинг стану резерватних (і не тільки) лісів є надзвичайно актуальним завданням, а результати спостережень повинні лягти в основу розроблення комплексу регуляційних заходів [2], спрямованих на збереження та самовідтворення заповідних біоценозів.

Актуальність дослідження. З огляду на досить загрозливий стан лісів із домінуванням *Pinus sylvestris* L. як природного, так і антропогенного походження, що зумовлений цілою низкою чинників, одним із найважливіших завдань є проведення комплексних досліджень усіх без винятку компонентів лісових екосистем.

Серед загроз варто окремо виділити масове поширення мікозів, викликаних іржастими грибами *Cronartium flaccidum* (Alb. et Schw.) Wint та *Peridermium pini* (Willd.) Kleb. [3]. Хвороба має декілька назв, серед яких найпоширенішими є «смоляний рак сосни» та «сірянка». Це захворювання призводить до утворення виразок здебільшого на стовбурі та подекуди на скелетних гілках. Зазвичай ураження відбувається через порушення цілісності покривних тканин, викликаних механічними впливами. Спочатку міцелій розвивається в міжклітинниках флоєми, згодом поширюється в камбіальні шари та зрештою проникає в клітини ксилеми. При цьому руйнуються смоляні ходи та живиця у вигляді спочатку бурих, а згодом сіріючих напливів (звідси й назва «сірянка»), що засихає на поверхні стовбура. Утворена виразка внаслідок пошкодження камбію розвивається ексцентрично, поширюючись при цьому вгору та вниз стовбуром. Уражене дерево поступово ослаблюється, порушуються механізми водно-мінерального живлення, ефективність фотосинтетичних процесів різко знижується, хвоя стає блідо-зеленою, масово осипається. Такі екземпляри зазнають подальшого ураження комахами-шкідниками та зрештою відмирають.

Незважаючи на схожість протікання хвороби та кінцевих результатів необхідно вказати на особливості відтворення цих видів, зокрема: *Cronartium flaccidum* у циклі розвитку, окрім сосни, частину свого життєвого циклу проходить на проміжних рослинах-хазяїнах (*Vincetoxicum hirundinaria* Medik, *Melampyrum arvense* L., *Pedicularis palustris* L., *Impatiens parviflora* DC.), тоді як *Peridermium pini* розвивається лише на сосні та не потребує проміжних видів-хазяїв.

Мета дослідження – встановити особливості поширення й ступінь ураженості смоляним раком сосни резерватних деревостанів, що репрезентують найпоширеніші на території Ічнянського НПП ліси, а також розробити рекомендації щодо зниження шкідливого впливу збудника цієї мікоінвазії.

Матеріали та методи досліджень. Збір польового матеріалу здійснювався в соснових і мішаних

лісах Ічнянського НПП на території Хаєнківсько-Заудайського та Будянсько-Сезьківського природоохоронних науково-дослідних відділень (далі – ПНДВ). Основою бази емпіричних даних слугували акти лісопатологічних досліджень, виконаних співробітниками установи за період із 2015 р. по 2018 р. Об'єктом досліджень обрано лісові екосистеми Ічнянського НПП, що займають близько 78% його території та репрезентують основні природні комплекси Лівобережно-Придніпровської лісостепової провінції (ліси, лучні степи, заплавні луки, низинні болота).

Виклад основного матеріалу. Територія Ічнянського НПП становить 9665,8 га, у тому числі 4686,1 га земель, наданих йому в постійне користування, та 4979,7 га земель, включених до складу парку без вилучення в землекористувачів. На підставі комплексної оцінки територіальних зв'язків територія природного парку розподілена на такі функціональні зони: заповідну (2419,3 га, або 25%), зону регульованої рекреації (4916,8 га, або 51%), зону стаціонарної рекреації (52 га, або 1%) та господарську зону (2277,7 га, або 23%) [4; 5].

Згідно з геоботанічним районуванням [6] Ічнянський НПП знаходиться в Прилуцько-Лохвицькому геоботанічному районі Роменсько-Полтавського геоботанічного округу лучних степів, дубових, грабово-дубових (на заході) і дубово-соснових (на терасах річок) лісів та евтрофних боліт Лівобережно-Придніпровської підпровінції Східноєвропейської провінції Європейсько-Сибірської лісостепової області.

Рисунок 1 ілюструє розподіл основних формацій лісової рослинності на території Ічнянського НПП. Соснові ліси та їх варіації зі співдомінуванням листяних порід розміщуються більш-менш рівномірно на вирівняних і слабохвилястих елементах рельєфу, уникаючи долин річок та перезвожених екоотопів. За результатами лісової таксації, загальна площа соснових лісів досліджуваної території становить 1164,4 га, (41,18%), що значно перевищує площі, зайняті іншими формаціями лісової рослинності (див. табл. 1). У Хаєнківсько-Заудайському та Будянсько-Сезьківському ПНДВ площі, зайняті сосняками, майже однакові (612,8 та 551,6 га відповідно), проте їх локалізація дещо відрізняється. Так, у першому з названих відділень соснові ліси формують більш-менш однорідний континуум, тоді як у другому вони представлені окремими локалітетами, відмежованими один від одного сільськогосподарськими угіддями або ділянками листяних лісів. Як виявилось, зазначена просторова неоднорідність прямо впливає на особливості поширення смоляного раку сосни.

У таблицях 2 та 3 представлені результати лісопатологічних досліджень, проведених у Хаєнківсько-Заудайському (табл. 2) та Будянсько-Сезьківському (табл. 3) ПНДВ соснових деревостанів з окремою фіксацією уражень смоляним раком за період з 2015 р. по 2018 р.

Навіть побіжний аналіз вказує на значне варіювання уражених смоляним раком дерев у різних кварталах і виділах та за роками. Так, у Хаєнківсько-Заудайському ПНДВ мінімальні показники становлять 0,82% (у другому кварталі 2018 р., виділ

1) а максимальні – 32,91% (у четвертому кварталі 2016 р., виділ 12). У Будянсько-Сезьківському ПНДВ мінімальні показники становлять 2,04% (у першому кварталі 2017 р., виділ 1), а максимальні – 34,48% (у сьомому кварталі 2015 р., виділ 13). Варто заува-

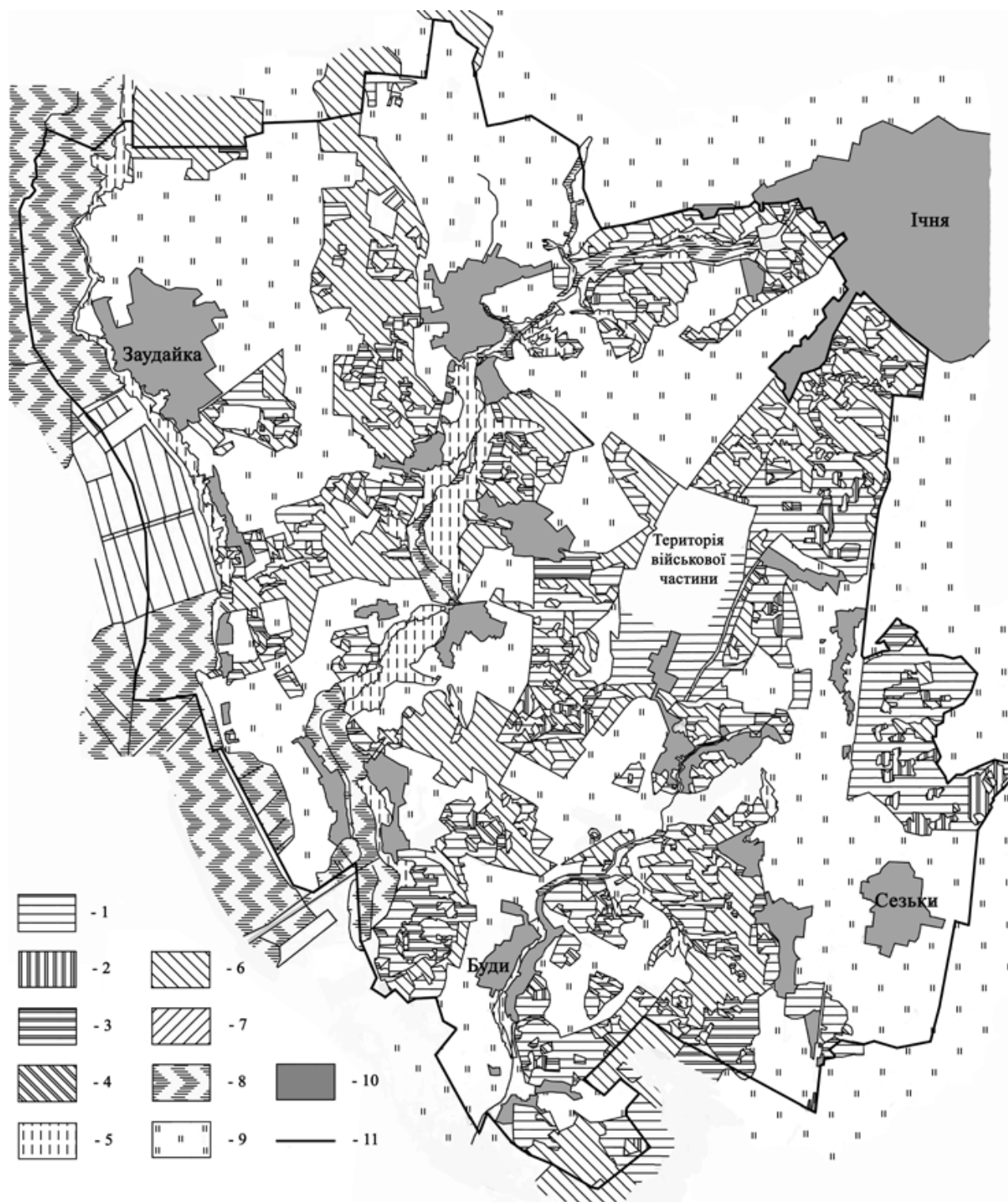


Рис. 1. Картохема основних формацій лісової рослинності Ічнянського національного природного парку
 Легенда до картохеми: 1 – формація *Querceta roboris*; 2 – формація *Tilieta cordata*; 3 – формація *Betuleta pendulae*;
 4 – формація *Populeta tremulae*; 5 – формація *Alneta glutinosae*; 6 – формація *Pineta sylvestris*; 7 – формація *Piceeta abietis*;
 8 – болото; 9 – рілля та перелоги; 10 – населені пункти; 11 – межі парку.

Таблиця 1

Розподіл площ заповідних лісостанів Ічнянського НПП за природоохоронними науково-дослідними відділеннями

Домінуючі види	Будянсько-Сезьківське ПНДВ				Хаснківсько-Заудайське ПНДВ			Всього, га
	Тростянець	Сезьки	Буди	Всього, га	Хаснки	Заудайка	Всього, га	
Сосна	9,1	117,0	425,5	551,6	456	156,8	612,8	1164,4
Ялина	9,4	1,0	-	10,4	19,2	5,6	24,8	35,2
Дуб червоний	-	-	-	-	3,7	-	3,7	3,7
Дуб черешчатий	81,9	77,2	162,5	321,6	82,7	42,0	124,7	446,3
Граб	-	6,0	77,4	83,4	-	7,0	7,0	90,4
Ясен, клен	112,7	-	-	112,7	-	-	-	112,7
Липа	-	8,2	-	8,2	-	-	-	8,2
Береза	85,8	84,1	34,6	204,5	69,0	10,9	79,9	284,4
Осика	2,3	16	20,6	38,9	16,3	12,3	28,6	67,5
Тополя	38,9	-	-	38,9	-	-	-	38,9
Вільха чорна	-	42,2	-	42,2	397,1	136,5	533,6	575,8

Таблиця 2

Розподіл площ та вилучених дерев зі смоляним раком сосни на території Хаснківсько-Заудайського природоохоронного науково-дослідного відділення

Рік	Квартал	Виділ	Площа, га	Вилучено дерев		% ураженості смоляним раком
				Всього, шт.	Зі смоляним раком, шт.	
2015	4	14	5,5	545	7	1,28
	2	2	22,1	954	184	19,29
	8	46	2,2	198	18	9,09
	11	1	16,8	2386	40	1,69
	8	16	3,8	298	10	3,36
	2	23	2,0	231	5	2,16
	8	16	5,4	118	7	5,93
	7	5	1,8	155	6	3,87
	7	27	1,6	176	3	1,70
	12	18	3,2	130	7	5,38
Всього			72,9	5173	287	5,55
2016	2	21	6,8	492	36	7,32
	4	5	1,3	95	2	2,11
	4	10	1,0	23	1	4,35
	4	13	2,3	199	3	1,51
	7	27	2,6	224	12	5,36
	7	29	14,6	470	69	14,68
	8	35	6,7	257	20	7,78
	11	6	26,0	3775	61	1,62
	12	8	1,8	62	6	9,68
	2	6	6,0	313	73	23,32
	4	8	4,3	180	26	14,44
	4	12	8,4	237	78	32,91
	7	19	3,9	121	10	8,26
	9	24	2,9	95	8	8,42
	12	16	1,0	93	5	5,38
13	5	0,8	19	4	21,05	
15	2	15,1	2290	10	0,44	
Всього			105,5	9033	424	4,69

Продовження таблиці 2

2017	9	1	29,0	49	9	18,37
	13	11	14,6	276	50	18,12
	4	3	3,2	224	24	10,71
	11	24	3,9	167	43	25,75
	3	14	2,0	84	17	20,24
	13	35	15,7	900	24	2,67
	7	4	4,6	323	10	3,10
	2	2	25,6	1090	60	5,50
Всього			98,6	3113	237	7,61
2018	3	4	5,1	111	35	31,53
	11	8	1,5	46	2	4,35
	13	1	4,6	218	28	12,84
	2	1	21,0	485	4	0,82
	5	1	6,3	109	31	28,44
	12	4	2,0	243	13	5,35
	11	18	3,4	232	12	5,17
	8	1	2,4	143	7	4,89
	7	3	3,4	201	6	2,98
	7	9	1,8	106	7	6,60
	6	3	6,0	249	27	10,84
	2	1	10,4	628	60	9,55
10	2	9,8	805	14	1,74	
Всього			77,3	3576	246	6,88

Таблиця 3

Розподіл площ та вилучених дерев зі смоляним раком сосни на території
Будянсько-Сезьківського природоохоронного науково-дослідного відділення

Рік	Квартал	Виділ	Площа, га	Вилучено дерев		% ураженості смоляним раком
				Всього, шт.	Зі смоляним раком, шт.	
2015	7	5	16,0	1094	36	3,29
	7	15	16,0	366	12	3,28
	5	18	2,7	126	39	30,95
	5	17	8,9	245	36	14,69
	4	13	7,8	754	39	5,17
	7	13	1,6	29	10	34,48
	7	9	16,0	195	52	26,67
	7	15	1,5	305	24	7,87
	3	6	17,0	747	75	10,04
Всього за рік			87,5	38,61	323	8,37
2016	2	6	35,0	988	124	12,55
	5	12	4,8	245	17	6,94
	5	21	8,6	140	26	18,57
Всього за рік			48,4	1373	167	12,16
2017	1	7	1,8	147	3	2,04
	1	1	4,6	278	8	2,88
	1	8	1,6	65	10	15,38
	1	14	1,3	243	3	1,23
Всього за рік			9,3	733	24	3,27
2018	3	6	17,8	301	30	9,97
	4	13	7,8	284	8	2,82
	1	2	2,2	203	5	2,46
	2	2	6,1	204	18	8,82
	1	7	3,8	94	20	21,28
Всього за рік			37,7	1086	81	7,46

жити, що середні значення ураженості в першому зі згаданих відділень більш вирівняні за роками (5,55%, 4,69%, 7,61% та 6,88% у 2015 р., 2016 р., 2017 р. та 2018 р. відповідно), тоді як у другому спостерігаються значні коливання: 3,27% у 2017 р. та 12,16% у 2016 р. Водночас середній відсоток уражених дерев у двох науково-дослідних відділеннях перебуває в межах статистичної похибки та становить 6,18% і 7,82% для Хасенківсько-Заудайського та Будянсько-Сезьківського ПНДВ відповідно.

У таблицях 2 та 3 наведено не лише кількість і відсоток дерев, що уражені смоляним раком, а й загальну кількість вилучених під час санітарної вибіркової рубки дерев. Згідно із «Санітарними правилами в лісах України» [7] вибіркової санітарної рубки проводяться власниками лісів, постійними лісокористувачами шляхом вилучення з насаджень сухостійних, відмираючих, дуже ослаблених унаслідок пошкодження насаджень пожежами, шкідниками, хворобами лісу та внаслідок аварій і стихійних лих окремих дерев або їх груп.

Окрім того, у п. 20 документа зазначено: «Дерева, уражені смоляним раком-сірянкою, підлягають вирубуванню, якщо рана охоплює понад 1/2 периметра стовбура». Однак у більшості випадків некроз на стовбурі поширюється переважно у вертикальному напрямку (середня швидкість поширення грибниці становить 11 см/рік за вертикаллю, тоді як за горизонталлю на перевищує 2,1 см/рік) і може сягати значних розмірів, значно перевищуючи діаметр стовбура. Це пояснюється специфікою розвитку гіф патогенного гриба, які з лубу проникають у ксилему, структурні елементи якої мають вертикальну орієнтацію. Тому, на нашу думку, не варто допускати поширення ран, викликаних смоляним раком, у радіальних напрямках та чекати охоплення ним більше ніж половини стовбура. Адже за цей час *Cronartium flaccidum* та *Peridermium pini* продукують багато поколінь ецидіоспор, які уражають сусідні дерева, а тому хвороба набуває масового характеру.

Смоляний рак призводить до ослаблення дерев унаслідок порушень процесу фотосинтезу, адже утворені рани перешкоджають проведенню води й мінеральних речовин, що у свою чергу суттєво зменшує щорічний приріст. На тлі зниження процесів метаболізму хворі дерева швидко заселяються низкою шкідників, серед яких переважають комахи-ксилофаги. М.М. Завада [8; 9] визначає, що на ослаблених сірянкою деревах селяться короїд-кри-

хітка сосновий (*Crypturgus cinereus*), соснова жерднякова смолівка (*Pissodes piniphilus*), малий сосновий лубоїд (*Blastophagus minor*), стенограф (*Ips sexdentatus*), синя златка (*Phaenops cuaneae*), синій рогохвіст (*Sirex juvenis*) та низка видів, спільно причетних до всихання сосни і ялини. Водночас, згідно з п. 14 «Санітарних правил в лісах України» [7], сухостійні, відмираючі, дуже ослаблені внаслідок пошкодження пожежами, шкідниками, хворобами лісу та внаслідок аварій і стихійних лих дерева відбираються для рубки до масового заселення їх стовбуровими шкідниками або ураження хворобами; відповідно, виникає певне протиріччя: коли ж необхідно вилучати хворі дерева з метою запобігання масовому поширенню хвороб?

Загалом швидкість розмноження стовбурових шкідників залежить насамперед від кількості підготовлених до заселення ними дерев. Заселення стовбуровими шкідниками верхівкового комплексу ще живих сосен може тривати декілька років поспіль. Регулювання їх чисельності у хвойних лісах здійснюється своєчасною вибіркою щойно заселених дерев, утилізацією порубкових решток упродовж усього вегетаційного періоду [9].

Головні висновки. Таким чином, поширення смоляного раку сосни в заповідних лісостанах Ічнянського національного природного парку викликає нові, цілком реальні загрози. Мікози, зумовлені діяльністю *Cronartium flaccidum* та *Peridermium pini*, провокують подальше ураження стовбуровими шкідниками основного виду-ценозоутворювача – *Pinus sylvestris* L., що призводить до кардинальної зміни видового складу, просторової структури та способів функціонування соснових лісів.

Є століттями відпрацьовані методи збереження лісів [2; 10; 11], що базуються на дотриманні комплексу певних вимог і рекомендацій, спрямованих на запобігання масовому розвитку потенційних шкідників та формування вогнищ збудників хвороб, які можуть завдати істотної шкоди лісостанам. Однак неоднозначне трактування деяких положень «Санітарних правил в лісах України» [7; 12] призводить до неможливості оперативного втручання в протікання процесів поширення хвороб та масового розмноження шкідників лісу. Запропоновано використовувати усталені алгоритми й методи лісозахисту, які певною мірою суперечать деяким положенням «Санітарних правил в лісах України» (2016 р.), а тому останні потребують корекції.

Література

1. Лукіша В.В., Шульга О.О. Оцінка екологічних загроз лісам природно-заповідного фонду (на прикладі Ічнянського НПП). *Екологічні науки* : науково-практичний журнал / гол. ред. О.І. Бондар. Київ : ДЕА, 2017. № 16–17. С. 111–121.
2. Воронцов А.И., Мозолевская Е.Г., Соколова Э.С. Технология защиты леса. Москва, 1991. 304 с.
3. Ботаніка. Водорості та гриби / І.Ю. Костіков, В.В. Джаган, Е.М. Демченко, О.А. Бойко, В.Р. Бойко, П.О. Романенко. Київ : Арістей, 2006. 476 с.
4. Літопис природи Ічнянського НПП. Т. 11. Ічня, 2017. 156 с.
5. Літопис природи Ічнянського НПП. Т. 12. Ічня, 2018. 150 с.
6. Геоботанічне районування Української РСР. Київ, 1977. 301 с.
7. Санітарні правила в лісах України / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/756-2016-n#n9>.
8. Завада М.М. Лісова ентомологія. Київ : КВІЦ, 2007. 183 с.
9. Завада М.М., Шульга О.О. Особливості заходів з поліпшення санітарного стану лісів природно-заповідного фонду за нинішніх умов. *Проблеми збереження гірських екосистем та сталого використання біологічних ресурсів Карпат* : матеріали міжнародної науково-практичної конференції з нагоди 50-річчя організації Карпатського біосферного заповідника, м. Рахів, 12–15 жовтня 2018 р. Івано-Франківськ, 2018. С. 191–201.
10. Історія лісівництва в Україні / С.А. Генсірук, О.І. Фурдичко, В.С. Бондар ; за ред. С.А. Генсірука. Львів, 1995. 424 с.
11. Лісовий кодекс України : Закон України від 21 січня 1994 р. № 3852-ХІІ (у редакції Закону від 8 лютого 2006 р. № 3404-ІV) / Верховна Рада України. *Відомості Верховної Ради України*. 2006. № 21. Ст. 170.
12. Криницький Г.Т., Крамарець В.О. «Санітарні правила в лісах України» – деякі дискусійні аспекти. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2012. Вип. 22.3. С. 8–15.

ЗАПРОВАДЖЕННЯ МЕХАНІЗМУ УПРАВЛІННЯ КОМУНІКАЦІЯМИ В ЗОНАХ ДІЯЛЬНОСТІ ПРИРОДО-ЗАПОВІДНИХ ОБ'ЄКТІВ (ДОСВІД КАРПАТСЬКОГО БІОСФЕРНОГО ЗАПОВІДНИКА)

Хрутьба В.О.¹, Рыбак М.П.², Лук'янова В.В.¹, Хрутьба А.С.³

¹Національний транспортний університет
вул. Омеляновича-Павленка 1, 01010, м. Київ
viktoria.khrutba@gmail.com;
vitalina_lk@i.ua;

²Карпатський біосферний заповідник
вул. Красне Плесо 77, 90600, м. Рахів, Закарпатська обл.
mykola.rakhiv@gmail.com;

³Київський національний університет імені Тараса Шевченка
вул. Богдана Гаврилишина 24, 04116, м. Київ
hrutba.andrey@gmail.com

Запропоновано механізм управління комунікаціями для спільної охорони цінних природних комплексів заповідних територій, забезпечення сталого розвитку і благоустрою прилеглих до заповідних об'єктів територій. Сформовано модель управління комунікаціями як декартовий добуток характеристик зацікавлених сторін, креативна модель Координаційної ради та Дорожня карта впровадження механізму. Приведено результати впровадження механізму управління комунікаціями в Карпатському біосферному заповіднику, в налагодженні тісної співпраці з територіальними громадами, іншими суб'єктами господарювання, які знаходяться в зоні його діяльності, розкривається механізм співпраці у збереженні букових пралісів та щодо сталого розвитку прилеглих територій. *Ключові слова:* управління комунікаціями, сталий розвиток, дорожня карта, Карпатський біосферний заповідник, територіальні громади, співробітництво, збереження букових пралісів.

Реализация механизма управления коммуникациями в зонах деятельности природно-заповедных объектов (опыт Карпатского биосферного заповедника). Хрутьба В.А., Рыбак Н.П., Лукьянова В.В., Хрутьба А.С. Предложен механизм управления коммуникациями для совместной охраны ценных природных комплексов заповедных территорий, обеспечения устойчивого развития и благоустройства территорий, прилегающих к заповедным объектам. Сформирована модель управления коммуникациями как декартовое произведение характеристик заинтересованных сторон, креативная модель Координационного совета и Дорожная карта внедрения механизма. Приведены результаты внедрения механизма управления коммуникациями в Карпатском биосферном заповеднике в налаживании тесного сотрудничества с территориальными общинами, другими субъектами хозяйствования, находящимися в зоне его деятельности, раскрывается механизм сотрудничества в сохранении буковых пралесов и в устойчивом развитии прилегающих территорий. *Ключевые слова:* управление коммуникациями, устойчивое развитие, дорожная карта, Карпатский биосферный заповедник, территориальные общины, сотрудничество, сохранение буковых пралесов.

The implementation of the mechanism for managing communications in the areas of natural reserve objects (the experience of the Carpathian Biosphere Reserve). Khrutba V., Rybak M., Lukianova V., Khrutba A. The mechanism of communication management is proposed for jointly protecting the valuable natural complexes of protected areas, ensuring sustainable development and landscaping adjacent to protected areas. The model of communication management has been formed as a Descartes product of the characteristics of stakeholders, a creative model of the Coordination Council, and a Roadmap for the implementation of the mechanism. The results of the implementation of the communication management mechanism in the Carpathian Biosphere Reserve in establishing close cooperation with territorial communities and other business entities in its area of activity are described, and the cooperation mechanism in the conservation of beech forests and the sustainable development of adjacent territories is revealed. *Key words:* communications management, sustainable development, road map, Carpathian Biosphere Reserve, territorial communities, enterprises, cooperation, preservation of beech forests.

Постановка проблеми. Державна Стратегія регіонального розвитку України на період до 2020 року [1], яка затверджена Постановою Кабінету Міністрів України № 385 від 6.08.2014 р., передбачає створення 6733 тис. га об'єктів природо-заповідного фонду (далі – ПЗФ) до 2017 р, а до 2021

р. – 9095 тис. га заповідних територій та об'єктів в Україні. Частка об'єктів ПЗФ на 1.01.2017 р. мала становити 11% від загальної площі держави, а на початок січня 2021 р. – 15%. Для виконання цих завдань в Україні здійснюються заходи зі створення нових та розширення існуючих територій та об'єктів

ПЗФ загальною площею близько 600 тис. гектарів. Розроблено та знаходиться на стадії погодження з органами місцевої влади і самоврядування проекти створення 6-ти територій ПЗФ загальнодержавного значення загальною площею 280 тис. гектарів. Розробляються матеріали до проектів створення/розширення територій та об'єктів ПЗФ у різних областях України загальною площею близько 300 тис. гектарів. Крім того, в більшості існуючих національних природних парків і заповідників підготовлені проекти їх розширення. Реалізація вже наявних пропозицій могла би збільшити площу існуючих заповідних територій принаймні вдвічі [2]. Проте цього не відбувається. За даними О.В. Василюк [3], у 2015 р. в Україні створено територій ПЗФ тільки 1,3% від запланованого рівня, а у 2016 р. – 3,4%. За 2017 р. створено лише 3278,041 га нових природоохоронних територій, що становить 0,05% (тобто – 1/200) від того, що мало бути створене цього року.

Фахівці визначають низку причин незадовільного стану розвитку заповідних територій [4]. Найголовнішими з них є: стан наявної системи державного управління територіями та об'єктами ПЗФ на місцевому рівні; призупинення системи державного контролю за дотриманням природоохоронного законодавства; колізії самого законодавства, зокрема в частині регулювання природокористування в межах територій та об'єктів ПЗФ; критичне зменшення фінансування заповідної справи з Державного бюджету; відсутність розуміння на місцях, виникнення конфліктних відносин з територіальними громадами та іншими суб'єктами господарювання, які знаходяться в зоні природоохоронної діяльності.

Міністр екології та природних ресурсів України О. Семерак підкреслив [5], що успішне розширення територій природоохоронного фонду можливе лише за умови налагодження конструктивної співпраці між адміністрацією національних природних парків та місцевою владою. На його думку, національні парки мають стати осередком розвитку територій та основою для соціально-економічного розвитку населених пунктів, розташованих неподалік. Необхідно виробити нові підходи з органами місцевої влади та шукати компромісні рішення, які б передусім сприяли збереженню природних ресурсів і мали підтримку серед громад. Проте на даному етапі є наявні певні непорозуміння в цих питаннях із підприємствами Державного лісового господарства (Держлісгосп) та органами місцевого самоврядування. Міністерство екології та природних ресурсів має розробити спільну «дорожню» карту для пошуку компромісу в питаннях передачі земельних ділянок до природо-заповідного фонду України.

За умови суттєвої різниці в цінностях, зацікавлені в розвитку об'єктів ПЗФ сторони, як правило, не здатні самостійно реалізовувати взаємодію, змінюючи конфліктні відношення на синергічні. Недостатня їхня результативність викликана від-

сутністю ефективної комунікації між усіма зацікавленими сторонами. Особливо гостро це проявляється між стейкхолдерами, для яких відкритість та дотримання концепції партнерства не є природними компонентами їхньої корпоративної культури (Держлісгосп та інші суб'єкти господарювання) [6].

Актуальність дослідження. Таким чином, передумовою успішного створення об'єктів ПЗФ є налагодження тісної співпраці з територіальними громадами, іншими суб'єктами господарювання які знаходяться в зоні природоохоронної діяльності, визначення основних механізмів співпраці для збереження навколишнього середовища та сталого розвитку прилеглих територій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню розвитку територій ПЗФ присвячена велика кількість наукових досліджень. У роботі Н.В. Чир визначив динаміку розширення площі природоохоронних територій [7]. Автором здійснено порівняльний аналіз структури ПЗФ у межах адміністративно-територіального поділу регіону. В дослідженнях М.В. Газуда, І.Б. Дяченко розглянуто особливості збереження і відтворення природно-заповідних територій з урахуванням регіональних підходів щодо забезпечення їх збалансованого розвитку в умовах ринкових відносин [8].

Б.М. Гірний [9] вивчав процес удосконалення еколого-економічних аспектів використання, відтворення і розвитку ПЗФ України. Автором запропоновано стратегічні напрямки збалансованого його розвитку на найближчу перспективу. О.О. Статівка провів комплексний аналіз моделей і правових аспектів розвитку ПЗФ, обґрунтував його виняткове значення в природоохоронній політиці України [10].

Підходи до визначення майбутніх заповідних територій висвітлені в роботах С.Ю. Поповича [11], А.А. Ковальчука [12], О.В. Мудрака та ін. [13], Т.О. Євсюкова [14], Н.Ф. Реймерса та Ф.Р. Штільмарка [15].

В Україні триває робота по розширенню мережі заповідних об'єктів. Масштаби роботи й необхідність активного її проведення вимагають розроблення простих у використанні інструментів для широкої участі в ній громадськості. Подібне рішення продемонстровано на окремих ділянках степової зони в Одеській області (Є.І. Іваненко [16]).

Питання поглиблення співпраці між біосферними заповідниками і територіальними громадами для спільної охорони цінних природних комплексів заповідника і забезпечення сталого розвитку та благоустрою прилеглих до заповідника населених пунктів через укладання окремих угод розглянуто в роботах М.П. Рибачака [17]. Шляхи вирішення невідповідності територіальної структури КБЗ статутним рамкам біосферних резерватів ЮНЕСКО розглянуто в роботах М.П. Рибачака, В.Ф. Покин'ячереда [24].

Розробленню теоретичних засад створення й оптимізації системи управління природоохорон-

ними проектами на рівні територіальних громад та механізмів фінансування для таких проектів присвячено дослідження В.С. Тихенко [18]. Питанням управління комунікаціями в проектному керівництві присвячено праці О.М. Медведєвої [6]. У доробках В.О. Хрутьби, А.С. Хрутьби [19] запропоновано системну модель у лінгвістичних змінних управління комунікаціями під час впровадження проектів сталого розвитку територій. Проте формування механізму ефективного управління комунікаціями під час реалізації природоохоронних заходів потребує подальшого дослідження.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Мета роботи – розроблення і впровадження механізму управління комунікаціями для об'єднання зусиль для спільної охорони цінних природних комплексів заповідних територій, забезпечення сталого розвитку і благоустрою прилеглих до заповідника територій.

Виклад основного матеріалу. Біосферні заповідники є природоохоронними територіями, які функціонують відповідно до Закону України «Про природно-заповідний фонд України» [20] і мають досить жорсткі обмеження щодо природокористування на своїх територіях. Натомість біосферні резервати є міжнародними структурами, які створюються в межах програми ЮНЕСКО «Людина і біосфера» (МАБ) [21]. Вони включають як природоохоронні території, так і дуже значну за площею так звану транзитну, або перехідну територію (англійською мовою – transitionarea). Ця частина біосферного резервату не має спеціального природоохоронного статусу і створюється з метою реалізації тут концепції сталого розвитку. Тобто всі, хто тут живе, працює й господарює, а ця територія включає і населені пункти, роблять це у звичний спосіб, не маючи жодних спеціальних правових обмежень. Проте місцеві територіальні громади, а також господарюючі суб'єкти отримують чимало додаткових переваг

від перебування на території біосферного резервату. Зокрема, вони першочергово можуть отримувати гранти або інвестиції на реалізацію соціально-економічних і екологічних проектів, використовувати бренд біосферного резервату для виготовленої тут продукції, ефективно розвивати туристично-рекреаційний бізнес тощо.

Позначимо сторони, зацікавлені в налагодженні тісної співпраці для охорони цінних природних комплексів заповідних територій, забезпечення сталого розвитку і благоустрою прилеглих до заповідника територій, множинами A_1, A_2, \dots, A_n . Кожен зі стейкхолдерів (працівники об'єктів ПЗФ, представники органів місцевого самоврядування та місцевої адміністрації територіальних громад, суб'єкти господарювання, які знаходяться в зоні природоохоронної діяльності, тощо) має свої особливості, які можна представити упорядкованою послідовністю з n елементів x_1, x_2, \dots, x_n , де $x_i \in A_i$ для $1 \leq i \leq n$.

Модель комунікації зацікавлених сторін може бути представлена декартовим добутком n множин – множин всіх кортежів довжини n , координати яких взяті з цих множин:

$$A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n = \{\langle x_1, x_2, \dots, x_n \rangle \mid x_i \in A_i, i = \overline{1, n}\}, \quad (1)$$

Загальне управління комунікаціями здійснюється дорадчим органом біосферних резерватів – Координаційною радою, креативна модель якої приведена в табл. 1.

Забезпечення охорони цінних природних комплексів заповідних територій та сталого (стійкого) розвитку і благоустрою прилеглих до заповідника територій стає однією із пріоритетних цілей розвитку регіону. Покроковий сценарій розвитку управління комунікаціями для досягнення цієї цілі представимо у вигляді Дорожньої карти, яка наочно представляє схему процесу управління, на якій відображені стратегічно значущі події і послідовність їх настання. Інструментами управління є спільні засідання та координаційні зустрічі. Дорожня карта реалізації

Таблиця 1

Креативна модель Координаційної ради

Мета	Ефективне управління резерватом
Склад	Представники всіх ключових зацікавлених сторін цієї території, а саме представники органів місцевого самоврядування, виконавчої влади, керівники державних лісогосподарських підприємств, туристичного бізнесу та працівників біосферного заповідника.
Методи координації дій	Проведення робочих засідань, круглих столів, спільного просування ініціатив щодо змін законодавства, а також реалізації відповідних проектів та програм розвитку територій.
Ключові напрями співпраці	Реалізація концепції сталого використання природних ресурсів, розвиток інфраструктури, активізація рекреаційної діяльності, зменшення впливу господарської діяльності на довкілля, підготовка планів і програм соціально-економічного розвитку і реалізація відповідних демонстраційних проектів, пошук фінансування, екологічна освітня і виховна робота та інші види діяльності.
Пріоритети взаємодії	Розвиток територіальних громад щодо створення показових господарств, упровадження альтернативних джерел енергії, збір та утилізація побутового сміття, забезпечення благоустрою населених пунктів тощо.

механізму здійснення управління комунікаціями між зацікавленими сторонами забезпечення охорони цінних природних комплексів заповідних територій та сталого (стійкого) розвитку і благоустрою прилеглих до заповідника територій приведена на рис. 1.

Розроблений у вигляді моделей і Дорожньої карти механізм застосуємо для управління комунікаціями між зацікавленими сторонами забезпечення охорони цінних природних комплексів заповідних територій КБЗ та сталого розвитку і благоустрою прилеглих до заповідника територій.

Карпатський біосферний заповідник (далі – КБЗ) займає площу 58 035,8 га, з яких 39 485,8 га перебувають у постійному користуванні (рис. 2).

КБЗ складається з восьми відокремлених масивів, які знаходяться на територіях Виноградівського, Рахівського, Тячівського, Хустського адміністративних районів Закарпатської області [22]. У зоні діяльності установи розташовано 20 населених пунктів, у т.ч. райцентри Рахів, Хуст і Виноградів, де проживає близько 100 тисяч чоловік.

КБЗ належить до так званих старих біосферних резерватів, створених ще до появи Севільської стратегії та Статутних рамок (Положення) Всесвітньої мережі біосферних резерватів МАБ ЮНЕСКО. Після прийняття Севільської стратегії та Статутних рамок (Положення) Всесвітньої мережі біосферних резер-

ватів МАБ ЮНЕСКО територія КБЗ перестала відповідати критеріям цих документів, що й постійно відзначалося Рекомендаціями Координаційної Ради Програми ЮНЕСКО «Людина і Біосфера» за результатами періодичних оглядів КБЗ, починаючи з 2003 р.

У 2007 році до переліку об'єктів Всесвітньої спадщини ЮНЕСКО «Букові праліси Карпат та давні букові ліси Німеччини» включені букові праліси КБЗ. Згідно з Проектом організації території заповідника або менеджментом плану, цей об'єкт Всесвітньої спадщини ЮНЕСКО включено до заповідної зони, що збільшує площу зазначеної території до 40,8%, а відповідно, посилюються обмеження щодо традиційного господарювання на площі 23 673,9 га.

Одним із пріоритетів діяльності Карпатського біосферного заповідника визначено поглиблення співпраці з територіальними громадами, які знаходяться в зоні його діяльності [23], оскільки належне збереження букових пралісів неможливе без налагодження системної роботи з поглиблення співпраці заповідника з територіальними громадами щодо сталого розвитку прилеглих територій та традиційного ведення господарства населенням на території заповідника в буферній зоні та зоні антропогенних ландшафтів.

Основою співпраці стало виконання Указу Президента України «Про розширення території Карпатського біосферного заповідника» від



Рис. 1. Дорожня карта реалізації механізму здійснення управління комунікаціями між зацікавленими сторонами

14.01.2010 р. № 25 та об'єднання зусиль щодо збереження та сталого використання природних комплексів КБЗ на основі системного врегулювання екологічних, економічних, соціальних та інших інтересів територіальних громад.

Рівень підтримки заповідника населенням у збереженні букових пралісів залежить також від спроможності установи надавати громадам допомогу з підтримки інфраструктури населених пунктів та їх благоустрою. Періодично заповідник, переважно господарським способом, проводить ремонт та утримання наявних 140 км лісових доріг, 190 км гірських стежок та проводить ремонт і утримання понад

25 автодорожніх мостів. Зазначена інфраструктура активно використовується і громадянами в літній період для звезення молочної продукції з високогірних пасовищ.

У межах співпраці між КБЗ і територіальними громадами значна частина місцевого населення забезпечується паливними дровами та в порядку загального використання на території зони антропогенних ландшафтів отримує дозволи на проведення збору грибів, дикорослих плодів і ягід для власного споживання на безоплатній основі. Також дозволи надаються на проведення інших видів традиційного природокористування, зокрема сінокосіння, випасів тощо.

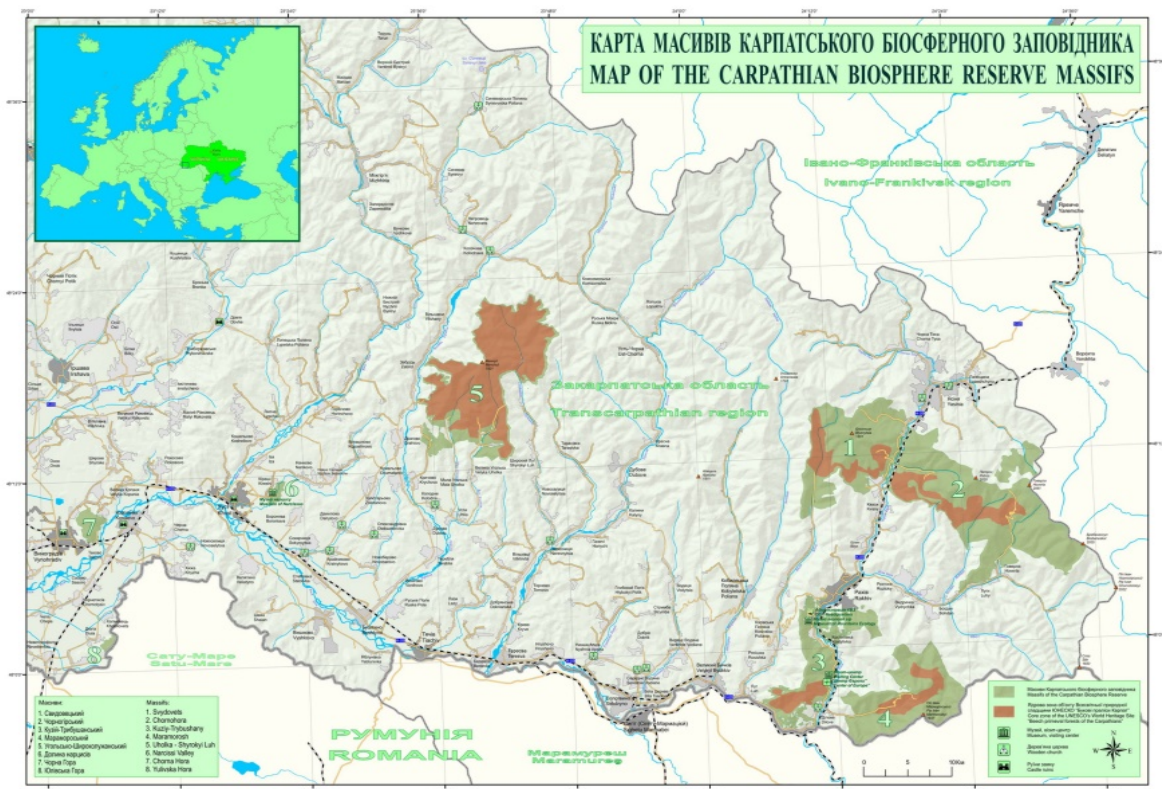


Рис. 2. Карта та види Карпатського біосферного заповідника

**Результати впровадження механізму управління комунікаціями
відповідно до Дорожньої карти**

	Вид документу	Партнер	Дата
1	Створена Координаційна рада Карпатського біосферного заповідника		
2	Меморандум про співпрацю у збереженні і сталому використанні природних комплексів КБЗ як частини об'єкту Всесвітньої природної спадщини ЮНЕСКО «Букові праліси Карпат і давні букові ліси Німеччини»	Територіальна громада в межах Тячівського району.	2012 р.
3	Меморандум про співпрацю у збереженні і сталому використанні природних комплексів КБЗ як частини об'єкту Всесвітньої природної спадщини ЮНЕСКО «Букові праліси Карпат і давні букові ліси Німеччини»	Районна державна адміністрація, районна рада Рахівського району, місцеві територіальні громади	Квітень 2013 р.
4	Декларації про співпрацю з територіальними громадами населених пунктів, які входять до перехідної зони Карпатського біосферного резервату	Територіальна громада с. Богдана, Лугів, Видрички, Розтоків, Ясіня, Квасів, Луга, Косівської Поляни й Костилівки Рахівського району та Углі, Широкого Луга і Великої Угольки Тячівського району	2015 р.
5	Меморандум про співпрацю в питаннях покращення ведення полонинського господарства, збереження полонинської культури і сталого використання природних комплексів та розвитку рекреаційної діяльності на території Карпатського біосферного заповідника (с. Ділове).	Територіальна громада с. Ділове	2016 р.
6	Меморандум про співпрацю в питаннях покращення ведення полонинського господарства, збереження полонинської культури і сталого використання природних комплексів та розвитку рекреаційної діяльності на території Карпатського біосферного заповідника (с. Лазіщина).	Територіальна громада с. Лазіщина	2016 р.
7	Меморандум про співпрацю щодо створення території сталого розвитку в межах окремих державних лісгосподарських підприємств з метою забезпечення ведення лісового господарства на засадах сталого розвитку в регіоні	Закарпатське обласне управління лісового та мисливського господарства	2016 р.
8	Угода про співпрацю в питаннях покращення ведення полонинського господарства, збереження полонинської культури і сталого використання природних комплексів	с. Ділове, Луг, Костилівка, Богдан, Косівська Поляна та Лазещина Рахівського району	2016 р. – початок 2017 р.
9	Меморандум про співпрацю в збереженні і невиснажливому використанні природних комплексів Карпатського біосферного заповідника як частини транснаціонального об'єкту Всесвітньої спадщини ЮНЕСКО «Букові праліси і давні ліси Карпат та інших регіонів Європи» та питаннях сталого розвитку прилеглих до нього територій у межах Рахівського району	Районна державна адміністрація, районна рада Рахівського району, місцеві територіальні громади	Жовтень 2018 р.
10	Меморандум про співпрацю в збереженні і невиснажливому використанні природних комплексів Карпатського біосферного заповідника як частини транснаціонального об'єкту Всесвітньої спадщини ЮНЕСКО «Букові праліси і давні ліси Карпат та інших регіонів Європи» та питаннях сталого розвитку прилеглих до нього територій у межах Тячівського району	Районна державна адміністрація, районна рада Тячівського району, місцеві територіальні громади	Жовтень 2018 р.

Рекреаційні об'єкти заповідника щороку відвідують близько 40 тисяч туристів, що є додатковим заробітком для місцевого населення, яке задіяне в наданні різноманітних рекреаційних послуг відвідувачам (проживання, харчування, проведення екскурсій тощо).

Відповідно до запропонованої креативної моделі сформована Координаційна рада, що вирішує завдання організаційного характеру і відповідає за планування й звітування щодо сталого розвитку територій перед Національним комітетом України та Міжнародною координаційною радою програми ЮНЕСКО «Людина і біосфера». Координаційна рада прийняла цілий ряд пропозицій та рекомендацій до адміністрації заповідника, зокрема, щодо розширення території заповідника за рахунок букових пралісів Тячівського району, сталого розвитку територіальних громад, врегулювання питань спільної рекреаційної та еколого-освітньої діяльності, а також впорядкування загального та спеціального використання природних ресурсів для задоволення потреб громадян.

Створення Координаційної ради дозволило укласти Меморандуми про співпрацю між адміністрацією заповідника та головами райдержадміністрації, районної ради та місцевих територіальних громад щодо збереження і сталого використання природних комплексів КБЗ як частини об'єкту Всесвітньої природної спадщини ЮНЕСКО «Букові праліси Карпат і давні букові ліси Німеччини» у межах Рахівського і Тячівського районів. У цьому документі сторонами висловлено наміри щодо взаємної підтримки та сприяння співробітництву в упровадженні екологічно відповідального, соціально вигідного й економічно збалансованого розвитку зазначених населених пунктів, а також у галузі збереження цінних природних і культурних комплексів та об'єктів, сталого розвитку Карпатського регіону та підвищення соціально-економічного добробуту територіальних громад.

З метою приведення положень вищезазначених Меморандумів у відповідність до сучасних реалій, пов'язаних зі зміною назви об'єкту Всесвітньої спадщини ЮНЕСКО, адміністрацією заповідника у 2018 році підписано нові Меморандуми про співпрацю в збереженні і невиснажливому використанні природних комплексів Карпатського біосферного заповідника як частини транснаціонального об'єкту Всесвітньої спадщини ЮНЕСКО «Букові праліси і давні ліси Карпат та інших регіонів Європи» та реалізації концепції сталого розвитку на прилеглих до нього територіях.

Результати впровадження Дорожньої карти для реалізації механізму управління комунікаціями між зацікавленими сторонами для забезпечення охорони цінних природних комплексів заповідних територій та сталого (стійкого) розвитку і благоустрою прилеглих до заповідника територій Карпатського біосферного заповідника приведено в табл. 2.

Важливими документами для забезпечення збереження об'єкту спадщини та зміцнення ролі Карпатського біосферного заповідника щодо впровадження ідей сталого розвитку гірських територіальних громад стали Доручення Президента України та Розпорядження Кабінету Міністрів України щодо сталого розвитку і благоустрою населених пунктів української частини об'єкту Всесвітньої спадщини ЮНЕСКО «Букові праліси Карпат та давні букові ліси Німеччини», а також Доручення Кабінету Міністрів України щодо порядку та джерел фінансування зазначених заходів. Певна частина заходів, які передбачені вищезазначеними документами (відкриття руху поїзда Київ – Рахів, капітальний ремонт частини доріг, що ведуть до масивів Карпатського біосферного заповідника, тощо), вже виконано.

У зв'язку з переформатуванням об'єкту спадщини в транснаціональний об'єкт «Букові праліси і давні ліси Карпат та інших регіонів Європи» розпорядженням Кабінету Міністрів від 21 листопада 2018 року № 892-р розпочато виконання нового Плану заходів щодо збереження української частини природного об'єкту всесвітньої спадщини ЮНЕСКО «Букові праліси і давні ліси Карпат та інших регіонів Європи» та сталого розвитку прилеглих до нього територій.

Отже, адміністрація КБЗ упродовж 2016–2017 років провела колосальну роботу щодо вирішення зазначеної проблеми. Так була досягнута домовленість із Закарпатським обласним управлінням лісового і мисливського господарства про створення transition area Карпатського біосферного резервату (КБР) на території державних лісгосподарських підприємств, що знаходяться в його підпорядкуванні. Крім вищезазначеного Меморандуму, адміністрацією КБЗ було укладено й підписано 17 декларацій про співпрацю між Карпатським біосферним заповідником і територіальними громадами населених пунктів [24], що розташовані в зоні його діяльності щодо включення їх, у межах програми ЮНЕСКО «Людина і біосфера», до складу території сталого розвитку (transition area) КБР.

Таким чином, уся територія Карпатського біосферного заповідника, яка має природоохоронний статус, разом із новоствореною територією сталого розвитку (transition area) за рахунок інших прилеглих територій площею 136,9 тис. га. створюють цілісний об'єкт Карпатського біосферного резервату, позбавленого фрагментованості, з високою екологічною зв'язністю і цілісністю на площі 195 тис. га. Важливо зазначити, що новостворена територія включає значну частину екологічної мережі Закарпатської області, зокрема всі основні широтні й меридіональні екологічні коридори, які з'єднують між собою ті кластерні ділянки біосферного резервату, які мають природоохоронний статус.

У результаті проведеної роботи на 29 сесії Міжнародної координаційної ради програми «Людина і біосфера» (МАН) (12–15 червня 2017 р.,

м. Париж) прийнято рішення про повну відповідність територіальної структури КБЗ критеріям Статутних рамок (Положення) Всесвітньої мережі біосферних резерватів, що позбавило установу загрози бути виключеною з вищезгаданої міжнародної мережі.

Головні висновки. Особливістю механізму управління комунікаціями для спільної охорони цінних природних комплексів заповідних територій, сталого розвитку і благоустрою прилеглих до заповідних територій є забезпечення узгодження цінностей усіх зацікавлених сторін. Модель управління комунікаціями можна представити декартовим добутком характеристик зацікавлених сторін, що визначають їхні особливості та інтереси. Розроблена креативна модель Координаційної ради визначає її склад, методи координації дій, ключові напрями співпраці

та пріоритети взаємодії. Дорожня карта дозволяє реалізувати механізм управління комунікаціями між зацікавленими сторонами забезпечення охорони цінних природних комплексів заповідних територій та сталого (стійкого) розвитку і благоустрою прилеглих до заповідника територій. Упровадження механізму управління комунікаціями в Карпатському біосферному заповіднику дозволяє налагоджувати тісну співпрацю з територіальними громадами, іншими суб'єктами господарювання, які знаходяться в зоні його діяльності. Конструктивна співпраця щодо сталого розвитку прилеглих територій та забезпечення традиційного господарювання дозволить забезпечити належне збереження української частини об'єкту Всесвітньої природної спадщини ЮНЕСКО «Букові праліси і давні ліси Карпат та інших регіонів Європи».

Література

1. Державна Стратегія регіонального розвитку України на період до 2020 року. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/385-2014-%D0%BF>.
2. Василюк О. Підсумок 2017 р.: створено 0,05% проєктованих заповідних територій. URL: <http://epl.org.ua/announces/pidsumok-2017-stvoreno-0-05-proektovanyh-zapovidnyh-terytorij>.
3. Василюк О.В. Україні нікому буде створювати заповідні території. URL: <http://epl.org.ua/announces/v-ukraini-nikomu-bude-stvoriuvaty-zapovidni-terytorii-2/>.
4. Заповідна справа в Україні: абсолютна заповідність чи європейська модель гармонії людини і природи? Збірник вибраних матеріалів / за ред. М.П. Стеценка, Ф.Д. Гамора. Львів : «Тиса», 2017. 238 с.
5. Семерак О. Розширення територій природно-заповідного фонду можливе лише за умов налагодження конструктивної співпраці між адміністрацією нацпарків та місцевою владою. URL: <https://menr.gov.ua/news/30395.html>.
6. Медведєва О.М. Інтеграційний механізм ефективної комунікації в проєктах : дис. ... докт. техн. наук. Східноукраїнський національний університет імені В.Даля, 2013. 448 с.
7. Чир Н.В. Актуальні питання дослідження природно-заповідного фонду Закарпатської області. *Вісник Одеського національного університету. Серія : Географічні та геологічні науки*. Одеса : ОНУ, 2016. Т. 21. Вип. 1 (28). С. 42–56.
8. Газуда М.В., Дяченко І.Б. Регіональний менеджмент збереження і відтворення природно-заповідних територій : монографія. Ужгород : Видавництво ФОП Бреза А.Е., 2014. 248 с.
9. Гірний Б.М. Еколого-економічні аспекти розвитку природно-заповідного фонду України. : дис. ... докт. техн. наук ; Рада по вивченню продуктивних сил України НАН України. Київ, 2008. 423 с.
10. Статівка О.О. Правовий режим природно-заповідного фонду як складового елемента екологічної мережі України : дис. ... канд. юрид. наук ; Національний юридичний університет імені Ярослава Мудрого, Міністерство освіти і науки України. Харків, 2018. 239 с.
11. Попович С.Ю. Природно-заповідна справа : навчальний посібник. Київ : Арістей, 2007. 480 с.
12. Ковальчук А.А. Заповідна справа. Ужгород: підприємство «Ліра», 2002. 328 с.
13. Мудрак О.В. та ін. Заповідна справа : практикум. Вінниця : ВНАУ, 2011. 96 с.
14. Євсюков Т.О. Картографічний метод як інструмент дослідження особливо цінних земель. *Землеустрій і кадастр: науково-виробничий журнал*. 2012. № 1. С. 31–44.
15. Реймерс Н.Ф., Штильмарк Ф.Р. Особо охраняемые природные территории. Москва : «Мысль», 1978. 295 с.
16. Іваненко Є.І. Методичні підходи до визначення меж перспективних заповідних об'єктів (на прикладі ділянок степової зони). *Український географічний журнал*. 2014. № 4. С. 63–68.
17. Рибак М.П. Про приведення територіальної структури Карпатського біосферного резервату (Україна) у відповідність до критеріїв Статутних рамок (Положення) Всесвітньої мережі біосферних резерватів МАБ ЮНЕСКО. *Зелені Карпати*. 2016. № 1–4. С. 6–9.
18. Тихенко В.С. Система управління природоохоронними проєктами в територіальних громадах. Залучення різних механізмів фінансування. *Східна Європа: Економіка, бізнес та управління*. 2017. Випуск 3 (08). С. 229–232.
19. Khrutba V., Khrutba A., Rayets M. Project-related approach of communication management in solving local environmental problem. *Scientific letters of Academic society of Michal Baludansky*. 2018. Vol. 6. № 5. P. 65–75.
20. Закон України «Про природно-заповідний фонд України». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2456-12/>
21. Ecological Sciences for Sustainable Development. URL: <http://www.webcitation.org/618iCd4lg/>
22. Рибак М.П., Проць М.Д. Сучасний стан, проблеми та шляхи покращення охорони території Карпатського біосферного заповідника. *Основи управління біосферними резерватами в Україні* : міжнародний науково-практичний семінар «Розвиток системи біосферних резерватів в Україні» (1–3 жовтня 2014 року, Ужанський національний природний парк, Закарпатська область). Ужгород : КП «Ужгородська міська друкарня», 2014. С. 258–261.
23. Ibsch, P.L. et al. Carpathian Biosphere Reserve: challenges and solutions for protected area management in Ukrainian Transcarpathia. Shaker: Aachen, 2011. 242 p.
24. Рибак М.П., Покин'єра В.Ф. Від Карпатського біосферного заповідника до Карпатського біосферного резервату. *Природоохоронні, історико-культурні та екоосвітні аспекти збалансованого розвитку Українських Карпат* : матеріали міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 15-й річниці НПП «Гуцульщина» (м. Косів, Івано-Франківська обл. 8-9 червня 2017 року). Косів : ПП Павлюк М.Д., 2017. С. 346–351.

ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОРІЗНОМАНІТТЯ

УДК 592:595.324

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716-2019-1-24-2-19>

РІД *MACROTHRIX* BAIRD, 1843 (*CLADOCERA: ANOMOPODA: MACROTHRICIDAE*) В ГІДРОБІОЦЕНОЗАХ УКРАЇНСЬКОГО РОЗТОЧЧЯ ТА ПРИЛЕГЛИХ ТЕРЕНІВ

Іванець О.Р.

Львівський національний університет імені Івана Франка
вул. Грушевського, 4, 79005, м. Львів
oleh_ivanets@ukr.net

На основі аналізу сучасної літератури і власних даних представлено морфоекологічну характеристику *Macrothrix laticornis* (Jurine, 1820) Українського Розточчя. Основою роботи слугували 235 зразків, зібрані у 2007–2018 роках. Довжина самок змінюється в межах від 0,58 до 0,69 мм. Довжина самців варіює від 0,38 до 0,41 мм. В умовах Українського Розточчя *M. laticornis* трапляється, насамперед, серед заростей літоралі водойм, в прилеглому до дна водному горизонті, а також серед мулу. *Ключові слова*: Українське Розточчя *Macrothrix*, зоопланктон, *Cladocera*.

Род *Macrothrix* Baird, 1843 (*Cladocera: Anomopoda: Macrothricidae*) в гидробиоценозах Украинского Расточья и сопредельных территорий. Иванец О.Р. На основе анализа современной литературы и собственных данных представлена морфологическая характеристика *Macrothrix laticornis* (Jurine, 1820) Украинского Расточья. Основой работы послужили 235 проб, собранные в 2007–2018 годах. Длина самок изменяется в пределах от 0,58 до 0,69 мм. Длина самцов варьирует от 0,38 до 0,41 мм. В условиях Украинского Расточья *M. laticornis* встречается, прежде всего, среди зарослей литорали водоемов, в прилегающем ко дну водном горизонте, а также среди ила. *Ключевые слова*: Украинское Расточье, *Macrothrix*, зоопланктон, *Cladocera*.

The genus *Macrothrix* Baird, 1843 (*Cladocera: Anomopoda: Macrothricidae*) in hydrobiocenosis of the Ukrainian Roztocze and its surroundings. Ivanets O. On the basis of analysis of modern literature and own data biology, morphological and ecological characteristics of *Macrothrix laticornis* (Jurine, 1820) of Ukrainian Roztocze are presented. Basis of work makes 235 tests in 2007–2018. Female length changes in bounds of 0,58–0,69 mm. Male length changes in scopes between 0,38–0,41 mm. In the conditions of the Ukrainian Roztocze, *M. laticornis* occurs primarily among the thickets of the litoral reservoirs, in the adjacent to the bottom of the water horizon, and also among the silt. *Key words*: Ukrainian Roztocze, *Macrothrix*, zooplankton, *Cladocera*.

Постановка проблеми. Транскордонний регіон Розточчя, по якому проходить Головний європейський вододіл, відіграє важливу роль у визначенні процесів оптимального функціонування гідроєко-систем Центральної і Східної Європи.

З врахуванням природоохоронної значимості на Розточчі створений міжнародний біоферний резерват ЮНЕСКО (Biosphere Reserves) «Розточчя», який включений до світової мережі біосферних заповідників.

Гідроєкологічний моніторинг, основою якого є дослідження фауністичних характеристик гідробіоценозів, детермінує відповідно до Водної Рамкової Директиви ЄС (Directive 2000/60/EC) оптимізацію взаємодій у природоохоронних зонах. Гіллястовусі раки (*Cladocera*) – надійний маркер стану гідроєко-систем. Ці організми відіграють важливу роль у тро-фодинаміці водойм. Вони значною мірою визначають

закономірності трансформації речовин та енергії, формування біологічної продукції, активізують процеси самоочищення. Водночас регіональна фауна цієї групи дотепер залишається маловивченою.

Родина *Macrothricidae* вирізняється значною морфоекологічною пластичністю. Вона посідає важливе місце у формуванні фітофільних зоопланктоценозів.

Адаптивні можливості популяцій, які відображаються у структурно-функціональних характеристиках і морфо-екологічних критеріях, є важливим складником досліджень впливу антропогенних і природних екологічних чинників на гідробіоценози [4; 14; 19; 28].

Дані щодо морфоекологічних характеристик роду *Macrothrix*, його таксономії та біології неоднозначні та розпорошені у науковій літературі. Вони потребують узагальнення та критичного підходу з позицій сучасності.

Метою роботи було упорядкувати, узагальнити і проаналізувати матеріали щодо сучасного стану вивченості роду *Macrothrix*, особливостей його таксономії та синоніміки, подати морфоекологічну характеристику роду *Macrothrix* Українського Розточчя та прилеглих теренів, визначити подальші перспективні напрями досліджень цього таксону гіллястовусих раків.

Матеріали та методи. Основою дослідження послужили матеріали (235 проб), зібрані в гідроцеозах Українського Розточчя та прилеглих теренах протягом 2007–2018 рр. Дослідження проводили на живому і фіксованому матеріалі.

Відбір гідробіологічних проб, розрахунок головних біоценологічних параметрів здійснювали за загальноприйнятими методиками [7; 35]. При цьому індекс домінування визначали за формулою $D = P\sqrt{V_i}$, де P , % – частота трапляння виду (відсоток проб, у яких траплявся цей вид); V_i – біомаса виду. Визначення організмів проводили за [8; 9; 33].

Виміри морфологічних параметрів проводили за [34]. Загалом, досліджено 153 особини роду *Macrothrix*. Проаналізовано публікації щодо сучасного стану вивченості цього таксону.

Виклад основного матеріалу. Дослідження родини *Macrothricidae* і роду *Macrothrix* віддавна є в центрі уваги багатьох дослідників і вирізняються багатогранністю вивчення цієї проблематики. Зокрема, проведено ретельний аналіз еволюційних аспектів розвитку родини *Macrothricidae* з врахуванням особливостей функціональної морфології цього таксону [16]. Узагальнено матеріал по світовій фауні родини *Macrothricidae* [8; 33]. Проведено ревізію видів роду *Macrothrix* із субантарктичних і помірних південних областей, зроблено порівняльну характеристику різних форм *Macrothrix* [25; 27]. Вивчаються особливості життєвого циклу *Macrothrix* в лабораторних умовах [18]. Досліджується *Macrothrix* прісних вод Бразилії [17]. Спеціальна увага приділяється *Macrothrix laticornis*. Припускається, зокрема,

існування таксонів, що морфологічно близькі до *Macrothrix laticornis* [32]. Описуються нові види, проводиться ревізія окремих груп *Macrothrix*, досліджуються особливості їх екології та систематики [11; 12; 17; 24; 27–29; 31]. Вивчаються пори голови *Macrothricidae* [6], проведено кладистичний аналіз родів, що належать до цієї родини [14]. Вивчається значення самців та ефіпальних самок для диференціації окремих таксонів *Macrothrix* [26].

Рід *Macrothrix* – один із представників *Cladocera*, який може бути використаний у проведенні досліджень водойм із метою гідроекологічного моніторингу. У регіоні Українського Розточчя та прилеглих теренах рід *Macrothrix* представлений таксоном *Macrothrix laticornis* (Jurine, 1820). Перші вказівки на знаходження цього таксону у регіоні досліджень знаходимо у видатного польського зоолога Б. Дибовського, який разом зі своїм асистентом М. Гроховським досліджував *Cladocera* Галичини та прилеглих теренів [5; 10; 13; 30; рис. 1].

Цей таксон характеризується такою синонімікою: *Monoculus laticornis* Jurine, 1820; *Lynceus laticornis* Desmarest, 1825; *Daphnia curvirostris* Fischer, 1848; *Macrothrix singalensis* Daday, 1898; *Macrothrix bialatus* Motas et Orghidan, 1948. [15, рис. 2].

Для виконання завдань гідроекологічного моніторингу важливою є морфоекологічна характеристика та особливості біології таксону. Подамо ці критерії роду *Macrothrix* і таксону *M. laticornis* з використанням власних матеріалів і даних літературних джерел [1; 2; 8; 9; 19; 20; 22; 23; 33].

Стулки рачків роду *Macrothrix* овальної форми і несуть спинний киль. На порівняно великій голові є присоска і латеральний киль. Передні атени відходять від кінця короткого роstrума. Верхня гілка задніх антен чотирьохчленикова і несе чотири щетинки. Нижня гілка задніх антен має три членики і 5 щетинок. Щетинки, що розташовуються на проксимальному членику нижньої гілки антен, значно довші порівняно з іншими. Хвостові щетинки довгі. Постабдомен дещо стиснений із боків, товстий, короткий, озброєний короткими зубцями.

Черепашка самок *M. laticornis* з овальними стулками, сірувата з ретикуляцією. В умовах Українського Розточчя довжина самки – 0,58–0,69 мм. Спинний край стулок опуклий, зазубрений із тупим задньо-верхнім кутом. Черевний край стулок несе щетинки, які розташовуються парними групами. У задній частині стулок щетинки дещо вкорочуються. Око малих розмірів, передні антени розширені на кінці. Дистальна частина заднього краю основи передніх антен утворює невеликий виступ, на якому розташовуються щетинки.

Верхня гілка задніх антен значно коротша від нижньої гілки. На дистальних члениках обох гілок розташовується по одному шипу.

V. Pokrewieństwo : Lyncodaphnidae, Sars. Tuhanki.

13. Rodzaj : *Lathonura*, Lilljeborg. Lechitka, syn: *Pasithea*, Koch.

Nr. 56. 44. gatunek : *Lathonura rectirostris*, O. F. Müll. Lechitka prostoczulka.

Dębники, Ludwinów, Niemen (okolice), Dniepr (okolice).

14. Rodzaj : *Acantholeberis*, Lilljeborg. Miratynek.

Nr. 57. 45. gatunek : *Acantholeberis Lithuanica*, nob. Miratynek Litwin.

Miratyceze (Nowogródzkie), Świtez (okolice).

15. Rodzaj : *Macrothrix*, Baird. Marżanka.

Nr. 58. 46. gatunek : *Macrothrix laticornis*, Jurine. Marżanka szerokoczulka,

Gopło, Kromań, Ludwinów, Nianków, Wygoda (koło Niankowa).

Рис. 1. Фрагмент публікації Б. Дибовського та М. Гроховського [13] із зазначенням роду *Macrothrix*

Верхній край постабдомена опуклий, озброєний зубчиками в проксимальній частині. У дистальній частині постабдомен прямий або слабо увігнутий. Тупий кут заднього краю анального отвору містить 2–3 досить довгих шипики. Кігтики постабдомена гладкі. Довжина самців *M. laticornis* – 0,38–0,41 мм. На відміну від самки, у самців спинний край стулок майже прямий. Передні антени не розширені на кінці, прямі, несуть дрібні щетинки. Гачок ендоподита I пари ніг тонкий і дуже довгий, помітно виступає з-під стулок. Задній край анального отвору має виступ, покритий чисельними шипиками. Кігтики менші, ніж у самки.

Під час аналізу популяційних особливостей угруповань необхідно брати до уваги роль регіонального

пулу видів, який зумовлює в кінцевому результаті структурно-функціональну характеристику конкретного таксону [3; 7; 9; 21].

На Українському Розточчі зареєстровано 42 види гіллястовусих раків, що належать до 7 родин і 19 родів [1; 22]. З цього погляду рід *Macrothrix* вирізняється такими параметрами. Представленість родини *Macrothricidae* у кладоценозі за числом родів становить 5 %, за числом видів – 2%. Представленість роду *Macrothrix* в кладоценозі за числом видів становить 2 %.

Визначалася роль роду *Macrothrix* у структурі домінування кладоценозів. Індекс домінування розраховувався за формулою $D = P\sqrt{V}$, де P , % –

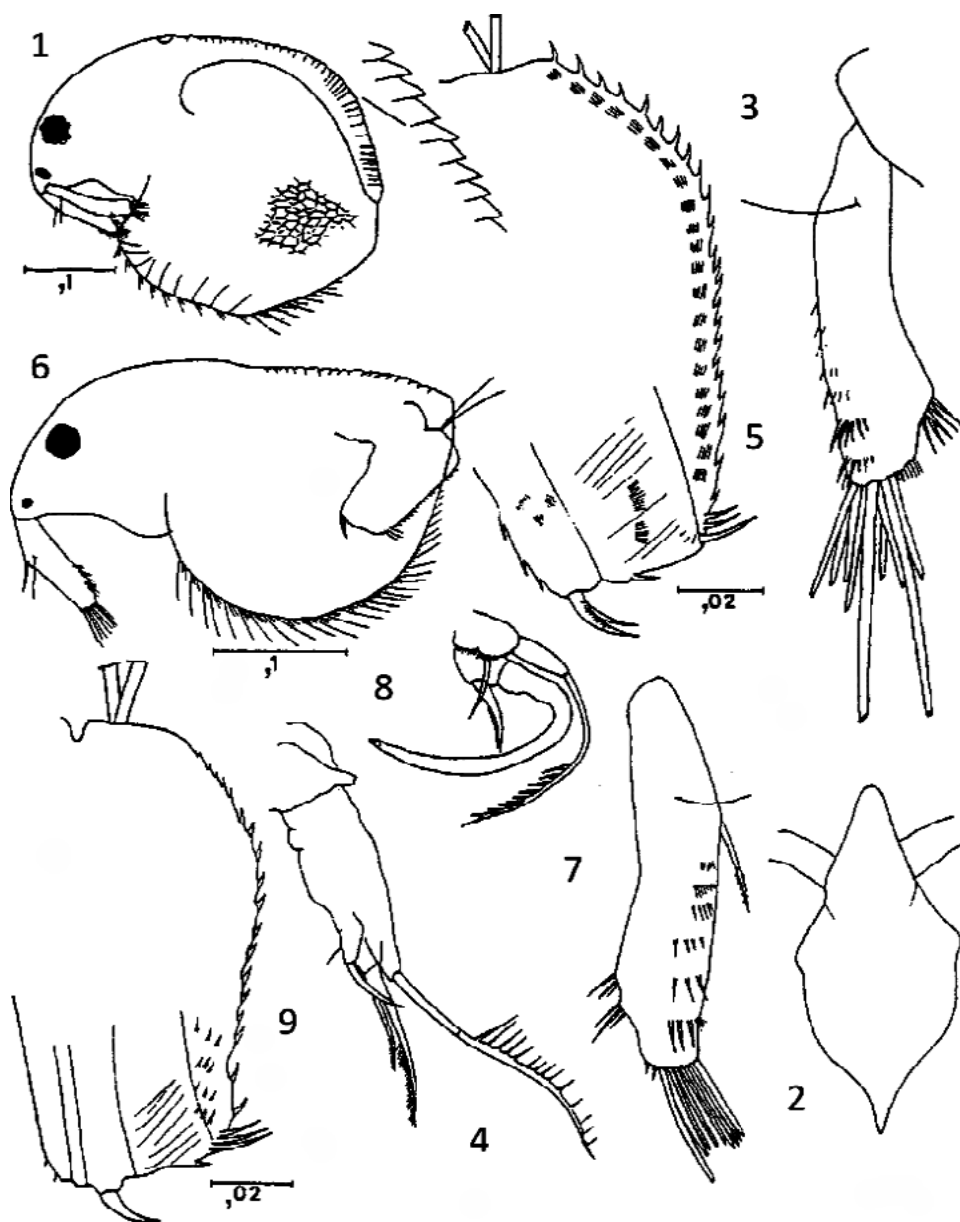


Рис. 2. *Macrothrix laticornis* (Jurine, 1820) [15]: 1 – самка; 2 – самка зі спинного боку; 3 – передні антени самки; 4 – перша пара грудних кінцівок самки; 5 – постабдомен самки; 6 – самець; 7 – передні антени самця; 8 – перша пара грудних кінцівок самця; 9 – постабдомен самця

частота трапляння виду (відсоток проб, у яких траплявся цей вид); В – біомаса виду.

Частка біомаси виду від загальної біомаси у кладоцероценозі становить менше 0,1 %. Частота трапляння виду (Р) становить близько 0,5 %. Індекс домінування менший від 0,4.

Головні висновки. В умовах Українського Розточчя *M. laticornis* трапляється, насамперед, серед заростей літоралі ставків і річкових заплав, ближче до дна водойм, а також серед мулу. Життєвий

цикл характеризується моноциклією, причому самці та ефіпальні самки трапляються ближче до осені, у другій половині літа.

Перспективи використання результатів дослідження. Надалі доцільно провести ретельну ревізію цього таксону, щоби виявити можливі криптичні форми. Для цієї мети необхідно застосувати сучасні молекулярно-генетичні методики. Такий підхід дасть змогу більш точно оцінити значення цього таксону у функціонуванні гідроекосистем Українського Розточчя.

Література

1. Іванець О.Р. Фауна гіллястовусих раків (*Crustacea, Cladocera*) Українського Розточчя. *Вісник Львівського університету. Серія: «Біологія»*. 2013. Вип. 63. С. 110–117.
2. Іванець О.Р. Таксономічна структура кладоцероценозів Українського Розточчя. *Вісник Львівського університету. Серія: «Біологія»*. 2014. Вип. 64. С. 260–269.
3. Іванець О.Р. Таксономія та еколого-морфологічна характеристика роду *Graptoleberis* (Sars, 1862) (*Cladocera: Anomopoda: Chydoridae*) Українського Розточчя. *Вісник Львівського університету. Серія: «Біологія»*. 2017. Вип. 75. С. 99–106.
4. Іванець О.Р. Гіллястовусі раки (*Cladocera: Daphniidae, Chydoridae*) Українського Розточчя: порівняльна характеристика. *Вісник Харківського університету. Серія: «Біологія»*. 2017. Вип. 29. С. 159–166.
5. Іванець О.Р. Гідробіологічні дослідження Бенедикта Дибовського на теренах Галичини. *Професор Бенедикт Дибовський – визначний дослідник спільної природної спадщини Польщі, Білорусі та України*: зб. ст. Львів: Компанія «Імперіал», 2018. С. 134–147.
6. Котов А.А. Фронтальная головная пора у примитивных представителей семейств *Chydoridae* и *Macrothricidae* (*Anomopoda, Crustacea*). *Зоологический журнал*. 1996. № 75 (11). С. 1603–1607.
7. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / О.М. Арсан, О.А. Давидов, Т.М. Дяченко та ін. К.: «Логос», 2006. 408 с.
8. Смирнов Н.Н. *Macrothricidae* и *Moinidae* фауны мира. Фауна СССР. Ракообразные. Т. 1. Вип. 3. Л.: «Наука», 1976. 237 с.
9. Błędzki L.A., Rybak J.I. Freshwater Crustacean Zooplankton of Europe: *Cladocera & Copepoda (Calanoida, Cyclopoida)*. Key to species identification, with notes on ecology, distribution, methods and introduction to data analysis. Switzerland: Springer International Publishing Switzerland. 2016. 918 p.
10. Brzęk G. Benedykt Dybowski. Życie i dzieło. Wydanie II. Uzupełnione i rozszerzone. Warszawa, Wrocław: Polskie Towarzystwo Ludoznawcze. (Biblioteka Zesłańca), 1994, 398 s.
11. Ciro-Perez J., Elias-Gutierrez M. *Macrothrix smirnovi*, a new species (*Crustacea: Anomopoda: Macrothricidae*) from Mexico, a member of the *M. triserialis* group. *Proc. Biol. Soc. Wash.* No 110(1). 1997. P. 115–127.
12. Dumont H.J., Silva-Briano M., Babu K.K.S. A re-evaluation of the *Macrothrix rosea triserialis* group, with the description of two new species (*Crustacea: Anomopoda: Macrothricidae*). *Hydrobiologia*. 2002. No 467(1–3). P. 1–44.
13. Dybowski B., Grochowski M. Spis systematyczny Wioślarek (*Cladocera*) krajowych sporządzony na podstawie okazów i preparatów, które oddane były na naszą tegoroczną Wystawę krajową we Lwowie. Kosmos. Lwów, 1895. S. 139–165.
14. Elmoor-Loureiro L.M.A. A cladistic analysis of the genera of *Macrothricidae* Norman & Brady (*Crustacea, Cladocera, Radopoda*). *Rev. Bras. Zool.* 2005. No 22(3). P. 735–741.
15. Flössner D. Die *Haplopoda* und *Cladocera* (ohne *Bosminidae*) Mitteleuropas. Backhuys Publishers, Leiden, 2000. 428 s.
16. Fryer G. Evolution and adaptive radiation in the *Macrothricidae* (*Crustacea, Cladocera*): a study in comparative functional morphology and ecology. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B* 269. 1974. P. 137–274.
17. Güntzel A. M., Matsumura-Tundisi T., Rocha O. *Macrothrix flabelligera*, a newly-recorded *Cladocera Macrothricidae* in Brazilian freshwaters. *Braz. J. Biol.* 2004. Vol. 64 (2). P. 221–226.
18. Huang X., Shi X., Xu S., Liu G., Ma L., Sun Z. Life history characteristics of *Macrothrix rosea* (Jurine, 1820) (*Cladocera, Macrothricidae*) in laboratory conditions. *J. Limnol.* 2011. No 70(2). P. 248–254.
19. Hudec I. Notes on variability of *Macrothrix hirsuticornis* (*Crustacea, Cladocera*). *Věstn. česk. Společ. zool.* 1983. No 47(1). P. 27–30.
20. Ivanets O.R. Zooplankton of the water vegetation in the ponds of the west forest-steppe of Ukraine. *Вісник Львівського університету. Серія: «Біологія»*. 2011. Вип. 56. С. 148 – 156.
21. Ivanets O.R. Fauna, ecological and morphological characteristics of family *Sididae*, Baird, 1850 (*Crustacea: Cladocera: Ctenopoda*) of Ukrainian Roztocze. *Natural and Technical Sciences*. 2017. V (16). Issue 148. P. 19–21.
22. Ivanets O.R. The fauna of *Rotatoria* and microcrustaceans (*Cladocera, Copepoda*) of the Ukrainian Roztocze and its surroundings. Development of natural sciences in countries of the European Union taking into account the challenges of XXI century: Collective monograph. Lublin: Izdevnieciba “Baltija Publishing”, 2018. P. 183–196.
23. Kovalchuk A.A., Ivanets O.R. The impact of damming and water poundage on the formation and structure of zooplanktonocenoses in the conditions of rivers in the Ukrainian Roztocze (the “outer” or “chunk” Carpathians). *Issues and challenges of small hydropower development in the Carpathians region (hydrology, hydrochemistry, and hydrobiology of watercourses)*: monograph. Uzhgorod-L'viv-Kyiv: Biological Faculty of L'viv National University & Hydroecological society “Uzh”, 2016. P. 138–151.
24. Kотов А.А. Redescription of *Macrothrix tripectinata* Weisig, 1934 (*Anomopoda, Branchiopoda*), with a discussion of some features rarely used in the systematics of the genus. *Hydrobiologia*. 1999. No 403. P. 63–80.

25. Kotov A.A. Revision of the *hirsuticornis*-like species of *Macrothrix* Baird, 1843 (*Cladocera: Anomopoda: Macrothricidae*) from Subantarctic and temperate regions of the southern hemisphere. *J. Nat. Hist.* 2007. No 41(41–44). P. 2569–2620.
26. Kotov A.A. Importance of male and ehippial female characters for differentiating three Palaearctic species of *Macrothrix* Baird, 1843 (*Cladocera: Anomopoda*), with a redescription of *Macrothrix dadayi* Behning, 1941. *Ann. Limnol.* 44(1). 2008. P. 45–61.
27. Kotov A.A., Garfias-Espejo T., Elías-Gutiérrez M. Separation of two Neotropical species: *Macrothrix superaculeata* (Smirnov, 1982) versus *M. elegans* Sars, 1901 (*Macrothricidae, Anomopoda, Cladocera*). *Hydrobiologia* 517, 2004. P. 61–88.
28. Kotov A.A., Hollwedel W. Revision of the *Macrothrix paulensis* species group (*Anomopoda, Cladocera, Branchiopoda*) in Neotropics, with description of *M. brandorffi* n. sp. *Arch Hydrobiol Suppl.* 2004. No 151(1–2). P. 125–159.
29. Kotov A.A., Maiphae S., Sanoamuang L.O. Revision of *Macrothrix paulensis* like species (*Anomopoda, Cladocera, Branchiopoda*) in Asia, and phylogeny of the *paulensis*-group. *Arch Hydrobiol Suppl.* 2005. No 151(3). P. 269–299.
30. Kuczyński A. Benedykt Dybowski – badacz “Świętego Morza” i nie tylko, [wywiad E. Skrobockiego z A. Kuczyńskim]. *Magazyn Polski* (Grodno), 1998, 1. S. 6–11.
31. Margaritora F.G., Usai M.C. Systematic and ecological data on *Macrothrix hirsuticornis* Norman and Brady (*Crustacea, Cladocera*) in Lake Campo Felice (Apennine Abruzzi). *Boll. Zool.* 1983. No 50(3–4). P. 137–142.
32. Silva-Briano M., Dieu N.Q., Dumont H.J. Redescription of *Macrothrix laticornis* (Jurine, 1820), and description of two new species of the *M. laticornis*-group. *Hydrobiologia.* 1999. No 403. P. 39–61.
33. Smirnov N.N. The *Macrothricidae* of the World. Guides to the identification of the microinvertebrates of the continental waters of the World. V. 1. The Hague: SPB Academic Publishing, 1992. 151 p.
34. Šramek-Hušek R., Straškraba M., Brtek J. Lupenožci – *Branchiopoda*. Fauna ČSSR. Nakladatelství Československé Akademie Věd. Praha. 1962. 470 s.
35. Wetzel R., Likens G. *Limnological Analyses*. Philadelphia; London; Toronto: W.B. Saunders Company. 1979. 357 p.

ОСОБЛИВОСТІ ТРОФІКИ СТАВКОВИКІВ ПІДРОДУ *PEREGRIANA (MOLLUSCA: PULMONATA)* ЗА ДІЇ РІЗНИХ КОНЦЕНТРАЦІЙ ІОНІВ КАДМІЮ

Василенко О.М., Онищук І.П.

Житомирський державний університет імені Івана Франка
вул. Бердичівська, 40, 10008, м. Житомир
o.vasylisha@gmail.com
irinashpin@gmail.com

Встановлено вплив різних концентрацій іонів Cd^{2+} на основні трофологічні показники моллюсків підроду *Peregriana (Mollusca: Pulmonata)* за споживання ними різних видів корму (листя частухи, тополі та стебел латаття). Встановлено, що іони кадмію здійснюють негативний вплив на процеси живлення і травлення ставковиків, спричиняючи у них за всіх використаних у досліді концентрацій (0,5 ГДКр – 3 ГДКр) фазу депресії патологічного процесу отруєння. *Ключові слова:* *Peregriana*, іони кадмію, трематодна інвазія, середньодобовий раціон, тривалість проходження корму через травний тракт, коефіцієнт засвоєності корму.

Влияние низких концентраций ионов кадмия на величину среднесуточного рациона прудовиков подрода *Peregriana (Mollusca: Pulmonata)*. Василенко О.М., Онищук И.П. Установлено влияние различных концентраций ионов Cd^{2+} на основные трофологические показатели моллюсков подрода *Peregriana (Mollusca: Pulmonata)* за употребления ими различных видов корма (листья частухи, тополя и стеблей кувшинок). Установлено, что ионы кадмия оказывают негативное влияние на процессы питания и пищеварения прудовиков, вызывая в них при всех использованных в опытах концентраций (0,5 ГДКр – 3 ГДКр) фазу депрессии патологического процесса отравления. *Ключевые слова:* *Peregriana*, ионы кадмия, трематодная инвазия, среднесуточный рацион, продолжительность прохождения корма через пищеварительный тракт, коэффициент усвояемости корма.

The influence of cadmium ions on the basic trophic characteristics in *Peregriana (Mollusca: Pulmonata)*. Vasylenko O., Onischuk, I. Here is researched an influence of different concentrated ions Cd^{2+} on amount of the trophological indexes *L. Peregrina, L. ovata, L. patula* during taking different food types (*Alisma, Nymphaea, Populus*). It has been established researches certify about the fact the most negative influence on the processes of feeding and digestion of pond snails render the cadmium ions. That entail at all the used in experiment concentration (maximum concentrations limits are from 0.5–3), the depression phase on the pathological process that entails the taxation. *Key words:* *Peregriana*, the cadmium ions, trematodas invasion, the average daily ration, the time of its passage through alimentary canal, food digestibility.

Постановка проблеми. Унаслідок антропогенної діяльності у водойми потрапляє значна кількість забруднювачів, які залучаються до кругообігу речовин, що негативно позначається на функціонуванні водних екосистем [18]. З огляду на високу токсичність інтерес становлять важкі метали (далі – ВМ), які під час перевищення ГДК мають канцерогенний і мутагенний вплив на організми. Їх концентрація у водоймі залежить від шляхів потрапляння, інтенсивності водокористування, геохімічних особливостей території, а також змінюється протягом року сезонно, оскільки сезонно змінюються фізико-хімічні характеристики водойм і фізіологічна активність гідробіонтів [14].

Забруднені водойми стали звичайним середовищем існування для багатьох гідробіонтів, зокрема для моллюсків. Саме тому поглиблене вивчення трофіки лімнеїд та впливу на неї чинників різної природи має, безсумнівно, чимале теоретичне і практичне значення. Знання особливостей їхньої трофіки

дає можливість оцінювати стан екосистем, прогнозувати їх зміни, адже з дослідження складу корму тварин починається зазвичай будь-яка екологічна робота. О.А. Цихон-Луканіна зазначає: «... ігнорування особливостей живлення організмів може призвести до значних викривлень екологічних показників. Знання трофологічних показників необхідне для розрахунку швидкості асиміляції та потоку енергії в екосистемах, а також кількості речовини, що залучається в кругообіг у вигляді екскрементів» [1, с. 37].

Виклад основного матеріалу. Багато питань трофіки прісноводних червононогих моллюсків дотепер залишаються нез'ясованими. Насамперед це стосується кількісної оцінки живлення цих тварин. Із легеневих моллюсків у цьому відношенні більш-менш досліджено [4] всього лише 3 фонових види з прісноводної малакофауни Європейської частини колишнього СРСР – *Lymnaea stagnalis*, *L. ovata*, *Planorbium corneum*. Тому питання якісних і кількісних показників живлення ставковиків із водойм

України є досить актуальним в аспекті визначення впливу на нього чинників різної природи.

Виконані дослідження є складовою частиною комплексних науково-дослідних тем кафедри зоології Житомирського державного університету імені Івана Франка «Прісноводні молюски в системі біологічного моніторингу» (державна реєстрація № 0103V000134).

Аналіз літературних джерел свідчить, що відомості, які стосуються трофіки ставковиків, нині недостатні, розбіжні і здебільшого фрагментарні. Жоден із аспектів їхнього живлення не є повноцінно дослідженим. З кількісних показників відомі значення лише деяких із них (величина середньодобового раціону, тривалість проходження корму через травний тракт, його засвоюваність і швидкість добової асиміляції) і то тільки для одного із ставковиків – ставковика озерного.

Ще менш вивченим є питання щодо впливу токсикантів різної природи на трофіку легеневих молюсків. Наприклад, залишається не до кінця дослідженим вплив іонів важких металів на кількісні показники трофіки ставковиків. Важливість токсикологічних досліджень водяних безхребетних підкреслювалась ще В.Н. Беклемішевим [2], а пізніше Н.С. Строгановим [17], адже спостереження за тваринами в токсичному середовищі можуть розв'язати численні питання гідроекології. До наших днів залишається малодослідженим вплив іонів важких металів на кількісні показники трофіки ставковиків.

Однак встановлено, що за дії 0,2, 0,4 та 0,6 мг/л сульфату міді на ставковика озерного величина середньодобового раціону за споживання ним частухи прогресуюче знижується [6] від $1,65 \pm 0,09\%$ до $1,56 \pm 0,08$ та $0,74 \pm 0,04\%$ відповідно. Пристосування до патогенного впливу важких металів відбувається завдяки підвищенню коефіцієнта засвоєння корму (за 0,2 мг/л сульфату міді в 1,17 рази проти норми). За більш високих концентрацій токсиканту (0,4 та 0,6 мг/л) патологічні процеси в організмі молюсків починають переважати, що призводить до зниження значень цього трофологічного показника (відповідно до $0,55 \pm 0,02$ та $0,29 \pm 0,02\%$). Подібне характерне також для тривалості проходження корму через травний тракт *L. stagnalis*. Наприклад, за концентрації 0,2 мг/л сульфату міді цей показник зменшується в 1,2 рази, за 0,4 мг/л – у 1,24, а за 0,6 мг/л – у 1,5 рази.

Досліджено також вплив хлориду цинку [11] в концентраціях 2, 10, 18 мг/л на деякі ланки трофіки *L. stagnalis*. Зі зростанням концентрації токсиканту відбувається прогресуюче зменшення величини середньодобового раціону на 42, 45 та 74% відповідно для кожної із застосованих концентрацій. Визначено, що за 2 та 10 мг/л $ZnCl_2$ відбувається зростання засвоюваності корму на 17 та 7% відповідно, за 18 мг/л – зменшення її на 43%. Тривалість проходження корму через травний тракт зі зростанням вмісту токсиканту у воді прогресуюче зменшу-

ється: від 11,35% за 2 мг/л $ZnCl_2$ до 20 за 10 мг/л та на 33% за 18 мг/л хлориду цинку в середовищі.

Відомо, що вплив токсикантів різко відрізняється від впливу екологічних чинників середовища на функціональний стан травних ферментів [11]. Накопичення токсичних речовин призводить до різкого пригнічення функціональної активності більшості фізіологічних і біохімічних процесів, зокрема дії травних ферментів. Біологічні реакції в організмі на вплив токсикантів не мають нічого спільного з нормальними адаптаційними реакціями.

Встановлено [7], що моллюскоцидний ефект іонів міді на водяних черевоногих молюсків пов'язаний із блокуванням циклу трикарбонових кислот на рівні α -кетоглутарату. Адже після інкубації протягом 6 год у розчині $CuSO_4$ (2 мг/л) у травній залозі молюсків спостережено значне зниження розчинених у холодній хлорній кислоті вуглеводів, амінокислот, фосфоліпідів і гліцеринів. Уміст пірувата при цьому залишається незмінним, а кількість лактату збільшується на 50%. У присутності ж α -кетоглутарату іони міді зумовлюють зниження активності комплексу кетоглюкодегідрогенази на 92%, аланінотрансферази – на 33% за збільшення активності глюкозо-6-фосфатази на 78%.

Варто зазначити велике значення сумісної дії трематодної інвазії та іонів важких металів на організм молюсків. За результатами дослідження впливу трематод *Schistosomatium douthiti* та *Trichobilharzia sp.* на молюсків з'ясовано, що патогенний ефект паразитів підвищується під впливом іонів цинку, а також іонів міді [10]. Молюски, інвазовані партенітами трематод, за високої інтенсивності інвазії менше токсикорезистентні, ніж вільні від зараження особини. Отже, інвазія є обтяжуючим чинником, що ускладнює перебіг патологічного процесу, викликаного дією токсиканту. Це підтверджують також деякі трофологічні дослідження [13]. Наприклад, величина середньодобового раціону в інвазованих тварин за помірної інвазії зростає, а за тотальної інвазії різко падає порівняно з незараженими особинами.

Нами вперше встановлено вплив різних концентрацій іонів Cd^{2+} на основні трофологічні показники молюсків підроду *Peregiana* (Mollusca: Pulmonata) за споживання ними різних видів корму (листя частухи, тополі та стебел латаття).

Отримані для ставковиків трофологічні показники можуть знайти застосування у вирішенні низки важливих завдань екологічної фізіології і продукційної біології. Вони можуть бути використані під час моделювання тих біологічних процесів у гідроекосистемах, які є наслідком антропогенного забруднення водного середовища поллютантами, зокрема іонами важких металів. Бажано, аби кількісні трофологічні показники були враховані під час перегляду значень діючих зараз ГДК рибогосподарських. Наведені у ній матеріали можуть знайти застосування в біотестуванні (у системі екологічного моніторингу

стану водного середовища) під час здійснення заходів, спрямованих на збереження та відтворення водних біоценозів; у практичній роботі працівників рибних господарств.

Лабораторними дослідженнями охоплено найпоширеніших ставковиків як фауни України взагалі, так і згаданого її регіону зокрема. Вони входять до підроду *Peregriana* роду *Lymnaea*: *L. peregra* (O. F. Muller, 1774), *L. ovata* (Draparnaud, 1805), *L. patula* (Da Costa, 1778).

Для визначення основних трофологічних показників тварин, аклімованих протягом 14 діб до лабораторних умов, обсушували фільтрувальним папером, зважували (електронні ваги марки WPS 1200) та поміщали одночасно з фіксованою наважкою корму по одному в заповнені водою ємкості (V=250 мл). Як корм використовували 1) листя частухи (*Alisma plantago-aquatica*), 2) листя рдесника (*Potamogeton*

natans), 3) проварене та мацероване протягом 5 діб листя тополі (*Populus alba*). Тривалість дослідів – 2 доби. Температура води – +16–19°C. Освітлення акваріумів природне. Під час експерименту визначали величину середньодобового раціону (далі – ВСР), тривалість проходження корму через травний тракт (далі – ТПК), засвоєність корму (далі – КЗК) за [7].

Трематодну інвазію встановлювали шляхом мікроскопування (МБІ-1, МЗ 7x8) тимчасових препаратів, виготовлених із шматочків гепатопанкреаса моллюсків. Видову належність трематод з'ясували винятково на живому матеріалі [11]. Моллюски *L. peregra* були інвазовані редіями і церкаріями «пташиної» трематоди *Echinoparyphium aconiatum* Dietz (екстенсивність зараження – 53,41±5,57%), *L. ovata* – *Notocotylus seineti* Fühm (екстенсивність зараження – 31,25±3,34%), *L. patula* – *Cercaria gibba* Ssin (екстенсивність зараження – 24,45±2,59%), лока-

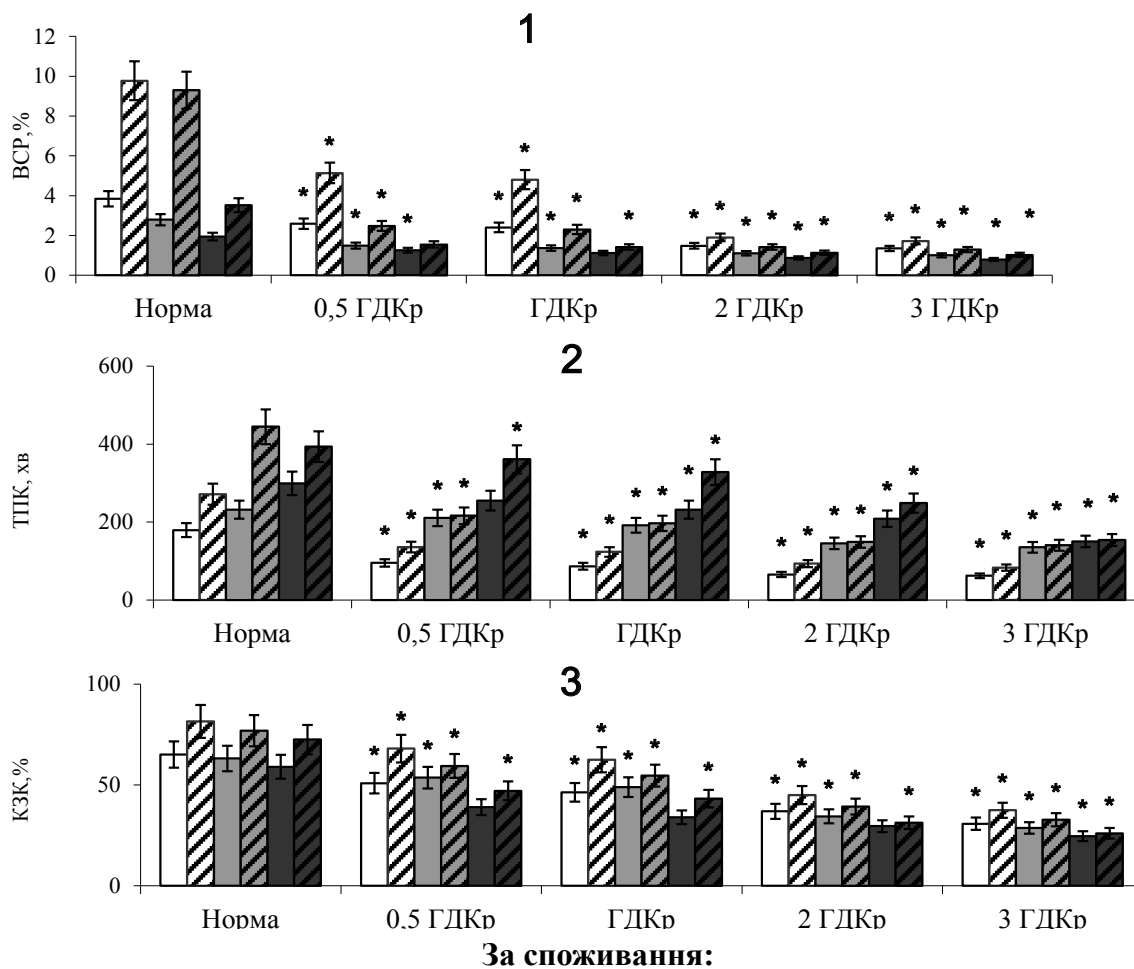


Рис. 1. Вплив різних концентрацій іонів кадмію на трофологічні показники *L. peregra*: 1 – ВСР; 2 – ТПК; 3 – КЗК; * – статистично вірогідна різниця ($P \geq 94,5\%$) щодо норми

лізованими у гепатопанкреасі хазяїв. Інтенсивність інвазії переважно помірна (ураження паразитами від 1/10 до 1/2 об'єму гепатопанкреаса).

Токсикологічні дослідження поставлено за методикою Алексеева [1]. Як токсикант використано кадмій хлорид. У токсикологічному дослідженні (експозиція – 2 доби) використано концентрації, що становлять 0,5, 1, 2, 3 гранично допустимих концентрацій (рибогосподарських) (ГДКр) у перерахунку на іони Cd²⁺ (ГДКр Cd²⁺ становить 0,001 мг/дм³) [19].

Заміну токсичного середовища здійснювали щодоби з метою видалення метаболітів тварин та підтримання постійної концентрації токсиканту. Отримані числові результати дослідів оброблено загальноприйнятими методами з використанням комп'ютерних програм STATISTICA 5.0 [12].

З'ясовано, що іони кадмію під час дослідів у використаних концентраціях у всіх без винятку досліджених молюсків спричиняють скорочення значень усіх трофологічних показників (рис. 1, рис. 2, рис. 3).

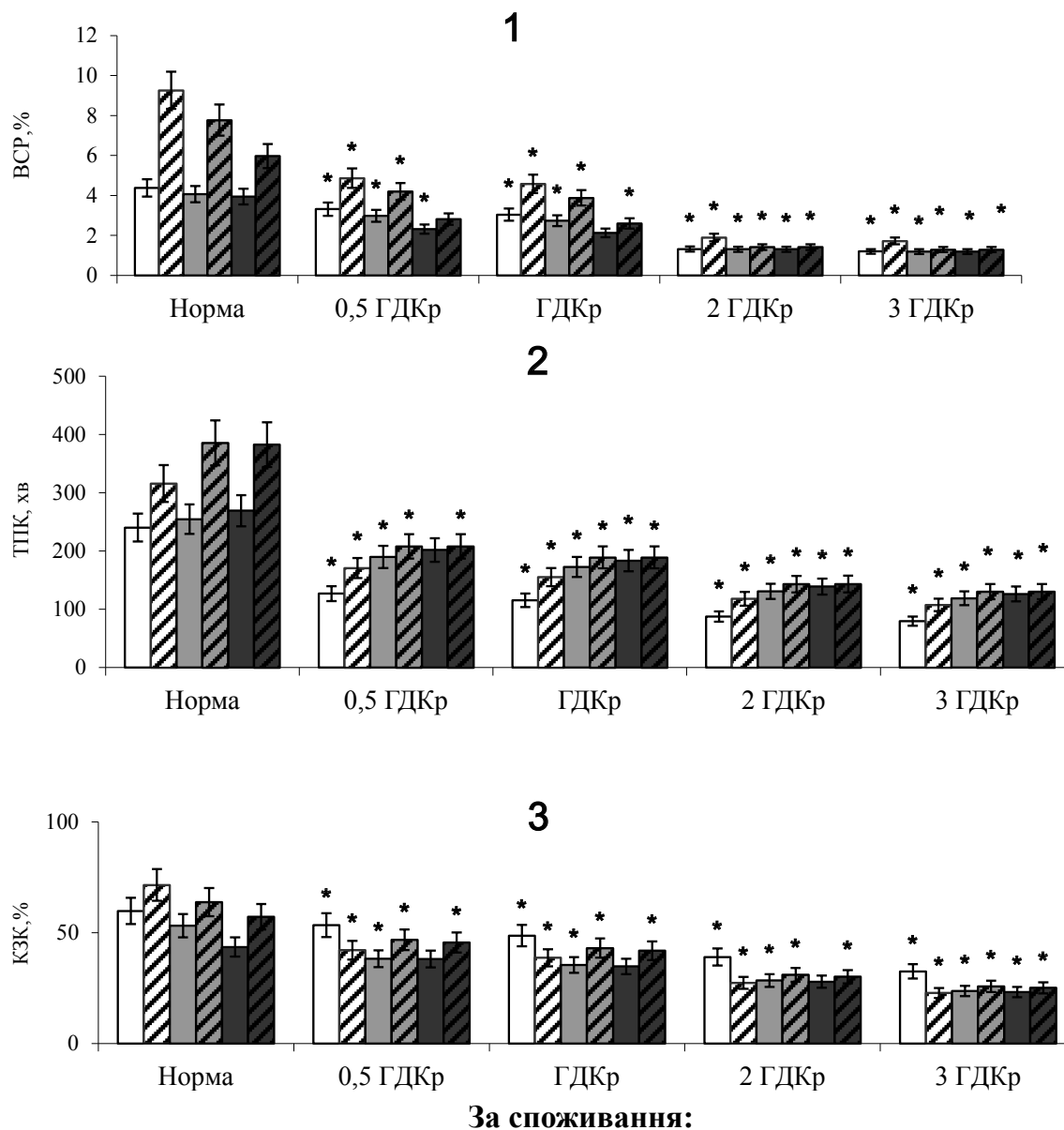


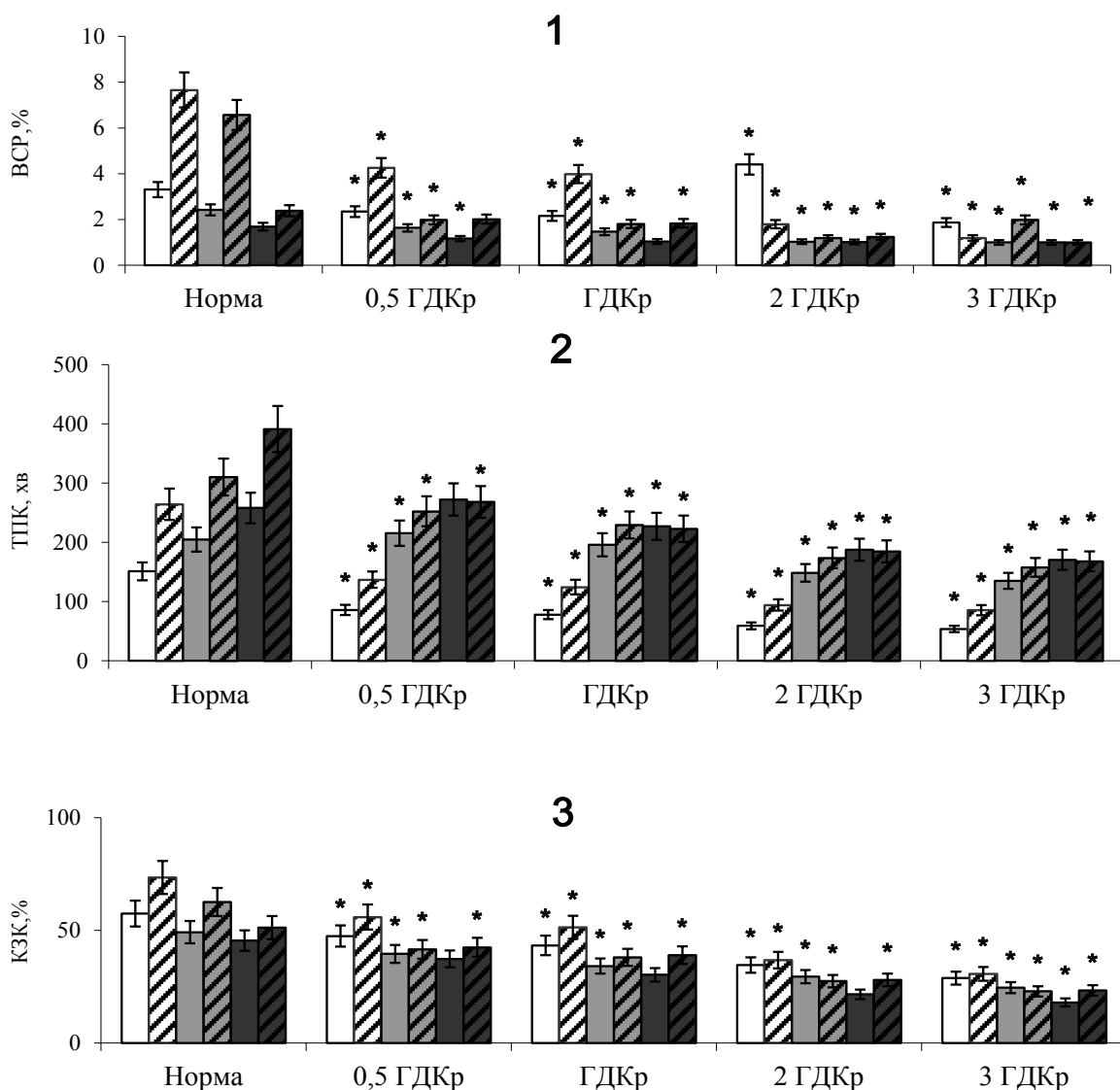
Рис. 2. Вплив різних концентрацій іонів кадмію на трофологічні показники *L. ovata*: 1 – ВСП; 2 – ТПК; 3 – КЗК; * – статистично вірогідна різниця ($P \geq 94,5\%$) щодо норми

Головні висновки. Отже, наведені вище дані свідчать про те, що іони кадмію в концентраціях від 0,5 до 3 ГДКр у всіх без винятку досліджених видів молюсків за споживання ними всіх заданих видів корму зумовлюють зменшення значень усіх трофологічних показників, що відповідає депресивній фазі патологічного процесу [5], зумовленого отруєнням тварин. Це вказує на надзвичайно високу токсичність іонів кадмію для ставковиків. Із підвищенням концентрації токсиканту в застосованих у досліді межах відбувається прогресуюче зменшення значень трофологічних показників, оскільки

із зростанням вмісту іонів кадмію у воді молюски зазнають все більшого і більшого їх токсичного впливу.

Трематодна інвазія поглиблює перебіг патологічного процесу, зумовленого дією Cd^{2+} [3; 4]. Значення основних трофологічних показників за дії іонів кадмію водного середовища в інвазованих тварин зменшуються значно більше, ніж в особин незаражених.

У перспективі є необхідним вивчення впливу іонів різних важких металів на трофіку ставковиків різних екологічних груп.



За споживання:

- Частухи (незаражені особини);
- ▨ Частухи (заражені особини);
- ▤ Рдесника (незаражені особини);
- ▥ Рдесника (заражені особини);
- Тополі (незаражені особини);
- Тополі (заражені особини).

Рис. 3. Вплив різних концентрацій іонів кадмію на трофологічні показники *L. patula*: 1 – ВСП; 2 – ТПК; 3 – КЗК; * – статистично вірогідна різниця ($P \geq 94,5\%$) щодо норми

Література

1. Алексеев В.А. Основные принципы сравнительно токсикологического эксперимента. *Гидробиологический журнал*. 1981. Т. 17. № 3. С. 92–100.
2. Беклемишев В.Н. Вопросы, входящие в проблему устойчивости членистоногих к инсектицидам. *Устойчивость членистоногих к инсектицидам*. М.: «Мир», 1969. С. 18–25.
3. Василенко О.М. Вплив іонів кадмію на живлення *Lymnaea palustris* (Mollusca: Pulmonata). *Вісник Львівського університету. Серія: «Біологічна»*. 2010. Вип. 52. С. 101–106.
4. Василенко О.М. Вплив іонів кадмію на тривалість проходження корму через травний тракт ставковиків (Mollusca: Pulmonata: Lymnaeidae). *Наукові записки Тернопільського державного педагогічного університету ім. В. Гнатюка. Серія: «Біологія»*. № 2 (47). 2011. С. 11–5.
5. Василюк Т.П. Акумуляція та розподіл важких металів у фітомасі гідробіонтів виду *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms при біоочищенні сільськогосподарських стічних вод. *Вісник НУВГП. Сільськогосподарські науки: зб. наук. пр.* Рівне: НУВГП, 2013. Вип. 1 (61). С. 67–73.
6. Веселов Е.А. Основные фазы действия токсических веществ на организмы. *Вопросы водной токсикологии: тез. докл. Всесоюз. науч. конф.* М.: «Наука», 1968. С. 15–16.
7. Вискушенко Д.А. Серцева діяльність *Lymnaea stagnalis* в умовах його інтоксикації хлоридом цинку. *Вісник Житомирського педагогічного університету*. 2001. Вип. 8. С. 223–227.
8. Гандзюра В.П., Грубінко В.В. Концепція шкочочинності в екології. Київ – Тернопіль: Вид-во ТНПУ ім. В. Гнатюка, 2008. 144 с.
9. Гинецинская Т.А. Трематоды, их жизненные циклы, биология и эволюция. Л.: «Наука», 1968. 410 с.
10. Дикиева Д.М., Петрова И.А. Химический состав макрофитов и факторы, определяющие в них концентрацию минеральных веществ. *Гидробиологические процессы в водоемах*. Л.: «Наука», 1983. С. 107–213.
11. Киричук Г.Е. Влияние разных концентраций ионов тяжелых металлов на физико-химические свойства *Planorbium purpurum* (Mollusca: Vulinidae) в норме при инвазии трематодами. *Паразитология*. 2002. Т. 36. Вып. 2. С. 108–116.
12. Лакин Б.Ф. Биометрия. М.: «Высшая школа», 1973. 343 с.
13. Линник П.Н., Набиванец Б.И. Формы миграции металлов в пресных поверхностных водах. Л.: «Гидрометеоздат», 1986. 268 с.
14. Новиков Н.В., Ласточкина К.О., Болдина З.Н. Методы исследования качества воды водоемов. М.: «Медицина», 1990. 400 с.
15. Стадниченко А.П., Иваненко Л.Д., Архипчук С.В. Влияние последствие СМС «Ландыш» на легочное и кожное дыхание прудовика озерного, инвазированного трематодами, при разном температурном режиме. *Деп. в ГНТБ Украины 05.08.94, № 1527-Ук94*. 20 с.
16. Строганов Н.С. Биологический критерий токсичности в водной токсикологии. *Критерий токсичности по водной токсикологии*. М.: Изд-во МГУ, 1971. С. 14–26.
17. Романенко В.Д. Основи гідроекології: підручник. К.: «Обереги», 2001. 728 с.
18. Цихон-Луканина Е.А. Трофология водных моллюсков. М.: «Наука», 1987. 176 с.

БІОЛОГІЧНИЙ СТАН ПРОМИСЛОВОГО СТАДА ТОВСТОЛОБИКІВ ДНІПРОВСЬКО-БУЗЬКОЇ ГИРЛОВОЇ СИСТЕМИ

Гейна К.М.

Інститут рибного господарства
Національної академії аграрних наук України
вул. Обухівська, 135, 03164, м. Київ
geina_k@ukr.net

Проаналізовано основні біологічні характеристики товстолобиків Дніпровсько-Бузької гирлової системи в сучасних умовах. Визначено видову та вікову структури промислового стада. Представлено інформацію щодо темпу лінійно-вагового росту та факторів, які впливають на його динаміку. Встановлено, що сучасне стадо інтродуцентів представлено переважно гібридами між білим і строкатим товстолобиками, для яких характерна більш стала вікова структура. Зазначено зміщення модальних груп до правого крила вікового ряду у всіх видів товстолобиків, що свідчить про ріст чисельності не охоплених промислом граничних груп і, як наслідок, посилення навантаження на відповідні трофічні ланцюги водойми. *Ключові слова:* Дніпровсько-Бузька гирлова система, товстолобики, гібриди, структура стада, темп росту.

Биологическое состояние промыслового стада толстолобиков Днепровско-Бугской устьевой системы. Гейна К.Н. Проанализированы основные биологические характеристики толстолобиков Днепровско-Бугской устьевой системы в современных условиях. Определены видовая и возрастная структуры промыслового стада. Представлена информация относительно темпа линейно-весагового роста и факторов, которые влияют на его динамику. Установлено, что современное стадо интродуцентов представлено преимущественно гибридами между белым и пестрым толстолобиками, для которых характерно относительное постоянство возрастной структуры. Отмечено смещение модальных групп к правому крылу возрастного ряда у всех видов толстолобиков, что свидетельствует о росте численности не охваченных промыслом граничных групп и, как следствие, приводит к усилению нагрузки на соответствующие трофические звенья водоема. *Ключевые слова:* Днепровско-Бугская устьевая система, толстолобики, гибриды, структура стада, темп роста.

The biological status of commercial flocks of carp of the Dnieper-Bug estuary system. Geina K. The main biological characteristics of silver carps of the Dnieper-Bug estuary system in modern conditions are analyzed. The species and age structure of commercial flock has been determined. Information is presented on the rate of linear-weight growth and the factors that influence its dynamics. It has been established that the modern herd of introduced species is represented mainly by hybrids between white and variegated silver carps for which the relative constancy of the age structure is characteristic. The displacement of modal groups to the right wing of the age range in all types of silver carps is noted, which indicates an increase in the number of border groups not covered by the fishery and, consequently, leads to an increase in the load on the corresponding trophic units of the reservoir. *Key words:* Dnieper-Bug estuary system, silver carps, hybrids, herd structure, growth rate.

Постановка проблеми. Зарегулювання природного стоку найбільшої водної артерії України р. Дніпро призвело до суттєвого погіршення екологічного стану Дніпровсько-Бузької гирлової системи. Як наслідок, кардинально змінилися якісна та кількісна структура іхтіоценозу. Більшою мірою негативні тенденції відобразилися на структурних характеристиках популяцій цінних промислових хижаків і бентофагів [1].

Вивільнення відповідних екологічних ніш, які закономірно утворюються під час перебігу трансформаційних процесів, супроводжувалося зростанням чисельності малоцінної промислової іхтіофауни. При цьому біопродукційний потенціал фітопланктону та макрофітів у Дніпровсько-Бузькій гирловій системі залишався практично не використаним [2; 3]. Унаслідок надмірного продукування цих кор-

мових ресурсів спостерігалось значне погіршення екологічного стану водойми, що було характерним також для інших трансформованих акваторій [4].

Багаторічний досвід рибогосподарської експлуатації природних водойм різного типу та походження переконливо вказує на те, що найбільш дієвим заходом запобігання негативного впливу трансформаційних процесів є вселення представників східнокитайського комплексу – білого, строкатого товстолобиків і білого амуру [5].

У цьому зв'язку в Україні була впроваджена широка програма акліматизаційних робіт, яка розпочалася з другої половини минулого століття і діє по нині. Біологію рослинних риб в умовах природних водойм за межами природного ареалу почали вивчати ще на початкових етапах вселення. Проте більшість досліджень була зорієнтована на водо-

сховища Дніпровського каскаду [6; 7]. Дослідження щодо характеристики промислових угруповань вселенців у Дніпровсько-Бузькій гирловій системі вирізнялися спорадичністю та трофологічно спрямованістю [8], що зумовило актуальність проведення комплексу науково-дослідних робіт із вивчення біології товстолобиків у трансформованих умовах нижньої течії Дніпра.

Матеріал і методи дослідження. Відбір іхтіологічних матеріалів здійснено з контрольних і промислових знарядь лову – ставних сіток, частикових ятерів, закидних неводів. Вікова та розмірно-вагова структура стада визначена за загально-визнаними в практиці іхтіологічних досліджень методиками [9–11]. Математична обробка отриманих результатів виконана за [12; 13] з використанням електронних таблиць редактора Microsoft Office Excel 2003.

Дослідженнями був охоплений період 2001–2015 рр. На віковий і розмірно-ваговий склад стада товстолобиків було проаналізовано 5,2 тис. екз. Зібрана та оброблена кількість іхтіологічного матеріалу дала змогу з певною мірою достовірності оцінити сучасний стан промислового стада товстолобиків Дніпровсько-Бузької гирлової системи.

Виклад основного матеріалу.

Протягом поточного століття у стаді товстолобиків Дніпровсько-Бузької гирлової системи спостерігається постійне домінування гібридних особин. Їх питома вага змінюється в межах від 43,3 до 51,4%. При цьому важливо зауважити, що зазначені вище граничні показники частки гібридів із незначною, але сталою тенденцією до зростання, спостерігалися протягом 2001–2004 рр. У наступний період 2006–2010 рр. їх питома вага стабілізувалася на рівні 44–49%, проте нині спостерігається незначна тенденція до зниження частки гібридів із 50,5% у 2011 р. до 41,8% у 2015 р. При цьому питома вага білих і строкатих товстолобиків суттєво не відрізняється і коливається в межах від 22,1 до 29,8% загальної чисельності стада (рис. 1).

Характерною така ситуація є також для Каховського водосховища, де здійснювалися подібні дослідження [14; 15]. При цьому важливо наголосити на тому, що у Дніпровсько-Бузькій гирловій системі, особливо останніми роками, питома вага білих товстолобиків є більш сталою, а за абсолютними

показниками є дещо вищою, ніж у зарегульованій частині нижньої течії Дніпра (Каховське водосховище), і змінюється в межах від 26,9 до 29,3% загальної чисельності стада.

Аналіз вікової структури стада товстолобиків вказує на те, що у поточному столітті спостерігається подовшення правого крила вікового ряду. У промислових і контрольних знаряддях лову товстолобики починають реєструватися у віці трирічка, тобто на третьому році мешкання у водоймі в разі зариблення цьоголітками (0+) і на другому році – у разі зариблення дволітками (1+).

Відомо, що одним з основних показників, які характеризують загальну динаміку вікової структури стада, є середній виважений вік. Проведений аналіз змін вікової структури товстолобиків Дніпровсько-Бузької гирлової системи переконливо свідчить про стаке зростання показника, що аналізується.

Найбільш суттєві зміни середнього віку спостерігаються у стадах білого та строкатого товстолобиків, де протягом 2001–2009 рр. спостерігалася підвищення

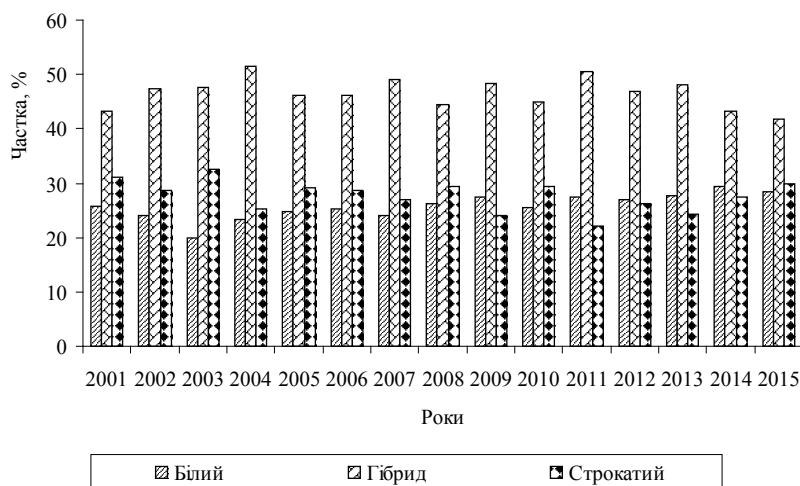


Рис. 1. Видова структура стада товстолобиків Дніпровсько-Бузької гирлової системи

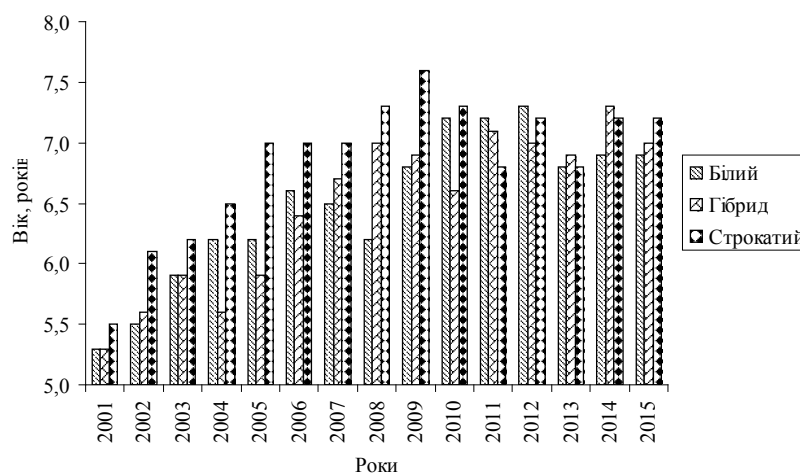


Рис. 2. Динаміка середнього виваженого віку стада товстолобиків Дніпровсько-Бузької гирлової системи

з 5,3 до 7,6 років. При цьому важливо наголосити на тому, що середній виважений вік у строкатих товстолобиків завжди був дещо вищим, ніж у білих товстолобиків.

У гібридних товстолобиків зміни середнього виваженого віку є менш суттєвими. Протягом 2001–2015 рр. спостерігалось відносно стале збільшення віку з 5,3 до 7,3 років. При цьому середній вік стада білих товстолобиків стабілізувався на рівні 6,9 р., а строкатих – 7,2 р.

Спостережені особливості динаміки середнього виваженого віку різних видів товстолобиків зумовлювалися безпосередніми змінами вікової структури за окремими роками спостережень. Максимальна кількість зареєстрованих вікових груп (дванадцять) була характерною для всіх видів товстолобиків, проте мінімальна мала певну видову специфіку, що видно з даних, представлених на рисунку 2.

Найбільш сталою кількістю вікових груп була у гібридів. Протягом 2001–2005 рр. вона дорівнювала десяти і до 2015 р. поступово збільшилася до два-

надцяти груп. У білих і строкатих товстолобиків кількість вікових груп була більш мінливою характеристикою. Мінімальний показник для обох видів дорівнював восьми групам. Важливо наголосити, що в білих товстолобиків мінімальна кількість вікових груп реєструвалася більш часто, ніж у строкатих.

З огляду на те, що чисельність товстолобиків у Дніпровсько-Бузькій гирловій системі формується виключно через щорічне вселення, важливою є інформація щодо її обсягів і динаміки у часі. Інформація з цього приводу дасть змогу певною мірою пояснити ситуацію, пов'язану з динамікою вікової структури стада товстолобиків.

Аналіз офіційних статистичних даних указує на те, що до Дніпровсько-Бузької гирлової системи протягом тривалого часу вселяються товстолобики у віці дволітка та цьоголітка, тобто використовується змішаний віковий спосіб зариблення. Обсяги зариблення цьоголітками найбільш суттєвими були на початку 90-х рр. – 11,7–13,0 млн. екз. Проте на початку поточного століття вони суттєво знизилися (до 2,9–4,8 млн. екз.), а у 2004–2006 рр. узагалі припинилися. Проте за нашого часу обсяги зариблення цьоголітками знову збільшилися, що визначило динаміку лінійно-вагової структури різних видів товстолобиків у розглянутій акваторії.

Для всіх видів товстолобиків характерною рисою сучасності є збільшення середніх лінійних розмірів узагалі по стаду. У білих товстолобиків протягом досліджень вони зросли з 54,8 до 74,0 см, у строкатих – з 58,1 до 77,3 см, а у гібридів – з 57,2 до 72,5 см.

На початку розглянутого терміну (2001–2003 рр.) спостерігалось чітке збільшення середньої довжини тіла у такому напрямку: білий товстолобик – гібрид – строкатий товстолобик. У середньому по стаду довжина білих товстолобиків була у межах від 54,8 до 58,5 см. У гібридів вона була дещо вищою – від 57,2 до 60,6 см, а у строкатих товстолобиків – від 58,1 до 64,7 см (рис. 3).

У подальші роки зазначено зростання середніх лінійних розмірів узагалі по стаду. Особливо це стосувалося строкатих товстолобиків, що пов'язувалося з подовшенням вікового ряду та зміщенням домінуючих вікових груп до його правого крила. Протягом 2008–2010 рр. середня виважена довжина строкатих товстолобиків була в межах від 76,2 до 78,1 см, що є найвищим показником узагалі по стаду товстолоби-

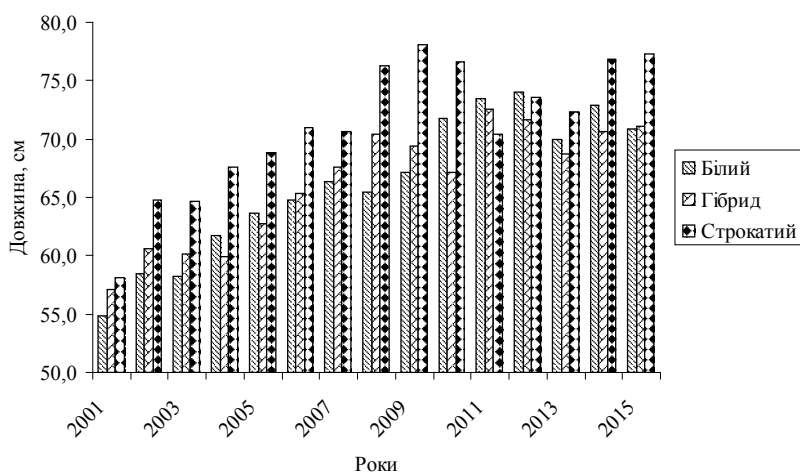


Рис. 3. Динаміка змін лінійних розмірів товстолобиків Дніпровсько-Бузької гирлової системи (середні виважені показники)

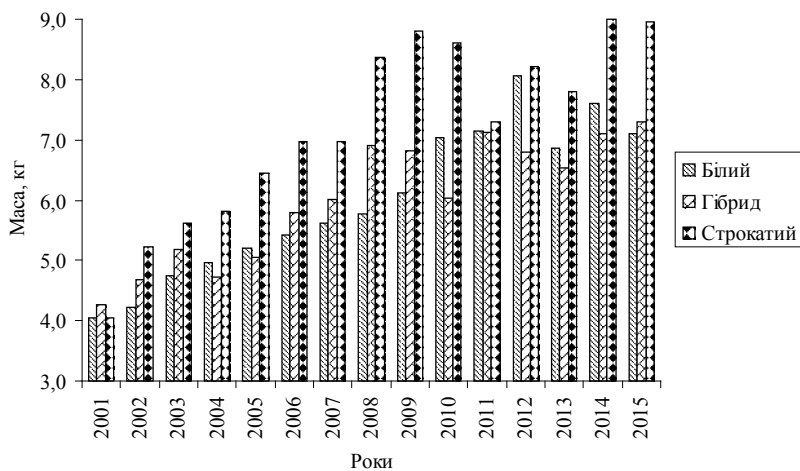


Рис. 4. Динаміка змін маси тіла товстолобиків Дніпровсько-Бузької гирлової системи (середні виважені показники)

ків. Водночас лінійні розміри білих товстолобиків досягли в середньому 71,8 см, а у гібридів спостерігалось поступове зниження з 70,4 до 67,1 см, що пов'язувалося зі зміщенням модальних вікових груп до лівого крила. Проте за віковими групами відхилення були не суттєвими і залежали від віку особин.

Виявлені коливання зумовлювалися головним чином технічними характеристиками використаних для збору матеріалу знарядь лову та чисельністю вибірки. Проте одним із пояснень цього є те, що у групах лівого крила вікового ряду мінливість лінійних розмірів товстолобиків є більш суттєвою, що зумовлено вселенням до водойми двох вікових груп – цьоголіток і дволіток.

З подібного твердження досить логічним є те, що для однієї і тієї самої вікової групи товстолобиків може бути різною кількість років мешкання у водоймі. При цьому важливо акцентувати увагу на тому, що на першому році після вселення у водойму цьоголіток отримує більш комфортні умови для реалізації потенції лінійного росту, ніж у контрольованих умовах ставових господарств.

Подібне твердження може стосуватися також характеристик росту маси тіла. Аналіз результатів спостережень указує на те, що в процесі накопичення не охоплених традиційними промисловими знаряддями лову старших вікових груп відбувається адекватне збільшення середньої виваженої маси тіла по стаду взагалі.

Більшою мірою означена позиція стосується строкатих і гібридних товстолобиків, які володіють більш інтенсивною потенцією росту маси тіла, що гарно ілюструється даними, представленими на рисунку 4.

Наведені на рисунку 4 дані вказують на те, що протягом 2001–2015 рр. середня виважена маса тіла у строкатих товстолобиків зростає з 4,0 до 9,0 кг, а у гібридів – з 4,3 до 7,3 кг. У молодших вікових групах товстолобиків, зокрема у трирічок, маса тіла змінювалася в межах від 0,8 до 1,3 кг. При цьому будь-яких тенденцій до її зростання або зниження не спостерігалось. Проте в більшості граничних груп правого крила вікового ряду, зокрема у строкатих і гібридних товстолобиків, зазначається стала тенденція до росту середньої маси тіла за роками спостережень.

Головні висновки. Характерними особливостями сучасного біологічного стану промислових стад товстолобиків Дніпровсько-Бузької гирлової системи є зміщення модальних груп до правого крила вікового, що зумовило зростання середніх показників довжини та маси тіла. Неповне охоплення старших вікових груп традиційними знаряддями лову, які сьогодні використовуються для промислу, призвело до росту чисельності граничних груп правого крила вікового ряду, а відповідно – до посилення тиску на відповідні трофічні ланцюги у водоймі.

Література

1. Шерман І.М., Гейна К.М., Кутіщев С.В., Кутіщев П.С. Екологічні трансформації річкових гідроecosystem та актуальні проблеми рибного господарства. *Рибогосподарська наука України*. 2013. № 4 (26). С. 5–16.
2. Гейна К.Н., Кутіщев П.С. Качественная структура фитопланктона Днепровско-Бугской устьевой системы / К.Н. Гейна, П.С. Кутіщев. *Аквакультура сьогодні: матер. Всерос. науч.-практ. конф.* М.: ВНИИР, 2015. С. 100–105.
3. Kutishchev P.S., Geina K.M., Sherman I.M., Volichenko Yu.M. Actual State of Phytoplankton of the Dnieper-Bug Mouth Area. *Hydrobiological Journal*. 2018. Vol. 54. № 5. P. 3–16.
4. Тарасова О.М., Мушак П.А. К вопросу биологической мелиорации водохранилищ с использованием растительных рыб. «Растительные рыбы в промышленном рыбодоводстве»: тез. докл. Всесоюз. совещ. Ташкент, 1980. С. 130–131.
5. Никольский Г.В., Веригин Б.В. Результаты научных работ по растительным рыбам, основные задачи и направления дальнейших исследований. *Новые исследования по экологии и разведению растительных рыб*. М.: «Наука», 1968. С. 12–19.
6. Вовк П.С. Биология дальневосточных растительных рыб и их хозяйственное использование в водоемах Украины. К.: «Наукова думка», 1976. 245 с.
7. Рибальство та рибництво трансформованих річкових систем півдня України: наукова монографія / І.М. Шерман, К.М. Гейна, М.С. Козій, П.С. Кутіщев, Ю.М. Воліченко. Херсон: Гринь Д.С., 2017. 312 с.
8. Шерман І.М., Кутіщев П.С. Екологія живлення та харчові взаємовідносини промислових корошових Дніпровського лиману: наукова монографія. Херсон: Гринь Д.С., 2013. 248 с.
9. Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб. М.: «Пищевая промышленность», 1966. 376 с.
10. Брюзгин В.Л. Методы изучения роста рыб по чешуе, костям и отолитам. К.: «Наукова думка», 1969. 187 с.
11. Чугунова Н.И. Руководство по изучению возраста и роста рыб. М.: АН СССР, 1959. 164 с.
12. Аксютин З.М. Элементы математической оценки результатов наблюдений в биологических и рыбохозяйственных исследованиях. М.: «Пищевая промышленность», 1968. 288 с.
13. Румшинский Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента. М.: «Наука», 1971. 192 с.
14. Гейна К.М. Результаты інтродукції товстолобиків у Каховське водосховище. *Природничий альманах. Серія: «Біологічні науки»*. Херсон: Вид-во ПП Вишемірський В.С. 2008. Вип. 10. С. 5–8.
15. Шерман І.М., Гейна К.М. Промислова іхтіофауна планктофагів Каховського водосховища. *Таврійський науковий вісник*. Херсон: «Айтлант», 2007. Вип. 50. С. 133–138.

ЗБЕРЕЖЕННЯ РЕЛІКТОВИХ ВИДІВ В УМОВАХ *EX SITU*

Калашнікова Л.В.

Державний дендрологічний парк «Олександрія»
Національної академії наук України
Дендропарк «Олександрія», 09113, м. Біла Церква
kalashnikovaluda@gmail.com

Наведено дані біокліматичних умов в природних місцезростаннях 5 «червонокнижних» видів: *Betula klokovii*, *Cerasus klokovii*, *Crataegus pojarkovae*, *Fraxinus ornus*, *Spiraea polonica*, які є реліктами плейстоценового флористичного комплексу і регіону інтродукції. За результатами досліджень адаптаційних можливостей реліктових видів встановлено, що в умовах *ex situ* вони є перспективними для збереження в інтродукційних популяціях або біогрупах у лісових екофітонах дендропарку «Олександрія». *Ключові слова*: кліматичні умови, релікти, дендропарк «Олександрія», збереження.

Сохранение реликтовых видов в условиях *ex situ*. Калашникова Л.В. Представлены данные биоклиматической ситуации в природных популяциях 5 «краснокнижных» видов: *Betula klokovii*, *Cerasus klokovii*, *Crataegus pojarkovae*, *Fraxinus ornus*, *Spiraea polonica*, которые являются реликтами плейстоценового флористического комплекса и в регионе интродукции. По результатам исследования адаптационных возможностей реликтовых видов установлено, что они перспективны для сохранения в условиях *ex situ* в интродукционных популяциях или биогруппах лесных экофитонов дендропарка «Александрия». *Ключевые слова*: климатические условия, реликты, дендропарк «Александрия», сохранение.

Conservation of relict species in *ex situ* conditions. Kalashnikova L. The data of the bioclimatic situation in natural populations of 5 rare species: *Betula klokovii*, *Cerasus klokovii*, *Crataegus pojarkovae*, *Fraxinus ornus*, *Spiraea polonica*, which are relics of the Pleistocene floristic complex and in the region of introduction has been given. According to the results of the study of the adaptive capabilities of relict species has been established that they are promising for conservation *ex situ* conditions in the introduction populations or biogroups of the forest ecofitons of the dendropark “Alexandria”. *Key words*: climatic conditions, relics, dendropark “Alexandria”, conservation.

Постановка проблеми. У сучасних умовах зміни клімату і посилення антропогенного навантаження, яке завдає нищівного удару по природним екосистемам і ставить на межу виживання цілий ряд раритетних видів рослин, ботанічні сади і дендропарки зберігають до 95 % сучасного дендрорізноманіття, на їхніх територіях запроваджено системні механізми збереження і охорони в умовах *ex situ*.

Актуальність дослідження. У проблемі охорони рослинного різноманіття визнаними є два напрями – це охорона фіторізноманіття в природних умовах (*in situ*) та охорона поза межами природних ареалів (*ex situ*) шляхом колекціонування і збереження. Флора кожного ботанічного об'єкта унікальна, від її складу і структури залежить загальна екологічна ситуація всієї екосистеми, тому збереження реліктових видів має дуже велике значення.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. В Україні комплексні дослідження проблеми збереження раритетних видів еперше були започатковані у відділі охорони природних екосистем Інституту екології Карпат НАН України у 1974 р. під керівництвом С.М. Стойка (1992) [11]. Згідно із Законом України «Про природно-заповідний фонд України» (1992) в дендропарку «Олександрія», який є об'єк-

том природно-заповідного фонду, активно проводиться робота з добору, збереження та введення «червонокнижних» видів рослин до екосистем дендропарку. Для існування фітобіоти дендропарку найважливішими екологічними факторами є такі: кліматичний (температура, вологість повітря, опади), ґрунтовий (родючість, механічний склад), географічний (рельєф), біотичний і антропогенний. Тому під час вивчення біоекологічних особливостей реліктових видів в сучасних умовах важливо знати, як проявляються їхні адаптивні показники, строки початку та тривалості річних феноетапів у зв'язку із змінами кліматичних факторів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В останні 10–15 років спостерігаються ознаки «глобальних змін клімату», а саме: підвищення середньої температури повітря, зменшення весняного періоду, зменшення кількості опадів у вегетаційний період, зміни в початку та закінченні феноінтервалів, зниження рівня ґрунтових вод і загальна ксерофітизація клімату [6; 10; 14].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Метою досліджень було надати оцінку адаптаційних можливостей інтродукованих реліктових видів і розробити методи збереження в екофіто-

нах дендропарку «Олександрія» в умовах кліматичних змін.

Новизна. Основними критеріями відбору видів для досліджень були такі: наявність у Червоній книзі України; належність виду до реліктових; належність за геоелементами до певних широтних (бореальних, неморальних, лісостепових) і довготних (європейських, голарктичних, середземноморських) поясів. Тому об'єктами досліджень стали 5 інтродукованих до дендропарку «Олександрія» реліктів плейстоценового флористичного комплексу: *Betula klokovii* Zaverucha, *Cerasus klokovii* Sobko, *Crataegus pojarkovae* Kos, *Fraxinus ornus* L., *Spiraea polonica* Blocki, які в умовах інтродукції можуть бути перспективними як види з широким діапазоном адаптаційних можливостей. У плейстоцені пройшла остаточна деградація теплолюбних елементів флори на великих просторах перигляціальної зони льодовика, по схилах гір та в міжгірних долинах, в різноманітних екологічних нішах по краях льодовика, який танув. Посеред флювіогляціальних відкладень з'явилися криофільні елементи, які дійшли до теперішнього часу як гляціальні, перигляціально-степові та релікти більш пізніх ксеротермічних епох голоцену [2, 8]. *Betula klokovii*, *Cerasus klokovii*, *Crataegus pojarkovae*, *Spiraea polonica* одночасно є ендеміками бореального, неморального і петрофільного флористичних комплексів. Досліджувані види інтродуковані до дендропарку упродовж 2004–2008 рр.

Методологічне або загальнонаукове значення.

Для проведення інтродукційного експерименту нами використані такі методи інтродукції: кліматичних аналогів Г. Майра (1925), який базується на наявності аналогії між комплексом кліматичних умов на батьківщині рослин і на території їх культивування; флорогенетичний метод В. Малєєва (1933), за яким інтродукція рослин за межі їх ареалів призводить до змін умов існування і вимагає від них пристосування; еколого-історичний метод М. Культіасова (1957), за яким історично складена структура видів у сприятливих умовах в процесі їх життєдіяльності здатна до найвищої продуктивності і відтворення нащадків; за ботаніко-географічним методом Н. Авроріна (1956) вивчали біологічні властивості рідкісних рослин в умовах культури. Для визначення сезонних ритмів росту та розвитку досліджуваних видів проводили фенологічні спостереження за «Методикою фенологічних спостережень в ботаничних садах СРСР» (1975). Зимостійкість оцінювали за восьмибальною шкалою С. Соколова (1957). Перспективність інтродукції рідкісних видів в екологічних умовах дендропарку визначали за інтегральним числовим методом П. Лапіна та С. Сідневої за сім'ю показниками з детально розробленими оціночними шкалами (1973).

Виклад основного матеріалу. Дендрологічний парк «Олександрія» розташований у правобережній лісостеповій частині Київської області на Київській височині, займає площу 400 га, з них

дубові насадження, які за матеріалами лісовлаштування Білоцерківського лісгоспзагу відносять до дубово-грабових лісів, займають 47,8 га. Для місцевості характерним є чергування широколистяних лісів і степових масивів. Ліси займають порізані балками ділянки водорозділів, розташовані на сірих опідзолених і деградованих чорноземах. В умовах Лісостепу головними факторами формування і поширення лісів формації *Quercetum roboris* є зміни клімату з півночі на південь та із заходу на схід [13]. Грунти дендропарку належать до таких генетичних типів: сірі лісові, чорноземні, дерново-лугові та мулистоглейові болотні. Переважають сірі лісові, гумусовий горизонт яких містить 1,2–2,8 % гумусу, з недостатньою кількістю рухомих форм азоту, калію і фосфору. Інші типи ґрунтів займають невеликі за площею ділянки. Водонесні горизонти залягають на глибині від 1,5 до 10 м, а в багатьох місцях по балках ґрунтові води навіть виходять на поверхню. Грунти підстилаються кристалічними породами. Місцями, по схилах балок і по берегах р. Рось, граніт виходить на денну поверхню [3].

Клімат Лісостепу характеризують як помірно-континентальний, тобто помірно-теплий із достатнім зволоженням на заході і нестійким на сході [5]. Лісостепова зона району досліджень вважається добре вологозабезпеченою, але в останні роки вона потерпає від посух. За багаторічними даними Білоцерківської метеорологічної станції середня багаторічна температура повітря становить +7,5°C з абсолютним мінімумом –36°C та максимумом +38°C. За багаторічними спостереженнями, на території району досліджень (м. Біла Церква) випадає 562 мм опадів на рік і більша половина з них саме у весняно-літній період, коли рослини більше всього потребують вологи. Середня річна відносна вологість становить 76 %. Середня дата переходу температури через позначку +5°C припадає на 6–8 квітня, кінець вегетації рослин на – 26–28 жовтня. Вегетаційний період триває 200–210 днів. В умовах Білої Церкви кількість днів із морозами становить 137 (110–163), снігових днів із висотою снігового покриву до 8 см (з максимумом 20 см) – 90–100, зокрема без відлиг – 63 дні. Температура ґрунту 0°C та нижче спостерігається до глибини 40 см, розпочинаючи з грудня по березень. Майже щорічно спостерігаються різкі зміни температури в період від березня до травня, які призводять до пошкодження верхівкових і генеративних бруньок. Характерною рисою сучасного клімату (останнього десятиріччя) є потепління і аридизація – зсув зон волого- та теплозабезпечення у напрямку з півдня на північ території України, і найбільш критичним (лімітуючим) фактором стає вологозабезпеченість. Кліматичні зміни виявляються в аномально теплих зимах, у змінах відношення між тривалістю сезонів року, збільшенні середньомінімальної температури повітря зимою і підвищенні середньорічної температури (табл. 1).

Таблиця 1

Метеодані Білоцерківської метеостанції за 2015–2018 рр.

Показники	Роки				Середнє багаторічне значення
	2015	2016	2017	2018	
Початок вегетації	09.03	29.02	06.03	04.04	6–8 квітня
Тривалість вегетації, днів	238	256	254	220	200–210
Кінець вегетації	2 листопада	11 листопада	15 листопада	11 листопада	26–28 жовтня
Річна сума опадів, мм	433	519,9	539,7	538,1	562
Середня річна відносна вологість	55 %	69,9 %	40,6 %	72 %	76 %
Найбільш сухий місяць, мм	серпень 2,4	вересень 3,1	серпень 16,0	квітень 8,1	
Найбільш дощовий місяць, мм	липень 82,4	травень 107,5	липень 83,0	липень 128,4	
Найхолодніший місяць	січень	січень	лютий	лютий	
Абсолютний мін., °С	-19,4	-22,1	-23,1	-25,7	-36
Число днів із сніговим покривом	94	64	98		85
Найбільш спекотний місяць	вересень	липень	серпень	серпень	
Абсолютний макс., °С	+37,0	+35,0	+35,3	+32,9	+38
Середня річна температура, °С	+9,9	+9,2	+9,5	+9,1	+7,5

За аналізом метеоданих 2015–2018 рр. зазначили, що потепління клімату продовжується завдяки холодній частині року. Середня річна температура збільшилася на 2,0–2,5° С. Початок весняних фенофаз став більш ранішим, а осінніх – пізнішим. Найспекотніша температура припадала на кінець літа – початок осені. Тому тривалість вегетативного періоду збільшилася порівняно із середнім значенням на 10–46 днів, що було сприятливим для перезимівлі рослин, визрівання пагонів і гарної підготовки до зими. Водночас продовжувалася тенденція зменшення вологості повітря (у 2015 р. дефіцит вологи становив 45 %, у 2016 р. – 30 %, 2017 р – 60 %), тому актуальнішим став такий показник, як посухостійкість. У 2015–2017 рр. вегетаційний період починався наприкінці лютого – у І декаді березня, що на місяць раніше за багаторічними значеннями, у 2018 р. він розпочався 4 квітня.

Досліджувані види ростуть у Європі в області дії континентально-європейської кліматичної зони з теплими зимами і помірним літом. Середня температура січня коливається від – 2°С до – 4°С, липня – від + 19°С до + 23°С, середня кількість опадів становить до 660 мм на рік. Кременецькі гори, де розташоване природне оселище *Betula klokovii* (дві популяції на г. Маслятин і г. Страхова), це частина крутого північного уступу Подільської височини. Середня їх висота становить 350–400 м н. р. м. Гори складені осадовими породами морського походження крейдового та третинного періодів – крейдою, глинами, вапняками. У ґрунтового покриві переважають світло-сірі опідзолні ґрунти. Гори розташовані на межі між широколистянолісовою та лісостеповою зонами, центрально- та східноєвропейською флористичними провінціями. Береза Клокова росте тут поодинокими особинами на схилах пагорбів південних і південно-західних експозицій у складі рідколісся з остепненим травостоєм в екотонах із *Betula pendula* Roth.: на г. Маслятин популяція є найбільшою і становить із 40 особин, а на г. Страхова популяція вже згасає і представлена поодинокими особинами [4; 9; 15]. У дендропарку «Олександрія» береза Клокова – листопадне дерево, привезене із природного оселища у 2008 р. У 12-річному віці сягає 7,0 м заввишки з діаметром стовбура 6,0 см і діаметром крони 3,0 м. Генеративного стану рослина досягла у 12-річному віці. Терміни бубнявіння бруньок спостерігали найраніше 13 квітня (2017 р.), найпізніше – 16 квітня (2015 р.). Цвітіння тривало з 14 по 27 квітня, насіння дозрівало в І декаді липня, листя опадало в І декаді листопада. Тривалість вегетаційного періоду становила 220 діб, що вкладається в середній показник вегетації для дендропарку. Зимостійкість І бал, габітус зберігає, пагони визрівають повністю, вибаглива до вологості. За

показниками перспективності інтродукції віднесена нами до перспективних для збереження в дендропарку, але за умов додаткового поливу в літні місяці.

Fraxinus ornus поширений на Балканському півострові, в Середземномор'ї, Малій Азії, Південній і Середній Європі, у південно-східному Закавказзі, де росте в змішаних насадженнях нижнього гірського поясу і вздовж схилів гір. Клімат цих територій помірно-континентальний, суворий, з достатнім рівнем зволоження, нестійкою весною та м'якою зимою. Середньомісячна температура липня – +13,7°C, січня – –9,2°C. Середньорічна кількість опадів коливається від 600 мм до 1500 мм. У теплий період року опадів випадає у 2–3 рази більше, ніж у холодний [5]. У ґрунтовому покриві переважають світло-сірі опідзолені ґрунти. В Україні єдина природна популяція ясеня білого займає площу в кілька гектарів у Закарпатській області біля м. Виногорова на крутому південному схилі г. Чорна Гора. Популяція стабільна, має тенденцію спонтанного розширення на території із степовою рослинністю. Флористичне ядро складається із неморальних і лугово-степових видів із південно-європейськими зв'язками. У складі сформованих скельнодубових ценозів особини ясеня білого пригнічені. Росте на сухих, кам'янистих, стрімких південних схилах у складі низькорослих, розріджених, ксеротермофільних угруповань союзу *Quercion pubescenti-petraeae* на теплих бурих лісових ґрунтах, багатих на поживні речовини, сформованих на вулканічних породах, що забезпечує їх добре дронування [15]. У дендропарку *Fraxinus ornus* – це невисоке дерево, у 10-річному віці сягає 2,0–6,0 м заввишки з діаметром стовбура 5,0–6,0 см і діаметром крони 2,0–4,0 м. Насіння отримано із Словаччини і Німеччини у 2006–2007 рр. Нині 25 особин формують декілька біогруп у лісових фітоценозах дендропарку (кв. 2, 10, 18, 19). Генеративної зрілості рослини досягли у 6-річному віці. Вегетацію починає в II декаді квітня: найраніше – 12 квітня (2018), найпізніше – 18 квітня (2017), квітував у I або II декаді травня, тривалість цвітіння становила 12 діб. Плоди достигали в III декаді вересня, листя опадало в II декаді жовтня, вегетаційний період тривав 190 діб. За показниками перспективності інтродукції в дендропарку віднесений до I групи (цілком перспективний): зимостійкий (I), габітус зберігає, приріст у висоту дає щорічно, продукує насіння.

Дві природні популяції *Cerasus klokovii* відомі з гранітних відслонень р. Південний Буг Придніпровської височини. Росте на кам'янисто-щебенястих ґрунтах серед заростей чагарників класу *Rhamno – Prunetea*, в яких нараховується близько 50 клонів виду. Розмножується здебільшого кореневими паростками, які забезпечують популяціям високу або середню життєвість і стійкість демографічної структури [11; 15]. В умовах дендропарку – це чагарник із кулястою кроною, 2,5 м заввишки, завезений 2-3-річним кореневим паростком із інтродукційної популя-

ції НБС ім. М.М. Гришка (м. Київ) у 2004 р. Площа інтродукційної популяції *Cerasus klokovii* в умовах дендропарку за 15 років досягла 4,0 x 4,0 м² із загальною кількістю 75 особин, в якій 91 % становлять особини прегенеративних станів. Рослини досягли генеративного стану у 5-річному віці. Вегетацію розпочинає найраніше 13 березня (2017), найпізніше – 2 квітня (2015, 2018), зацвітає в III декаді квітня (25–30 квітня), найпізніше – 4 травня (2015), цвітіння тривало 10 діб. Плоди зав'язував щорічно, але дозрівання спостерігали дуже рідко, вони опадають незрілими. Листя опадає в III декаді жовтня, вегетаційний період тривав 200 діб. Зимостійкий (I), із високою пагоноутворюючою здатністю, розмножується виключно кореневими паростками, сформував процвітаючу, гомеостатичну інтродукційну популяцію, яка не страждає від посухи. Ми вважаємо, що за стратегією життя вид перебуває в умовах фітоценотичного оптимуму.

Природний ареал *Spiraea polonica* – Західний Лісостеп України (Тернопільська обл., Борівський р-н, Зелений Гай, ур. Жижавка і по берегах р. Дністер). Рослини ростуть на моховій подушці під наметом невисоких дерев і чагарників. У місці зростання *Spiraea polonica* ґрунт щільно вкритий *Polypodium vulgare* L. Під час обстеження рослин у природній популяції в Жижавському заказнику не було знайдено слідів плодоношення, розростання виду відбувається кореневою паростю. *Spiraea polonica* в природі перебуває поза оптимальними умовами свого існування і з цієї причини у нього послаблена репродуктивна здатність до розмноження [1]. Чисельність виду скорочується через повільне розмноження. В умовах дендропарку таволга польська – листопадний чагарник 1,5 м заввишки, рослина привезена у 2006 р. із природного оселища – чагарникових заростей вапнякових схилів Жижавського р-ну Тернопільської обл. У 4-річному віці досягла генеративного стану. Вегетацію починає найраніше 12 березня (2016), найпізніше – 30 березня (2015), квітувала в I декаді травня (1 травня – 7 травня), тривалість цвітіння у різні роки становила від 7 до 17 діб і залежала від температури повітря. Плоди дозрівали в III декаді травня – I декаді червня. Листопад спостерігали в III декаді вересня, вегетаційний період тривав 200 діб. Зимостійкий (I), біоморфу зберігає, із високою пагоноутворюючою здатністю, досить посухостійкий, тому цілком перспективний для збереження в лісовому екофітоні дендропарку, де рослини мають оптимальні екологічні умови існування. Упродовж 10 років *Spiraea polonica* сформувала гомеостатичну інтродукційну популяцію, площею 60 м² і нараховує 64 різновікових особини (кв. 15, 20, 28), з них – 40 генеративних. Розростання відбувається прикореневими паростками.

Crataegus pojarkovae росте в природних оселищах у східній частині гірського Криму окремими екземплярами або невеликими групами на сухих

еродованих кам'янистих схилах, узліссях та в шиблякових угрупованнях класу *Rhamno – Prunetea* на висоті 50–300 м н. р. м. Єдина на європейському континенті популяція *Crataegus pojarkovae* на масиві Кара-Даг охоплює південний та південно-східний схили хребта Сюрю-Кая, східні та південно-східні схили г. Святої, північний та північно-східний схили хребта Магнітний та Кок-Кая, Андезитову сопку [7]. Популяція є в депресивному стані, щороку гине від 0,5 до 10 % особин. Основними причинами загибелі дерев є ушкодження крони ентомошкідниками та фітопатогенними грибами, зсуви ґрунту, пожежі та посуха, випас худоби [15]. До дендропарку у 2006 р. із природного оселища (Карадагського заповідника) привезено 6 дерев *Crataegus pojarkovae*, які у 15-річному віці сягають 2,2–2,5 м заввишки з діаметром крони 1,5 м. У 2018 р. рослини досягли генеративного стану. Вегетацію починає найраніше 27 березня (2017), найпізніше – 11 квітня (2018), цвітіння тривало 11 діб із 25 квітня по 4 червня. Дозрівання плодів спостерігали 6 вересня, закінчення вегетації – у III декаді жовтня. Тривалість вегетаційного періоду становила 195 діб. За період досліджень зимостійкість – I бал (ушкоджень від морозів не спостерігали), габітус зберігає, пагоноутворююча

здатність висока, дає насіння, яке дозріває, тому є перспективним для подальших досліджень в умовах дендропарку.

Головні висновки. Аналізуючи біокліматичні умови існування 5 реліктових видів: *Betula klokovii*, *Cerasus klokovii*, *Crataegus pojarkovae*, *Fraxinus ornus*, *Spiraea polonica* в природних оселищах (область континентально-європейської кліматичної зони) і регіоні інтродукції (Правобережний Лісостеп), з'ясували, що показники цих кліматичних зон корелюють між собою. Незважаючи на зміни кліматичних факторів в останні роки, коли середня температура перевищувала середньорічні показники на 2,0–2,5°C, а дефіцит вологи становив від 30% до 60%, термічний режим і режим зволоження для досліджуваних видів був ще сприятливим.

Перспективи використання результатів дослідження. Релікти плейстоценового флористичного комплексу мають оптимальні екологічні умови існування *ex situ* і за адаптаційними можливостями є перспективними для збереження в інтродукційних популяціях або біогрупах у лісових екофітонах дендропарку «Олександрія». Але в умовах зміни клімату збільшується значення фенологічних спостережень і постійного моніторингу їхнього стану.

Література

1. Бонюк З.Г. Збереження рідкісних видів *Spiraea* в умовах культури. *Проблеми збереження, відновлення та збагачення біорізноманітності в умовах антропогенно-зміненого середовища*: матер. міжнар. наук. конф. (м. Кривий Ріг, 16–19 травня 2005 р.). Дніпропетровськ: «Проспект», 2005. С. 161–163.
2. Гроссет Г.О. О возрасте реликтовой флоры равнинной Европейской части. (Критический анализ реликтового вопроса). *Земледелие*. Москва, 1935. Т. 37. Вып. 3. Ст. 185–233.
3. Дерий И.Г., Семченков Г.Я. Почвы Белоцерковского дендропарка «Александрия». *Научные записки Белоцерковского СХИ*. Белая Церковь, 1958. Т. 5. С. 221–226.
4. Заверуха Б.В. Реликтові і ендемічні рослини Кременецьких гір та необхідність їх охорони. *Охороняйте рідну природу*. Київ, 1964. С. 69–78.
5. Клімат України / За ред. В.М. Ліпінського, В.А. Дячка, В.М. Бабіченко. Київ: Вид-во Раєвського, 2003. 345 с.
6. Клименко Ю.О., Кузнецов С.І. Комплексна оцінка паркових насаджень: методичні підходи і рекомендації. Київ, 2014. 66 с.
7. Косых В.М. Новый вид боярышника из Горного Крыма. *Новости систематики высших растений*. 1964. С. 147–150.
8. Крашенинников И.М. Анализ реликтовой флоры Южного Урала в связи с историей растительности и палеогеографией плейстоцена. *Советская ботаника*. 1937. № 4. С. 16–45.
9. Мельник В.І. Парубок М.І., Глінська С.О. Рідкісні лісові угруповання Кременецьких гір. *Інтродукція рослин*. Київ, 2006. № 2. С. 26–31.
10. Попович С.Ю., Власенко А.С., Берегута Є.І. Заповідна дендрозоофлора Степу України. Київ: ЦП «Компринт», 2013. 260 с.
11. Собко В.Г. Новый вид вишни (*Cerasus klokovii* Sobko sp. nov.) з гранітних відслонень Південного Бугу. *Український ботанічний журнал*. Київ, 1973. Т. 30. № 5. С. 624–630.
12. Стойко С.М. Созологічна категоризація рідкісних і зникаючих видів рослин. *Український ботанічний журнал*. Київ, 1992. Т. 49. № 1. С. 72–77.
13. Устименко П.М., Шеляг-Сосонко Ю.Р., Вакаренко Л.П. Раритетний фітоценофонд України. Київ: «Фітосоціоцентр», 2007. 270 с.
14. Фирсов Г.А., Волчанская А.В., Фадеева И.В. Уровни адаптированности древесных видов растений Красной книги России, интродуцированных в Санкт-Петербурге, в условиях изменения климата. *Вести Волгоградского гос. ун-та. Естественные науки*. Волгоград, 2012. Серия 11. № 2 (4). Ст. 16–27.
15. Червона книга України. Рослинний світ / За ред. Я.П. Дідуха. Київ: «Глобалконсалтинг», 2009. 900 с.

ВИДОВИЙ СКЛАД І ДИНАМІКА ЧИСЕЛЬНОСТІ РАТИЧНИХ ARTIODACTYLA У ВОЛЬЄРАХ НА ТЕРИТОРІЇ ЦЕНТРАЛЬНОГО ПОЛІССЯ

Кратюк О.Л.

Житомирський національний агроекологічний університет
б-р Старий, 7, 10008, м. Житомир
deneshi_ks@ukr.net

Підвищення чисельності та збагачення видового складу ратичних у мисливських угіддях шляхом їх розведення у напіввільних умовах є актуальним для більшості мисливських господарств. Загальна площа вольєрів становить 602,2 га. У вольєрах Центрального Полісся ратичні представлені *Cervus nippon*, *Cervus elaphus*, *Sus scrofa*, *Capreolus capreolus*, *Dama dama*, *Ovis ammon*. До 2015 року у вольєрах регіону утримували виключно *Cervus nippon* та *Sus scrofa*. На початку XXI століття нараховували 46 особин *Cervus nippon* та 75 особин *Sus scrofa*. Згодом у ТОВ «МК «Хантер» завезено *Cervus elaphus*, а на наступний рік – *Ovis ammon* та *Dama dama*. Найбільш стійкою і прогнозованою в господарствах регіону залишається популяція *Cervus nippon*. Протягом останніх років чисельність виду змінюється в діапазоні 40–56 особин. Найбільш непередбачуваною нині є популяція *Sus scrofa*. Коливання чисельності за роками дуже суттєві – від 15 особин (2005–2007 роки) до 75 особин (2009 рік). Користувачі поступово відмовляються утримувати проблемний вид і все частіше віддають перевагу *Cervus elaphus*, чисельність якого у вольєрах за останні роки зростає до 71 особини. Досить перспективними для напіввільного утримання є *Ovis ammon*, *Capreolus capreolus* та *Dama dama*. **Ключові слова:** мисливське господарство, напіввільне утримання, *Sus scrofa*, *Cervus elaphus*, *Cervus elaphus*, *Dama dama*.

Видовой состав и динамика численности копытных ARTIODACTYLA в вольерах на территории Центрального Полесья. Кратюк А.Л. Повышение численности и обогащение видового состава копытных в охотничьих угодьях путём разведения в полувольных условиях является актуальным для большинства охотничьих хозяйств. Общая площадь вольеров составляет 602,2 га. В вольерах Центрального Полесья копытные представлены *Cervus nippon*, *Cervus elaphus*, *Sus scrofa*, *Capreolus capreolus*, *Dama dama*, *Ovis ammon*. До 2015 года в вольерах региона содержали исключительно *Cervus nippon* и *Sus scrofa*. В начале XXI в. насчитывалось 46 особей *Cervus nippon* и 75 особей *Sus scrofa*. Впоследствии в ООО «ОК «Хантер» завезено *Cervus elaphus*, а на следующий год – *Ovis ammon* и *Dama dama*. Наиболее устойчивой и прогнозируемой в хозяйствах региона остаётся популяция *Cervus nippon*. На протяжении последних лет численность вида колебалась в пределах 40–56 особей. Наиболее непредсказуемой сегодня является популяция *Sus scrofa*. Колебание численности по годам существенное – от 15 особей (2005–2007 годы) до 75 особей (2009 год). Владельцы угодий постепенно отказываются содержать проблемный вид и всё чаще отдают предпочтение *Cervus elaphus*, численность которого в вольерах за последние годы возросла до 71 особей. Очень перспективными для полувольного содержания являются *Ovis ammon*, *Capreolus capreolus* и *Dama dama*. **Ключевые слова:** охотничье хозяйство, полувольное содержание, *Sus scrofa*, *Cervus elaphus*, *Cervus elaphus*, *Dama dama*.

Species composition and number dynamics of artiodactyla ungulates in enclosures in the territory of Central Polissya. Kratiuk O. Increasing the number and enrichment of the species composition of ungulates in hunting grounds by their breeding in semi-free conditions is relevant for the vast majority of hunting farms. The total area of the enclosures is 602.2 ha. The ungulates are represented by *Cervus nippon*, *Cervus elaphus*, *Sus scrofa*, *Capreolus capreolus*, *Dama dama*, and *Ovis ammon* in the enclosures of Central Polissya. Only *Cervus nippon* and *Sus scrofa* were kept in the enclosures of the region until 2015. At the beginning of the 21st century there were 46 individuals of *Cervus nippon* and 75 individuals of *Sus scrofa*. Later *Cervus elaphus*, and the following year *Ovis ammon* and *Dama dama* were brought to the HC Hunter Ltd. The population of *Cervus nippon* remains the most stable and predicted in the farms of the region. In recent years the number of species has ranged from 40 to 56 individuals. *Sus scrofa* population is supposed to be the most unpredictable nowadays. The variation of the number according to the years is very significant: from 15 individuals (2005–2007) to 75 individuals (2009). The users are gradually refusing to maintain a problem species and increasingly prefer *Cervus elaphus*, whose number in enclosures has increased to 71 individuals in recent years. *Ovis ammon*, *Capreolus capreolus* and *Dama dama* are considered to be quite promising for semi-free maintenance. **Key words:** hunting farm, semi-free maintenance, *Sus scrofa*, *Cervus elaphus*, *Cervus nippon*, *Dama dama*.

Постановка проблеми. На тлі інтенсивного розвитку мисливського господарства Європи, особливо в таких країнах, як Франція, Німеччина, Великобританія та Італія [1], все більше ускладнюються процеси взаємодії диких тварин, навколишнього середовища та діяльності людини. Ріст чисель-

ності та щільності тварин в умовах фрагментації природних стацій існування неодмінно веде до негативного впливу на сільське та лісове господарство [2]. За таких обставин однією з умов підвищення ефективності ведення мисливського господарства стало утримання тварин у напіввільних умовах, де

площа вольєрів коливається від декількох гектарів до декількох тисяч [3].

Актуальність дослідження. Ратичні в урбанізованих ландшафтах перебувають під різними джерелами антропогенного тиску, зокрема полювання як частини скоординованого управління тваринним світом і браконьєрства. Це спонукає використовувати все нові й нові підходи до управління популяціями ратичних тварин як відновлюваного ресурсу, які базуються на основі досягнень сучасної екологічної науки, проте на теренах пострадянських країн вони залишаються незмінними протягом останніх 50 років [2].

Розведення тварин на обмеженій території дає можливість більш досконало контролювати популяцію, що веде до значного зростання чисельності та якості поголів'я. Особливо це актуально для невеликих мисливських господарств, яких більшість, де через обмеженість площі та придатних до проживання стацій дуже важко сформувати здорову, повноцінну популяцію, а тому збільшення чисельності та урізноманітнення їх видового складу шляхом розведення у напіввільних умовах є досить актуальним.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. «Настанова з упорядкування мисливських угідь» (2002) – один з основних документів, який регламентує ведення мисливського господарства (упорядкування, бонітування мисливських угідь, визначення оптимальної чисельності та щільності мисливських тварин, обсяги біотехнічних заходів тощо) на сучасному етапі потребує суттєвих уточнень стосовно напіввільного та вольєрного утримання тварин, оскільки не розмежує ці поняття. Наприклад, на 1 свиню дику (*Sus scrofa* Linnaeus, 1758), лань (*Dama dama* Linnaeus, 1758) чи козулю європейську (*Capreolus capreolus* Linnaeus, 1758) відводиться лише 30 м², а для оленя плямистого (*Cervus nippon* Temminck, 1838) чи оленя благородного (*Cervus elaphus* Linnaeus, 1758) – 50 м² площі вольєра (наказ Міністерства охорони навколишнього природного середовища України від 30 вересня 2010 р № 429 «Порядок утримання та розведення диких тварин, які перебувають у стані неволі або в напіввільних умовах»). Власники, користуючись такими розрахунками, зазвичай перевантажують вольєри тваринами, які внаслідок своїх процесів життєдіяльності (особливо харчування та переміщення), завдають значної шкоди всім компонентам лісових біогеоценозів, зокрема фауністичній складовій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Прообразом вольєрного мисливського господарства можна вважати мисливські парки великих магнатів XIX – початку XX століть. Першим на території Центрального Полісся створив вольєр граф Йозеф Потоцький. Він у 1900 році організував вольєрне господарство «Пилявин». Нині це територія Пилиповецького та Пищівського

лісництв Державного підприємства «Новоград-Волинське досвідне лісомисливське господарство» Житомирського обласного управління лісового і мисливського господарства. Площа вольєра, за даними, становила 5 000 га, а за іншими – 3 600 га [4]. Це досить великий вольєр навіть за сучасними мірками. Зазвичай великими вважають вольєри площею більше 1 000 га.

Граф Потоцький до свого господарства завіз тварин із багатьох країн Європи та Росії. Перші тварини, яких тут випустили, були лосі з Литви з господарства князя Антонія Радзивілла. Це був у Галичині перший випадок розведення лосів (*Alces alces*) у вольєрі [4]. Водночас тут була невелика група зубрів (*Bison bonasus*) чисельністю до 22 особин, яка за період Першої світової війни до 1919 року була повністю знищена браконьєрами [5] разом з іншими тваринами.

Вражає різноманіття тварин, яких за короткий термін часу зібрав тут граф Потоцький. Олег Проців зазначає: «На 1 липня 1910 року у вольєрі були олень американський (*Cervus canadensis*) – 74 особини, сибірський (*maral asiaticus*) – 42, камчатський (*Cervus Dybowski*) – 14, перський (*C. caucasiensis vel persicus*) – 17, 8 зубрів. У 1912 році у вольєрі «Пилявин» було 2 бобри, 8 зубрів, 1 бізон, 58 лосів, 98 оленів (вапіті), 46 оленів-маралів, 2 кашмірські олені, 4 тяншанські олені, 18 кавказьких оленів, 16 оленів Дубовського, 3 антилопи, 2 перські газелі, 48 сибірських козуль, 24 зайці-біляки, 3 ведмеді, 2 чорні лебеді» [4; 6]. Зараз важко за цими даними достеменно встановити повний видовий склад тварин у вольєрі, оскільки частина назв указує не на видову приналежність тварини, а місце відлову, частина назв застаріла і не відповідає сучасним систематичним уявленням. Цікаво, що серед переліку тварин відсутній *Sus scrofa*.

На території України об'єктами вольєрного розведення серед ратичних є *Sus scrofa*, *Capreolus capreolus*, *Cervus elaphus*, *Cervus nippon*, *Dama dama*, муфлон європейський (*Ovis ammon* Linnaeus, 1758), зубр (*Bison bonasus* Linnaeus, 1758) [5, 7, 8], проте найбільш перспективними видами вважають *Sus scrofa*, *Cervus elaphus* та *Cervus nippon*, а також *Dama dama* [9].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Ще раніше ми звертали увагу на стан вольєрного мисливського господарства на території Житомирської області [10; 11]. За офіційною статистикою, станом на 1 березня 2018 року на території Житомирської області вольєри функціонують в 11 мисливських господарствах різних форм власності. У межах поліської зони функціонує 8 вольєрів, а в лісостеповій частині області – 3 вольєри. Проте розвиток вольєрного господарства у межах поліської та лісостепової зони має відмінності, що спонукає до аналізу кожної з цих територій окремо.

Новизна. Уперше для Центрального Полісся проведено аналіз динаміки чисельності та видового складу основного поголів'я ратичних тварин, яких утримують у напіввільних умовах.

Методологічне або загальнонаукове значення. Сучасні реалії розвитку мисливського господарства на Україні викликають небезпідставне занепокоєння. Передача в оренду лісів державного фонду приватним структурам для ведення мисливського господарства ставить під загрозу стан лісових насаджень, адже приватні мисливські господарства насамперед дбають про мисливські ресурси, відводячи лісовим насадженням (їх стану та збереженню) другорядну роль. Особливо гостро це питання стоїть там, де планують напіввільне (вольєрне) утримання. Ці процеси є досить інтенсивними та довготривалими. Як наслідок, відбувається поступове погіршення санітарного стану, втрачається екосистемна цілісність із подальшою деградацією лісових насаджень. У майбутньому важливими стануть рекомендації стосовно відповідності площі вольєрів, видового і чисельного складу тварин у них та з лісівничо-таксаційними показниками лісових насаджень.

Виклад основного матеріалу. Мета роботи – з'ясувати динаміку чисельності та сучасний видовий склад основного поголів'я ратичних тварин у вольєрах у межах Центрального Полісся. Для досягнення поставленої мети передбачалося виявлення та проведення аналізу наявних об'єктів напіввільного утримання ратичних тварин на території Центрального Полісся.

Аналіз стану вольєрного мисливського господарства Центрального Полісся здійснено на основі матеріалів Державної служби статистики України, Державного агентства лісових ресурсів України, а також проектів організації та розвитку мисливського господарства користувачів мисливських угідь Житомирської, Рівненської та Хмельницької областей.

На початку ХХІ ст. у межах Центрального Полісся було 4 вольєри в таких господарствах: ДП «Баранівське ЛМГ»,

ДП «Радомишське ЛМГ», СФГ «Земля Полісся» та МГ «В'юнки». У них утримували 46 особин *Cervus nippon* та 75 особин *Sus scrofa* [11]. З часом кількість вольєрів поступово починає зростати.

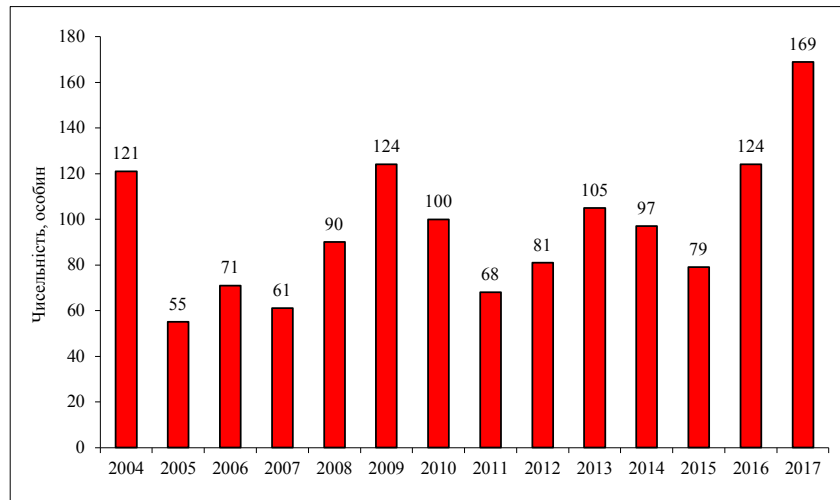


Рис. 1. Динаміка чисельності основного поголів'я ратичних тварин у вольєрах на території Центрального Полісся

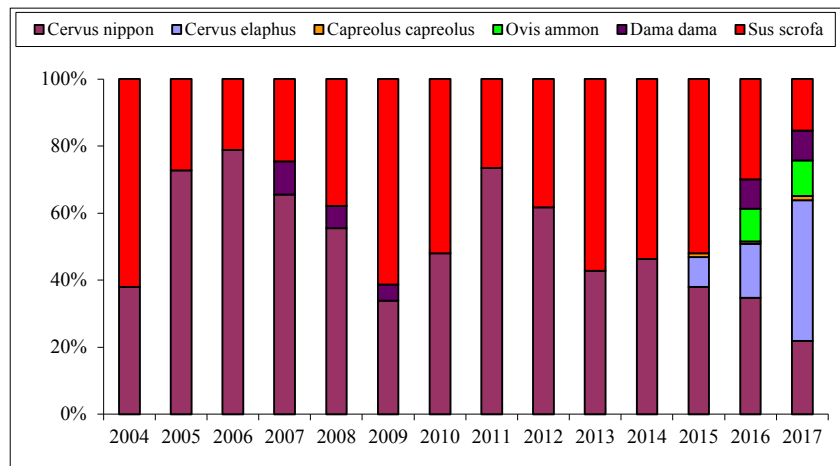


Рис. 2. Співвідношення ратичних тварин у вольєрах на території Центрального Полісся

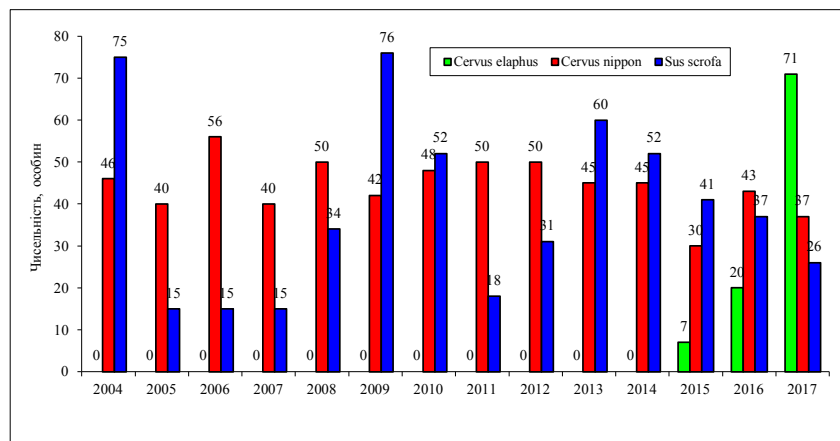


Рис. 3. Динаміка чисельності *Cervus elaphus*, *Cervus nippon* та *Sus scrofa* у вольєрах на території Центрального Полісся

Якщо у 2007 році їх було 6, то станом на 1 січня 2019 року на території Центрального Полісся функціонує вже 16 вольєрів у мисливських господарствах різних форм власності. Останнім у 2018 році було створено вольєр у ТОВ «Престиж-О» площею 4,0 га для розведення *Cervus nippon*. За призначенням це переважно вольєри для тимчасового утримання та розведення мисливських тварин.

Загальна площа вольєрів становить 602,2 га. Найбільшим можна вважати вольєр СФГ «Земля Полісся» площею 228,0 га. Серед державних підприємств найбільші вольєри розташовані в ДП «Білокоровицьке ЛГ» (70,5 га) та ДП «Баранівське ЛМГ» (56,2 га).

За останні роки чисельність тварин у вольєрах поступово зростає (рис. 1.), хоча цей процес відбувається хвилеподібно. Після стрімкого зростання кількості тварин неодмінно відбувається падіння чисельності. У 2018 році основне поголів'я ратичних становило 169 особин. Порівняно із 2005 роком, найнижчим за чисельністю, кількість тварин зросла майже у 3 рази.

Видовий склад ратичних тварин, яких утримують у напіввільних умовах на території Центрального Полісся досить широкий - *Cervus nippon*, *Cervus elaphus*, *Sus scrofa*, *Capreolus capreolus*, *Dama dama*, *Ovis ammon*. До 2015 року у вольєрах регіону за офіційною статистикою представлені були виключно *Cervus nippon* та *Sus scrofa* (рис.2.).

В окремих господарствах намагалися утримувати також *Cervus elaphus*, *Capreolus capreolus*, *Dama dama*, *Ovis ammon*. Невдалою виявилася спроба утримувати *Dama dama* у ДП «Малинське ЛГ». Тут у вольєрі площею 28,0 га протягом 2007–2009 років утримували 6 особин.

На жаль, не всі вольєри потрапляють в офіційну статистику. Зазвичай такі користувачі створюють невеликі за площею вольєри для тимчасової перетримки тварин без подальшої селекційної роботи. Така ситуація зумовлена, на нашу думку, декількома причинами, а саме: небажанням афішувати свою діяльність, тимчасовим характером утримання тварин, зокрема хворих, а подекуди звичайним недбалством щодо звітності.

З 2015 року починається поступове збагачення видового складу ратичних у вольєрах. Це стало можливим завдяки діяльності ТОВ «МК «Хантер», у яке було завезено *Cervus elaphus*, а згодом *Ovis ammon* та *Dama dama*. Площа вольєра тут становить 40,0 га. Власники цього господарства час від часу проводять випуски *Cervus elaphus* в угіддя. Зокрема, навесні 2018 року з вольєра випустили 26 особин *Cervus elaphus*, які успішно прижилися в угіддях. За свідченням егерської служби, сьогодні відомо, що завдяки цьому в угіддях народилося 11 оленят.

Співвідношення видів у вольєрах нині вирівнюється. Якщо у 2006 році більше половини всього поголів'я (78,9 %) становив *Cervus nippon*,

то у 2013 році його частка становила 42,9 %, а на початку 2018 року – уже 21,9 %. Цього ж року частка інших тварин мала такі показники: *Cervus elaphus* – 42,0 %, *Sus scrofa* – 15,4 %, *Ovis ammon* – 10,7% та *Dama dama* – 8,9 %.

Найбільш стійкою і прогнозованою у господарствах Центрального Полісся залишається популяція *Cervus nippon* (рис. 3.). Протягом останніх років чисельність виду змінюється в діапазоні 40–56 особин основного поголів'я. Усе це завдяки найстаршому у регіоні з нині діючих вольєрів на території Явненського лісництва ДП «Баранівське ЛМГ». Він створений згідно з рішенням технічної ради Баранівського лісгоспазу від 16 березня 1985 року на площі 56,2 га для розведення *Cervus nippon* з подальшим відловом і розселенням у мисливські угіддя України.

Найбільш непередбачуваною нині залишається популяція *Sus scrofa*. Це зумовлено непоодинокими випадками захворювання на африканську чуму свиней. Коливання чисельності за роками дуже суттєві: від 15 особин (2005–2007 рр.) до 75 (2009 р.). Це пов'язано до певної міри з адміністративними заходами щодо елімінації виду. Користувачі поступово відмовляються утримувати проблемний вид і все частіше віддають перевагу *Cervus elaphus*. Чисельність останнього у вольєрах за останні роки зросла до 71 особини. Власники час від часу проводять випуски *Cervus elaphus* в угіддя, чим і зумовлене зменшення кількості тварин у вольєрах у певні роки.

Досить перспективними для напіввільного утримання є *Ovis ammon*, *Capreolus capreolus* та *Dama dama*. В останні роки їх чисельність у господарствах області поступово зростає, як зростає і кількість самих господарств, де їх утримують.

Головні висновки. Актуальність створення вольєрів щороку зростає. Сьогодні йде переосмислення місця і ролі вольєрів у сучасному мисливському господарстві. Проведений аналіз засвідчує безсистемний підхід до ведення вольєрного господарства на більшості підприємств, незважаючи на інтенсивне проведення біотехнічних заходів. Власники вольєрів подекуди чітко не усвідомлюють можливі напрями розвитку. Незважаючи на це, мисливські господарства Центрального Полісся мають значний потенціал у розвитку вольєрного господарства, про що свідчить збільшення кількості вольєрів, їх площі, чисельності тварин, урізноманітнення видового складу.

Перспективи використання результатів дослідження. Знання видового складу ратичних тварин у вольєрах дасть можливість розробити рекомендації щодо невиснажливого ведення вольєрного господарства в лісах. Нині залишається відкритим питання впливу вольєрного утримання ратичних тварин на лісові насадження, особливо у невеликих за площею вольєрах, де у напіввільних умовах утримують *Sus scrofa*.

Література

1. Хоєцький П.Б., Похалюк О.М. Мисливське господарство країн Європи. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2014. Т. 24. № 8. С. 42–52.
2. Apollonio M., Belkin V. V, Borkowski J. et al. Challenges and science-based implications for modern management and conservation of European ungulate populations. *Mammal Research*. 2017. Vol. 62. P. 209–217.
3. Хоєцький П.Б., Новак А.А., Похалюк О.М. Світовий досвід ведення вольєрного мисливського господарства. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2015. Т. 25. № 3. С. 32–37.
4. Проців О.Р. Вольєрне господарство графа Потоцького. *Лісовий вісник*. 2018. № 5–6. С. 38–39.
5. Смаголь В.Н., Гавриць Г.Г. Зубр, *Bison bonasus* (Mammalia Artiodactyla), в Україні: динаміка численності, розповсюдження, стації и лімітуючі фактори: монографія. Київ: «Велес», 2013. 128 с.
6. Проців О.Р. Історичний досвід організації розведення дичини на прикладі вольєра «Пилявин» графа Й. Потоцькогою. *Передумови та перспективи раціонального використання природно-ресурсного потенціалу*: матер. І Всеукр. наук.-практ. конф. (м. Полтава, 28 травня 2018 р.). Полтава, 2018. С. 135–138.
7. Євтушевський М.Н. Плямистий олень (*Servus nippon hertulorum Swinhoe, 1864*) в Україні та за її межами: монографія. Київ: Видавничий дім «ЕКО-інформ», 2009. 192 с.
8. Євтушевський М.Н. Мисливські тварини України на волі та в вольєрах: монографія. Черкаси: «Вертикаль», 2012. 376 с.
9. Камінецький В.К., Бабіч О.Г., Смаголь В.М. Екологічні та господарські аспекти напіввільного розведення диких копитних (на прикладі спеціалізованих підприємств Державного управління справами Президента України): монографія. Миронівка: ЗАТ «Миронівська друкарня», 2011. 154 с.
10. Кратюк О.Л. Видовий склад та динаміка чисельності ратичних *Artiodactyla* у вольєрах на території Житомирської області. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2018. Т. 28. № 3. С. 34–37.
11. Кратюк О.Л., Гузій А.І., Власюк В.П., Бездітко Л.В. Характеристика вольєрів для ратичних *Artiodactyla* на території Житомирської області. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2018. Т. 28. № 2. С. 50–53.

О РАСПРОСТРАНЕНИИ И ЭКОЛОГИИ КУТОРЫ МАЛОЙ (*NEOMYS ANOMALUS CABRERA, 1907*) В БЕЛАРУСИ

Саварин А.А.

Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины
ул. Советская 104, 246019, г. Гомель, Республика Беларусь
gomelsavarin@gmail.com

В статье обсуждаются поимки особей куторы малой (*Neomys anomalus Cabrera, 1907*) на территории Беларуси. Анализ находок последних лет (2015, 2018 гг.) дает основание считать, что этот вид землероек имеет гораздо более широкое распространение, чем представляется в настоящее время. Требуется пересмотра распространенная точка зрения об обитании куторы малой на особо охраняемых природных территориях. Шумовое загрязнение не является лимитирующим фактором в расселении *N. anomalus*. *Ключевые слова*: Беларусь, *Neomys anomalus*, поимки, распространение, лимитирующие факторы.

Про поширення та екологію кутори малої (*Neomys anomalus Cabrera, 1907*) у Білорусі. Саварін О.О. У статті обговорюються пійманні особин кутори малої (*Neomys anomalus Cabrera, 1907*) на території Білорусі. Аналіз знахідок останніх років (2015, 2018) дає підставу вважати, що цей вид землеріжок має більш широке поширення, ніж видається на тепер. Потребує перегляду поширена точка зору про перебування кутори малої на особливо охоронюваних природних територіях. Шумове забруднення не є лімітувальним фактором у розселенні *N. anomalus*. *Ключові слова*: Білорусь, *Neomys anomalus*, затримання, поширення, лімітувальні фактори.

Distribution and Ecology of the Mediterranean water shrew (*Neomys anomalus Cabrera, 1907*) in Belarus. Savarin A.A. The article discusses the capture of Mediterranean water shrew (*Neomys anomalus Cabrera, 1907*) individuals on the territory of Belarus. An analysis of the finds of recent years (2015, 2018) gives reason to believe that this type of shrew has a much wider distribution than it currently appears. A common view on habitats of the Mediterranean water shrew, mainly in specially protected natural areas, requires revision. Noise pollution is not a limiting factor in the resettlement of *N. anomalus*. *Key words*: Belarus, *Neomys anomalus*, finds, distribution, limiting factor.

Постановка проблемы. Кутора малая (*Neomys anomalus Cabrera, 1907*) (рис. 1) – один из самых малоизученных аборигенных видов микротериофауны Беларуси. В XX веке особи этой землеройки (Soricidae) в единичных экземплярах были отловлены в Каменецком районе Брестской области, Речицком районе Гомельской и Лепельском районе Витебской областей. Последние находки (n = 3) сделаны зоологом А.П. Каштальяном в 1998–1999 гг. на территории Березинского биосферного заповедника (в пойменной дубраве и на берегу лесного ручья в ельнике) [1]. С 2004 г. кутора малая занесена в Приложение Красной книги Республики Беларусь (статус – недостаточно данных, DD) [2]. Уместно заметить, что эта землеройка находится и в Красной книге Украины [3].

К сожалению, пойманные в XX веке особи (n = 6) вывезены из страны и находятся в коллекционных фондах зоологического музея МГУ (г. Москва).

Поэтому не удивительно, что в териологической литературе Беларуси сведения по биологии и экологии данного вида заимствованы из иностранных источников.

Актуальность исследования. Среди зоологов Беларуси распространено мнение о редкости куторы

малой, однако некоторые специалисты, несмотря на малочисленность поимок, на основе литературного анализа справедливо указывают, что землеройка «обитает в разнообразных, но всегда достаточно увлажненных ландшафтах. Населяет леса различных типов, кустарники, встречается на лугах и иногда на болотах» (цитата по [4]). Т.е. авторы, учитывая ландшафтное и биотопическое разнообразие, предполагают более широкое распространение вида в Беларуси.

Низкая изученность землероек обусловлена многими обстоятельствами: отсутствием системных исследований этой группы млекопитающих ввиду недостатка специалистов, методическими ошибками при отловах, слабой дифференциацией зоологами Беларуси видов-двойников и др. [5]. Особое значение для установления распространения *N. anomalus* в современных условиях (преобладание природно-техногенных комплексов) приобретает правильный выбор предполагаемого местообитания с учетом особенностей микрорельефа, растительности, глубины водоема и др. факторов, а также подбора и совершенствования методов отлова.

Цель статьи – показать значение методов отлова в установлении мест обитания куторы малой

на основе анализа находок последних лет (2015, 2018 гг.), высказать точку зрения на распространение и численность этой землеройки.

Изложение основного материала. Ранее нами сообщалось [6] о поимке почвенной ловушкой (ПЭТ-бутылкой объемом 1 л) одной особи *N. anomalus* у иловых площадок станции очистки сточных вод (СОСВ) г. Береза (Брестская область). На станции (производительность – 16,0 тыс. м³/сут) осуществляются все технологические процессы очистки (удаление грубодисперсных примесей на решетках, осаждение веществ в песколовках и отстойниках, очистка воды в аэротенках и др.), сопровождающиеся повышенной шумностью.

Город Береза – районный центр с численностью населения около 30 тыс. человек, расположенный по правую сторону р. Ясельда. Вблизи города проходит оживленная магистраль международного значения М1 (рис. 2).

Расстояние по прямой между местом поимки зверька и р. Ясельда – около 1,5 км. Луг, расположенный между станцией и рекой, периодически затапливается, сильно закустарен. Территория пойменного луга в ООПТ республиканского или местного значения не включена.

На территории СОСВ многочисленна кутора обыкновенная (*N. fodiens*). Поэтому с учетом сильной пищевой конкуренции между двумя видами землероек и отсутствием на территории станции водной травянистой или кустарниковой растительности было сделано [6] предположение о миграции *N. anomalus* с пойменного луга. Оно согласуется и с исследованиями украинских специалистов, которые поймали кутору малую около поилки для скота вблизи р. Северный Донец (Харьковская область) [7].

В июле 2018 г. нами проводилось изучение сообщества мелких млекопитающих в Ушачском районе Витебской области, на берегу оз. Борковщина и протоке, соединяющей его с оз. Должина (рис. 3, указано). Вдоль оз. Борковщина проходит дорога республиканского значения Р-116 (Ушачи – Лепель) с интенсивным движением транспорта, в том числе тяжелой сельскохозяйственной техники. В нескольких сотнях метрах от озер расположены д. Вашково и санаторий «Лесные озера».

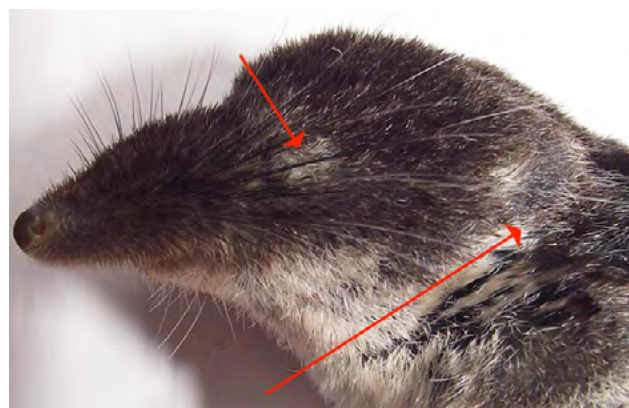
Кроме транспортного движения, на шумовое загрязнение данной территории оказывают значительное воздействие вечерне-ночные увеселительные мероприятия расположенного рядом санатория, а также неорганизованных туристов, отдыхающих на берегу оз. Должина.

Указанные озера в ООПТ не включены.

Для отлова зверьков использовали два вида ловушек: давилки Геро и обрезанные сверху ПЭТ-бутылки объемом 6 литров, на 4/5 заполненные водой. Такие бутылки (по сравнению с использованными [6] ранее) имеют значительно больший диаметр (16 см и 10 см соответственно), что увеличивает



a)



a)



a)

Рис. 1. Экстерьерные особенности *N. anomalus*: а) малая протяженность хвоста (указана); б) серо-белое пятно за глазами, белая шея и высоко поднятая от нее полоса; в) слабое развитие оторочек на лапах



Рис. 2. Место поимки куторы малой на карте г. Береза и ближайшего пригорода



Рис. 3. Место поимок куторы малой у комплекса взаимосвязанных озер Борковщина-Должина-Вечелье (близ д. Вашково, Ушачский район)

вероятность попадания зверьков. Консервирующие жидкости в емкости не добавляли для предотвращения химического загрязнения и появления чужеродных запахов. Канавки между почвенными ловушками не делали. На протоке емкости вкапывали в соответствии с направлением течения (зигзагом) на расстоянии 3–5 м друг от друга, в 0,5–1,0 м от береговой линии. На оз. Борковщина почвенные ловушки были выставлены на восточном берегу (вдоль дороги Р-116), давилки – на западном.

Было поймано 4 особи куторы малой (1 поймана на оз. Борковщина, 3 – на протоке) причем все в почвенные ловушки. Относительная численность – статистически значима, составила 4 ос./ 100 лс.

Интерес представляют следующие факты:

– обитание двух видов кутор в оз. Борковщина. Приблизительная удаленность мест поимок особей *N. anomalus* и *N. fodiens* – около 150 м;

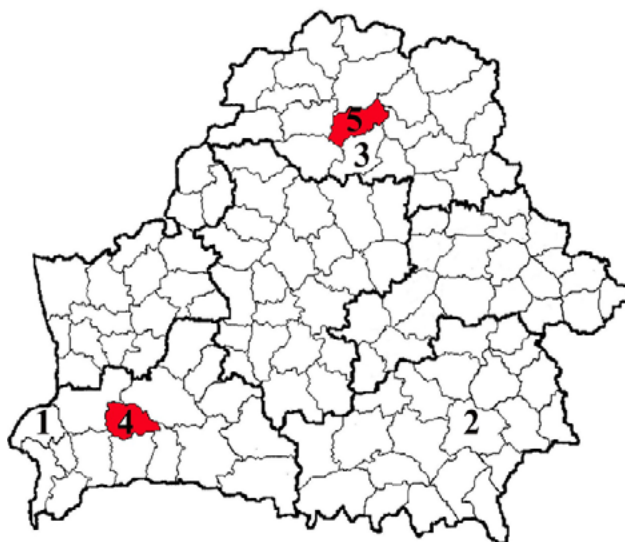


Рис. 4. Районы поимок особей *N. anomalus* разными териологами на территории Беларуси: XX в. – Каменецкий (1), Речицкий (2), Лепельский (3); XXI в. – Березовский (4), Ушачский (5) (выделены цветом)

– поимка 3 особей *N. anomalus* на протоке не далее 50 м от дороги Р-116.

Указанные факты согласуются с поимкой особи куторы малой на территории СОСВ в г. Береза [6]. Вследствие межвидовой конкуренции, кутора малая вынуждена заселять участки с более сильным развитием травянистого и кустарникового покровов и совершать при необходимости перемещения.

Таким образом, в течение ста лет особи *N. anomalus* на территории Беларуси пойманы в трех географически отдаленных регионах: на юго-западе, юго-востоке и севере страны (рис. 4). Однако, по-нашему мнению, это не свидетельствует о редкости вида. Упомянутое ранее отсутствие комплексных исследований экологии кутор (а также анализ особенностей мест поимок куторы малой в XXI в.) дают основание полагать следующее: *N. anomalus* имеет гораздо более широкое распространение, чем представляется в настоящее время.

Главные выводы. Кутора малая в настоящее время обитает на территориях, на которых ведется различная хозяйственная деятельность и подвергающихся значительному шумовому загрязнению. Приведенные факты и доводы говорят и об адаптационных возможностях вида в условиях хозяйственной деятельности. Поэтому распространенная у зоологов Беларуси точка зрения об обитании этой землеройки в основном на особо охраняемых природных территориях требует пересмотра. Доказана эффективность применения почвенных ловушек большого диаметра (модифицированных ловушек Барбера) для установления мест обитания куторы малой. По предварительным данным, ее численность у комплекса озер в Витебской области составила 4 ос. / 100 лс.

Перспективы использования результатов исследования. Полагаем, что использование почвенных ловушек докажет обитание куторы малой не только в целом ряде озер Витебской, но и других областей.

Указанное обстоятельство потребует определенных изменений в комплексе природоохранных мероприятий водных объектов с целью сохранения их береговой линии, околородной и водной растительности.

Литература

1. Каштальян А.П., Спрингер А.М. Териофауна Березинского биосферного заповедника. История изучения и современный состав. Поведение, экология и эволюция животных: монографии, статьи, сообщения. Сб. научных трудов РГУ имени С.А. Есенина (Серия Зоологическая) / Под общей ред. И.А. Жигарева. Т.3. Рязань: НП «Голос губернии», 2012. С. 167–190.
2. Красная книга Республики Беларусь: редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды диких животных. Минск: Беларуская Энцыклапедыя імя П. Броўкі, 2015. С. 315.
3. Червона книга України. Тваринний світ / За ред. І.А. Акімова. Київ: Глобалконсалтинг, 2009. С. 489.
4. Гричик В.В., Бурко Л.Д. Животный мир Беларуси. Позвоночные: учеб. пособие. Минск: Изд. центр БГУ, 2013. С. 324–325.
5. Саварин А.А. Краниологический атлас млекопитающих Беларуси. Насекомоядные. В 3 частях. Ч. 1. Минск: Колорград, 2017. 94 с.
6. Саварин А.А., Молош А.Н. О находке куторы малой (*Neomys anomalus*) на территории станции по очистке сточных вод г. Береза (Брестская область). *Вісник Одеського національного університету. Біологія*. 2017. Т. 22. № 1 (40). С. 71–77. DOI 10.18524/2077-1746.2017.1(40).105177
7. Зоря А.В. Первая находка куторы малой (*Neomys anomalus*) в Харьковской области. *Вестник зоологии*. 2008. Т. 42. № 5. С. 476.

ЕКОЛОГО-ЦЕНОТИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПОПУЛЯЦІЇ *HERACLEUM SOSNOWSKYI* MANDEN НА ТЕРИТОРІЇ ЦЕНТРАЛЬНОГО ПОЛІССЯ

Хом'як І.В., Демчук Н.С., Коцюба І.Ю., Ястребова Я.В.

Житомирський державний університет імені Івана Франка

вул. В. Бердичівська 40, 10008, м. Житомир

ecosystem_lab@ukr.net

kadlubovska_n_s@ukr.net

is-p-ko@ukr.net

janajastreb@gmail.com

У публікації розглядаються результати геоботанічних та екосистемологічних досліджень локалітетів *Heracleum sosnowskyi* на території Центрального (Житомирського) Полісся. Нами було вивчено їхню рослинність та показники провідних факторів середовища. На основі досліджень визначено поширення виду в різних типах рослинних угруповань, залежність від їхньої динаміки та антропогенної трансформації. Це дозволяє встановити екологічні спектри виду та основні параметри екосистем з участю *Heracleum sosnowskyi*. Отримана інформація може стати в нагоді під час розроблення алгоритмів боротьби із цим небезпечним карантинним інвазійним видом-трансформером. Як наслідок, можна передбачати не лише напрямки інвазій, але й оптимізувати існуючі прийоми боротьби з поширенням *Heracleum sosnowskyi*. **Ключові слова:** карантинні рослини, інвазійні види-трансформери, природна та антропогенна динаміка.

Эколого-ценотическая характеристика популяции *Heracleum sosnowskyi* на территории Центрального Полесья. Хомьяк И.В., Демчук Н.С., Котюба И.Ю., Ястребова Я.В. В публикации рассматриваются результаты геоботанических и экосистемологических исследований локалитетов *Heracleum sosnowskyi* на территории Центрального (Житомирского) Полесья. Нами была изучена их растительность и показатели главных факторов среды. На основе исследований определено распространение вида в разных типах растительных сообществ, зависимость от их динамики и антропогенной трансформации. Это дает возможность установить экологические спектры вида и основные параметры экосистем с участием *Heracleum sosnowskyi*. Полученная информация может быть применена в разработке алгоритмов борьбы с этим опасным карантинным инвазивным видом-трансформером. Как результат, можно предвидеть не только направление инвазий, но и оптимизировать существующие приемы борьбы с распространением *Heracleum sosnowskyi*. **Ключевые слова:** карантинные растения, инвазивные виды-трансформеры, природная и антропогенная динамика.

Ecological-cenotic population characteristic *Heracleum sosnowskyi* in the territory of Central Polissya. Khomyak I., Demchuk N., Kotsyuba I., Yastrebova Ya. The publication examines the results of geobotanical and ecosystemology studies of localities of *Heracleum sosnowskyi* on the territory of the Central (Zhytomyr) Polissya. We studied their vegetation and indicators of the main environmental factors. On the basis of research, we determined the distribution of species in different types of plant groups, dependence on their dynamics and anthropogenic transformation. This gives possibility to establish the ecological spectra of the species and the basic parameters of the ecosystems with the participation of *Heracleum sosnowskyi*. The obtained information can be useful in the development of algorithms to combat this dangerous quarantine invasive species-transformer. As a result, it is possible to foresee not only the direction of invasions, but also to optimize the existing methods of combating the spread of *Heracleum sosnowskyi*. **Key words:** quarantine plants, invasive species-transformers, natural and anthropogenic dynamics.

Постановка проблеми. Кожен живий організм змінює середовище, в якому існує. Людина тут не є винятком. Однак часто такі зміни перетинають межу, за якою параметри довкілля перестають бути оптимальними, що негативно відбивається на якості життя. Одною з форм подібного впливу є переселення видів за межі їхніх природних ареалів [1]. В окремих випадках такі види виходять з-під контролю людини і проявляють здатність до самостійних інвазій в інші екосистеми [2]. Найбільшу загрозу становлять організми, які під час цього процесу змінюють систему, в котру проникають, руйнуючи уста-

новлену упаковку еконіш [3]. Такі види називають трансформерами.

Разом з опосередкованою небезпекою для людини, що виникає через трансформацію довкілля, існує і пряма загроза її життю і здоров'ю. Низка інвазійних видів здатна завдавати шкоди життю і здоров'ю людини [4]. До цієї категорії відноситься *Heracleum sosnowskyi*.

Heracleum sosnowskyi належить до видів адаптованих людиною для власних потреб [5; 6]. Інтерес до нього виник через здатність до високого темпу приросту фітомаси та значних запасів нектару.

У 40–50-х роках ХХ сторіччя на території СРСР та деяких пов'язаних із ним країн відбувалося масове поширення цього виду. Згодом виявилось, що вид має ряд характеристик, що заважають повноцінному використанню. Насамперед ідеться про зниження смакових якостей молока від корів, які споживали *Heracleum sosnowskyi* у вигляді корму. Крім того, речовини, що виділяє рослина під час вегетації, становлять загрозу для життя та здоров'я людей, що з ними контактують [5; 7]. За інерцією селекціонери працювали із цим видом до початку ХХІ століття. У деяких країнах до 2012 року він залишався в офіційному переліку сортів, що дозволені для культивування.

Актуальність дослідження. У наш час найважливішою є поведінка *Heracleum sosnowskyi* як інвазійної рослини-трансформера. Вид став безконтрольно поширюватися, особливо в межах населених пунктів, де існують високі ризики контакту з їхніми жителями [8; 9]. На боротьбу з поширенням *Heracleum sosnowskyi* країни Центральної Європи витрачають мільйони євро. Кошти в основному спрямовуються на розроблення і використання вузькоспеціалізованих гербіцидів, хоча це, за результатами спостережень останнього десятиліття, не приносить значимих результатів. Тому на тепер є актуальним дослідження *Heracleum sosnowskyi* як частини трансформованої ним екосистеми. Це має дозволити передбачати основні напрями інвазій та розробляти алгоритми дій, які їм запобігатимуть [10; 11].

Матеріали і методи роботи. Матеріалами роботи є 63 стандартні геоботанічні описи, зроблені на території Центрального Полісся з 2005 по 2018 роки. Описи створювалися за стандартною методикою з використання маршрутно-експедиційних, напівстаціонарних та стаціонарних польових методів дослідження [12; 13]. Класифікація рослинності здійснювалася за еколого-флористичним принципом шкали Бран-Бланке [10; 14; 15]. Оцінка показників факторів середовища здійснювалася з використанням методів синфітоіндикації за принципами, закладеними Я.П. Дідухом та П.Г. Плютою [16]. Нами використана уніфікована шкала Дідуха-Плюти для абіотичних факторів [5], шкала Дідуха-Хом'яка для антропогенного фактору [17; 18] та шкала бази даних EcoDBase для встановлення показника динаміки [19]. Обробка даних велася з використанням пакету програм Simargl 1.12 [20].

Виклад основного матеріалу. На основі досліджень стандартних геоботанічних описів встановлено синтаксономічну схему рослинності, в угруповання якої входить *Heracleum sosnowskyi*. Вона складається із 11 класів, 12 порядків, 14 союзів, 22 асоціацій і 5 безрангових угруповань:

Agropyretea intermedio-repentis T. Müller et Görs 1969: *Agropyretalia intermedio-repentis* Th.Müll et Görs 1969: *Convolvulo arvensis-Agropyron repentis* Görs 1966: *Convolvulo arvensis-Agropyretum repen-*

tis Felföldy 1943, *Convolvulo arvensis-Agropyretum repentis* var. *Heracleum sosnowskyi*;

Artemisietea vulgaris R.Tx 1950: *Artemisietalia vulgaris* R.Tx 1947: *Arction lappae* R.Tx 1937: *Leonuro-Ballotetum nigrae* R.Tx 1942, *Arctio-Artemisietum vulgaris* Th.Müll 1972;

Bidentetea tripartite R.Tx., Lohmaer et Preising 1950: *Bidentalia tripartiti* Br.-Bl. et R.Tx 1943: *Bidention tripartiti* Nordhagen 1940: *Polygono-Bidentetum* Lohmaer 1950;

Epilobietea angustifolia R.Tx et Passrge 1950: *Epilobietalia angustifolii* R.Tx 1950: *Epilobion angustifolii* R.Tx 1950: *Calamagrostietum epigii* Juraszek 1928; *Epilobietum angustifolii* Ribel 1930 em Oberdorfer 1973, *Sambucetalia Oberd* 1957: *Sambuco-Salicion caprea* R.Tx 1950: *Rubetum idae* Oberd 1973, *Sambucetum nigrae* Oberd 1973, *Epilobio-Salicetum capreae* Oberd 1957. *Agrostio-Populetum tremulae* Passarge in Passarge et Hoffman 1968;

Galio-Urticetea Passrge et Kopecký 1969: *Glechometalia hederacea* R.Tx 1975, *Aegopodion podagrariae* R.Tx 1967: *Urtico-Aegopodietum podagrariae* R.Tx 1967. *Calystegio-Angelicetum archangelicae* Pass 1959, com. *Rubus caesius*;

Molinio-Arrhenatheretea R.Tx 1937: *Arrhenatheretalia* Pawl 1928, *Festucion pratensis* Shelyag et V.Sl. 1975: com. *Trifolium repens-Festuca pratensis*; com. *Dactylis glomerata*; *Alopecurion pratensis* Passrge 1964: *Alopecuretum pratensis* Shelyag et all 1985; *Deschampsion caespitosae* Horvatic 1930: *Deschampsietum caespitosae* Horvatic 1930;

Plantaginetea majoris R.Tx. et Preising 1950: *Polygonion avicularis* Br.-Bl. 1931: *Lolio-Plantaginetea majoris* Br.-Bl. 1930;

Rhamno-Prunetea Rivas Goday et Garb 1961: *Prunetalia spinosae* R.Tx 1952: *Prunion spinosae* Soó 1950: *Rubo fruticosi-Prunetum spinosae* Web 1974 n.inv. Witting 1974; com. *Melisa transilvanica-Spirea hypericifolia*; *Pruno-Rubion fruticosi* R.Tx 1952 coord. Doing 1962: com. *Crataegus*;

Robinetea Jurco ex Hadač et Sofron 1980: *Cheledonio-Robinietalia* Jurco ex Hadač et Sofron 1980, *Cheledonio-Robinion* Hadač et Sofron 1980: *Cheledonio-Robinietum* Jurco 1963, *Sambuco nigrae-Robinietum* Scepka 1982, com *Arostis tenui-Betula pendula*;

Salicetea purpurea Moor 1958: *Salicetalia purpureae* Moor 1958: *Salicion albae* R.Tx 1955: *Salicetum albae-fragilis* R.Tx 1955 *Salicetum triandro-viminalis* Lohm. 1952, *Salicetum triandrae* Malcuit 1929;

Trifolio-geranietea Th.Müll 1962: *Origanetalia* Th.Müll 1962: *Trifolion medii* Th.Müll 1962: *Trifolio-Agrimonetum* Th.Müll 1961.

Вид частіше за все зустрічається в синантропізованих фітоценозах. Передусім це класи *Agropyretea intermedio-repentis* (29% усіх описів), *Galio-Urticetea* (26%), *Artemisietea vulgaris* (13%). Досить часто спостерігається інвазія і в лучні фітоценози. Насамперед ідеться про ті, які знаходяться неподалік від руде-

ральних узлісь та є помірно антропогенно трансформованими. Серед угруповань з участю *Heracleum sosnowskyi* зустрічається 13% лучних ценозів із класу *Molinio-Arrhenatheretea*. Решта класів становлять від 3% до 6% (*Plantagenetea majoris*) описів.

Особливий інтерес викликає клас *Agropyreteae intermedio-repentis*. В його угрупованнях добре представлені діагностичні види асоціації *Convolvulo-Agropyretum repentis*. Також тут присутні характерні види класів з *Artemisietea vulgaris Galio-Urticetea*, *Molinio-Arrhenatheretea*, *Plantagenetea* та *Stellarietea mediae*.

На основі спостережень можна висунути гіпотезу, що ці угруповання є наближеними до типологічного екотону між класами *Agropyreteae intermedio-repentis*, *Artemisietea vulgaris* і *Galio-Urticetea*.

Іншими словами, для *Heracleum sosnowskyi* найкраще підходять порушені екотопи (індикуються видами класу *Agropyreteae intermedio-repentis*), під сильним антропогенним тиском (*Stellarietea mediae*), рудеральні (*Artemisietea vulgaris*), частково нітрофіковані (*Galio-Urticetea*) та просторові екотони з луками чи лучною рослинністю розріджених світлих лісів (*Molinio-Arrhenatheretea*). Це надає можливість за допомогою змін рослинних угруповань, вразливих до інвазій екосистем, захищати їх від

інвазій *Heracleum sosnowskyi*, що знизить темпи його поширення.

Для перевірки цієї гіпотези в подальших дослідженнях потрібно дати відповідь на кілька теоретичних запитань. По-перше, вид легко проникає в угруповання класу *Agropyreteae intermedio-repentis*, але набуває найбільших значень проективного покриття в угрупованнях *Galio-Urticetea*. Це відбувається через ендекогенетичну трансформацію середовища, спричинену особинами виду (збільшення вмісту доступного нітрогену в ґрунті через відмирання великої кількості фітомаси), чи нітрифікація вже була присутня в таких екотопах? По-друге, виникає питання просторових екотонів з участю цього виду. Перехід між угрупованнями двох класів найкраще відбувається там, де вони просторово зближені? І третім запитанням є проблема узлісного ефекту. Тобто вид розселяється неподалік узлісь чи самостійно, за рахунок власних особливостей біоморф створює такий ефект?

З аналізу показників факторів середовища локалітетів *Heracleum sosnowskyi* (табл. 1, 2) можна зробити висновок, що, незважаючи на великі площі поширення і широкий географічний ареал, вид не проявляє евритопності. Коливання показників знаходяться в межах від 7,35% від фітоіндикаційної

Таблиця 1

Характеристика едафічних факторів локалітетів *Heracleum sosnowskyi* за результатами синфітоіндикаційних досліджень. Позначення факторів середовища: багаторічний режим зволоження (HD), змінність зволоження (FH), кислотність (RC), сольовий режим (SL), вміст карбонатів (CA), вміст доступного нітрогену (NT), аерація едафотопу (AE)

Показник	Фітоіндикаційні показники (бали за шкалами Дідуха-Плюти, Дідуха-Хом'яка (HE) та бази даних EcoDBase(ST))						
	HD	FH	RC	SL	CA	NT	AE
середнє	11,99	6,48	7,90	7,88	6,98	7,28	7,21
максимум	13,71	7,60	8,45	9,30	8,36	8,50	9,00
мінімум	10,75	5,33	6,61	6,57	5,64	6,30	5,92
амплітуда	2,96	2,27	1,84	2,73	2,72	2,20	3,08
% шкали	12,89	26,9	17,4	9,7	21	24,7	14,7

Таблиця 2

Характеристика кліматичних та антропогенних факторів середовища локалітетів *Heracleum sosnowskyi* та їхнього показника динаміки за результатами синфітоіндикаційних досліджень. Позначення факторів середовища: терморезим (TM), омборезим (OM), континентальність (KN), кріорезим (CR), освітленість (LC); антропогенний (показник рівня антропогенної трансформації, рівний показнику гемеробії (HE)); динамічний (ступінь природної трансформації (ST))

Показник	Фітоіндикаційні показники (бали за шкалами Дідуха-Плюти, Дідуха-Хом'яка (HE) та бази даних EcoDBase(ST))						
	TM	OM	KN	CR	LC	HE	ST
середнє	8,37	12,39	8,81	7,46	7,02	9,61	5,17
максимум	9,08	13,70	9,60	8,43	7,75	10,79	9,15
мінімум	7,39	10,40	7,77	6,54	5,33	8,29	3,31
амплітуда	1,69	3,30	1,83	1,89	2,42	2,49	5,84
% шкали	18,1	7,35	19,4	12,2	21	13,43	11,9

шкали (для омборежиму) до 26,9% (для змінності зволоження).

Вид є відносно стенотопним за показниками омборежиму (7,35%), загального сольового режиму (9,7%), кріорежиму (10,2%) та показником динаміки (11,9%). Водночас він є умовно евритопним за змінністю зволоження (26,9%), вмістом карбонатів (21%), нітратів (24,7%) та освітленістю (21%).

Головні висновки. Вид зустрічається у великій кількості класів рослинних угруповань. Їхня синтаксономічна схема включає 11 класів, 12 порядків, 14 союзів, 22 асоціації і 5 безрангових угруповань. Однак у більшості класів ценозів він присутній рідко і в незначній кількості. Найбільш часто його можна зустріти в угрупованнях класів *Agropyretea intermedio-repentis* (29% усіх описів), *Galio-Urticetea* (26%), *Artemisietea vulgaris* (13%).

Вид має досить широку амплітуду толерантності за факторами змінності зволоження (26,9% від загальної доступної шкали), вмістом нітратів (24,7%), вмістом карбонатів (21%), освітленістю

(21%). Водночас він проявляє стенотопність щодо факторів омборежиму (7,35%), загального сольового режиму (9,7%), кріорежиму (10,2%) і показника динаміки (11,9%).

Перспективи використання результатів дослідження. Маючи досить вузьку амплітуду толерантності за деякими факторами, *Heracleum sosnowskyi* стає чутливим до їхньої зміни. Серед четвірки цих факторів найперспективнішим є показник природної динаміки. Він легко піддається корегуванню за допомогою людської діяльності. Вивівши його за межі оптимуму, можна не лише зупинити поширення виду, а й зменшити його чисельність на вже заселених територіях.

Для побудови остаточного алгоритму боротьби з цим інвазійним видом необхідно провести стаціонарні дослідження в різноманітних едафон-кліматичних умовах. Такі дії дозволять розробити ефективну, маловитратну і безпечну для людини і довкілля стратегію боротьби з рядом карантинних видів.

Література

1. Хом'як І.В. Особливості антропогенного впливу на природну динаміку екосистем Українського Полісся. *Екологічні науки*. 2018. № 1 (20). Т. 2. С. 69–73.
2. Бурда Р.И. Антропогенная трансформация флоры. Київ : Наукова думка, 1991. 168 с.
3. Миркин Б.М., Наумова Л.Г. Адвентивизация растительности: инвазивные виды и инвазиальность сообществ. *Успехи современной биологии*. 2001. Т. 121. № 6. С. 550–562.
4. Макух Я.П., Ременюк С.О., Мошківська С.В. Біологічні особливості та шляхи контролювання борщівника Сосновського. *Карантин і захист рослин*. 2014. № 10–11. С. 31–32.
5. Дідух Я.П. та ін. Екофлора України / відпов. ред. Я.П. Дідух. Київ : Фітосоціоцентр, 2000. Т. 1. 284 с.
6. Макух Я.П., Ременюк С.О., Мошківська С.В. Борщівник Сосновського в посівах ячменю. *Карантин і захист рослин*. 2015. № 10. С. 6–8.
7. Макух Я.П. та ін. Бур'яни чи кращі медоноси України? *Карантин і захист рослин*. 2014. № 9. С. 14–16.
8. Мошківська С.В. Контролювання рослин борщівника Сосновського, що проросли з насіння. *Карантин і захист рослин*. 2015. № 11. С. 9–10.
9. Ястребова В.А., Гачаїли Г.А., Хом'як І.В. Синтаксономічне положення угруповань з участю *Heracleum sosnowskyi* Manden. *Сталий розвиток країни в рамках Європейської інтеграції* : тези всеукр. наук.-практ. конф. (Житомир, 9 листопада 2017 р.). Житомир : ЖДТУ, 2017. С. 14.
10. Хом'як І.В. Вплив інвазій видів-трансформерів на динаміку рослинності перелогів Українського Полісся. *Біоресурси і природокористування*. 2018. Т. 10. № 1–2. С. 29–35.
11. Хом'як І.В. Динаміка флори перелогів Українського Полісся. *ScienceRise: Biological Science*. 2018. № 1 (10). С. 8–13.
12. Миркин Б.М., Наумова Л.Г., Соломещ А.И. Современная наука о растительности. Москва : Логос, 2001. С. 99–106.
13. Полевая геоботаника / под общ. ред. Е.М. Лавренко и А.А. Корчагина. Ленинград : Изд-во АН СССР, 1959. Т. I. 350 с.
14. Соломаха В.А. Синтаксономія рослинності України: третє наближення. Київ : Фітосоціоцентр, 2008. 296 с.
15. Westhoff V. and van der Maarel E. The Braun-Blanquet approach. In: Whittaker R.H. (ed.) *Handbook of vegetation science*. P. V: Ordination and Classification of Vegetation. Junk, The Hague. 1973. P. 619–726.
16. Дідух Я.П., Хом'як І.В. Оцінка енергетичного потенціалу екоотопів залежно від ступеня їх гемеробії на прикладі Словечансько-Овруцького кряжу. *Укр. ботан. журн.* 2007. Т. 64. № 1. С. 62–77.
17. Дідух Я.П., Плюта П.Г. Фітоіндикація екологічних факторів. Київ : Наукова думка, 1994. 280 с.
18. Хом'як І.В., Бурлака В.А., Мостіпака Т.П. Фітоіндикаційна характеристика ступеня антропогенної трансформації екосистем. *Вісник ЖНАЕУ*. 2012. № 2 (33). Т. 2. С. 16–20.
19. Khomiak I., Onishchuk I., Demchuk N. Phytoindicators of ecosystem dynamics in Ring-Banc Ukrainian Polissia. *ScienceRise: Biological Science*. 2018. № 4 (13). P. 25–30.
20. Хом'як І.В., Хом'як Д.І. Нова програма екосистемологічного моніторингу «SIMARGL». *Сучасні проблеми екології та геотехнологій*. (Житомир, 5–7 березня 2012 р.). Житомир : Видавництво ЖДТУ, 2012. С. 76.

ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ

УДК 504.064.4

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716-2019-1-24-2-26>

ДОСЛІДЖЕННЯ СКЛАДУ ПРОДУКТІВ ГОРІННЯ ПІД ЧАС УТИЛІЗАЦІЇ ВІДПРАЦЬОВАНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ МАСЛЯНИХ ФІЛЬТРІВ

Ганошенко О.М., Голик Ю.С., Журавель В.С.

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка
пр. Першотравневий, 24, 36011, м. Полтава
elena.ganoshenko26@gmail.com

Виконано аналіз і деталізацію наявних методів утилізації відпрацьованих автомобільних масляних фільтрів в Україні та за кордоном. Розглянуто і визначено переваги та недоліки таких методів. Запропоновано принципово новий спосіб оброблення фільтрувального паперу для зменшення в ньому кількості забруднюючих речовин шляхом промивання. Проведено дослідження якісного і кількісного складу продуктів горіння під час спалювання фільтрувального паперу відпрацьованих автомобільних масляних фільтрів. Визначено, що під час використання у ролі мийного реагента перкарбоната натрію кількість забруднюючих речовин зменшується в декілька разів. *Ключові слова:* екологічна безпека, техногенне навантаження, утилізація відходів, відпрацьовані автомобільні масляні фільтри, промивання, продукти горіння.

Исследование состава продуктов горения при утилизации отработанных автомобильных масляных фильтров. Ганошенко Е.Н., Голик Ю.С., Журавель В.С. Выполнены анализ и детализация существующих методов утилизации отработанных автомобильных масляных фильтров в Украине и за рубежом. Рассмотрены и определены преимущества и недостатки таких методов. Предложен принципиально новый способ обработки фильтровальной бумаги для уменьшения в ней количества загрязняющих веществ путем промывания. Проведено исследование качественного и количественного состава продуктов горения при сжигании фильтровальной бумаги отработанных автомобильных масляных фильтров. Определено, что при использовании в качестве моющего реагента перкарбоната натрия количество загрязняющих веществ уменьшается в несколько раз. *Ключевые слова:* экологическая безопасность, техногенная нагрузка, утилизация отходов, отработанные автомобильные масляные фильтры, промывка, продукты горения.

Investigation of the composition of combustion products in the disposal of used automotive oil filters. Ganoshenko O., Holik Yu., Zhuravel V. The analysis and detailing of the existing methods of disposal of used automotive oil filters in Ukraine and abroad. Considered and identified the advantages and disadvantages of such methods. A fundamentally new method of processing filter paper was proposed to reduce the amount of pollutants in it by washing. A study of the qualitative and quantitative composition of combustion products when burning filter paper of used automotive oil filters has been carried out. It was determined that when sodium percarbonate is used as a washing agent, the amount of pollutants decreases several times. *Key words:* environmental safety, man-made load, waste disposal, used automobile oil filters, flushing, combustion products.

Постановка проблеми. Утилізації автомобілів, які відпрацювали свій строк, приділяється особлива увага, що пояснюється її актуальністю сьогодні. Зазначимо, що автотранспортна техніка, яка вийшла з експлуатації, є загрозою для навколишнього середовища через її велику кількість, значну масу і наявність у ній токсичних речовин, що чинять негативний вплив як на здоров'я людей, так і на навколишні екосистеми. Відходи, які утворюються під час утилізації автотранспортної техніки, характеризуються великою неоднорідністю за складом і динамікою утворення, всі вони у разі неправильного поводження завдають значної шкоди навколишньому середовищу. Автомобілі, які відпрацювали свій строк, містять велику кількість елементів, що містять

свинець, відпрацьовані мастила і забруднене паливо, технічні рідини, пластмаси тощо. Повноцінна утилізація техніки, яка відпрацювала свій строк, та її компонентів пов'язана з розробленням технологій, що дають змогу максимально повторно використовувати ресурси.

Актуальність дослідження. Сьогодні важливим питанням є проблема переробки та утилізації відходів автотранспорту в Україні. Особливої уваги заслуговують відпрацьовані автомобільні масляні фільтри. Проблематичність їх переробки полягає у складності морфологічного складу, тому для ефективної утилізації необхідно розділяти фільтр на окремі фракції.

Актуальним є питання складу продуктів горіння під час утилізації відпрацьованих автомобільних

масляних фільтрів шляхом спалювання фільтрувального паперу в умовах отримання альтернативного джерела енергії.

Технологічний процес утилізації відпрацьованих автомобільних масляних фільтрів повинен спрямовуватися не тільки на знешкодження цього виду небезпечного відходу, а на отримання товарної продукції у вигляді вторинної сировини для інших технологічних процесів. Необхідне впровадження вітчизняних технологій переробки, порівнюючи із уже наявним світовим досвідом, які б дали змогу максимально використати складники масляних фільтрів без шкоди навколишньому середовищу.

Метою дослідження є аналіз і деталізація наявних методів утилізації відпрацьованих автомобільних масляних фільтрів, визначення складу продуктів горіння під час спалювання фільтрувального паперу відпрацьованих автомобільних масляних фільтрів.

Виклад основного матеріалу. Переробкою масляних фільтрів в європейських країнах займається невелика кількість підприємств, які здебільшого поєднують утилізацію фільтрів зі здійсненням процесів регенерації відпрацьованих масел, отриманням енергії від спалювання та переробкою інших небезпечних відходів.

Серед методів утилізації масляних фільтрів, які використовуються в різних країнах, можна виділити найголовніші: віджимання масла з фільтра, спалювання фільтра, дроблення фільтра з розділенням на фракції, поетапне розділення фільтра на компоненти з подальшою їх утилізацією [1–5].

Широкого застосування набув метод подрібнення фільтра. Перевагами його є автоматизований процес і висока потужність. Та відповідно до цього головним недоліком є необхідність значних енергозатрат, а також під час подрібнення масляного фільтра виділяється тепло, що призводить до випаровування масла, що, у свою чергу, погіршує екологію навколишнього середовища. До того ж ефективність цього способу знижується через складність відділення паперу від внутрішніх елементів фільтра, що виготовлені з металу і міцно з ним скріплені.

Утилізація фільтрів шляхом попереднього їх розділення на компоненти, тобто розрізання корпусу фільтра та відділення металевих деталей від неметалевих зі збором відпрацьованого масла, має вагомні переваги серед інших способів. Цей спосіб дає змогу застосовувати непошкоджені та придатні металеві деталі для повторного використання, а також сортувати окремо метал, гуму, папір, масло та інші компоненти фільтра для подальшого раціонального поводження з ними. Недоліками цього методу є необхідність використання робочої сили та менша продуктивність виробництва порівняно з методом дроблення фільтра.

Технології процесів утилізації масляних фільтрів, які використовуються корпораціями різних країн світу, мають певні відмінності. Різниця в процесах

переробки залежить від обсягів виробництва, від технічних та економічних можливостей підприємств, від нормативно-правової бази держав, на території яких здійснюється їх діяльність. Варто зазначити, що одним із можливих варіантів утилізації відходів є використання замкнутого циклу виробництва. Отож у сучасних умовах переробка відходів на спеціалізованих підприємствах вважається найбільш перспективним, логічним і доступним способом утилізації відходів. Після проведеного аналізу загальну інформацію наведено на рисунку 1.

В Україні сьогодні діє, так би мовити, «часткова утилізація», особливо це стосується відпрацьованих масляних автомобільних фільтрів у зв'язку з тим, що вони належать до 3 класу небезпечних відходів, що унеможливує їх захоронення на полігонах ТПВ, а потребує спеціальної системи збору, транспортування та утилізації. Тож підприємства, які займаються збором, транспортуванням та утилізацією небезпечних відходів автотранспорту, повинні мати ліцензію на операції у сфері поводження з небезпечними відходами. У нашій країні є такі підприємства, які беруть на себе утилізацію відпрацьованих автомобільних фільтрів. Але все зводиться до збору, транспортування та спалювання без вилучення ресурсоцінних елементів.

Одним із відомих виробників масляних автомобільних фільтрів в Україні нині є підприємство ПАТ «НДІ КОЛАН» (м. Полтава), яке випускає суперфільтри очищення масла, окрім того ним отримано Державну ліцензію Міністерства екології та природних ресурсів України на операції у сфері поводження з небезпечними відходами у вигляді відпрацьованих фільтрів, для яких передбачено такі операції: збирання, перевезення, зберігання, оброблення та утилізація [6]. Підприємством розроблено технологічну лінію рециклінгу відпрацьованих масляних автомобільних фільтрів, яка передбачає такі основні етапи:

- збір відпрацьованих масляних фільтрів у споживачів;
- руйнування фільтрів та їх розділення на складові елементи;
- сортування деталей за їх подальшим використанням (для фільтрів «КОЛАН»);
- злив відпрацьованих масел у спеціальні ємності;
- віджимання фільтрувальних паперових елементів на спеціальному устаткуванні від масла та його збір у ємності;
- брикетування віджатої паперу для подальшої передачі на полігони або його спалювання;
- збір і передача інших допоміжних матеріалів як малонебезпечних відходів 4 класу для захоронення на полігонах.

Розроблена схема рециклінгу дає змогу майже повністю утилізувати відпрацьований автомобільний масляний фільтр, тобто 87,3 % від ваги фільтра

повернути у виробництво та повторно використати його складники, зберігаючи при цьому природні ресурси. Тому утилізація як один із найважливіших складників поводження з відходами заслуговує особливої уваги, розвитку та надання підтримки з боку держави тим організаціям, які займаються відповідними питаннями. Утилізація має стати окремою ланкою, яка б значно зменшила таку еколого-економічну проблему, як забруднення довкілля відходами [7].

Процес термічного знешкодження супроводжується утворенням значної кількості забруднюючих речовин, тому доцільним може стати використання

попереднього відділення відпрацьованого масла з фільтрувального паперу, що дасть можливість швидко зменшити значний негативний ефект від його спалювання, а саме – попередня обробка (промивання) мийними засобами. Необхідною умовою використання цього методу є оцінка ефективності вилучення залишкового відпрацьованого масла, а також використання ефективних і безпечних мийних розчинів.

Проведена підготовка фільтрувальних елементів ВАМФ для термічної утилізації в умовах вивчення процесу спалювання фільтрувального паперу після відстоювання та промивання з метою експеримен-



Рис. 1. Методи утилізації відпрацьованих автомобільних масляних фільтрів

Таблиця 1

Забруднюючі речовини	Спосіб оброблення фільтрувального паперу				
	Забруднений фільтрувальний папір	Промиті пральним порошком + NaHCO ₃	Промиті розчином Na ₂ CO ₃ + H ₂ O ₂	Промиті розчином Na ₂ CO ₃ ·1,5 H ₂ O ₂	Невикористаний фільтрувальний папір
SO ₂ , мг/м ³	248,9	241	98,35	25,25	12,95
NO ₂ , мг/м ³	116,1	133,5	179,45	103,7	162,85
CO, мг/м ³	3338,65	3295,85	2401,2	1135,05	2817,8
Сажа, мг/м ³	2453,5	1103,5	496	351,5	394,75

тального визначення кількісно-якісного складу продуктів горіння в різних умовах можливого отримання теплової енергії [8].

Для знешкодження небезпечного відходу розроблена конструкція печі для спалювання очищеного фільтрувального паперу, з можливістю дослідження димових газів. Дослідження проведено за п'ятьма групами:

Вибірка 1 – забруднений фільтрувальний папір після віджимання.

Вибірка 2 – фільтрувальний папір, промитий пральним порошком і харчовою содою.

Вибірка 3 – фільтрувальний папір, промитий кальцинованою содою та перекисом водню.

Вибірка 4 – фільтрувальний папір, промитий перкарбонатом натрію.

Вибірка 5 – невикористаний фільтрувальний папір.

Пробу поміщено в піч і спалено, проведено аналіз утворених димових газів. Визначення концентрацій сажі здійснено за допомогою гравіметричного методу з використанням трубки Піто-Прандтля та аспілятора з фільтр-патроном, на якому затримується сажа. Для визначення складу димових газів застосовано газоа-

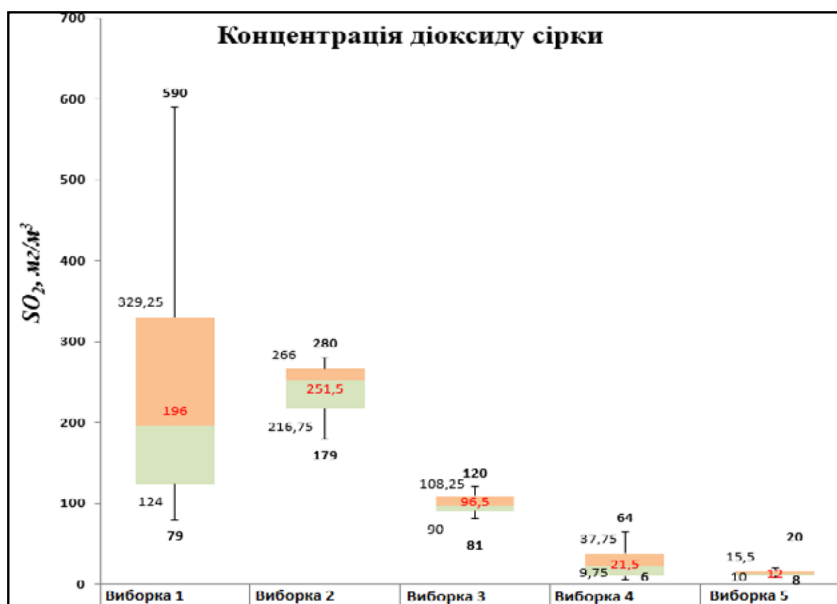


Рис. 2. Діаграма розмахів концентрацій діоксиду сірки

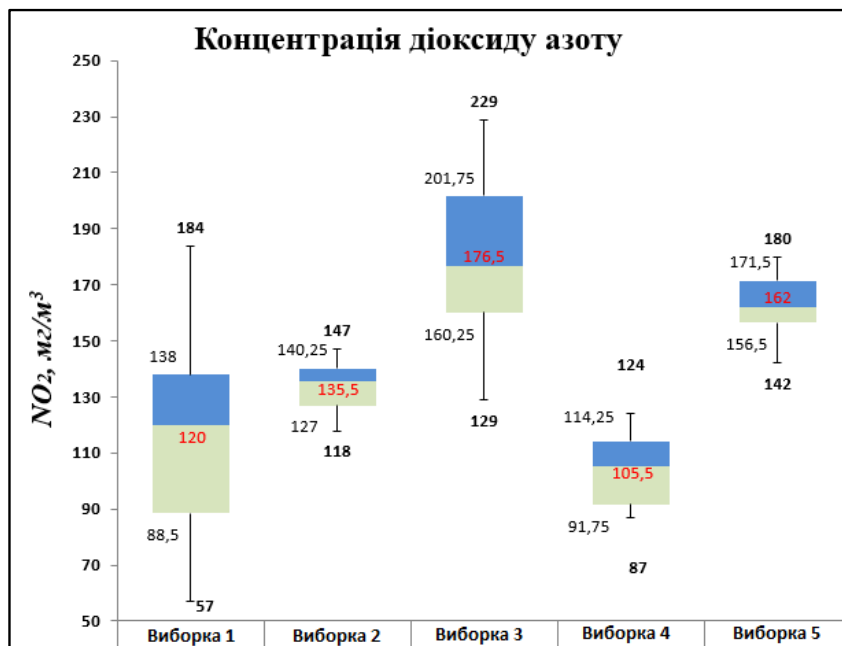


Рис. 3. Діаграма розмахів концентрацій діоксиду азоту

налізатор Testo 350 S – гнучку портативну систему аналізу димових газів, що складається з блока аналізатора і керуючого модуля. Відбір проб викидів здійснено за допомогою пилозабірної трубки.

Експериментально визначено концентрації діоксиду сірки, оксиду азоту, оксиду вуглецю, сажі. У кожній групі та за кожною речовиною проведено по 20 замірів. Тож маємо досить велику кількість даних, які потребують групування.

Характеристика продуктів згорання фільтрувального паперу наведена у вигляді коробкових графіків, або діаграм розмахів, які дають змогу дати

максимально повну статистичну характеристику аналізованої сукупності. Крім того, діаграми розмаху можна використовувати для візуальної експрес-оцінки різниці між двома і більше групами. Проведено визначення кількісного складу продуктів горіння за 4 речовинами: діоксид сірки, діоксид азоту, оксид вуглецю, сажа, а також порівняно температури горіння та наведено на рисунках 2–5.

Порівняльна характеристика продуктів згорання до та після оброблення забрудненого фільтрувального паперу різними засобами, невикористаного фільтрувального паперу наведена в таблиці 1.

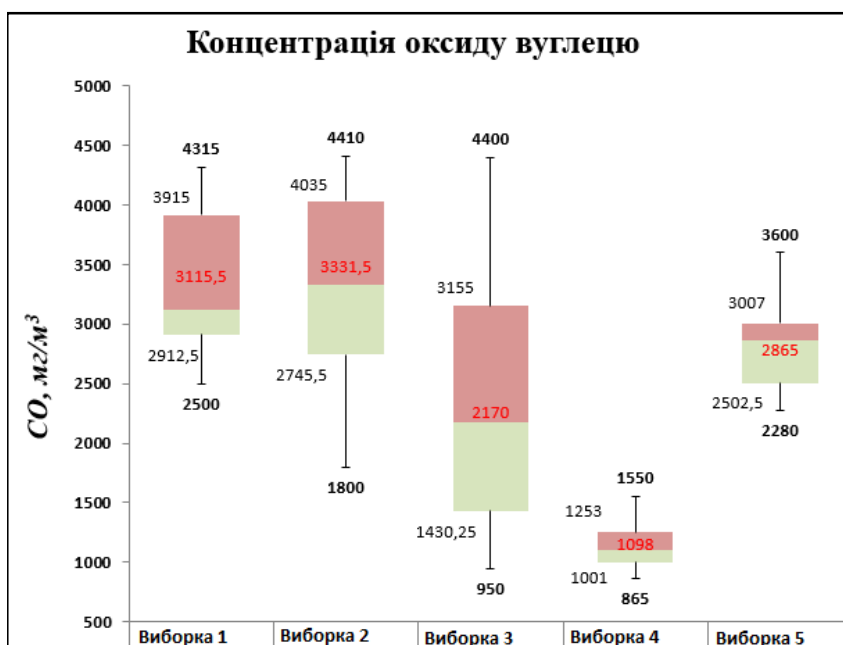


Рис. 4. Діаграма розмахів концентрацій оксиду вуглецю

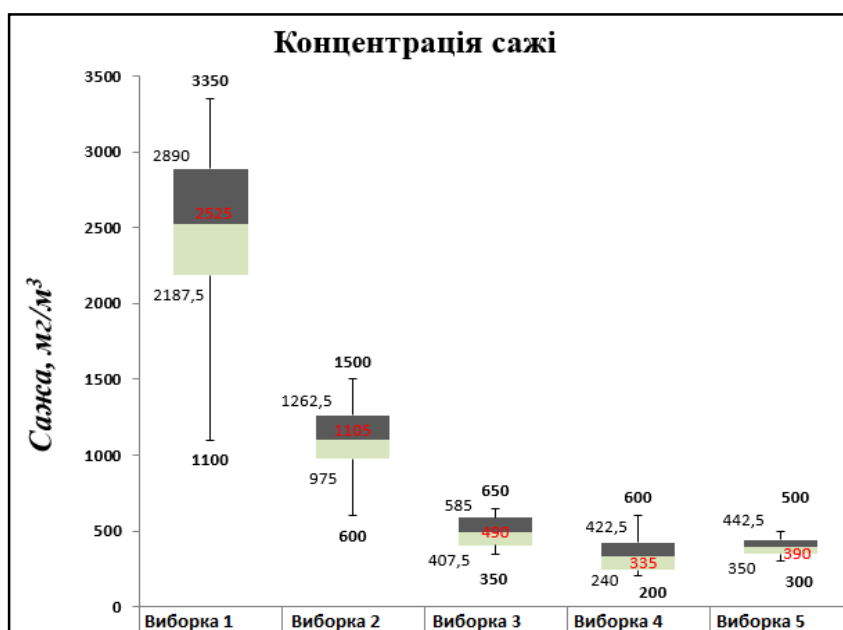


Рис. 5. Діаграма розмахів концентрацій сажі

Досягти максимального вилучення ресурсоцінних компонентів із ВАМФ та зменшення негативного впливу на навколишнє природне середовище під час утилізації забрудненого фільтрувального паперу можливо за умови застосування комбінованого способу його оброблення, а саме попереднього промивання з подальшим спалюванням.

Головні висновки. Унаслідок аналізу теоретичних і практичних досліджень із проблеми утилізації відпрацьованих автомобільних масляних фільтрів зроблено висновок щодо необхідності розроблення та впровадження нових технологій.

Запропонований спосіб промивання фільтрувального паперу з подальшим спалюванням зменшує техногенне навантаження на навколишнє середовище в декілька разів.

Технологічний процес утилізації відпрацьованих автомобільних масляних фільтрів необхідно спрямовувати не тільки на знешкодження цього виду небезпечного відходу, але й на отримання товарної продукції у вигляді вторинної сировини для інших технологічних процесів. Такий підхід до вирішення цієї проблеми дає змогу вирішувати важливі екологічні, економічні та соціальні завдання.

Література

1. Recycling Used Oil Filters. *BendPak, Inc.* 2012. URL: <http://www.bendpak.com/Shop-Equipment/Oil-Filter-Crushers>.
2. MeWa Recycling Anlagen: Oil filter plant. Oil filter: From hazardous waste to valuable raw materials. *MeWa-News*. September 2011. P. 4–5.
3. Patent USA N 5236136, B 02 C 23/14; B 30 B 09/02. System and method for recycling used oil filters/ McCarty; Michael W., Taylor; James M., Baillie; Lloyd A., Appl. No.: 07/810875; Filed: December 20, 1991, August 17, 1993.
4. Patent USA N 5236136, B 02 C 23/14; B 30 B 09/02. System and method for recycling used oil filters/ McCarty; Michael W., Taylor; James M., Baillie; Lloyd A., Appl. No.: 07/810875; Filed: December 20, 1991, August 17, 1993.
5. Oil Filter Recycling. *C.L.E.A.N. – Closed Loop Environmental Alliance Network Inc.* 2014. URL: <http://cleanalliance.com/our-services/recycling-solutions/oil-recycling-services/oil-filter-recycling>.
6. Ганошенко О.М., Голік Ю.С., Колтунов Г.А., Іванченко Н.В. Утилізація відпрацьованих автомобільних масляних фільтрів. Технологія рециклінгу. *Екологічний вісник*. Київ, 2016. Вип. січень – лютий 1 (95). С. 26–28.
7. Ганошенко Е.Н., Голик Ю.С., Колтунов Г.А. Способы утилизации отработанных автомобильных масляных фильтров и направления государственной политики в сфере обращения с отходами. *XX Международная научно-практическая конференция «Интеллектуальный капитал и способы его применения»* (г. Новосибирск, 11 – 12 марта 2016 г.). Новосибирск: Международный научный институт «EDUCATO», 2016. Вып. 2(20). С. 8–13.
8. Holik Yu., Ganoshenko E. Experimental research of withdrawal of oil remains from the used “KOLLAN” oil filters. *Environmental Problems*. 2017. Vol. 2. No. 2. P. 87–91.

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНО ОБГРУНТОВАНОГО РЕГУЛЮВАННЯ УТВОРЕННЯМ НЕБЕЗПЕЧНИХ РЕЧОВИН ПІД ЧАС ТЕРМІЧНОЇ УТИЛІЗАЦІЇ ГУМОТЕХНІЧНИХ ВІДХОДІВ

Маркіна Л.М., Крива М.С.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
пр. Героїв України, 9, 54025, м. Миколаїв
markserg@ukr.net, marharyta.kryva@nuos.edu.ua

Проведено аналіз зношених шин і гумових відходів як сировини для термічної деструкції. Проведено моделювання технологічних режимів рециркуляції парогазової суміші в багатоконтурній циркуляційній системі шляхом керування парорідиною рівновагою матеріальних потоків. Підвищення екологічної безпеки процесу утилізації гумових відходів за технологією багатоконтурного циркуляційного піролізу (БЦП) забезпечується завдяки збільшенню глибини деструкції сконденсованих фракцій. Адекватність запропонованої моделі підтверджено експериментальними дослідженнями, результати яких отримано під час використання лабораторного стенду БЦП для утилізації гумотехнічних відходів і методу газової хроматографії щодо вмісту гетероатомних з'єднань. *Ключові слова:* екологічна безпека, небезпечні речовини, термічна деструкція, багатоконтурна циркуляційна система, гумотехнічні відходи.

Обеспечение экологически обоснованного регулирования образования опасных веществ при термической утилизации резинотехнических отходов. Маркина Л.Н., Кривая М.С. Проведен анализ изношенных шин и резиновых отходов как сырья для термической деструкции. Проведено моделирование технологических режимов рециркуляции парогазовой смеси в многоконтурной циркуляционной системе путем управления парожидкостным равновесием материальных потоков. Повышение экологической безопасности процесса утилизации резиновых отходов по технологии многоконтурного циркуляционного пиролиза (МЦП) обеспечивается за счет увеличения глубины деструкции сконденсированных фракций. Адекватность предложенной модели подтверждено экспериментальными исследованиями, результаты которых были получены при использовании лабораторного стенда МЦП для утилизации резинотехнических отходов и метода газовой хроматографии по содержанию гетероатомных соединений. *Ключевые слова:* экологическая безопасность, опасные вещества, термическая деструкция, многоконтурная циркуляционная система, резинотехнические отходы.

Providing environmentally regulation of the formation of hazardous substances during the thermal utilization of rubber technical waste. Markina L., Kryva M. The analysis of worn tires and rubber wastes as raw material for thermal destruction is carried out. The simulation of technological modes of recirculation of a steam-and-gas mixture in the multi-circuit circulation system is carried out by controlling the vapor-liquid equilibrium of material flows. Improvement of environmental safety of the process of utilization of rubber waste on the technology of multi-circular circulatory pyrolysis (MCP) is provided by increasing the depth of destruction of condensed fractions. The approximation of the proposed model is confirmed by experimental studies, the results of which have been obtained with the use of the laboratory stand of MCP for utilization of rubber waste and the method of gas chromatography on the content of heteroatomic compounds. *Key words:* environmental safety, hazardous substances, thermal destruction, multi-circuit circulation system, rubber waste.

Постановка проблеми. Проблема вибору та впровадження екологічно безпечного методу утилізації гумотехнічних відходів (далі – ГТВ) в Україні сьогодні не є вирішеною. Зношені шини продовжують накопичуватися на звалищах і підвищувати екологічні ризики для довкілля та здоров'я населення [1] завдяки виділенню в навколишнє середовище різних небезпечних [2] хімічних сполук [3].

Гумотехнічні відходи та зношені шини є цінною вторинною вуглеводневою сировиною, використання якої в технологічні процеси утилізації є економічно вигідним та екологічно безпечнішим заходом, ніж неконтрольоване зберігання їх у довкіллі [4].

Відомі методи та способи переробки [5] мають свої переваги та недоліки, однак для запобігання

потраплянню небезпечних речовин перспективним порівняно з іншими є використання технологій термічної утилізації ГТВ [6].

Зношені шини загалом містять у своєму складі до 46% каучуку (натурального та синтетичного походження), 24% технічного вуглецю, до 20% металів і текстильних матеріалів як бортових, каркасних волокон, ще 10% становить вміст азоту, кисню, сірки та присадок різного призначення (до 40 видів хімічних речовин) [7].

Саме ці 10% від будь-якої маси ГТВ, що піддаються утилізації за допомогою термічних перетворень, будуть потрапляти у вихідні продукти піролізу. У поєднанні з молекулами вуглецю та водою здатні утворювати надзвичайно різноманітний перелік небезпечних хімічних речовин [3].

У разі використання в теплових агрегатах під час спалювання продуктів піролізу виділяються високоактивні, токсичні та леткі речовини, такі як SO_2 , HCN , CS_2 , NH_3 , H_2S , які становлять загрозу для навколишнього середовища та здоров'я людей [1].

Для запобігання потраплянню небезпечних речовин до кінцевих продуктів утилізації ГТВ, не перевищуючи гранично допустимі значення, необхідно застосування різних технологічних рішень, що призводять до подорожчання устаткування та технологічного процесу утилізації загалом.

Такі аспекти та прогнози є небажаними під час упровадження технології з утилізації гумотехнічних відходів у промислових масштабах. Тому виникає потреба щодо розв'язання цієї проблеми через встановлення впливу технологічних параметрів на якісні та кількісні характеристики продуктів утилізації ГТВ як наукового підґрунтя забезпечення екологічної безпеки технологій термічної утилізації та обладнання.

Актуальність дослідження. В Україні та світі не повною мірою досліджено глибокі процеси деструкції за термічного перетворення гумотехнічних відходів (далі – ГТВ) та механізм розподілення гетеромісних компонентів за продуктами деструкції. Актуальним завданням є встановлення раціональних форм управління технологічним процесом утилізації, що дасть змогу запобігти потраплянню небезпечних речовин у навколишнє середовище.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Напрями вдосконалення технологічних процесів під час зниження впливу на навколишнє середовище спрямовані на створення нових технологічних процесів утилізації ГТВ [8; 9] з ефективним використанням енергетичного потенціалу цінних вторинних ресурсів і забезпечення екологічної безпеки переробних виробництв термічної утилізації гумових відходів [10; 11].

Авторами наукової статті [12] запропонована утилізація автомобільних шин із використанням методу термолітичної деструкції. Встановлено склад рідких продуктів, їхні властивості. Вміст сірки в піролізній рідині досягає 0,72%.

У роботі [13] запропоновано спосіб покращити властивості піролізної рідини за допомогою хімічних реагентів, які дають можливість зменшити інтенсивність специфічного запаху, а також концентрацію сполук сірки.

У дослідженні [14] здійснено аналіз складу суміші продуктів термічної утилізації ГТВ та встановлено відповідність складу піролізної рідини до дизельного палива.

За результатами аналізу літературних джерел щодо отриманих піролізних продуктів ГТВ встановлено, що без додаткової хімічної обробки рідинні продукти піролізу неможливо застосовувати у промисловості [15]. Необхідно встановити газоочисні прилади для зменшення викидів сірки та золи [13].

Використання пірорідини як компонента малосірчистого пічного палива можливе тільки за умови доведення окремих показників до норм відповідного галузевого стандарту [14].

У статті [16] запропоновано видалення сірковмісних з'єднань методами абсорбції, а в роботі [17; 18] застосовуються гідродесульфуризаційні процеси.

Отже, для встановлення шляхів покращення якості отриманого палива та зменшення вмісту сіркоорганічних з'єднань необхідно здійснити аналіз авторських напрацювань щодо математичного моделювання процесу піролізу ГТВ відходів.

У дослідженні [19] побудована математична модель термолізу зношених шин у середовищі перегрітого пару на основі двовимірної системи рівнянь, що дала б змогу кількісно описати зміни в часі розкладання ГТВ, уточнити уявлення про процес, виявити фактори, що сповільнюють чи прискорюють процес.

У роботі [20] здійснено моделювання температурного стану реактора, спрямованого на зниження затрат у процесі утилізації ГТВ методом термохімічної деструкції, однак ці моделі не враховують визначення складу та якості отриманих продуктів піролізу.

Моделювання фазового стану вуглеводневих сумішей, вибір рівняння стану і програм в полі параметрів видобутку і переробки природних газів і нафти здійснено в статті [21]. Модель корелюється з високою точністю експериментальних і розрахункових значень та може бути основою для створення моделі фазового стану первинної парогазової суміші, отриманої внаслідок термічної утилізації ГТВ.

Дослідження [22] розкриває особливості математичного моделювання процесів термічної деструкції ГТВ та здійснює розрахунок компонентного складу отриманих продуктів. Сірковмісні компоненти у вихідному продукті становлять 1,1%.

Авторами [23] висвітлюються питання математичного опису поділу потоків газових сумішей під час використання технологічного процесу екологічно безпечної утилізації відходів. Розроблено математичну модель розрахунку теплообмінника-охолоджувача і ректифікаційної колони для отримання компонентного складу вихідного продукту, що входить у колону ректифікації, і компонентних складів вихідних із неї кінцевих продуктів. Дослідження має перспективні напрями розвитку, однак ректифікаційні колони – великі метало- та енергоємні апарати, використання яких є недоречним під час енергозбереження технологій переробки.

Дослідження щодо розділення піролізної рідини вуглеводневих фракцій з отриманням компонентів моторних палив представлені в роботі [24; 25]. Запропонована технологія первапораційного (мембранного) поділу піролізної рідини, заснована на конденсації та охолодженні парів, які циркулюють по замкнутому циклу з періодичним відбором бензинової фракції.

Однак під час здійснення такого методу отриману первинну піролізну рідину необхідно завантажувати в окреме обладнання для її розділення. Це може супроводжуватися викидами важких високомолекулярних компонентів суміші, а також виділенням сірковмісних з'єднань у великих концентраціях, що, без сумніву, буде впливати на здоров'я персоналу.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття, полягає в ідентифікації гетероатомних з'єднань, які можуть утворюватися на будь-якій стадії процесу термічної утилізації відходів і знаходження шляхів вирішення цієї проблеми.

Також суттєвим недоліком наявних методів на основі піролізу є неможливість підбору необхідних технологічних режимів процесу для екологічно безпечної переробки ГТВ. У зв'язку з цим неможливо забезпечити необхідну глибину деструкції ГТВ.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у розробленні наукового підходу дослідження забезпечення екологічної безпеки процесів термічної утилізації гумотехнічних відходів і встановлення особливостей технологічних режимів управління устаткуванням для зниження шкідливого впливу отриманих продуктів деструкції на навколишнє середовище та здоров'я людини.

Методологічне або загальнонаукове значення. Полягає у врахуванні впливу технології утилізації на навколишнє середовище, не допускаючи перевищення порогів стійкості екологічних систем, захист навколишнього середовища від викидів токсичних відходів піролізу для запобігання виникненню незворотних процесів у природі, здатних призвести до її деградації та загибелі всього живого на Землі.

Метою роботи є провести дослідження щодо розподілення гетероатомних з'єднань у фракціях БЦС, встановити їх масовий вміст, а також визначити механізм для запобігання потрапляння цих компонентів до кінцевих цільових фракцій, забезпечуючи екологічність процесу завдяки вторинній глибокій деструкції утворених компонентів.

Завдання дослідження:

1. Удосконалення технологічного процесу на основі визначення залежностей константи рівноваги від температури під час розподілу хімічних речовин за контурами циркуляційної системи та можливостей регулювання якісними та кількісними характеристиками отриманих продуктів;

2. За допомогою застосування методів математичного моделювання оцінити зменшення негативного впливу процесу термічної утилізації ГТВ на екологічну безпеку навколишнього середовища

Виклад основного матеріалу. Гумотехнічні відходи не віднесені до категорії небезпечних відходів, однак величезна частина ризику пов'язана з хімічним складом ГТВ, оскільки вони містять елементи та сполуки, перераховані в додатку Конференції Сторін Базельської конвенції [7], що підтверджує

актуальність дослідження. Різні сировинні матеріали, що використовуються під час виробництва шин і гумових виробів, несприятливо впливають на здоров'я людини і навколишнє середовище [5].

Найбільшу екологічну небезпеку під час застосування термічних технологій утилізації ГТВ становлять сірковмісні з'єднання, оскільки вміст сірки серед інших гетероатомних з'єднань у первинній масі гумових відходів найбільший [26], а отже, ймовірність утворення різних варіацій сірчаних сполук і, відповідно, їх кількість буде більшою.

Вищою формою активного вдосконалення технології виробництва є створення безвідходної технології на базі замкнутих технологічних процесів, за яких відходи кожного попереднього процесу є сировиною для подальшого. Впровадження на всіх етапах виробництва безвідходної технології радикально вирішить проблему забруднення навколишнього середовища.

Для забезпечення екологічної безпеки кінцевих альтернативних вуглеводневих фракцій, отриманих внаслідок термічної утилізації ГТВ за технологією багатоконтурного циркуляційного піролізу, запропоновано використання розрахункового методу визначення вмісту гетероатомних сполук. Це дасть можливість запобігти потраплянню небезпечних компонентів у кінцеві продукти, а також поліпшити їх якість через варіювання компонентним складом.

Фізична сутність багатоконтурного циркуляційного піролізу (далі – БЦП) проявляється в досягненні глибокого ступеня деструкції всієї суміші високомолекулярних відходів завдяки поступовому розкладанню важких фракцій проміжних продуктів, що утворилися в процесі первинного піролізу суміші відходів [27].

Завдяки наявності багатоконтурної циркуляційної системи (далі – БЦС) [28], що являє собою каскад послідовних контурів, можливо сконденсувати шкідливі речовини через варіювання температур охолодження контурів і повернути їх у потоці рециркуляції до реактора для вторинної глибокої деструкції. Забезпечення екологічної безпеки процесу здійснюється завдяки встановленню чіткого механізму розподілення сірковмісних, кисневмісних та азотовмісних компонентів за фракціями, утвореними на кожному контурі БЦС.

Розрахунок складу та якості кінцевих продуктів технологічного процесу конденсації та рециркуляції парогазової суміші на контурах БЦС здійснено на основі моделювання фазової парорідинної рівноваги [29].

Результатом моделювання є оптимізація технологічного процесу із встановленням максимального можливого значення константи рівноваги K_p та повного матеріального балансу фазових потоків ПГС щодо вмісту гетероатомних з'єднань на кожному контурі БЦС за здійснення різних температур охолодження контурів.

Для кількісного вимірювання компонентів і побудови матеріального балансу використовуються масові витрати компонентів потоку та масові доли ключового компонента щодо загального вмісту суми всіх компонентів.

Складання матеріального балансу починаємо з приходу первинної ПГС на перший контур БЦС, зважаючи на умову витрати первинної ПГС, що становить 50 кг/год (табл. 1).

Однак саме завдяки охолодженню контурів і розрахунку константи рівноваги [29] вміст гетерогенних з'єднань у кінцевій фракції, що представлена альтернативним паливом, вдалося мінімізувати. Це чітко простежується в даних таблиці 1, що демонструє динаміку вмісту небажаних компонентів у конденсованих фракціях на кожному контурі БЦС.

Для підтвердження адекватності моделі було проведено серію експериментальних досліджень щодо ідентифікації складу відібраних зразків сконденсованих рідких фракцій із кожного контуру за встановлених раціональних режимів здійснення температурного охолодження контурів [29].

Застосовано метод газорідної хроматографії на хроматографі «Neochrom» [30], який має необхідну здатність для розділення рідкої фракції. Ідентифікація окремих сполук проводиться за допомогою мас-спектрометричного детектора [14].

Матеріальний баланс рециркуляції парорідних потоків у багатоконтурній циркуляційній системі побудований щодо мольних витрат потоку та мольного вмісту компонента в потоці для якісного аналізу сконденсованих фракцій із встановленням механізму розподілу гетерогенних сполук за контурами (табл. 2–4).

У розподілі хімічних елементів за фракціями спостерігається певна *закономірність* – вони концентруються у висококиплячих фракціях. В середні та важкі фракції потрапляють найбільш стійкі з'єднання, які не руйнуються за температури википання фракції в умовах розділення ПГС на контурах.

Проведені розрахунки варіювання температур охолодження від зміни константи рівноваги показали, що саме за температури 367 °С на *першому контурі* конденсується фракція, що містить у своєму складі найбільшу кількість гетерогенних з'єднань.

Таблиця 1

Матеріальний баланс багатоконтурної циркуляційної системи щодо розподілення вмісту гетероорганічних з'єднань за фракціями

Температура контуру, T, °С БЦС	Поступає на контур			Виходить із контуру						Константа рівноваги, K_j
	G'_j кмоль/кг	G_p кг/г	y_{ij} , % мас	G'_j кмоль/кг	G_p кг/г	y_{ij} , % мас	F'_j кмоль/кг	F_p кг/г	x_{ij} , % мас	
1 контур 360	G'	G	y_{ij} , %	G'_1	G_1	y_{i1}	F'_1	F_1	x_{i1}	K_{i1}
Сірковмісні	1004,49	2,52	0,57	572,56	1,44	0,32	431,9	1,08	0,25	0,298
Кисневмісні	502,25	1,12	0,26	286,70	0,64	0,14	215,55	0,48	0,11	
Азотовмісні	286,98	0,72	0,17	163,54	0,41	0,10	123,44	0,31	0,07	
Всього	1793,7	4,5	1,0		2,49			2,01		
2 контур 245	G'_1	G_1	y_{i1}	G'_2	G_2	y_{i2}	F'_2	F_2	x_{i2}	K_{i2}
Сірковмісні	572,56	1,44	0,32	280,5	0,706	0,15	292,0	0,734	0,16	6,161
Кисневмісні	286,70	0,64	0,14	140,48	0,31	0,07	146,22	0,33	0,07	
Азотовмісні	163,54	0,41	0,10	80,14	0,20	0,04	83,4	0,21	0,05	
Всього		2,49			1,216			1,274		
3 контур 170	G'_2	G_2	y_{i2}	G'_3	G_3	y_{i3}	F'_3	F_3	x_{i3}	K_{i3}
Сірковмісні	280,5	0,706	0,15	202,0	0,508	0,11	111,1	0,198	0,05	11,095
Кисневмісні	140,48	0,31	0,07	101,14	0,22	0,05	55,62	0,09	0,02	
Азотовмісні	80,14	0,20	0,04	57,71	0,14	0,02	31,75	0,06	0,02	
4 контур 60	G'_3	G_3	y_{i3} , %	G'_4	G_4	y_{i4} , %	F'_4	F_4	x_{i4} , %	K_{i4}
Сірковмісні	202,0	0,508	0,11	90,9	0,228	0,05	78,5	0,279	0,06	18,587
Кисневмісні	101,14	0,22	0,05	45,5	0,09	0,01	39,34	0,12	0,01	
Азотовмісні	57,71	0,14	0,02	25,96	0,06	0,01	22,43	0,08	0,01	
Всього		1,216			0,378	0,07		0,479	0,08	

Примітки: i – компонент; j – номер контуру; M – молекулярна маса ПГС, що потрапляє на контур; $G'_j=1793,7$ кмоль/г – мольна витрата парогазового потоку первинної ПГС в перерахунку на суму гетерогенних з'єднань; F'_j – мольна витрата сконденсованого потоку; G_p , кг/год – масова витрата компонентів у парогазовому потоці; y_{ij} – масова доля компонента в паровій фазі; e_j – масова доля відгону; F_p , кг/год – масова витрата компонентів у сконденсованому потоці; x_{ij} – масова доля компонента в рівноважній рідкій фазі; r_j – масова доля рециркулянта; N – загальне число молей компонентів 8 968 700 моль/кг; середня молярна маса – 1 115 000 г/моль.

Вміст сірковмісних сполук у фракції значний, представлені у вигляді сульфідів (50–70%) та у вигляді тіофенових кілець.

На другому контурі отримуємо фракцію, що містить у своєму складі сірку від 15 до 25%, яка представлена сульфідами циклічної будови та остаточною сіркою.

На третьому контурі конденсується фракція з невеликим вмістом сірчаних з'єднань, які представлені сульфідами, сірководнем, тіолами та іншими простими сполуками з коротким вуглеводневим ланцюгом.

Отримана кінцева фракція 4 контуру, що є альтернативним паливом, містить сірку, однак її вміст значно менший 5% від вмісту сірки в первинній масі гумових відходів. Сполуки сірки представлені меркаптаними (тіолами), сульфідами та тіофенами.

Вміст азоту у фракції першого контуру змінюється від 0,02 до 0,2%, частина з них розкладається в реакторі, а решта переходить до більш легких фракцій. Вміст кисневмісних сполук на першому контурі становить 1,0–1,5%, які представлені нафтовими кислотами.

Кисень у фракції на другому контурі міститься у вигляді фенолів і кислот та не перевищує 1,5%. Кисневмісні з'єднання представлені карбоновими та аліфатичними кислотами C₆-C₁₆. Вміст з'єднань азоту малий, оскільки основна частина їх міститься в залишках і не перевищує 0,1%.

Вміст азоту та кисневмісних з'єднань на 3 та 4 контурах дуже малий, менше 0,02%.

Механізм розкладання сіркоорганічних з'єднань за технологією БЦП

Отримані рідкі сконденсовані фракції 1, 2, 3 контуру завдяки рециркуляції піддаються вторинній деструкції з розкладанням сіркоорганічних з'єднань на більш легкі, відповідно, зменшуючи небезпеку від потрапляння токсичних компонентів у кінцеву фракцію у великій концентрації.

Термічне розкладання здійснюється за такою схемою. Сконденсовані аліфатичні сульфідні (тіоєфіри) – нейтральні за низьких температур, однак термічно менш стійкі та розкладаються під час нагрівання вище 130–160 °С з утворенням сірководню та меркаптанів.

Розкладання сульфідів з утворенням меркаптанів та олефінів. За більш високих температур можлива повна дезагрегація молекули сульфідів з утворенням сірководню, водню, вуглецю та олефіну.

Під час термічного розкладання меркаптани виділяють сірководень, водень, вуглець та олефіни. Дисульфідні можуть розкладатися залежно від температурних умов з утворенням сульфідів і вільної сірки, меркаптанів, вільної сірки та олефіну, тіофенів, сірководню та водню.

Отож унаслідок деструкції висококиплячих сульфідів, тіофенів і дисульфідів, що містяться у скон-

Таблиця 2

Склад рідких сконденсованих фракцій продуктів термічної утилізації ГТВ щодо сірковмісних компонентів

Сірковмісні з'єднання	I контуру t=360 °C		II контуру t=245 °C		III контуру t=170 °C		IV контуру t=60 °C	
	z _p моль/г	x' _{ip} %	z _{2p} моль/г	x' _{i2p} %	z _{3p} моль/г	x' _{i3p} %	z _{4p} моль/г	x' _{i4p} %
Сульфідні	15,63	0,23	8,19	0,27	2,63	0,28	2,61	0,27
Меркаптани R-SH, дисульфідні R ₂ S ₂ та елементарна сірка	1,47	0,03	1,39	0,11	1,25	0,17	1,33	0,14
Сірководень	0,54	0,04	0,24	0,03	0,71	0,04	0,27	0,09
Тіофенові кільця	6,49	0,15	3,19	0,12	1,01	0,07	-	-
Тіофени, тіофани	5,56	0,13	2,41	0,03	2,09	0,18	0,58	0,19
Тіациклопентани	-	-	1,26	0,06	-	-	-	-
Тіабіциклоалкани	2,45	0,17	3,55	0,13	-	-	-	-
Тіатрициклани	-	-	4,36	0,15	-	-	-	-
Тіаіндани	-	-	2,23	0,06	-	-	-	-
Тіанафтени	-	-	1,62	0,03	-	-	-	-
Тіоалкани (діалкілсульфідні)	4,60	0,11	-	-	1,19	0,13	-	-
Тіоциклани (циклічні діалкілсульфідні)	3,23	0,08	-	-	1,32	0,07	-	-
Тіоли R-SH	1,41	0,03	-	-	1,01	0,06	1,43	0,15
Тіоєфіри R-S-R	0,76	0,02	-	-	-	-	1,61	0,16
Всього	43,14	1,0	29,21	1,0	11,11	1,0	7,85	1,0

Примітки: z_p, моль/г – молярна масова концентрація компонента; x'_{ij} – мольна доля компонента, рівноважна рідкій фазі.

Таблиця 3

**Склад рідких сконденсованих фракцій продуктів термічної утилізації ГТВ
щодо кисневмісних компонентів**

Кисневмісні з'єднання	I контуру t=360 °C		II контуру t=245 °C		III контуру t=170 °C		IV контуру t=60 °C	
	z_p моль/г	x'_{ip} %	z_p моль/г	x'_{ip} %	z_p моль/г	x'_{ip} %	z_p моль/г	x'_{ip} %
Нафтові кислоти (C _n H _m COOH) циклопентанкарбонова кислота	4,22	0,17	1,32	0,14	1,06	0,19	-	-
метил-, диметил- та триметил циклопентанкарбонова кислота	-	-	1,03	0,03	-	-	-	-
циклогексанкарбонова (нафтенова) кислота та її метилпохідні	1,83	0,09	0,96	0,09	-	-	-	-
карбонова кислота	-	-	1,57	0,17	-	-	1,36	0,33
циклопентаноцетова кислота	-	-	1,39	0,13	-	-	-	-
аліфатичні кислоти C ₆ -C ₁₆ :	-	-	0,73	0,03	-	-	-	-
валеріанова CH ₃ (CH ₂) ₃ COOH	-	-	-	-	0,71	0,17	-	-
аренові кислоти	-	-	-	-	1,25	0,21	-	-
ізокапронова кислота C ₆ H ₁₁ COOH	-	-	-	-	-	-	1,63	0,36
Нафтові феноли фенол (C ₆ H ₅ OH),	3,54	0,16	2,42	0,15	-	-	-	-
етил- та диетилфенол	-	-	1,03	0,04	-	-	-	-
крезол (CH ₃ C ₆ H ₄ OH),	2,29	0,14	2,71	0,12	-	-	0,91	0,31
ксиленол ((CH ₃) ₂ C ₆ H ₃ OH)	4,06	0,21	0,86	0,07	-	-	-	-
ацетон	-	-	-	-	1,34	0,20	-	-
циклічні кетони флуоренон	2,82	0,11	-	-	-	-	-	-
метилетил-, метилпропил-, метилізопропил-, метилбутил- етилізопропилкетони	-	-	-	-	1,39	0,23	-	-
складні ефіри	2,97	0,12	-	-	-	-	-	-
нафталін	-	-	1,31	0,03	-	-	-	-
Всього	21,55	1,0	14,622	1,0	5,562	1,0	3,934	1,0

Таблиця 4

**Склад рідких сконденсованих фракцій продуктів термічної утилізації ГТВ
щодо азотовмісних компонентів**

Азотовмісні з'єднання	I контуру t=360 °C		II контуру t=245 °C		III контуру t=170 °C		IV контуру t=60 °C	
	z_p моль/г	x'_{ip} %	z_p моль/г	x'_{ip} %	z_p моль/г	x'_{ip} %	z_p моль/г	x'_{ip} %
Основні з'єднання азоту								
Піридин		0,01	2,16	0,25	-	-	-	-
Хінолін		0,01	0,91	0,11	-	-	-	-
Ізохінолін		0,01	1,75	0,19	-	-	-	-
Метил-, ди- та триметилпіридини		-	-	-	0,75	0,31	1,022	0,49
<i>Нейтральні з'єднання азоту</i>								
Пірол	0,07	0,2	1,16	0,14	1,16	0,33	-	-
Карбазол		0,2	0,58	0,06	-	-	-	-
Індол		0,2	0,70	0,09	-	-	-	-
Бензпірол		0,2	1,04	0,16	-	-	-	-
Алкілпохідні піролу		-	-	-	1,25	0,36	1,221	0,51
Всього	12,344	1,0	8,34	1,0	3,175	1,0	2,243	1,0

денсованих потоках фракцій F_1 , F_2 , F_3 , досягається отримання кінцевої фракції з допустимим вмістом гетерогенних з'єднань, не перевищуючи граничних концентрацій [31; 32] та забезпечуючи екологічну безпеку отриманих палив і всього процесу загалом.

Кореляція експериментальних даних, отриманих під час проведення дослідження за допомогою газової хроматографії для визначення якісного та кількісного складу отриманих зразків, свідчить про достовірність висновків та адекватність запропонованої математичної моделі процесу рециркуляції парорідинних потоків на контурах БЦС.

Головні висновки. Отже, під час проведеного дослідження забезпечено запобігання потраплянню шкідливих компонентів як продуктів первинної деструкції в кінцеву фракцію, отриману за термічної утилізації ГТВ за технологією БЦП на основі застосування методів математичного моделювання процесів рециркуляції парорідинних потоків у багатоконтурній циркуляційній системі, що дає можливість встановити залежність долі сконденсованих речовин від температурних режимів роботи контурів.

Оптимальними температурами здійснення процесу для контурів охолодження БЦС встановлено такі: 360 °C для першого контуру, 245 °C для другого контуру, 170 °C для третього контуру та 60 °C для кінцевого контуру, що самостійно розділяє фракцію на газ і рідину.

Встановлено, що, на відміну від вмісту гетероатомних сполук у фракціях, отриманих під час традиційного піролізу ГТВ, вміст у фракціях, отриманих за термічної утилізації ГТВ за технологією БЦП, знижений: досягається зменшення сірковмісних компонентів на 95%; кисне- та азотовмісних речовин – на 99%.

Встановлено закономірність, що вміст сірки збільшується зі збільшенням температури охолодження фракції.

Розподілення кисневмісних сполук за фракціями нерівномірне, і основна їх маса (до 90–95%) концен-

трується у твердому залишку. Близько 10% його припадає на долю кислих (нафтоених кислот і фенолів) і нейтральних (складних ефірів, кетонів) кисневмісних сполук, що концентруються в сконденсованій фракції першого контуру.

Отримані кінцеві цільові продукти, що є альтернативним паливом, містять сірку, однак її вміст значно менший 5% від вмісту сірки в первинній масі гумових відходів. Сполуки сірки представлені меркаптаними (тіолами), сульфідами та тіофенами. Вміст азоту та кисневмісних сполук дуже малий, менше 0,01%.

За допомогою обчислювального експерименту доведено ефективність запропонованого методу математичного моделювання поділу багатокомпонентної ПГС в БЦС, що приводить до зменшення вмісту шкідливих компонентів в альтернативному паливі, забезпечуючи підвищення екологічної безпеки процесу утилізації ГТВ.

Отримані результати щодо вмісту ідентифікованих гетероатомних з'єднань у товарній фракції, отриманій на останньому контурі багатоконтурної циркуляційної системи, дають можливість для вибору конкретних методів і технологій очистки від небажаних компонентів отриманого продукту. Подальші дослідження будуть ґрунтуватися саме на підборі найбільш вигідного вдалого методу очистки товарного продукту, отриманого внаслідок утилізації гумотехнічних відходів за технологією БЦП.

Перспективи використання результатів дослідження полягають у тому, що застосування апарату математичного моделювання фазової рівноваги дає можливість обрати максимально оптимальну температуру охолодження для кожного контуру для отримання альтернативних фракцій з допустимим вмістом гетерогенних з'єднань, не перевищуючи граничних концентрацій і забезпечуючи екологічну безпеку отриманих продуктів і процесу загалом.

Література

1. Запорожець О.І., Нікітченко Ю.С. Оцінка екологічних ризиків при складуванні зношених автомобільних шин на звалищах. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2013. № 2/11. С. 19–24.
2. Попович О.Р., Ятчишин Ю.Й., Мальований М.С., Яворівська І.М., Вронська Н.Ю. Проблема утилізації небезпечних медичних відходів (на прикладі України та Польщі). *Вісник національного університету «Львівська політехніка»*. 2008. № 622. С. 60–64.
3. Петрук В.Г., Прокопенко В.О., Турчик П.М. Оцінка впливу на навколишнє середовище шинної промисловості. *Екологічна оцінка методів утилізації відходів шинної промисловості*: зб. мат-лів II Всеукр. з'їзду екологів з міжнародною участю. Львів, 2010.
4. Нікітченко Ю.С. Еколого-економічний аналіз технологій переробки зношених автомобільних шин. *Вісник Київського національного університету ім. Т. Шевченка*. 2012. № 142. С. 58–62.
5. Шульдякова К.А. Воздействие автомобильных шин на окружающую среду и здоровье человека. *Молодой учёный*. 2016. № 20 (124).
6. Крещенецький В.Л., Капітула В.Я. Шляхи розв'язання проблеми переробки відпрацьованих шин. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені В. Даля*. 2013. № 5 (194). С. 85–88.
7. Конференція Сторін Базельської конвенції про контроль за транскордонним перевезенням небезпечних відходів та їх видаленням (17–21 жовтня 2011 р.).
8. Гранкін О.О., Житницький А.О. Активізація утилізаційних виробництв автомобільних гумових шин в Україні. *Економічний нобелівський вісник*. 2014. № 1 (7). С. 128–132.

9. Попович В.В. Поводження із твердими побутовими відходами (вітчизняний та зарубіжний контекст). *Науково-технічний збірник*. 2012. № 105. С. 476–781/
10. Шмандий В.М., Вамболь В.В. Системний підхід к решению задачи управления экологической безопасностью при утилизации отходов жизнедеятельности. *Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства*: сб. тр. науч. экологич. конф. Краснодар, КубГАУ, 2015. С. 680–685.
11. Клімішина М.Т. Стан та перспективи розвитку технологій переробки шин та їх вплив на довкілля. *Technology audit and production reserves*. 2016. № 6/2(32). С. 57–63.
12. Кашковский В.И. Жидкое топливо термоліза отработанных автошин как добавка к нефтепродуктам. *Энерготехнологии и ресурсосбережение*. 2011. № 1. С. 41–46.
13. Гриценко А.В., Внукова Н.В., Позднякова Е.И. Оценка возможности использования продуктов утилизации шин в качестве альтернативного топлива. *Автомобильный транспорт*. 2015. Вып. 36. С. 42–47.
14. Герцюк М.М., Ковальчук Т., Капрал К., Лисиченко Г.В. Використання двомірної газової хроматографії з мас-спектрометричним детектуванням для визначення складу продуктів піролізу з відпрацьованих автомобільних шин. *Наука та інновації*. 2014. Т. 10. № 2. С. 75–78.
15. Запорожець О.І., Нікітченко Ю.С. Фізико-хімічні властивості піроконденсату, отриманого шляхом переробки відпрацьованих автомобільних шин. *Науково-виробничий журнал «Нафтова і газова промисловість»*. 2011. № 1. С. 47–51.
16. Baran P., Krzak M., Zarębska K., Szczurkowski J., Żmuda W.A. Adsorption of sulfur (IV) oxide on activated carbon from pyrolysis of waste tires. *Przemysł Chemiczny*. June 2016. DOI: 10.15199/62.2016.6.16.
17. Thanyaporn Tanchareernrat, Garry L. Rempel, Pattarapan Prasassarakich. Cleaner alternative liquid fuels derived from the hydrodesulfurization of waste tire pyrolysis oil. *Energy Conversion and Management*, May 2015. DOI: 10.1016/j.enconman.2015.02.003.
18. Shahzad Ahmad. Oxidative desulfurization of tire pyrolysis / Shahzad Ahmad, Muhammad Imran Ahmad, Khawar Naeem, Muhammad Humayun, Sebt-E-Zaeem, Farrukh Faheem. *Chemical Industry & Chemical Engineering Quarterly*. 2016. № 22 (3). P. 249–254. DOI 10.2298/CICEQ150609038A.
19. Бабенко В.А., Жданок В.А., Журавский Г.И., Павлюкевич Н.В. Математическая модель термодеструкции изношенных автомобильных шин в среде перегретого водяного пара. *VI Минский международный форум по тепло- и массообмену*: тез. доклад. И сообщ. (г. Минск, 19–23 мая 2008 г.), Минск, 2008.
20. Сталинский Д.В., Скоромный А.Л., Синозацкий А.М. Моделирование температурного состояния реактора термохимической деструкции изношенных автомобильных шин. *Інтегровані технології та енергозбереження*. 2011. № 1. С. 58–66.
21. Калашников О.В. Моделирование фазового поведения углеводородов: выбор уравнения состояния. *Экотехнологии и ресурсосбережение*. 2003. № 1. С. 22–30.
22. Kalitko V.A. New Functions and Factors for Safety and Quality of Tyre Pyrolysis with Cogenerated-Superheated Steam: Engineering Theory, Innovative Design and Testing Data on Pilot Mobile Plant 6 t/day. 2018. URL: <https://www.researchgate.net/publication/327944258>. DOI: 10.13140/RG.2.2.21191.96160.
23. Вамболь С.А., Шахов Ю.В., Вамболь В.В., Петухов И.И. Математическое описание процессов разделения газовых смесей, образующихся при термической утилизации отходов. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2016. № 1/2 (79). DOI: 10.15587/1729-4061.2016.60486.
24. Буртная И.А. Имплементация нанотехнологий в утилизации шин (ч. 1). *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2012. № 8. С. 14–16.
25. Буртная И.А., Гачечиладзе О.О. Имплементация нанотехнологий в утилизации шин. (ч. 2). *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2012. № 12. С. 50–52.
26. Зайцева Т.А. Полигон депонирования твердых бытовых отходов (тбо) как антропогенная экологическая система. *Научные исследования и инновации*. 2010. №4. С. 35–43.
27. Рижков С.С., Маркіна Л.М., Рудюк М.В. Інноваційні технології утилізації органічних відходів з отриманням альтернативного палива на основі багатоконтурного циркуляційного піролізу. *Збірник наукових праць НУК*. Миколаїв: НУК, 2010. № 2 (431). С. 133–142.
28. Рижков С.С., Маркіна Л.М. Аналіз процесу регулювання потоків у циркуляційній системі багатоконтурного циркуляційного піролізу. *Вісник Національного університету кораблебудування*. 2010. № 1. URL: <http://ev.nuos.edu.ua>.
29. Маркіна Л.М., Крива М.С. Забезпечення екологічної безпеки при термічній утилізації гумо-технічних відходів. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського*. 2019. Т. 30 (69). № 1. С. 222.
30. Рижков С.С., Маркіна Л.М., Рудюк М.В., Філатова М.І. Контроль та дослідження можливих модифікацій рідких вуглеводнів піролізного палива. *Збірник наукових праць НУК*. 2014. № 5. С. 117–125.
31. Закон України «Про альтернативні види палива» (Назва Закону в редакції Закону № 1391-VI (1391-17) від 21 травня 2009 р.) *Відомості Верховної Ради України (ВВР)*. 2000. № 12. Ст. 94.
32. Контроль якості паливно-мастильних матеріалів: навч. посіб. / С.В. Бойченко, Л.М. Черняк, В.Ф. Новікова та ін. К.: НАУ, 2012. 308 с.

СТОРІНКА МОЛОДОГО ВЧЕНОГО

УДК 502.4.587

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716-2019-1-24-2-28>

ПРОХОДЖЕННЯ ОСНОВНИХ ФЕНОЛОГІЧНИХ ФАЗ *SORBUS TORMINALIS* (L.) CRANTZ

Шпак Н.П.

Національний природний парк «Кармелюкове Поділля»
вул. Шевченка, 48, 23652, смт Кирнасівка,
Тульчинський р-н, Вінницька обл.
spaknina0@gmail.com

На підставі узагальнення багаторічних фенологічних спостережень вивчено сезонний ріст і розвиток вегетативних і генеративних органів береки лікарської (*Sorbus torminalis* L.) упродовж вегетації в умовах Південно-Подільського Лісостепу України. Здійснено аналіз фенологічних ритмів виду в дубово-грабових насадженнях і в населених пунктах. Вивчено динаміку початку, закінчення і тривалість фенологічних фаз, які перебувають під постійним впливом сезонних кліматичних умов, пристосовуючись до яких, берека лікарська суттєво змінює ритм процесів росту і розвитку, свій фенологічний стан. Виявлено, що проходження фенофаз залежить від температурних показників: перепади температур навесні змінюють початок фенофаз «бутонізація» і «цвітіння» на 7–10 днів; високі літні температури викликають швидке опадання плодів, не даючи їм дозріти; помірні температури у вересні позитивно впливають на фазу «дозрівання», а перші заморозки – на масове опадання плодів. Визначено середні температурні показники, які зумовлюють проходження певної фенофази. На основі проведеного аналізу привабливості *Sorbus torminalis* L. подані рекомендації щодо використання її у ландшафтному будівництві. *Ключові слова:* *Sorbus torminalis* L., фенофаза, підфаза, ясність, цвітіння, плодоношення, температура повітря.

Прохождение основных фенологических фаз *Sorbus torminalis* (L.) Crantz. Шпак Н.П. На основании обобщения многолетних фенологических наблюдений изучен сезонный рост и развитие вегетативных и генеративных органов *Sorbus torminalis* L. на протяжении вегетации в условиях Южно-Подольской Лесостепи Украины. Осуществлен анализ фенологических ритмов вида в дубово-грабовых насаждениях и в населенных пунктах. Изучена динамика начала, окончания и длительности фенологических фаз, которые находятся под постоянным влиянием сезонных климатических условий, приспосабливаясь к которым, *Sorbus torminalis* L. существенно изменяет ритм процессов роста и развития, свое фенологическое состояние. Исследовано, что прохождение фенофаз зависит от температурных показателей: перепады температур весной изменяют начало фенофаз «бутонизация» и «цветение» на 7–10 дней; высокие летние температуры вызывают быстрое опадение плодов, не давая им созреть; умеренные температуры в сентябре положительно влияют на фазу «дозревания», а первые заморозки – на массовое опадение плодов. Определены средние температурные показатели, которые предопределяют прохождение определенной фенофазы. На основании проведенного анализа привлекательности *Sorbus torminalis* L. поданы рекомендации относительно использования ее в ландшафтном строительстве. *Ключевые слова:* *Sorbus torminalis* L., фенофаза, подфаза, обильность, цветение, плодоношение, температура воздуха.

Passing of basic phenological phases of *Sorbus torminalis* (L.) Crantz. Schpak N. On the basis of generalization of long-term phenological supervisions a seasonal height and development of vegetative and genesis organs of *Sorbus torminalis* L. are studied during a vegetation in the conditions of South-Podolsk Forest-steppe of Ukraine. The analysis of phenological rhythms of the species is carried at in the oak-hornbeam planting, on the continuous felling and in settlements. The dynamics of beginning, completion and duration of pheonological phases that are under permanent influence of seasonal climatic terms is studied, adapting to that *Sorbus torminalis* L changes the rhythm of processes of height and development, phenological state substantially. It is educed that passing of pheonophases depends on temperature indexes: overfalls of temperatures by spring “formation of buds” and “flowering” change beginning of phenophases on 7–10 days; high summer temperatures cause rapid falling garden-stuffs, stop them ripening; moderate temperatures in September positively influence on the phase of “ripening”, and the first ground frosts – on mass falling of garden-stuffs. Middle temperature indexes that predetermine passing of certain phenophase are certain. On the basis of the conducted analysis of attractiveness of *Sorbus torminalis* L. the given recommendations are in relation to the use of her in landscape building. *Key words:* *Sorbus torminalis* L., phenophase, subphase, abundantness, flowering, fruiting, temperature of air.

Постановка проблеми. Зміна температури навколишнього середовища призводить до зміни кліматичних умов і реакції біоти у вигляді адаптації або повного зникнення того чи іншого виду. Фенологічні спостереження з визначенням закономірностей проходження вегетації і зимового спокою є комплексними еколого-географічними та біологічними дослідженнями змін клімату. Спостереження

за зміною фенологічних фаз у рослин вирішують широкий діапазон наукових завдань. Так, у лісівництві за матеріалами багаторічних фенологічних спостережень визначають закономірний зв'язок між часом проходження тих чи інших явищ, а їх аналіз дає змогу зробити висновки про здатність відновлення в природних умовах, оптимальні строки заготівлі плодів та отримання якісного насіння. Основне науково-практичне завдання феноспостережень за видом *Sorbus torminalis* – це чітке визначення ходу її сезонного розвитку.

Актуальність дослідження. Проблема відновлення зникаючого виду *Sorbus torminalis* набуває нині дедалі більшої актуальності. Доцільно використовувати феноспостереження у зв'язку зі змінами клімату, оскільки процеси метаболізму рослин тісно пов'язані з температурним фактором. Фенологічний розвиток рослин – це закономірне чергування і щорічне повторення феноциклів (вегетації і спокою, росту пагонів і його завершення, появи й опадання листя, цвітіння, дозрівання плодів і насіння). У межах циклів відбувається послідовне проходження фенологічних фаз росту і розвитку. Фенологічна фаза – це такий етап у річному циклі розвитку рослини та її окремих органів, який характеризується явно вираженими зовнішніми морфологічними змінами.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Значна частина території НПП «Кармелюкове Поділля» представлена лісовими масивами з переважанням у складі деревостанів *Quercus robur* L. Willd., *Quercus petraea* Liebl, *Carpinus betulus* L., *Fraxinus excelsior* L. та інших лісотвірних порід, а в II ярусі зустрічається *Sorbus torminalis* L. Незважаючи на велику господарську цінність високоякісної деревини, лікарські властивості плодів і прекрасні декоративні якості, берека лікарська стала забутою та маловідомою рослиною.

Матеріали феноспостережень будуть використані для виконання «Програми по збереженню та відтворенню береки лікарської (*Sorbus torminalis* (L.) Crantz) на території національного природного парку «Кармелюкове Поділля» на 2018–2021 рр.».

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Б.М. Махмед [1], М.І. Гордієнко [2], В.В. Буджак [3], А.О. Бондар [4] вивчали біологічні, екологічні, лісівничі та господарські властивості береки лікарської, але не зверталася увага на декоративні властивості виду, не досліджувався фенологічний розвиток. Дослідженню фенології деревних і чагарникових порід присвячені роботи Б.І. Іваненка [5], І.Н. Бейцмана [6], І.Д. Юркевича [7], Н.Є. Булигіна [8], Г.Н. Зайцева [9].

Означена стаття присвячується дослідженню динаміки фенологічних фаз розвитку виду *Sorbus torminalis* (L.) Crantz та оцінюванню перспектив для використання його в озелененні території регіону.

Новизна. Вперше досліджено особливості вегетаційного розвитку *Sorbus torminalis* в умовах Південно-Подільського Лісостепу України. У явищах затримки активності життєвих процесів у *S. torminalis* спостерігається спадково закріплена властивість рослини, що служить засобом перенесення впливу негативних факторів середовища.

Об'єктом багаторічних досліджень є природні дубово-грабові насадження насінневого походження з участю *S. torminalis*.

Дослідження проводилися згідно з «Методикою фенологічних спостережень в ботанічних садах» [10] та «Методичними вказівками з дендрології» О.А. Калініченка (2000) [11]. За цими методиками визначали рясність цвітіння виду за 6-бальною шкалою:

0 – цвітіння відсутнє, частка покриття крони квітами з урахуванням закономірностей їх розміщення дорівнює 0;

1 – цвітіння дуже погане (0–20%);

2 – цвітіння погане (20–40%);

3 – цвітіння задовільне (40–60%);

4 – цвітіння добре (60–80%);

5 – цвітіння відмінне (80–100%).

Рясність плодоношення оцінювали за 6-бальною шкалою візуальної оцінки врожайності за методикою В.Г. Каппера (1930) [12]:

0 – неврожай, плоди відсутні;

1 – дуже поганий врожай: плоди утворилися у невеликій кількості на рослинах, що ростуть поодинокі чи на узліссях, всередині деревостану чи групи – дуже рідко;

2 – слабкий врожай: спостерігається задовільне плодоношення на рослинах, що ростуть поодинокі, і слабке всередині деревостану чи групи;

3 – середній врожай: плодоношення дерев і чагарників, що зростають на узліссях і поодинокі, вище задовільного, а в середині деревостану і груп – задовільне;

4 – добрий врожай: рясне плодоношення спостерігається на поодиноких деревах і чагарниках, у групових насадженнях – задовільне;

5 – рясний врожай: рясне плодоношення спостерігається як на поодиноких рослинах, так і в середньовікових і зрілих деревостанах.

Динамку росту та розвитку пагонів вивчали за методикою Г.В. Куликова та М.Г. Гельберга (1974) [13] з деякими уточненнями та доповненнями для виду *S. torminalis*.

Виклад основного матеріалу. Протягом вегетаційних періодів 2015–2018 рр. на основі фенологічних спостережень проведено феноспектральний аналіз ритмів росту та розвитку *S. torminalis* у природних насадженнях НПП «Кармелюкове Поділля» та прилеглих територій. Отримані результати фенологічних спостережень наведено в табл. 1 з урахуванням основних фенофаз.

На постійних фенологічних маршрутах, закладених на території парку в різних природоохорон-

них науково-дослідних відділеннях із подібними умовами, упродовж чотирьох років проводилися фенологічні спостереження за берекою лікарською, дубом звичайним, грабом звичайним та іншими деревними породами. Звернена увага на особливий розвиток вегетативних органів береки лікарської. Між початком бубнявіння листкових бруньок і до їх повного набубнявіння існує період часу 5–9 днів, після чого відразу розвиваються молоді листки. Це пояснюється будовою бруньок *S. torminalis*, які округлояйцеподібною форми, голі, покриті не корковіючими густоопушеними лусковидними листками, після повного набубнявіння відбувається розходження кінців лусковидних листків, ослаблення щільності волосяного вкриття, просвітлення і слабе позеленіння бруньок. 2016 рік відрізняється за початком і тривалістю фенофази «поява листків». Рання весна з частими перепадами температур сприяла швидкому розпусканню листя, але період бутонізації і цвітіння майже збігаються з фазами інших років. Аналіз фенологічних спостережень показав, що

у дубово-грабових насадженнях цвітіння й утворення зав'язі у *S. torminalis* – масове. Дозрівання плодів залежить від літніх погодних умов. За тривалості спекотних днів (30–40 у червні-липні) більшість недозрілих плодів опадає в кінці липня або в першій декаді серпня. Врожайні роки бувають значно рідше, ніж роки масового цвітіння.

Фенофаза «бутонізація» триває від 22 квітня до 5 травня, а фенофаза «цвітіння» – від 2 травня до 23 травня. Різна тривалість фенофаз підтверджує залежність цвітіння від температурного режиму, особливо має вплив перепад денної і нічної температур, який становив у цей період: +1–5°C вночі, а вдень – 20–23°C, в окремі дні 26–27°C тепла. На випадок запізненого цвітіння в народі є своя прикмета: «пізній розквіт береки лікарської – до довгої осені». Є й інше спостереження: «якщо в пору її цвітіння тепло – все літо буде сухе й погоже».

За роки спостереження масове плодоношення відзначили в 2018 р. Найнижче плодоношення було в 2017 р., коли плоди осипалися недозрілими на початку серпня.

Таблиця 1

Результати фенологічних спостережень за особинами на території НПП «Кармелюкове Поділля» (Бритацьке лісництво кв. 102)

Показник		Роки спостережень і час проходження фенофаз і підфаз			
Основна фаза	Підфаза*	2015	2016	2017	2018
Розвиток вегетатив. бруньок	початок бубнявіння Пб ₁	29.03	05.03	02.04	01.04
	набубнявіння Пб ₂	02.04	14.03	07.04	08.04
Поява листків	початок Пл ₁	03.04	15.03	08.04	09.04
	повне розпускання Пл ₂	12.04	25.03	15.04	15.04
Ріст пагонів	початок Рп ₁	10.04	20.03	10.04	13.04
	кінець Рп ₂	15.08	06.09	08.08	10.09
Цвітіння	бутонізація Цб ₀	25.04	22.04	28.04	05.05
	початок Цб ₁	02.05	16.05	07.05	12.05
	масове Цб ₂	08.05	20.05	14.05	15.05
	завершення Цб ₃	15.05	22.05	22.05	23.05
Розвиток плодів	початок Пп ₁	25.05	08.06	01.06	04.06
	початок досягання Пп ₂	05.08	20.08	03.08	05.09
	завершення Пп ₃	15.08	06.09	08.08	14.09
Опадання плодів	початок Оп ₁	20.08	15.09	10.08	15.09
	масове Оп ₂	10.09	20.09	12.08	18.09
	завершення Оп ₃	15.09	30.09	15.08	01.10
Зміна забарвлення листя	жовте забарвлення Ж ₁	15.09	20.09	25.08	20.09
	червоне Ж ₂	24.09	01.10	10.09	25.09
Опадання листків	початок Ол ₁	15.10	18.10	20.09	11.10
	масове Ол ₂	22.10	23.10	25.09	27.10
	завершення Ол ₃	05.11	05.11	01.10	07.11
Ступінь цвітіння, бали**		5	4	4	5
Рясність плодоношення***		4	3	2	5
Тривалість вегетаційного періоду, днів		201	228	172	196

* – Позначення підфаз прийнято за методикою І.Д. Юркевича;

** – ступінь цвітіння за О.А. Калініченком;

*** – рясність плодоношення за В.Г. Каппером.



Рис. 1. Фенофази *S. torminalis*: розвиток вегетативних бруньок, поява листків

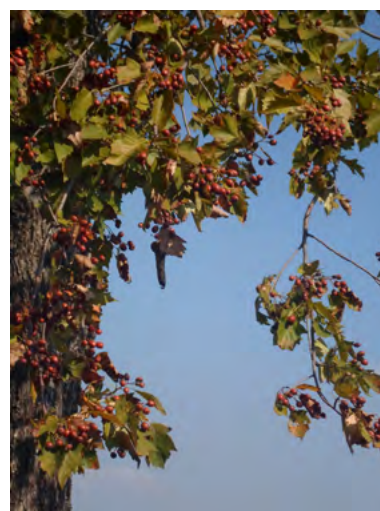
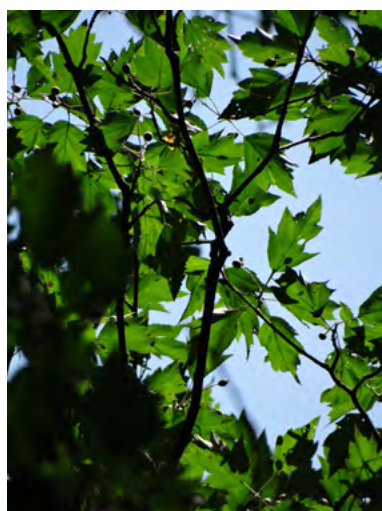
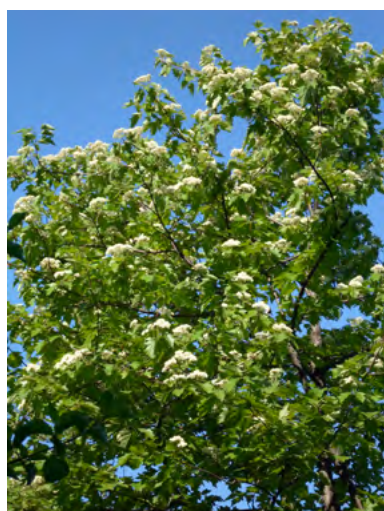


Рис. 2. Фенофази *S. torminalis*: цвітіння, поява і дозрівання плодів

Значне коливання в часі триває і для фази «достигання плодів», початок якої може проходити з першої декади серпня і до другої декади вересня. Особливість плодів *S. torminalis* полягає в тому, що частина плодів може швидко опадати після дозрівання, якщо температура в цей період вища за норму, вдень піднімається до 30–34°C. За середніх температур (19–23°C) масове опадання плодів відбувається після перших нічних заморозків, а частина плодів може залишатися на окремих особинах до кінця жовтня – початку листопада. Для прикладу: фаза «достигання плодів» у 2015 р. припала на 5 серпня, і повне опадання завершилося 15 серпня, а в 2018 р. дозрівання плодів настало 5 вересня, а масове опадання – 14 вересня.

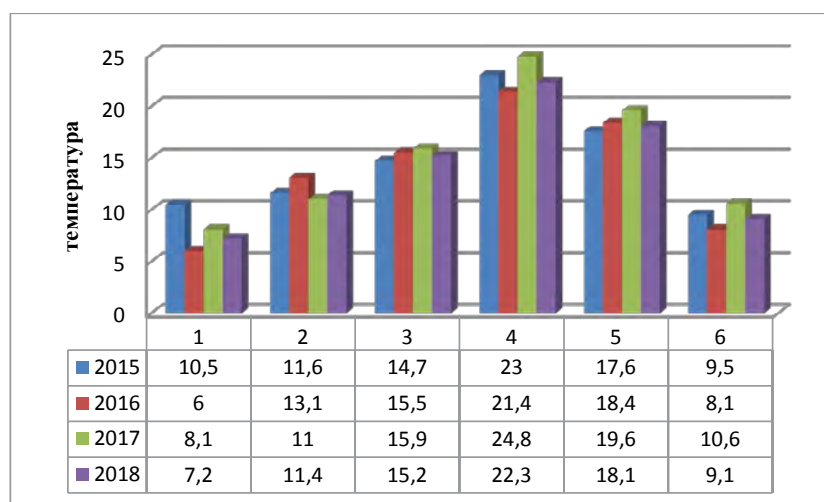


Рис. 3. Середні температурні показники і фенофази виду *Sorbus torminalis* L. впродовж 4-річного циклу спостережень: 1 – розвиток вегетативних бруньок; 2 – поява листя; 3 – цвітіння; 4 – достигання плодів; 5 – опадання плодів; 6 – листопад

Як бачимо, у береки лікарської цей період у різні роки становить майже місячну різницю. Це пояснюється високими температурами в липні-серпні (32–38°, в окремі дні до 40°) і відсутністю в цей період дощів, плоди утворюються дрібні, без сформованого насіння. За сприятливих погодних умов період дозрівання плодів відбувається на початку вересня, вони

соковиті і значно більших розмірів. Зображення фенофаз представлено на рис. 1, 2.

Тривалість листопаду у *S. torminalis* залежить від температури та вологості ґрунту. Якщо осінь тепла і з періодичним випаданням дощів, то листя тримається в лісових насадженнях найдовше (крім пізньої форми дуба звичайного) і вирізняється на

Таблиця 2

Результати фенологічних спостережень за особинами *Sorbus torminalis* L. протягом 2018 р. в різних насадженнях

Показник		На відкритій території, с. Бритавка	В насадженнях, Бритавське лісництво
Основна фаза	Підфаза		
Розвиток вегетативних бруньок	початок бубнявіння Пб ₁	05.04	01.04
	набубнявіння Пб ₂	12.04	08.04
Поява листків	початок Пл ₁	14.04	09.04
	повне розпускання Пл ₂	18.04	15.04
Цвітіння	бутонізація Цб ₀	01.05	05.05
	початок Цб ₁	09.05	12.05
	масове Цб ₂	13.05	15.05
	завершення Цб ₃	21.05	23.05
Розвиток плодів	початок Пп ₁	29.05	04.06
	початок досягання Пп ₂	28.08	05.09
	завершення Пп ₃	10.09	14.09
Опадання плодів	початок Оп ₁	15.09	15.09
	масове Оп ₂	20.09	18.09
	завершення Оп ₃	02.10	01.10
Зміна забарвлення листя	жовте забарвлення Ж ₁	22.09	20.09
	червоне Ж ₂	28.09	25.09
Опадання листків	початок Ол ₁	25.09	10.10
	масове Ол ₂	06.10	27.10
	завершення Ол ₃	14.10	07.11
Ступінь цвітіння, бали		5	4,5



Рис. 4. *S. torminalis* у насадженнях: населений пункт; лісові масиви (станом на 30 жовтня 2018 р.)

фоні крон інших дерев. Якщо осінь суха з високими температурами вдень і різким зниженням вночі, то опадання листя спостерігали вже в першій декаді вересня. Ці відомості слід враховувати під час створення повноцінних ландшафтно-архітектурних композицій. Як бачимо, коливання у часі між підфазами і фазами в різні роки значно різняться. Залежність між середніми температурами й основними фенологічними фазами виду представлено на рис. 3.

Для розвитку та проходження кожної фази характерне певне значення середньої температури. Так, для фенофази «розвиток вегетативних бруньок» значення t_{cp} становить 6–10,5°, для фенофази «поява листя» – майже однакова – 11–11,6°, крім 2016 р., коли середня максимальна температура квітня становила 20,8°C, а березня – 9,9°C. Фенофаза «цвітіння» проходить за t_{cp} 14,7–15,9°C. На короткочасне проходження фенофаз «достигання» і «опадання плодів» у 2017 р. вплинули високі середні максимальні температури липня і серпня, відповідно 31,7°C і 34,1°C.

Під час проведення фенологічних спостережень за *S. torminalis*, яка росте на відкритих ділянках і в насадженнях, виявили помітну часову відмінність у проходженні певних фенологічних фаз і підфаз. Аналіз цих відмінностей наведено в табл. 2.

В особин *S. torminalis*, які ростуть у селі Бритавка Чечельницького району, на 4–5 днів пізніше починається розвиток вегетативних органів, а цвітіння починається раніше, ніж у лісових масивах, і триває

майже 20 днів. Фаза «дозрівання плодів» проходить швидше на відкритій місцевості, а опадання плодів відбувається майже одночасно. Опадання листя в населеному пункті розпочинається раніше на 10–15 днів. На рис. 4 представлено береку в різних насадженнях, звернена увага на формування крони (вид не потребує обрізання).

Головні висновки. 1. Починати спостереження за видом необхідно за переходу середньодобової температури через +5°C. Початок вегетаційного періоду спостерігаємо за середньої добової температури 7–8°C.

2. Динаміка фенофаз, їх тривалість у *S. torminalis* перебуває під постійним впливом сезонних змін у природі. Проходження фаз «цвітіння» та «плодоношення» відбувається за середньодобової температури відповідно 14–15°C і 22–24°C.

3. Плодоношення *S. torminalis* у дубово-грабових насадженнях залежить від повноти та складу деревостанів. За сприятливих погодних умов рясні врожаї *S. torminalis* повторюються через 4 роки, а в населених пунктах плодоношення щорічне.

Перспективи використання результатів дослідження. Вивчення динаміки сезонного розвитку *S. torminalis* дає можливість оцінити естетичні та санітарно-гігієнічні властивості виду упродовж року. Матеріали феноспостережень можна використати для інтродукції виду, в зеленому будівництві, створенні лісових культур, складанні календарів цвітіння, дозрівання і збору плодів і насіння.

Література

1. Махмед Б.М. Культура береки в Українській РСР. Київ : Урожай, 1965. 90 с.
2. Гордієнко М.І. Лісові культури рівнинної частини України / за ред. М.І. Гордієнка. Київ : Урожай, 2007. 678 с.
3. Буджак В.В. Берека (*Sorbus torminalis* (L.) Crantz) у північній Буковині та північній Бессарабії (хронологія, біоекологія, охорона) : дис. канд. ... біол. наук. Чернівці, 1996. 293 с.
4. Боднар А.О., Гордієнко М.І. Формування лісових насаджень у дібровах Поділля. Київ : Урожай, 2006. 336 с.
5. Іваненко Б.И. Фенология древесных и кустарниковых пород. Москва : «Сельхозиздат», 1962. 184 с.
6. Бейдемман И.Н. Методика изучения фенологии растений и растительных сообществ. Новосибирск : Наука, 1974. 155 с.
7. Юркевич И.Д., Голод Д.С., Ярошевич Э.П. Фенологические исследования древесных и травянистых растений : методическое пособие. Минск : Наука и техника, 1980. 88 с.
8. Булыгин Н.Е. Фенологические наблюдения над древесными растениями. Ленинград : ЛТА, 1976. 70 с.
9. Зайцев Г.Н. Фенология древесных растений. Москва : Наука, 1981. 120 с.
10. Методика фенологических наблюдений в ботанических садах СССР. Москва : ГБС АН СССР, 1975. 27 с.
11. Калініченко О.А. Декоративна дендрологія : навчальний посібник. Київ : Вища школа, 2003. 199 с.
12. Каппер В. Г. Об организации ежегодных систематических наблюдений над плодоношением древесных пород. *Труды по лесному опытному делу*. Ленинград, 1930. Вып. 8. С. 103–139.
13. Куликов Г.В., Гельберг М.Г. О динамике роста годичных побегов некоторых древесных растений в Крыму. *Биол. науки*. 1974. № 4. С. 74–79.

РОЗВИТОК КУЛЬТУРИ *DAPHNIA MAGNA STRAUS* У МОДИФІКОВАНОМУ СЕРЕДОВИЩІ КУЛЬТИВУВАННЯ

Якушева А.В.

Український науково-дослідний інститут екологічних проблем
вул. Бакуліна, 6, 61166, м. Харків
yakusheva.nastasya@gmail.com

У публікації наведені результати дослідження розвитку культури *Daphnia magna* Straus у модифікованому середовищі, яке отримували шляхом додавання до відстояної (мінімум 7 діб) водопровідної води (до 7 мг-екв/л) певного об'єму дистильованої води для досягнення значення жорсткості 4,6–5,0 мг-екв/л. Визначено, що таке середовище негативно впливає на розвиток культури. *Ключові слова*: біотестування, тест-організми, штучне середовище, культивування.

Развитие культуры *Daphnia magna* Straus в модифицированной среде культивирования. Якушева А.В. В публикации представлены результаты исследования развития культуры *Daphnia magna* Straus в модифицированной среде, которую получали добавлением к отстоянной (минимум 7 дней) водопроводной воде (до 7 мг-экв/л) определенного объема дистиллированной воды для получения значения жесткости 4,6–5,0 мг-экв/л. Определено, что такая среда негативно влияет на развитие культуры. *Ключевые слова*: биотестирование, тест-организмы, модифицированная среда, культивирование.

Cultivation of *Daphnia magna* Straus in the modified culture medium. Yakusheva A. The publication presents the results of the life cycle research of the culture *Daphnia magna* Straus in modified media, which was obtained by adding a certain volume of distilled water to settled (at least 7 days) tap water (to 7 mg eqv/l) to obtain a hardness value of 4.6–5.0 mg eqv/l. We determined that this media has a negative impact on the life cycle of the culture. *Key words*: biotesting, test-organisms modified media, cultivation.

Постановка проблеми. Під час проведення процедур із біотестування хімічних речовин, які можуть становити загрозу для водної екосистеми, у світі керуються методиками з визначення гострої та хронічної токсичності на відповідних тест-організмах. Найбільш поширеними серед них є методики Організації економічного співробітництва та розвитку (OECD¹) [1; 2] та Міжнародної організації зі стандартизації (ISO²) [3]. Вони регламентують підходи до проведення процедур із визначення гострої та хронічної токсичності хімічних речовин на таких організмах, як *Daphnia magna*, *Ceriodaphnia dubia*, *Danio rerio*, *Pseudokirchneriella subcapitata*, *Anabaena flos-aquae* тощо.

Для отримання відтворюваних результатів за допомогою цих методик використовуються стандартизовані умови культивування тест-організмів (температура, рН, концентрація розчиненого кисню, лужність, електропровідність, жорсткість тощо) та критерії достовірності проведення випробування (імобілізація тест-організмів у контрольній серії не більше 10%, чутливість тест-організмів, рівень їх плодючості в контрольній серії випробування тощо). Стандартизовані умови культивування є рекомендованими. Під цим розуміється можливість корегування середовища культивування залежно від потреб.

Актуальність дослідження. *Daphnia magna* є одним із найбільш популярних тест-організмів, які використовуються для визначення токсичності хімічних речовин. Незважаючи на те, що тест-організм є стандартизованим, умови культивування його дещо відрізняються. Відповідно до методик OECD та ISO бажано використовувати повністю синтетичне середовище ISO, ElenDt M4 та ElenDt M7, що є різними за хімічним складом. Вони технічно складні у приготуванні для багатьох вітчизняних лабораторій, які спеціалізуються на водній токсикології.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз літературних джерел показав, що не завжди синтетичні стандартизовані середовища є придатними для вирішення певних завдань. Їхній вибір може змінюватися залежно від фізико-хімічних властивостей хімічної речовини, для якої визначають значення гострої та хронічної токсичності [4].

Так, у роботі [5] наведено, що токсичність Cr (III) залежно від використаного середовища культивування може значно змінюватися. Авторами встановлено, що значення гострої та хронічної токсичності хімічної речовини було в діапазоні від 6 мг/л до 111 мг/л та від 0,047 мг/л до 3,4 мг/л відповідно.

Подібний результат було отримано в роботі [6], де було досліджено значення гострої токсичності

¹ OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development.

² SO – International Organization for Standardization.

еталонної хімічної речовини $K_2Cr_2O_7$ за 48 годин у різних середовищах культивування, які мали різні значення жорсткості. Авторами було встановлено, що зі збільшенням жорсткості збільшується і значення ефективної концентрації хімічної речовини за 48 годин експозиції.

У встановленні норм якості поверхневих вод у США отримане в лабораторних умовах значення ефективної концентрації для металів корегують з урахуванням жорсткості середовища [7].

Окрім вивчення проблеми чутливості *Daphnia magna* до різних хімічних речовин у разі зміни жорсткості середовища, набувають розвитку дослідження інших параметрів середовища культивування *Daphnia magna*: рН, лужності, розчинених органічних речовин тощо [8–11].

Метою роботи є визначення придатності модифікованого середовища для культивування *Daphnia magna* в лабораторних умовах.

Виклад основного матеріалу. У ході проведення дослідження умов культивування тест-організмів *Daphnia magna* та їх придатності до проведення процедур із визначення токсичності хімічних речовин було встановлено, що важливого значення набуває показник жорсткості, оскільки від його значення залежить біодоступність хімічних речовин. Відповідно до методик ДСТУ [12; 13] *Daphnia magna* необхідно культивувати у середовищі з жорсткістю до 7 мг-екв/л, однак регламентоване значення жорсткості в методиках ISO [3] OECD [1; 2] дещо нижче – 2,8–5 мг-екв/л. Якщо такі вимоги не виконуються у разі використання відстояної водопровідної води (мінімум 7 діб), методиками ISO [3], OECD [1; 2] пропонується використовувати штучні середовища

для культивування тест-організмів (ISO, Elendt M4 та Elendt M7), які складні у приготуванні. Виходячи з цього, для регулювання жорсткості у середовищі культивування *Daphnia magna* в умовах атестованої Лабораторії еколого-токсикологічних досліджень ХНУ імені В.Н. Каразіна було зроблено таке.

Оскільки фактичне значення жорсткості необхідно було понизити на мінімум 2 мг-екв/л для досягнення значення жорсткості відповідно до методик ISO [3], OECD [1; 2], було запропоновано отримувати модифіковане середовище культивування тест-організмів шляхом додавання до відстояної водопровідної води (мінімум 7 діб) певного об'єму дистильованої води для досягнення значення жорсткості 4,6–5,0 мг-екв/л. Таким чином, було виведено окремий клон культури *Daphnia magna*, розвиток якого в модифікованому середовищі досліджували. Контроль показників якості середовища культивування тест-організмів проводили за допомоги приладу PL700AL.

Розвиток *Daphnia magna* у модифікованому середовищі порівнювали з розвитком їх у стандартному середовищі культивування згідно з методиками ДСТУ [12; 13]. Спочатку отримували третє покоління тест-організмів, таким чином період акліматизації культури склав більше 30 днів. Затримка отримання першої молоді *Daphnia magna* I, II та III покоління не спостерігалася. Однак під час подальшого культивування тест-організмів у модифікованому середовищі було визначено ознаки незадовільного стану культури, про що свідчило таке. Так, за умови нормального розвитку культура *Daphnia magna* складається з організмів жіночої статі, які розмножуються партеногенезом (розвиток нового організму відбувається

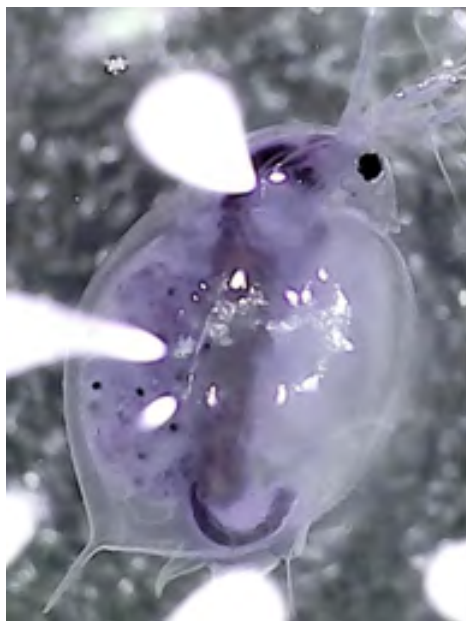


Рис. 1. *Daphnia magna* Straus за нормальних умов культивування (середовище ДСТУ) – зліва; *Daphnia magna* Straus за несприятливих умов культивування (модифіковане середовище) – справа

із незаплідненої яйцеклітини), що і спостерігали під час культивування тест-організмів в умовах середовища відповідно до ДСТУ (рис. 1).

Якщо параметри середовища культивування несприятливі для розвитку *Daphnia magna*, у культурі з'являються організми чоловічої статі, тож партеногенез змінюється на статеве розмноження, що спостерігали в культурі *Daphnia magna*, отриманій у модифікованому середовищі культивування. Про це явище свідчить утворення ефіпіумів – латентних яєць (рис. 1).

Головні висновки. На основі проведеного дослідження було доведено, що культивування

Daphnia magna Straus у модифікованому середовищі, яке отримується шляхом додавання до відстояної водопровідної води (мінімум 7 діб) певного об'єму дистильованої води для досягнення значення жорсткості 4,6–5,0 мг-екв/л, не рекомендується. Для проведення випробувань із визначення токсичності хімічних речовин на *Daphnia magna* необхідно використовувати стандартизовані умови культивування відповідно до методик ДСТУ або ISO, OECD. У разі переходу на синтетичні середовища культивування *Daphnia magna* необхідно дотримуватися періоду акліматизації строком більше одного місяця.

Література

1. OECD 2004. *Daphnia* sp. Acute Immobilisation Test, OECD Guideline for the testing of chemicals, Guideline 202.
2. OECD 2012. *Daphnia magna* Reproduction test, OECD Guideline for the testing of chemicals, Guideline 211.
3. ISO 6341:2012 Water quality – Determination of the inhibition of the mobility of *Daphnia magna* Straus (Cladocera, Crustacea) – Acute toxicity test.
4. Bioassay standardization issues in freshwater ecosystem assessment: test cultures and test conditions / Vera Terekhova et al. *Knowl. Manag. Aquat. Ecosyst.* 2018. № 419 (32). P. 14. DOI: 10.1051/kmae/2018015.
5. How reliable are data for the ecotoxicity of trivalent chromium to *Daphnia magna*? / B. Ponti et al. *Environmental Toxicology*. 2014. Vol. 33 (10). P. 2280–2287. DOI: 10.1002/etc.2672.
6. Changes in aquatic toxicity of potassium dichromate as a function of water quality parameters / M. Kikuchi et al. *Chemosphere*. 2017. Vol. 170. P. 113–117. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2016.11.158.
7. National Recommended Water Quality Criteria. EPA. 2004. URL: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/nrwqc-2004.pdf> (дата звернення 29.01.2019).
8. Effects of silver nanoparticle properties, media pH and dissolved organic matter on toxicity to *Daphnia magna* / F. Seitz et al. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2015. Vol. 111. P. 263–270. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2014.09.031.
9. Ecotoxicology and Environmental Safety / Eunhye Bae et al. 2016. Vol. 132. P. 366–371. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2016.06.034.
10. Akira Okamoto, Masumi Yamamuro, Norihisa Tatarazako. Acute toxicity of 50 metals to *Daphnia magna*: Acute toxicity of 50 metals to *D. magna*. *Journal of Applied Toxicology*. 2014. Vol. 35 (7). P. 824–830. DOI: 10.1002/jat.3078.
11. Elizabeth M. Traudt, James F. Ranville, Joseph S. Meyer. Effect of age on acute toxicity of cadmium, copper, nickel, and zinc in individual metal exposures to *Daphnia magna* neonates. *Environmental Toxicology*. 2017. Vol. 36 (1). P. 113–119. DOI: 10.1002/etc.3507.
12. ДСТУ 4174-2003. Якість води. Визначання сублетальної та хронічної токсичності хімічних речовин та води на *Daphnia magna* Straus і *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg (Cladocera, Crustacea) (ISO 1076:2000, MOD).
13. ДСТУ 4173-2003. Якість води. Визначання гострої летальної токсичності на *Daphnia magna* Straus та *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg (Cladocera, Crustacea) (ISO 6341:1996, MOD).

ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ВІДВЕДЕННЯ ШАХТНИХ ВОД У ПЕРІОД БУДІВНИЦТВА ВУГЛЕВИДОБУВНОЇ ШАХТИ

Доценко О.О.

Український науково-дослідний інститут екологічних проблем
вул. Бакуліна, 6, 61166, м. Харків
olenadotsenko@ukr.net

Виконано екологічне обґрунтування схеми водовідведення розбавлених шахтних вод у р. Рата через канал «Бутинський». Здійснено прогноз зміни мінералізації ґрунтових вод у зоні впливу каналу «Бутинський» під час транспортування шахтних вод у р. Рата. Розраховано прогнозні водопритоки та мінералізації шахтних вод під час будівництва та експлуатації шахти «Любельська» № 1–2. Отримано результати розрахунку тимчасових фільтраційних втрат і витрат у береги каналу «Бутинський». Визначено витрати ґрунтового потоку в районі проходження каналу. Зроблено висновки щодо прогнозних розрахунків впливу на поверхневі і підземні води та підвищення екологічної безпеки відведення шахтних вод через канал «Бутинський» у р. Рата.
Ключові слова: екологічна безпека, мінералізація шахтних вод, фільтраційні втрати, витрати ґрунтового потоку.

Повышение экологической безопасности отведения шахтных вод в период строительства угледобывающей шахты.

Доценко Е.А. Выполнено экологическое обоснование схемы водоотведения разбавленных шахтных вод в р. Рата через канал «Бутинский». Проведен прогноз изменения минерализации грунтовых вод в зоне влияния канала «Бутинский» при транспортировке шахтных вод в р. Рата. Рассчитаны прогнозные водопритоки и минерализации шахтных вод при строительстве и эксплуатации шахты «Любельская» № 1–2. Получены результаты расчета временных фильтрационных потерь и расходов в берега канала «Бутинский». Определены потери грунтового потока в районе прохождения канала. Сделаны выводы относительно прогнозных расчетов влияния на поверхностные и подземные воды и повышения экологической безопасности отведения шахтных вод через канал «Бутинский» в р. Рата. *Ключевые слова:* экологическая безопасность, минерализация шахтных вод, фильтрационные потери, расходы грунтового потока.

Improving the environmental safety of mine water discharge during the construction of a coal mine. Dotsenko E. Ecological substantiation of the drainage scheme for diluted mine waters in the river Rata through the channel “Butynsky”. A forecast of changes in the salinity of groundwater in the zone of influence of the “Butynsky” channel during the transportation of mine water to the river Rata. The predicted water inflow and mineralization of mine water during the construction and operation of the mine “Lyubelskaya” № 1–2 are calculated. The results of the calculation of temporal seepage losses and costs in the banks of the channel “Butynsky” were obtained. The losses of the groundwater flow in the area of the channel passage are determined. Conclusions have been made regarding predictive calculations of the impact on surface and groundwater and on the improvement of the environmental safety of the discharge of mine water through the Butynsky Canal into the river Rata. *Key words:* environmental safety, mineralization of mine waters, seepage losses, groundwater flow rates.

Постановка проблеми. Проблема охорони поверхневих вод і взаємопов’язаних із ними підземних вод, зокрема, від забруднення шахтними водами, залишається актуальною і досі не вирішеною, незважаючи на більш потужні наукові і технічні можливості сьогодні.

Крім забруднення механічними і органічними домішками, шахтні води характеризуються високою мінералізацією, що обмежує їх комплексне використання в промисловості без належного очищення, а також становить реальну небезпеку забруднення для поверхневих і підземних вод [1].

Зниження кількості різних забруднюючих речовин, які скидаються в природні водні об’єкти, є одним із важливих і актуальних природоохоронних заходів [2].

Постійний перехід гірничих робіт на більш глибокі горизонти призводить до збільшення обсягів і

ступеня забрудненості різними речовинами шахтних вод. Вимоги до якості очищення шахтних вод під час випуску їх у водні об’єкти, а також у разі подальшого їх використання зумовлюють необхідність широкого застосування різноманітних методів і технологій очищення [3]. Така ситуація зумовлює знаходження нових екологічно безпечних комплексних рішень на вуглевидобувних шахтах, які тільки будуються.

На території Жовківського і Сокальського районів Львівської області України на відстані 40 км на північ від міста Львова та південний-захід від діючих шахт Червоноградського вуглепромислового району планується будівництво перспективної шахти «Любельська» № 1–2 Львівсько-Волинського кам’яновугільного басейну України. Проект «Будівництво шахти «Любельська № 1–2» Львівсько-Волинського кам’яновугільного басейну України» розроблений і затверджений у 2008 році [4].

Актуальність дослідження. Згідно з проектними рішеннями, на другому етапі проходження шахтних стволів і на період експлуатації шахти у зв'язку зі значними об'ємами та високою мінералізацією (до 20 г/дм³) шахтних вод передбачалось їх відведення на установку демінералізації [5].

У період будівництва під час реалізації проектних рішень було змінено запроєктовану технологію проходження стволів на більш сучасну й екологічно прийнятну – прогнозна мінералізація шахтних вод значно нижча і очікується до 5,0–6,0 г/дм³. У таких умовах використання установки демінералізації шахтних вод на період будівництва є нерентабельним і недоцільним.

При цьому виникла проблема вибору альтернативного варіанту утилізації шахтних вод.

На період будівництва планується влаштувати ефективні малі очисні споруди на центральному проммайданчику, а відведення зворотних шахтних вод після змішування з дренажними та дощовими водами (розбавлення) здійснювати в річку Рата по каналу-колектору «Бутинський» Бутинської осушної системи [6].

Така ситуація дала підставу переглянути схему водовідведення на період будівництва. Прийнятна схема полягає в акумуляції та змішуванні шахтних вод з іншими, зокрема дренажними та дощовими водами, для подальшого відведення їх у розбавленому вигляді в канал «Бутинський» [7].

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Поряд із прогнозом підняття рівня ґрунтових вод необхідним з екологічного погляду є прогнозування зміни їх мінералізації. Прогнозні дані про зміну мінералізації ґрунтових вод під впливом скидання шахтних вод у канал «Бутинський» будуть використані для обґрунтування необхідності реалізації заходів щодо захисту ґрунтових вод, рослинності та якості ґрунтів на сільськогосподарських угіддях і на територіях населених пунктів.

Незважаючи на незначний вплив скидання шахтних вод як на гідрологічний режим каналу «Бутинський», так і на гідродинамічний режим ґрунтових вод, про що свідчать результати проведених розрахунків, підпір ґрунтових вод завдяки шахтним водам може супроводжуватись зміною їх мінералізації внаслідок змішування з мінералізованими шахтними водами, які поступають під час берегової фільтрації з каналу.

З метою екологічного обґрунтування були виконані розрахунки зміни мінералізації ґрунтових вод, які можливі за максимального підняття рівня води в каналі внаслідок скиду шахтних вод із максимальною витратою і максимальною мінералізацією.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз інформації щодо стану поверхневих і підземних вод України [8], а також щодо наявних технологій очищення шахтних вод свідчить, що сьогодні переважна

частина шахтних вод має підвищену та високу мінералізацію і забруднена іншими шкідливими домішками, які не дають змоги скидати їх у поверхневі водойми без глибокого очищення [2]. Розроблені наявні установки очищення не забезпечують комплексного вирішення проблеми скиду цих вод, оскільки очищення супроводжується утворенням значної кількості твердих і рідких відходів [1; 3; 5].

Перелік водоохоронних заходів щодо профілактики впливів відходів на водне середовище включає розроблення та обґрунтування інноваційних першочергових заходів залежно від значимості природно-техногенних факторів у формуванні якості річних вод, а саме – очищення шахтних вод (їх демінералізацію) перед скиданням у гідрографічну мережу.

Необхідність створення інноваційних методів демінералізації – очищення високомінералізованих шахтних вод для забезпечення екологічного стану водних об'єктів (річок, водойм і підземних вод) гірничо-видобувних регіонів України є досить актуальною нині [3; 9; 10].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Для вирішення питань, пов'язаних із водовідведенням шахтної води в канал «Бутинський» і далі – у р. Рата, постає необхідність обґрунтування екологічної прийнятності варіанта водовідведення, тобто обґрунтування таких витрат і мінералізації шахтної води, які під час скиду в канал «Бутинський» не будуть спричиняти підтоплення прилеглих територій і підвищення мінералізації ґрунтових вод.

Важливим елементом гідрогеологічного прогнозування є розрахунок можливого підняття рівня ґрунтових вод, на основі якого визначається ступінь впливу каналу «Бутинський» на гідродинамічний і гідрохімічний режими ґрунтових вод, та за необхідності визначення складу і терміну проектування профілактичних заходів із боротьби з підтопленням прилеглих територій та із забрудненням підземних вод.

Новизна. Під час відведення шахтних вод за запропонованою схемою осушній ефект дренажного режиму меліоративного каналу «Бутинський» не порушиться і функціональне призначення каналу буде зберігатися.

Методологічне або загальнонаукове значення. Для екологічного обґрунтування застосовувалися розрахункові методи гідрогеологічного прогнозування, визначення впливу транспортування шахтних вод по каналу «Бутинський» на гідрогеологічні умови; розрахункові методи визначення стану водоприймача шахтних вод – р. Рата. Основою для розрахунків послужили матеріали натурних екологічних досліджень [11]. З цією метою були проведені такі розрахунки:

– максимального підйому рівня води та максимальних витрат у каналі «Бутинський» у природних умовах – у періоди повені та дощових паводків;

– максимального підйому рівня води в каналі «Бутинський» під час скиду шахтних вод із постій-

ними витратами 40 м³/год та з максимальною витратою 300 м³/год та підйому рівня в каналі під час скиду 40 м³/год;

– підйому ґрунтових вод на прилеглих до каналу територіях за максимального підйому рівня води в каналі завдяки шахтним водам (визначення підпору ґрунтових вод).

– визначення мінералізації ґрунтових вод у зоні впливу каналу «Бутинський» під час транспортування по ньому шахтних вод у р. Рата.

Виклад основного матеріалу.

Розрахунок максимального підйому рівня води в каналі «Бутинський» під час скиду шахтних вод із витратами 300 м³/год (0,083 м³/с) та 40 м³/год (0,011 м³/сек)

Для визначення максимальних рівнів води в каналі «Бутинський», що відповідають максимальним витратам (300 м³/год. чи 0,083 м³/с), вибрано такі ділянки каналу: 1 – ПК0 – ПК63; 2 – ПК63 – ПК – 83, що відрізняються літологічним складом порід.

На першій ділянці канал проходить у пісках світло-сірих дрібно- і середньозернистих глинистих, на другій – у супісках світло-сірих пилюватих. На цих ділянках для розрахунків вибрано типові створи (поперечні профілі) каналу «Бутинський»:

Розрахунковий створ № 1 – проходження каналу по території лісового масиву (ПК-33).

Розрахунковий створ № 2 – проходження каналу по території, де розташовані сільськогосподарські угіддя (ПК-67).

Необхідно зазначити, що ухили водної поверхні на ділянках, де вибрані розрахункові створи, відрізняються на порядок: на ділянці першого створу $I = 0,031$; на ділянці другого створу $I = 0,00056$. Максимальні рівні води в каналі «Бутинський» розраховувались з огляду на залежність витрат води в каналі від висоти стояння рівня води в ньому $Q = f(H)$. Між рівнем води в каналі (H), площею живого перерізу (ω) та середньою швидкістю (V) також є залежності: $\omega = f(H)$; $V = f(H)$.

Площа водного розрізу поперечників (ω) розраховувалась по поперечним профілям каналу з інтервалом по амплітуді рівня води (H) в 1-ому створі – 0,4–1,2 м; у 2-ому створі – 0,4–0,5 м. Відповідно, їм розраховувались середні швидкості і витрати води [12].

Витрати води в каналі визначались за формулою:

$$Q = \omega \cdot V_{cp}, \quad (1)$$

де ω – площа водного розрізу ($\omega = a \times b \times h$), м²; V_{cp} – середня швидкість течії, м/с.

Середня швидкість розраховувалась із використанням формули Шезі-Маннінга:

$$V = \frac{1}{n} \times h^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}}, \quad (2)$$

де n – коефіцієнт шорсткості русла; h – середня глибина води в руслі, м; I – ухил водної поверхні.

Як свідчать результати розрахунків, скид шахтних вод у кількості 300 м³/год (0,083 м³/с) зумо-

вить максимальне підвищення рівня води над наявним у каналі на 0,083 м (8,3 см) в 1-ому створі та на 0,1 м (10 см) – у 2-ому створі.

Скидання шахтних вод у кількості 40 м³/год (0,011 м³/с) зумовить підвищення рівня води в каналі на 0,014 м (1,4 см) – у першому створі та 0,016 м (1,6 см) – у другому створі, що практично не позначиться на гідрологічному режимі каналу.

Розрахунок тимчасових фільтраційних втрат і витрат у береги каналу «Бутинський» під час скидання шахтної води

Оскільки канал «Бутинський» є осушним, тобто він дренає ґрунтові води, та враховуючи незначне підвищення завдяки шахтним водам рівня води в каналі (не більше 0,1 м (10 см), який не перевищує рівня ґрунтового потоку поза зоною впливу осушного каналу, постійні фільтраційні втрати з каналу будуть відсутні.

Частина води з каналу буде втрачатись лише на насичення порід, які складають береги каналу, тобто буде відбуватись берегова фільтрація, завдяки якій формуються тимчасові фільтраційні втрати з каналу.

Тимчасові втрати шахтної води з каналу будуть відбуватись лише протягом часу насичення порід у берегах каналу, а насичення порід у берегах каналу «Бутинський» буде відбуватись під час підйому рівня води в каналі до максимально можливого, під час витрати шахтних вод 300 та 40 м³/год.

Об'єм води, який профільтреться з каналу на одиницю довжини його берегів за час t , розраховувався за формулою Н.Н. Верігіна:

$$V_t = (y_1^2 - h_1^2) \cdot \left[\sqrt{\frac{k \cdot \mu \cdot t}{\pi \cdot h_{cp}}} - \frac{k \cdot t}{2l} \right], \quad (3)$$

де, y_1 – висота рівня ґрунтового потоку над водотривом на урізі каналу за підпору, м; h_1 – висота рівня ґрунтового потоку над водотривом на урізі каналу до підпору, м; x – відстань від берегів каналу до граничної точки кривої депресії, на яку поширюється підпір, м; h_{cp} – середня висота рівня ґрунтового потоку над водотривом, м.

$$h_{cp} = \frac{2y_1 + h_1}{3}. \quad (4)$$

Продовження періоду насичення визначалося за формулою:

$$T = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{\mu \cdot l^2}{k \cdot h_{cp}}. \quad (5)$$

Схематична характеристика гідрогеологічних розрізів (розрахункових схем) та основні вихідні дані й результати розрахунків для типових поперечників наведені в таблицях 1 і 2.

Період насичення порід у берегах каналу під час скидання шахтних вод з витратами 300 м³/год., у 1-ому створі (ПК-33) відбудеться протягом 2,06 діб; у 2-ому створі (ПК-67) – протягом 1,22 доби.

За цей час об'єм води, яка профільтреться з каналу на одиницю довжини берега (фільтраційні втрати), буде складати в створі 1 – 0,092 м³ (за 2,06

діб); у 2-ому створі – 0 0797 м³ (за 1,22 доби), що відповідає витратам 0,045 м³/добу та 0,065 м³/добу відповідно (або 1,87 л/год. та 2,7 л/год. відповідно).

Під час скидання шахтних вод у кількості 40 м³/год період насичення порід завдяки береговій фільтрації становить у 1-ому створі 1 (ПК-33) – 0,07 діб; у 2-ому створі (ПК-67) – 0,08 діб.

Фільтраційні втрати при цьому будуть дорівнювати в 1-ому створі 0,003 м³ (за 0,07 діб) та в 2-ому створі – 0,0032 м³ (за 0,08 діб), що відповідає фільтраційним витратам 0,042 м³/добу в 1-ому створі та 0,040 м³/добу у 2-ому створі та становить 1,75 л/год та 1,67 л/год відповідно.

Одержані розрахункові фільтраційні втрати з каналу завдяки береговій фільтрації та фільтраційні витрати з каналу служать основою для визначення зміни мінералізації ґрунтових вод і, відповідно, для визначення зони впливу каналу під час транспортування шахтних вод на гідрохімічний режим ґрунтових вод.

Визначення витрат ґрунтового потоку в районі проходження каналу «Бутинський»

У геологічній будові території проходження каналу «Бутинський» беруть участь сучасні алювіальні відклади, які представлені суглинками сірими, пластичними, середньощільними; пісками світло-

сірими дрібно- і середньозернистими, місцями глинистими, водонасиченими – на ділянці ПК0 – ПК 63; та супісками світло-сірими пилюватими – на ділянці ПК – 63 – ПК – 83. Ґрунтові води в пісках і супісках залягають на глибині 0,5–1,5м.

Згідно з геологічною будовою та гідрогеологічними умовами (табл. 1 і 2), потік підземних вод схематизується як неоднорідний водоносний пласт, що підстиляється горизонтальним водотривом, з умовами усталеного руху з постійною швидкістю, який підпорядковується лінійному закону фільтрації [13].

Витрата ґрунтового потоку q визначається за формулою:

$$q = k_{cp} \times h \times I, \tag{6}$$

де h – середня потужність водного пласту, м; I – середній ухил поверхні ґрунтових вод; k_{cp} – середній коефіцієнт фільтрації, м/добу.

$$h_{cp} = \frac{h_1 + h_2}{2}; \tag{7}$$

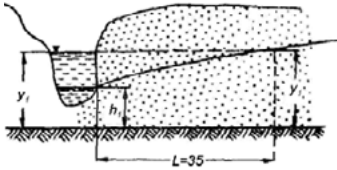
$$I = \frac{h_1 + h_2}{L}, \tag{8}$$

де h_1 і h_2 – потужність водоносного горизонту на віддалі L від урізу води в каналі (h_1), та на урізі в каналі (h_2).

Враховуючи неоднорідну будову водотримуючих порід, які на порядок відрізняються коефіцієн-

Таблиця 1

Основні вихідні дані та результати розрахунків фільтраційних втрат у береги каналу «Бутинський» за витрат шахтних вод 300 м³/год та 40 м³/год

Розрахункова схема (за витрат 300 м ³ /год)	Розрахункова зона впливу каналу L , м	Коефіцієнт фільтрації, м/добу	Прийняті значення недостатку насичення, μ	h_1 , м	h_{cp} , м	u_1 , м	Тривалість періоду фільтрації з каналу, доба	Фільтраційні втрати на одиницю довжини берега, V_p , м ³	Витрати берегової фільтрації, q_1 , м ³ /добу та м ³ /год	Витрати берегової фільтрації, q_1 , дм ³ /добу та дм ³ /год
Створ 1 (ПК 33)		5,0	0,26	3,10	3,15	3,18	2,06	0,0305	0,052 (0,0021)	52,0 (2,2)
Створ 2 (ПК 67)										

тами фільтрації, в розрахунках використовувались середньовагові значення коефіцієнта фільтрації, який визначався за формулою:

$$K_{cp} = \frac{\kappa_1 \times h_1 + \kappa_2 \times h_2 + \kappa_3 \times h_3}{h_1 + h_2 + h_3}, \quad (9)$$

де $\hat{e}_1, \hat{e}_2, \hat{e}_3$ – коефіцієнти фільтрації водотримуючих порід, м/добу; n_1, h_2, h_3 – потужність пластів (1, 2, 3), м.

Розрахунки мінералізації ґрунтових вод у зоні впливу каналу «Бутинський» в умовах відведення шахтних вод

Згідно з розрахунками, в умовах підвищення рівня води в каналі «Бутинський» на 0,1 м (10 см) в 2-ому створі і 0,083 м (8,3 см) – у 1-ому створі, втрати шахтних вод із мінералізацією 9,6 г/дм³ становлять 0,042 м³, і 0,0403 м³ відповідно.

Витрати води з каналу на фільтрацію в береги на одиницю довжини берега становитимуть 0,003 м³/добу.

Витрати ґрунтового потоку на одиницю довжини берега до підпору становлять 0,0032 м³/добу.

Мінералізацію ґрунтових вод, яка буде формуватись під час допущення миттєвого змішування високмінералізованих шахтних вод, що профільтрувались у береги каналу і ґрунтових вод, гідравлічно

взаємопов'язаних із каналом, визначались розрахунковим способом за формулою змішування:

$$C_{cp} = \frac{C_e \times Q_e + C_\phi \times Q_\phi}{Q_e + Q_\phi}, \quad (10)$$

де C_e – природна мінералізація води в ґрунтовому потоці, який притікає до берега каналу, г/дм³; Q_e – витрата природного потоку ґрунтових вод, м³/добу; C_ϕ – максимальна мінералізація шахтної води, що профільтрувалась у береги, г/дм³; Q_ϕ – фільтраційні втрати шахтної води з каналу, м³/доб.

Вихідні дані та результати наводяться в таблиці 3.

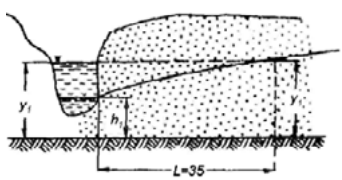
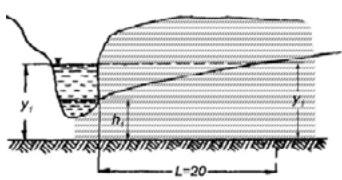
Одержані результати прогнозних розрахунків свідчать, що мінералізація ґрунтових вод у зоні впливу каналу «Бутинський» під час змішування з шахтними водами, які будуть відводитися в р. Рата, буде становити 0,97 г/дм³ в 1-ому створі і 0,94 г/дм³ у 2-ому створі.

Необхідно зауважити, що одержана розрахункова мінералізація ґрунтових вод у зоні впливу каналу «Бутинський» є розрахунковим максимумом і має «екологічний запас надійності», оскільки визначалась:

– для умов максимально можливих витрат шахтних вод (300 м³/год.);

Таблиця 2

Основні вихідні дані та результати розрахунків фільтраційних втрат у береги каналу «Бутинський» за витрат шахтних вод 300 м³/год та 40 м³/год

Розрахункова схема (за витрат 40 м ³ /год)	Розрахункова зона впливу каналу L, м	Коефіцієнт фільтрації, м/добу	Прийняті значення недостатку насичення, μ	h ₁ , м	h _{cp} , м	У ₁ , м	Тривалість періоду фільтрації з каналу, доба	Фільтраційні втрати на одиницю довжини берега, V ₁ , м ³	Витрати берегової фільтрації, q ₁ , м ³ /добу	Витрати берегової фільтрації, Q ₁ , дм ³ /добу
Створ 1 (ПК 33)		2,5	0,26	3,10	3,11	3,114	0,07	0,003	0,042	42,0
0,5-1,0										
Створ 2 (ПК 67)		2,06	0,21	3,11	3,11	3,116	0,08	0,0032	0,0403	40,3
1,0-1,5										

– для умов максимально можливої мінералізації шахтних вод – 9,6 г/дм³ (без врахування розбавлення з дренажними та дощовими водами):

без врахування розпріснення завдяки інфільтрації атмосферних опадів.

Висновки щодо прогнозних розрахунків впливу на поверхневі і підземні води та екологічне обґрунтування відведення шахтних вод через канал «Бутинський» в р. Рата

Як свідчать результати розрахунків, скид шахтних вод у кількості 300 м³/год (0,083 м³/с) спричинить максимальне підвищення рівня води над наявним у каналі на 0,083 м (8,3 см) в 1-ому створі та на 0,1 м (10 см) у 2-ому створі.

Скидання шахтних вод у кількості 40 м³/год (0,011 м³/с) зумовить підвищення рівня води в каналі на 0,014 м (1,4 см) в 1-ому створі та 0,016 м (1,6 см) в 2-ому створі. Таке підняття рівня води в каналі практично не буде впливати на гідрологічний режим каналу.

Згідно з розрахунками, підпір ґрунтових вод під час скидання шахтних вод із витратами 300 м³/год дуже незначний і пошириться на відстань до 5 м у 1-ому створі і до 6,5 м – у 2-ому створі. При цьому максимальний підйом рівня ґрунтових вод у 1-ому створі становить 0,01 м (1,0 см) на відстані 5,5 м і близько 0,0092 м (1,0 см) на відстані 4,5 м.

У 2-ому створі максимальний підйом рівня ґрунтових вод становить 0,068 м (6,8 см) на відстані 1,0 м і на 0,001 м (1 см) на відстані 6 м.

Підпір ґрунтових вод під час транспортування шахтних вод із витратою 40 м³/год пошириться в 1-ому створі на відстань до 0,5–1,0 м; у 2-ому створі – на відстань 1,0–1,5 м. При цьому і в 1-ому, і в 2-ому створах рівень ґрунтових вод максимально підвищиться на 0,011 м (1,1 см) та 0,010 м (1,0 см) відповідно.

Результати розрахунків свідчать, що скидання шахтних вод як у кількості 300 м³/год (максимально можливі витрати в непередбачуваних умовах), так і під час скидання 40 м³/год (заплановані постійні витрати шахтних вод), отже, і під час скидання від 40 до 140 м³/год, майже не позначиться на зміні рівневого режиму ґрунтових вод.

Розрахункова зона поширення підпору ґрунтових вод не перевищує 1,5–6,5 м і одночасно є межею

плширення впливу каналу «Бутинський» на гідрологічні умови прилеглої території в умовах скиду в нього зворотних шахтних вод.

Враховуючи, що розрахункова прогнозна мінералізація ґрунтових вод (0,94–0,97 г/дм³), яка буде триматись протягом незначного часу (впродовж 1–2 діб на початку скидання шахтних вод), не перевищує нормативних вимог до якості (1 г/дм³), транспортування шахтної води каналом «Бутинський» в р. Рата є екологічно прийнятним і не спричинить змін гідрологічних умов в районі та зміни структури й забруднення ґрунтів.

Водний режим території проходження каналу «Бутинський» пов'язаний із режимом четвертинного водоносного горизонту, який не має зв'язку з нижчими залягаючими напірними водоносними горизонтами (відділений від них водотривким шаром гірничих порід), що забезпечує їх надійний захист від забруднення під час проходження шахтних вод каналом і відіграє позитивну роль в умовах формування депресивної воронки в підземних водах у період будівництва й експлуатації шахти, запобігаючи виникненню порушень гідрологічного режиму каналу «Бутинський» і, відповідно, забезпечить прийнятні умови відведення по ньому шахтних вод у р. Рата.

Головні висновки. В умовах відстоювання в ставках-накопичувачах і під час розбавлення дренажними водами несприятливий вплив відведення шахтних вод каналу «Бутинський» на поверхневі води р. Рата, як у період будівництва, так і під час експлуатації шахти, виключається.

В аварійних умовах – під час проходження тектонічно порушених зон і можливого збільшення скиду шахтних вод із витратами до 300 м³/год із мінералізацією 20 г/дм³ – тимчасовий вплив на ґрунтові води в зоні підпору буде проявлятися в підвищенні їх мінералізації до 0,94–0,97 г/дм³ впродовж однієї доби. При цьому вплив на гідрохімічний режим ґрунтових вод буде досить незначним і короткочасним.

Враховуючи, що розрахункова мінералізація ґрунтових вод не перевищує нормативних вимог до їх якості (1 г/дм³), транспортування шахтної води каналом «Бутинський» у р. Рата є екологічно прийнятним і не спричинить змін гідрологічних умов (гідродинамічного та гідрохімічного режимів ґрунтових вод) у районі.

Таблиця 3

Вихідні дані та результати розрахунків мінералізації ґрунтових вод у зоні впливу каналу «Бутинський»

Ділянки каналу, на які поширюються гідрологічні умови вибраних створів	Витрати берегової фільтрації, м ³ /добу дм ³ /добу	Мінералізація шахтної води, що фільтрується в береги каналу, г/дм ³	Витрати ґрунтового потоку, м ³ /добу дм ³ /добу	Мінералізація ґрунтових вод, що притікають до каналу, г/дм ³
Створ 1 (ПК – 33) ПК 0 – ПК 63	0,0421/42	9,6	0,826/82,6	0,97
Створ 2 (ПК 67) ПК 63 – ПК 83	0,0403/40	9,6	0,83/83	0,94

Перспективи досліджень. Транспортування шахтних вод із такою мінералізацією і з такими витратами з каналу «Бутинський» не спричинить відчутних тимчасових змін гідрохімічного режиму ґрунтових вод у зоні проходження каналу. Надалі вплив на гідрохімічний режим ґрунтових вод виключається.

Одним із найважливішим охоронних заходів є організація моніторингу якості підземних і поверхневих вод, рослинності і ґрунтів в межах санітарно-захисної зони каналу «Бутинський» і поверхневих вод р. Рата [14; 15].

Необхідно зазначити, що під час проектування враховувалися нові технології й наукові досягнення, що забезпечують ефективне обмеження або повне

виключення наслідків техногенного тиску в умовах скиду шахтних вод під час будівництва нової шахти.

Отже, у разі дотримання прийнятих у проекті ГДС умов режиму відведення зворотних шахтних вод у канал «Бутинський» і далі – у р. Рата та їх гідрохімічного складу проектована діяльність у період будівництва стволів шахти «Любельська» № 1–2 не здійснить негативного впливу на поверхневі водні об'єкти, що не виключає необхідності надалі проведення моніторингу [16].

В умовах ведення локального моніторингу, навіть під час виникнення негативних змін навколишнього середовища, за відповідних заходів і контролю над дотриманням нормативних вимог негативні наслідки можуть бути істотно мінімізовані.

Література

1. Долина Л.Ф. Сточные воды предприятий горной промышленности и методы их очистки: справочное пособие. Днепропетровск: Изд-во «Молодежная экологическая лига Приднепровья», 2000. 61 с.
2. Водний кодекс України, 1995р. *Відомості Верховної Ради України*. 1995. № 24. 99 с.
3. Монгайт И.Л., Текиниди К.Д., Николадзе Г.И. Очистка шахтных вод. М: «Недра», 1978.
4. Проект будівництва шахти «Любельська» № 1–2 Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну України (коригування). Т. I. Пояснювальна записка – Організація будівництва. Кн. № 5. ПЗ759-ПЗ5. Державне підприємство «Проектування будівництва підприємств вугільної промисловості «ПІВДЕНДІПРОШАХТ». Харків, ДП «ПІВДЕНДІПРОШАХТ», 2016. 84 с.
5. Михайленко В.Г., Бабаєв М.В., Хиневич А.Е. Ресурсосберегающий комплекс деминерализации шахтной воды. *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення*: матер. IV Міжнар. наук.-практ. конф. (8–12 вересня 2008 р, Харків): зб. наук. ст. Харків, УКРНДІЕП, 2008. С. 387–391.
6. Звіт «Оцінка та обґрунтування екологічно прийнятних рішень з охорони водного середовища в умовах проходження стволів шахти «Любельська» № 1–2 та розроблення проекту ГДС в «Бутинський» канал на період будівництва». Кн. № 1 «Оцінка та обґрунтування екологічно прийнятних рішень з охорони водного середовища в умовах проходження стволів шахти «Любельська» № 1–2». Харків, УКРНДІЕП, 2011.
7. Доценко Е.А., Бабаєв М.В., Маркина Н.К. Экологическое обоснование корректировки системы отведения шахтной воды на период проходки стволов шахты «Любельская» № 1–2 Львовско-Волинского угольного бассейна. *Проблемы охраны окружающей природной среды и экологической безопасности*: сб. науч. тр. УкрНИИЭП. Харьков: «Райдер», 2015. Вип. XXXVII. С. 143–152.
8. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища України у 2016 році. URL: <https://menr.gov.ua/news/31445.html>.
9. Меркулов В.А. Охрана природы на угольных шахтах. М.: «Недра», 1981. 184 с.
10. Черкинский С.Н. Санитарные условия спуска сточных вод в водоёмы. Москва: «Стройиздат», 1971. 208 с.
11. Особливості організації та проведення моніторингу підземних та поверхневих вод у районі розташування вуглевидобувної шахти «Любельська» № 1–2 Волино-Подільського вугільного басейну / О.О. Доценко, Н.К. Маркіна, О.О. Дмитрієва, М.В. Бабаєв // *Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки*: зб. наук. пр. УКРНДІЕП. Харків: «Райдер», 2017. Вип. XXXVIII. С. 12–20.
12. Справочник гидрогеолога / Под общей ред. М.Е. Альтовского. М.: «Госгеолтехиздат», 1962. 616 с.
13. Гидродинамические основы прогноза режима грунтовых вод. *Труды лаборатории гидрогеологических проблем им. Ф.П. Саваренского*. Т. XXVI. М.: «Изд-во Академии наук СССР», 1960.
14. Доценко Е.А., Маркина Н.К., Бабаєв М.В. Программа комплексного мониторинга в условиях отведения шахтных вод по мелиоративному каналу в реку Рата (приток реки Западный Буг). *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення*: матер. X Міжнар. наук.-практ. конф. (7–8 вересня 2014 р, м. Харків): зб. наук. статей. Харків, УКРНДІЕП, 2014. С. 164–172.
15. Программа проведения комплексного мониторинга компонентов природной среды на территории прохождения канала «Бутинский» в условиях транспортировки по нему шахтных вод в период строительства шх. «Любельская» № 1–2 с рекомендациями обустройства пунктов наблюдений. УкрНИИЭП, Харьков, 2011. 40 с.
16. Звіт. Розробка проекту гранично допустимих скидів (ГДС) речовин із зворотними водами ДП «Сі-Сі-Ай-Любеля» шахта «Любельська» № 1–2 в р. Рата (басейн Західного Бугу). Харків, УКРНДІЕП, 2010.

МОНІТОРИНГ ТА РАЦІОНАЛЬНЕ ВИКОРИСТАННЯ ВОДНИХ РЕСУРСІВ У РЕАЛІЯХ СЬОГОДЕННЯ

Критська Я.О.

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля
пр. Центральний 59-а, 93400, м. Северодонецьк
krytska@snu.edu.ua

У статті представлено огляд стану водних ресурсів України на тлі факторів впливу з комплексною обробкою наявних наслідків та змін, які фіксуються офіційними джерелами за останні десять років. За результатами виявлених факторів запропоновано обґрунтування переліку маркерних показників контролю якості поверхневих вод з урахуванням можливостей технологій, які є впровадженням новітніх підходів, що поєднують у собі інструментальні засоби та програмні додатки. *Ключові слова:* дані, водний об'єкт, аспект впливу, показник контролю, інструментальні засоби, програмні додатки.

Мониторинг и рациональное использование водных ресурсов в реалиях настоящего. Критская Я.А. В статье представлен обзор состояния водных ресурсов Украины на фоне аспектов влияния с комплексной обработкой, имеющихся последствий и изменений, которые фиксируются официальными источниками за последние десять лет. По результатам выявленных факторов представлено обоснование перечня маркерных показателей контроля качества поверхностных вод с учетом возможностей технологий, которые являются представлением новых подходов, объединяющих в себе инструментальные средства и программные приложения. *Ключевые слова:* данные, водный объект, аспект влияния, показатель контроля, инструментальные средства, программные приложения.

Monitoring and rational use of water resources in the realities of the present. Krytska Ya. O. The article presents an overview of the state of water resources of Ukraine against the background of aspects of influence with complex processing, the existing consequences and changes, which are recorded by official sources over the past ten years. Based on the results of the identified factors, the rationale for the list of marker indicators of surface water quality control is presented, taking into account the capabilities of technologies that represent new approaches that combine tools and software applications. *Key words:* data, water body, aspect of influence, indicator of control, instrumental means, software applications.

Постановка проблеми. Велика кількість водних об'єктів є однією з виразних особливостей нашої території, де природний живопис річок, озер сусидить із надбаними ставками, водосховищами тощо. Головним завданням залишається не тільки захист із метою сталого розвитку, а й залучення до виконання поставлених завдань сучасних технічних засобів отримання цих спостережень. Поширеною проблемою є перелік факторів, які стали підґрунтям та супроводжують недбале ставлення до використання, захисту водоймищ як із боку державних і приватних підприємств, так і несумлінного населення.

Актуальність дослідження. Зважаючи на останні 8 років, ми констатуємо, що знов відбулися суттєві зміни ландшафтів водоймищ, а як супутній привід – зниження рівня поверхневих вод, буяння підводної рослинності і мілина. Тобто це далеко не ті повноводні глибинні водойми, які залишилися в пам'яті з дитинства. Ці зміни сильно вплинули й на фауну водоймищ. Про зменшення кількості представництва видів прісноводних риб, зокрема рідкісних, «Управління охорони, використання і відтворення водних біоресурсів та регулювання рибальства в області» [1] б'є на сполох ще з 2008 року. Бо вже є сумний приклад того, що три види стерляді, азов-

ської шемої та чехоні ми вже загубили в басейні тієї ж річки Сіверський Донець, у якій більше третини (36,3%) тепер складають рідкі (13,6%) та дуже рідкі (22,7%) види риб, а загалом із нечисленними охоплюють більшу половину (61,3%) від чисельності всіх видів [2].

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Проведення контролю і спостереження якісного (хімічного, хіміко-біологічного) складу поверхневих вод зараз відбувається системно у визначених місцях, які не дозволяють формувати картину стану водойми в цілому, а тільки на деяких ділянках водного басейну. До того ж наявні засоби спостереження не дозволяють проводити визначення дистанційно, без присутності виконавця-лаборанта. Практичним завданням цієї роботи став аналіз причинно-наслідкового зв'язку між факторами, що спричиняють негативні зміни стану водоймищ, а також зміни підходів реалізації наявних програм систем комплексного моніторингу водних об'єктів із залученням сучасних можливостей інформаційних технологій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зменшення загального рівня водойми говорить про те, що змінам піддалися підземні системи водорозпо-

ділу – джерела підживлення поверхневих вод. Якщо взяти до уваги останні декілька років, то бачимо, що загалом не було суттєвого поповнення річок у період весняного водопілля, а також нинішнє літо не дуже заохочувало осадями, тому було відсутнє поповнення підземних вод через поверхово-крейдовий прошарок землі. Ще й установи/підприємства комунальної та/або приватної форми власності продовжують активно вживати підземну та річкову воду для власних потреб. Питну – на потреби буденні (зокрема господарські), рибогосподарської якості після відповідної обробки та доведення її до показників технічного стану (комунально-побутового використання) на зрошення земель, розробку корисних копалин, виробництва [3].

По-друге, в багатьох випадках порушені вимоги до консервування забутих копалин (особливо на не підконтрольній території), де припинені заходи з відкачування ґрунтових вод, що просочуються через відкриту породу. Крім того, що відбувається насичення підземних вод речовинами привнесеними породою, ще й порушується балансовий розподіл підземних потоків, затоплюються наявні карстові порожнини.

По-третє, спостерігається байдуже або невміле піклування про стан водойм, прикладом є використання придонних грубих засобів чищення прибережної частини водойми, без комплексного і грамотного вивчення розподілу та навантаження потоків, що призводить до знищення природного підживлення річок та озер – водойма міліє, УФ-випромінювання сонця здатне глибше впливати, активно розрощуються водорості і суша, що ще на крок відбирає чуже володіння.

І це лише один комплекс аспектів, іншим не менш важливим є суттєве та невміле використання водних ресурсів (водокористування та водовідведення) споживачами, зокрема хімічної, будівельної, добувної (вугільної, нафтогазової), сільськогосподарської (фермерської), садівної, теплозабезпечувальної, оздоровчої та інших сфер [3]. Упровадження заходів ощадливого і раціонального вжитку відбулося за мізерної долі підприємств, у кращому разі ним є часткове повернення очищених стічних вод у систему оборотних циклів. Та впроваджувати малопоживні процеси підприємства примушують вимоги економічного ринка, а нас, як звичайних споживачів, тримають лише власні переконання і принципи, бо ціна комунальних послуг цієї сфери ще не досягла критичних для населення показників, щоб мотивувати більшість упровадити в себе в домівці технології «розумного будинку», тобто зараз ціна та термін окупності впровадження є великим (порівняно з власною мотивацією). За даними Міністерства Держсоцполітики, станом на 31 серпня 2016 р. тільки 6 млн. сімей (а це майже 60% користувачів (із прогнозовано можливих)) звернулися за наданням субсидії³ на відшкодування витрат на оплату житлово-комунальних послуг (далі –

ЖКП) [3]. У січні 2017 субсидії отримували майже 41% українських домогосподарств, а у січні 2018 – майже 42%. За січень-серпень 2018 року по субсидії звернулися 4,244 родини, а отримали їх 2,947 млн. домогосподарств [3]. Прилади обліку води – лічильники, за усередненими даними з різних областей станом на 2016 рік мають тільки 66% квартиро-власників та на початок 2019 року положення суттєво не змінилося, навіть за тенденції зменшення кількості домогосподарств – субсидіантів [4].

Іншим комплексом аспектів є досі завеликі допустимі норми втрат води під час транспортування та водовідведення затверджених для комунальних закладів (монополістів послуг) – «значення поточних галузевих ТНВПВ втрат води становить 280 м³ на 1000 м³ піднятої води, а для систем, у яких загальна протяжність водоводів становить більше 25% від загальної довжини мереж, – 300 м³ на 1 000 м³ води, яка піднята» [5], тобто майже третину всієї піднятої води. І якщо замислитися над цими показниками, то втрати вражають своїми масштабами. Крім того, далеко не в усіх містах, територіях виробництв, інших об'єктах виконується вимога нашого законодавства про окреме збирання атмосферних осадів, очищення і скид цих ливневих стоків у водойми, тому знову не використовуємо можливості поповнення своїх водоймищ.

Наслідки від вищезгаданих комплексних аспектів пов'язані зі ще одним значущим показником – якістю стічних вод, які очищені та скидаються у водні об'єкти. Згідно з проведеним моніторинговим дослідженням, від наднормативного забруднення потерпають усі річки нашої держави – від Бугу, Сяну, Дністра, Дунаю, Дніпра й до Сіверського Дінця [6]. Загалом, десь 30% усього обсягу скиду забруднювальних речовин є наднормовими, зокрема в середньому за показниками:

у басейні р. Сів. Донець є найбільша кількість показників, за якими спостерігається наднормовий скид (хлориди, ХПК, БПК₅, нітрати, азоту амонійного, нафтопродукти, заліза, сульфатів та фосфатів). Та ще й середній показник рН є найвищим (8,1) серед зазначених вище водоймищ;

– у басейні р. Дніпро сім показників є наднормовими (ХПК, БПК₅, нітрати, азоту амонійного, нафтопродукти, залізо, фосфатів);

– у басейні р. Західний Буг і Сян спостерігається підвищене забруднення за вісьма показниками (ХПК, БПК₅, нітриту, нітрати, азоту амонійного, завислих речовин, заліза та фосфатів);

– у басейні р. Південний Буг – за шістьма показниками (БПК₅, нітрати, азоту амонійного, нафтопродукти, залізо, фосфатів);

– у басейні р. Дністер є п'ять наднормових показників (нітрати, нітриту, азоту амонійного, нафтопродукти, заліза, розчинний кисень);

– у басейні р. Дунай спостерігається підвищене забруднення за двома показниками (заліза та дефі-

циту розчинного кисню), показник рН є одним із найвищих (7,9) серед зазначених.

Так, на жаль, спостерігаємо стабільне наднормове забруднення річок за такими хімічними показниками, як азот амонійний, нітрати, нафтопродукти, залізо, фосфати, сульфати, дефіцит розчинного кисню.

Оцінювання стану забруднення поверхових вод – це безперервний процес, що виконується як органами контролю/управліннями держави, так і самими суб'єктами водокористування/водовідведення згідно з Постановою КМУ «Про затвердження Порядку здійснення державного моніторингу вод від 19 вересня 2018 р. № 758» [7], Водного кодексу України [8], Закону України про забезпечення санітарного та епідеміологічного благополуччя населення» [9], інші регламентувальні нормативні документи.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Періодичність контролю розраховується з урахуванням обсягів, періодичності та кількості скидів згідно зі спеціальними розрахунками та затверджується спеціальний графік контролю. Але періодичність, тобто моніторингове спостереження, як правило, не складає частіше одного разу на добу, а то й на тиждень. Із цього виходить, що обсяг спостережень здебільшого є періодичним аспектом (вибірковим), а також визначено ймовірність, що пікові (максимально разові, зокрема аварійні) скиди не будуть зафіксовані. Складність оперативності спостережень складається з того, що відбір та всі показники зазначеного контролю виконуються інструментальним методом за участю лаборанта атестованої лабораторії та потребує певного часу від місця відбору до його визначення. До того ж не всі місця, які потребують контролю, є легкодоступними для транспорту та інструменталу, тому моніторинг ведеться в постійних визначених ділянках басейну річок і не охоплює всієї картини стану водойми.

Новизна. Із вищезазначеного аналізу наднормативних забруднень для оцінки хімічного стану водойми пропонуємо використовувати автоматичні дистанційні програмні аналізатори за виділеними первинними показниками (рН, температури та розчинного кисню).

Методологічне або загальнонаукове значення. Система спостережень якісних і кількісних маркерів стану водних об'єктів – це, як правило, комплекс заходів, який уміщує різні етапи контролю безпосередньої якості води від контрольного до дослідницького моніторингу з певною його частотою й оцінкою результатів досліджень із метою класифікації її екологічного та хімічного стану. Для повноцінного огляду й оцінки стану водних ділянок доцільно провести зонування, тобто розділ площі водойми на зони, виходячи з результатів контрольних спостережень, за умов подальшого об'єднання цих зон у мережу спостережних точок у межах кожної ділянки.

Таким чином, буде реалізовано можливість цілісної оцінки екологічного стану водойми на ділянках кожного басейну.

Виклад основного матеріалу. Показник рН – це найперший маркер визначення наявності вмісту окислених або відновних форм речовин у воді, що залежить від співвідношення вільних вуглекислот і бікарбонатів (кислих солей), кислотності (заліза, іонів амонію, алюмінію, органічних основ) та лужності (іонів слабких кислот (карбонатів, гідрокарбонатів, сульфатів, гідросульфатів, сульфідів, гідросульфідів, фосфатів, боратів, силікатів, іонів гумінових кислот)). Норма рН складає 7,0–8,5, якщо показник визначає менші одиниці, то спостерігається сповільнення росту біоценозу водоймищ за умов збільшення показника, що може призвести до захворювань представників фауни (риб), тобто зменшення чисельності.

Другий – розчинний кисень – є важливим гідрохімічним показником, за участю якого відбуваються біологічні, біохімічні та хімічні процеси. Норма вмісту розчинного кисню має бути в межах 6–8 мгО/л, якщо вміст зменшується до критичного показника, якщо менше 4 мгО/л, то спостерігається значне зменшення зростання риби, яке в подальшому може призвести до її забору. Але потрібно уважно дотримуватися норм та правил відбору проб згідно з КНД 211.1.0.009-94 «Гідросфера. Відбір проб ...» [10], ДСТУ ISO 5667-2-2003 [11], ДСТУ ISO 5667-6-2009 [12], ДСТУ ISO 5667-10-2005 «Якість води. Відбирання проб...» [13], тому що відбір із поверхні або за неглибокого занурення в ясну, теплу і сонячну погоду може давати завищені показники вмісту кисню, які не відповідають дійсності і пов'язані з інтенсивним розвитком водоростей.

Розчинний кисень споживається на окислення органічних речовин, процес дихання мешканців басейну, дихання мікроорганізмів та окислення органічних сполук у процесі життєдіяльності, а також процеси хімічного окислення – нітратів, нітритів, азоту амонійного, заліза, марганцю, сульфідів та інших. Тобто критерій відхилення від лімітувальних норм цього показника розповість про наявність протікання процесу, який зменшує вміст розчинного кисню. Тобто у воді присутній наднормативний вміст забруднювальних речовин (нітритів, азоту амонійного, заліза, марганцю, сульфідів та ін.) або наявні поверхнево-активні речовини (далі – ПАР) нафтопродукти або важкі метали, які паралізують процеси обміну киснем для живих істот. Вони відмирають і формують донні відкладення, які з часом гниють. Зазначимо, що всі процеси залежать від температури водойми: чим вищою є температура, тим швидше відбуваються всі процеси, тому показник температури є обов'язковим у складі первинного визначення.

Головні висновки. Запропонована мережева оцінка дозволить установити поточний стан водойми й оцінити зміни, що відбуваються в режимі

реального часу, а також на основі показників і оцінок впливів для кожного періоду визначити відповідні процедури частоти вимірювань за встановленими маркерним параметрам на цих об'єктах.

Для досягнення рівня адекватної достовірності й точності результатів оцінки кожної ділянки річкових басейнів виділяють як оцінки наявності будь-яких змін стану вод, так і оцінки довгострокових змін за контрольними параметрами в частині:

– які є показовими для всіх загальних фізико-хімічних елементів якості;

– які є пріоритетними за антропогенного впливу на річковий басейн;

– які випадають із загальної (сумарної) картини спостережень (пікові, кількісні, невластиві для оцінюваної ділянки) [14].

Перспективи використання результатів дослідження. Зазначені підходи планується використати в реалізації таких робіт, зокрема практичного застосування в методах автоматизованої обробки даних, кількості параметрів, частоти відбору та локації.

Література

1. Статистична звітність державних підприємств Держрибагенства / Державне агентство рибного господарства. URL: http://darg.gov.ua/_statistichna_zvitnistj_0_0_0_2906_1.html
2. Шандиков Г.А., Гончаров Г.Л. Редкие виды рыб бассейна Северского Донца Северо-восточной Украины. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н.Каразіна. Серія «Біологія»*. Харків, 2008. Вип. 8, № 828. С. 65–90
3. Перелік суб'єктів господарювання, яким видано/подовжено/переоформлено дозволи на спеціальне водокористування на контрольованій державою території Луганської області протягом періоду / Департамент екології та природних ресурсів Луганської обласної державної адміністрації. URL: <http://www.eco-lugansk.gov.ua/2013-12-12-00-50-06-3/2013-12-12-00-50-06/vodni-resursi>
4. Статистичний збірник / Державна служба статистики України. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua>.
5. Про затвердження Порядку розроблення та затвердження технологічних нормативів використання питної води підприємствами, які надають послуги з централізованого водопостачання та/або водовідведення: Наказ від 25.06.2014 № 179 / Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. *Офіційний вісник України*. 2014. № 75. Ст. 2143
6. Інформаційно-аналітичний огляд стану довкілля / Міністерство екології та природних ресурсів України. URL: <http://old.menr.gov.ua/dopovidi/infooglyad>
7. Про затвердження Порядку здійснення державного моніторингу вод: Постанова КМУ від 19 вересня 2018 р. № 758 / Кабінет Міністрів України. *Офіційний вісник України*. 1998. № 13. Ст. 495
8. Водний кодекс України: Кодекс від 06.06.95 р. № 214/95-ВР / Верховна Рада України. *Відомості Верховної Ради України*. 1995. № 24. Ст.189
9. Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення: Закон України від 24.02.94 р. № 4005-ХІІ / Верховна Рада України. *Відомості Верховної Ради України*. 1994. № 27. Ст.218
10. КНД 211.1.0.009-94 Охорона навколишнього природного середовища та раціональне використання природних ресурсів. Гідросфера. Відбір проб для визначення складу і властивостей стічних та технологічних вод. Основні положення. Методика. Київ: Мінекобезпеки України, 1994. 32 с.
11. ДСТУ ISO 5667-2:2003. Якість води. Відбирання проб. Частина 2. Настанови щодо методів відбирання проб. ТК 64, 2004. 14 с.
12. ДСТУ ISO 5667-6:2009. Якість води. Відбирання проб. Частина 6. Настанови щодо відбирання проб води з річок і струмків. ТК 82, 2011. 15 с.
13. ДСТУ ISO 5667-10:2005. Якість води. Відбирання проб. Частина 10. Настанови щодо відбирання проб стічних вод. ТК 82, 2008. 17 с.
14. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. *Official Journal of the European Communities*. L. 327, vol.43, 22.12.2000. 72 p.
15. Про затвердження Правил користування системами централізованого комунального водопостачання та водовідведення в населених пунктах України: Наказ від 27.06.2008 N 190 /Міністерство з питань житлово-комунального господарства України. *Офіційний вісник України*. 2008. № 79. Ст. 2670
16. Про затвердження Правил технічної експлуатації систем водопостачання та водовідведення населених пунктів України: Наказ від 05.07.95 № 30 /Державний комітет України по житлово-комунальному господарству. *Офіційний вісник України*. 1995.
17. МУ 3224-85 По гигиенической оценке использования очищенных городских сточных вод в промышленном водоснабжении. Методические указания. Минздрав СССР. 1985. 2 с.

МЕТОДИКА УРАХУВАННЯ АКУСТИЧНИХ ВТРАТ ГВИНТОВЕНТИЛЯТОРА В ЕНЕРГЕТИЧНОМУ БАЛАНСІ АВІАЦІЙНОЇ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ

Усенко В.Ю.

ДП «АНТОНОВ»

вул. Академіка Туполева 1, 02000, м. Київ
usenko@antonov.com; uvy1758@gmail.com

Досконалість газотурбінного двигуна і процесів, що в ньому протікають, залежить від рівня втрат в усіх складових елементах двигуна. Енергетичний баланс газотурбінного двигуна показує внесок кожного складника в загальний рівень втрат, що дає можливість визначити джерела втрат з метою їх зменшення. Аналіз публікацій показав, що для різних типів газотурбінних двигунів досліджені питання щодо визначення енергетичного балансу. Також на прикладі двоконтурного турбореактивного двигуна показано, що акустичні втрати енергії необхідно враховувати в енергетичному балансі. У роботі запропонована методика оцінки й урахування акустичних втрат гвинтовентилятора в енергетичному балансі авіаційної силової установки. Методика дає можливість визначити внесок акустичних втрат в загальному енергетичному балансі та оцінити зміну паливної економічності в разі впровадження заходів щодо зниження рівня шуму гвинтовентилятора. Для врахування втрат на акустичне випромінювання пропонується використати коефіцієнт втрат енергії акустичного випромінювання. Він показує, яка відносна частка потужності, що підводиться до гвинтовентилятора, переходить в акустичне випромінювання. Уточнено формулу для розрахунку питомої витрати палива з урахуванням втрат на акустичне випромінювання гвинтовентилятора. Апробація методики показала, що для двигуна типу Д-27 збільшення відстані між рядами гвинтовентилятора на 300 мм дає можливість покращити паливну економічність на крейсерському режимі його роботи на 0,95 кг за годину. Для силової установки, що складається з чотирьох двигунів (наприклад, Ан-70), економія палива протягом 200 годин польоту (середньомісячна експлуатація) становить біля 760 кг. Отримані результати плануються використовувати під час проведення досліджень щодо удосконалення турбогвинтовентиляторного двигуна шляхом зменшення акустичного випромінювання гвинтовентилятора. *Ключові слова:* економічність, енергетичний баланс, втрати, акустичне випромінювання, гвинтовентилятор.

Методика учета акустических потерь винтовентилятора в энергетическом балансе авиационной силовой установки. Усенко В.Ю. Совершенство газотурбинного двигателя и процессов, которые в нем протекают, зависят от уровня потерь во всех составляющих элементах двигателя. Энергетический баланс газотурбинного двигателя показывает вклад каждой составляющей в общий уровень потерь, дает возможность определить источники потерь с целью их уменьшения. Анализ публикаций показал, что для разных типов газотурбинных двигателей исследованы вопросы определения энергетического баланса. Также на примере двухконтурного турбореактивного двигателя показано, что акустические потери энергии необходимо учитывать в энергетическом балансе. В работе предложена методика оценки и учета акустических потерь винтовентилятора в энергетическом балансе авиационной силовой установки. Методика позволяет определить вклад акустических потерь в общем энергетическом балансе и оценить изменение топливной экономичности при внедрении мероприятий с целью снижения уровня шума винтовентилятора. Для учета потерь на акустическое излучение предлагается коэффициент потерь энергии акустического излучения. Он показывает относительную долю мощности, подводимой к винтовентилятору, которая переходит в акустическое излучение. Уточнена формула для расчета удельного расхода топлива с учетом потерь на акустическое излучение винтовентилятора. Апробация методики показала, что для двигателя типа Д-27 увеличение расстояния между рядами винтовентилятора на 300 мм дает возможность улучшить топливную экономичность на крейсерском режиме его работы на 0,95 кг/ч. Для силовой установки, состоящей из четырех двигателей (например, Ан-70), экономия топлива в течение 200 часов полета (среднемесячная эксплуатация) составляет около 760 кг. Полученные результаты планируется использовать при проведении исследований по совершенствованию турбовинтовентиляторного двигателя путем уменьшению акустического излучения винтовентилятора. *Ключевые слова:* экономичность, энергетический баланс, потери, акустическое излучение, винтовентилятор.

Methodology for calculation of acoustic loss of the propeller fan in the energy balance of aircraft power plant. Usenko V. The perfection of turbine engine and processes ongoing in it depends on the level of loss in all engine components. Energy balance of the turbine engine demonstrates contribution of each component into general level of loss, allows revealing the sources of loss in order to reduce them. The analysis of publications has shown that the issues of energy balance estimation were studied as regards different types of turbine engines. Using the example of by-pass turbojet engine it is also demonstrated that acoustic energy loss should be taking into account in energy balance. The methodology for estimation and calculation of acoustic loss of the propeller fan in the energy balance of aircraft power plant is offered. This methodology allows estimating contribution of the acoustic loss in general energy balance and evaluating the change of fuel efficiency when introduce the measures for propeller fan noise reduction. For calculation of loss due to acoustic emission the rate of loss of acoustic emission energy is offered. This rate shows relative fraction of power, transmitted to propeller fan, which transforms to acoustic emission. The formula is improved for calculation of specific

fuel consumption subject to propeller fan acoustic emission loss. The methodology approbation shown that distance between rows of propeller fan increased by 300 mm permits to improve the cruise fuel efficiency of D-27 engine by 0.95 kg per hr. For the power plant including four engines (e.g. AN-70) the fuel saving is 760 kg during 200 flight hours (average monthly operation). The findings are planned to be used for research on reduction of acoustic emission of propeller fans of turbofan engines. *Key words:* efficiency, energy balance, loss, acoustic emission, propeller fan.

Постановка проблеми. Ключовим чинником існування й ефективності будь-якого літального апарату є двигун з його тяговими, економічними, екологічними, масогабаритними та іншими експлуатаційними характеристиками. Унікальне поєднання властивостей і здатність ефективно функціонувати в істотно різних умовах є однією з основних причин, з яких авіаційний двигун вважається самостійним, з комерційної точки зору, продуктом.

Необхідна ефективність та економічність двигуна забезпечується оптимізацією параметрів робочого процесу, а також удосконаленням термогазодинамічних процесів у всіх елементах силової установки літального апарату.

Основними показниками досконалості газотурбінних двигунів є питомі параметри, до яких відносять питому масу двигуна, питому тягу, питому витрату палива, коефіцієнт використання маси двигуна [1].

Однією з важливих проблем газотурбінних двигунів є підвищення паливної економічності.

Актуальність дослідження. На малих дозвукових швидкостях польоту $M < 0,7$ найбільш економічним на теперішній час є турбогвинтовий двигун. За швидкості польоту $M > 0,7$ коефіцієнт корисної дії (далі – ККД) гвинта починає інтенсивно зменшуватися, а питома витрата палива – збільшуватися. Деяке розширення зони економічної експлуатації турбогвинтового двигуна можливо в разі застосування спеціально спроектованих багатолопатеких стрілоподібних гвинтів змінного шагу (одно- або дворядних). Такі гвинти змінного шагу (зі зменшеним діаметром гвинта) мають підвищену навантаженість на площу і зберігають високий ККД до $M = 0,8 \dots 0,85$. Цей гвинт є гвинтовентилятором. Таким чином, турбогвинтовентиляторні двигуни (далі – ТГВД) мають суттєву перевагу в порівнянні турбогвинтовими двигунами.

Тягова ефективність і паливна економічність ТГВД багато в чому залежить від параметрів і характеристик повітряного гвинтовентилятора.

Збільшення тягового ККД силової установки можливо за більш ефективного перетворення зміни енергії повітряного потоку, що проходить через повітряний гвинтовентилятор, у корисну тягову роботу. Це забезпечується вибором оптимальної компоновки гвинтовентилятора з двигуном і оптимальною геометрією самого гвинтовентилятора. Однак турбогвинтовентиляторні двигуни мають суттєвий недолік – підвищений рівень шуму в салоні і на місцевості.

Таким чином, для турбогвинтовентиляторних двигунів актуальним є комплексне вирішення проблем підвищення паливної економічності та зниження рівня шуму в салоні і на місцевості.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Досконалість газотурбінного двигуна і процесів, що в ньому протікають, залежить від рівня втрат в усіх складових елементах двигуна. Енергетичний баланс газотурбінного двигуна показує внесок кожного складника в загальний рівень втрат, що дає можливість визначити джерела втрат з метою їх зменшення. Всі втрати можна розділити на втрати в процесі перетворення теплової енергії в корисну роботу циклу і втрати перетворення корисної роботи циклу в тягову роботу. Перша група втрат характеризує газотурбінний двигун як теплову машину, а друга група втрат – як рушій.

Проблема підвищення паливної економічності нерозривно пов'язана з рівнем шуму двигуна. Основним джерелом шуму ТГВД є гвинтовентилятор.

Відсутність науково-методичного апарату, що дозволяє комплексно оцінити вплив зміни акустичних характеристик на паливну економічність, вимагає розроблення методики врахування акустичних втрат гвинтовентилятора в енергетичному балансі авіаційної силової установки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Оцінці рівня втрат в енергетичному балансі газотурбінного двигуна присвячено багато робіт. В роботах [2–3] розглянуто енергетичний баланс одноконтурних двигунів. В роботі [2] розглянуто також питання енергетичного балансу турбогвинтових і турбогвинтовентиляторних двигунів. У роботі [4] досліджено енергетичний баланс триконтурного двигуна. Авторами проводиться порівняльний аналіз економічності одноконтурного, двоконтурного і триконтурного турбореактивного двигунів на основі порівняння повного і тягового коефіцієнтів корисної дії цих двигунів.

У роботі [5] авторами розглянуто перспективи розвитку шляхів збільшення тягового ККД і внутрішнього ККД газотурбінних двигунів. Зазначається, що для цього необхідно вдосконалювати турбогвинтовентиляторні двигуни і двоконтурні двигуни з надвисоким ступенем двоконтурності, а також відроджувати схеми двигунів, що розроблялись у 80-роках, але через технічні проблеми були зупинені.

Як показали результати, що представлені в роботі [6], в енергетичному балансі газотурбінного двигуна доцільно враховувати акустичні втрати. У роботі [6] розглянуто енергетичний баланс двоконтурного турбореактивного двигуна з урахуванням втрат енергії на акустичне випромінювання. Отримано залежності, що дозволяють визначити коефіцієнт корисної дії з урахуванням втрат енергії на акустичне випро-

мінювання. Однак цю методику для ТВГД застосувати неможливо.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Аналіз публікацій показав, що для різних типів газотурбінних двигунів досліджені питання щодо визначення енергетичного балансу. Також на прикладі двоконтурного турбореактивного двигуна показано, що акустичні втрати енергії необхідно враховувати в енергетичному балансі. Таким чином, з метою підвищення економічності і зменшення акустичної емісії турбогвинтовентиляторних двигунів необхідно створити методику врахування акустичних втрат гвинтовентилятора в енергетичному балансі авіаційної силової установки.

Новизна. У роботі розроблена методика врахування акустичних втрат гвинтовентилятора в енергетичному балансі авіаційної силової установки.

Уточнено формулу для розрахунку питомої витрати палива турбогвинтовентиляторного двигуна з урахуванням втрат на акустичне випромінювання гвинтовентилятора.

Методологічне або загальнонаукове значення. Розроблена методика врахування акустичних втрат гвинтовентилятора в енергетичному балансі авіаційної силової установки дає можливість оцінити внесок акустичних втрат у загальному енергетичному балансі, а також дає можливість оцінити зміну паливної економічності під час проведення заходів щодо зниження рівня шуму гвинтовентилятора.

Виклад основного матеріалу. Для газотурбінного двигуна непрямой реакції під час оптимізації термодинамічних параметрів силової установки необхідно використовувати реальні характеристики елементів. Важливим етапом у вирішенні цієї задачі є визначення оптимальних геометричних параметрів гвинтовентилятора з урахуванням особливостей компоновки двигуна на літальному апараті. При цьому одним із визначальних параметрів гвинтовентилятора є тяговий коефіцієнт корисної дії.

Робочий процес турбогвинтовентиляторного двигуна характеризується тим, що основна частина вільної енергії (роботи циклу) використовується для створення потужності на валу турбіни.

Оптимальне розподілення роботи циклу між гвинтовентилятором і прямою реакцією двигуна з метою створення максимальної тягової роботи здійснюється на основі відомих співвідношень [2]:

$$\left(\frac{c_c}{V}\right)_{\text{opt}} = \frac{1}{\eta_m \cdot \eta_{\text{гв}}} \quad \text{або} \quad c_{c \text{ opt}} = V \frac{1}{\eta_m \cdot \eta_{\text{гв}}},$$

де c_c – швидкість газу на виході із сопла, V – швидкість польоту, η_m – коефіцієнт, що характеризує рівень механічних втрат, $\eta_{\text{гв}}$ – ККД гвинтовентилятора.

Чим більше швидкість польоту V і чим менший ККД гвинтовентилятора $\eta_{\text{гв}}$, тим більшу частину роботи циклу слід передавати для прискорення газо-

вого потоку. Це є наслідком збільшення ступеня розширення газу в реактивному соплі.

Основною перевагою турбогвинтовентиляторних двигунів є значне зниження витрати палива (зниження питомої витрати палива) на швидкостях польоту, що відповідають числу $M < 0,65 \dots 0,85$.

Оптимальне розподілення роботи циклу ТГВД забезпечує не тільки максимальне значення його тягової роботи, але й мінімальну витрату палива. Це пояснюється тим, що за постійної швидкості польоту і заданих параметрах робочого процесу (температури газу перед турбіною T_r^* і ступенем підвищення тиску в компресорі π_k^*) кількість теплоти $Q_0 = g_{\text{п}}$ (де $g_{\text{п}}$ – відносна витрата палива, H_u – кількість тепла, що виділяється під час згоряння 1 кг палива), що вноситься в двигун, не залежить від розподілення роботи циклу між гвинтовентилятором і прямою реакцією.

Покращення економічності ТГВД можливо в разі збільшення його повного ККД $\eta_{\text{п}}$, який характеризує досконалість процесу перетворення теплової енергії в корисну тягову роботу $L_{\text{тяг}}$. За постійної швидкості польоту і незмінних основних параметрів робочого процесу, кількість тепла Q_0 , що вноситься в двигун, постійна, тому повний ККД двигуна залежить від розподілення циклу між гвинтовентилятором і прямою реакцією [2]:

$$\eta_{\text{п}} = \frac{L_{\text{тяг}}}{Q_0} = \frac{N_{\text{тяг}}}{Q_0 \cdot G},$$

де $N_{\text{тяг}}$ – тягова потужність двигуна, G – витрата повітря в двигуні.

Взаємозв'язок повного ККД з питомою витратою палива показує, що чим більше повний ККД $\eta_{\text{п}}$, тим менша питома витрата палива:

$$C_e = \frac{3600 \cdot \eta_{\text{гв}}}{\eta_r \cdot H_u \cdot \eta_{\text{п}}},$$

де η_r – коефіцієнт повноти згоряння палива в камері згоряння.

Повний ККД ураховує втрати двигуна як теплової машини і двигуна як рушія. Досконалість двигуна як теплової машини оцінюється внутрішнім ККД, який враховує втрати тепла газового потоку, що виходить із двигуна; втрати, що пов'язані з неповнотою згоряння палива в камері згоряння; втрати кінетичної енергії з вихідними газами. Досконалість двигуна як рушія оцінюється тяговим ККД, що враховує втрати кінетичної енергії гвинтовентилятора.

Однак представлений вище метод не враховує, що частина корисної енергії витрачається на акустичне випромінювання гвинтовентилятора.

Основним джерелом шуму турбогвинтовентиляторного двигуна є гвинтовентилятор. У спектрі шуму гвинтовентилятора виділяють широкосмуговий і дискретний складники. Джерелом широкосмугового складника є вихровий шум, що генерується зривом вихорів за всією довжиною лопаті.

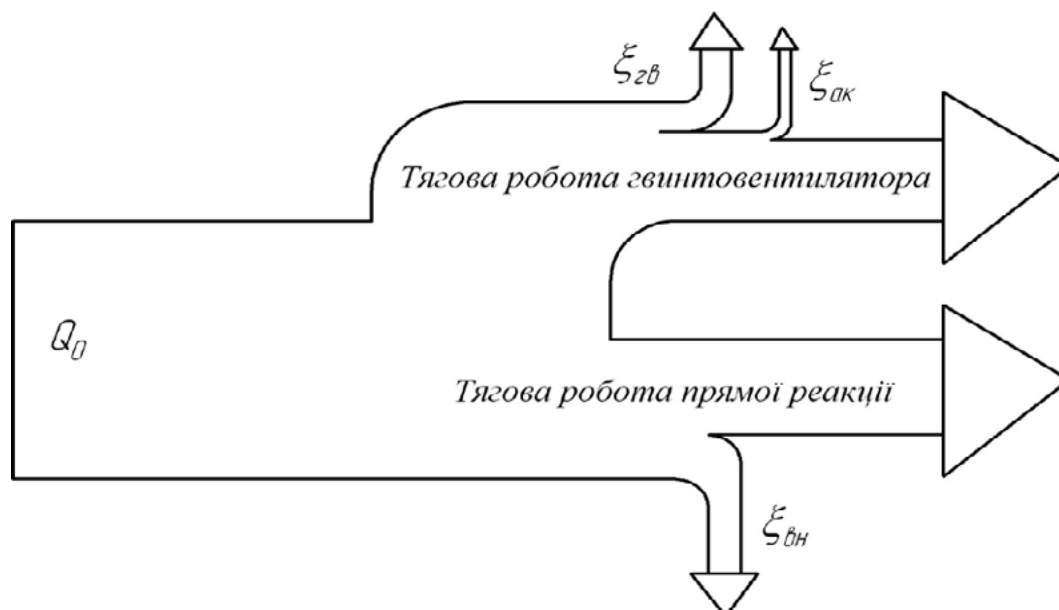


Рис. 1. Діаграма енергетичного балансу ТГВД з урахуванням втрат енергії на акустичне випромінювання

Дискретний складник у спектрі шуму гвинтовентилятора генерується об'ємним шумом і шумом обертання, що пов'язаний із силовою дією лопаті на середовище.

Для урахування втрат на акустичне випромінювання пропонується ввести коефіцієнт втрат енергії акустичного випромінювання $\xi_{ак}$, який показує долю потужності двигуна, що переходить в акустичне випромінювання:

$$\xi_{ак} = \frac{W_{ак}}{N_e},$$

де $W_{ак}$ – акустична потужність гвинтовентилятора, N_e – потужність на валу двигуна.

Акустичний ККД, що враховує втрати енергії на акустичне випромінювання, можна записати таким чином:

$$\eta_{ак} = 1 - \xi_{ак}.$$

На рис. 1 представлена діаграма енергетичного балансу ТГВД з урахуванням втрат енергії, що пов'язана з акустичним випромінюванням основного джерела шуму двигуна з гвинтовентилятором.

З урахуванням акустичних втрат питома витрата палива визначається так:

$$C_e = \frac{3600 \cdot \eta_{гв}}{\eta_{г} \cdot H_u \cdot \eta_{п} \cdot \eta_{ак}} \text{ або } C_e = \frac{G_{п.г.}}{N_{екв} \cdot \eta_{ак}},$$

де $G_{п.г.}$ – витрата палива за годину, $N_{екв}$ – еквівалентна потужність двигуна.

Отримане рівняння для розрахунку питомої витрати палива дає можливість оцінити вплив акустичних втрат на економічність двигуна.

Алгоритм запропонованої методики врахування акустичних втрат гвинтовентилятора в енергетичному балансі авіаційної силової установки представлено на рис. 2.

Наступним етапом роботи є апробації методики, що запропонована.

Об'єктом дослідження виступає турбогвинтовентиляторний двигун типу Д-27.

З метою зниження рівня шуму гвинтовентилятора проведені експериментальні дослідження щодо

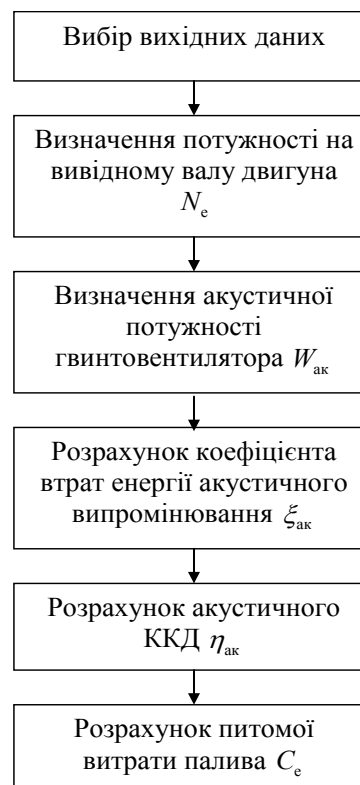


Рис. 2. Алгоритм методики врахування акустичних втрат гвинтовентилятора в енергетичному балансі авіаційної силової установки

Таблиця 1

Параметри двигуна з базовим і модифікованим гвинтовентилятором

	N_e , Вт	$W_{ак}$, Вт	$\xi_{ак}$	$\eta_{ак}$	C_e , кг/(кВт год)
Базовий гвинтовентилятор	7134253	7297,6	0,001023	0,998977	0,24498
Модифікований гвинтовентилятор	7134253	2730,1	0,0004	0,9996	0,24483

збільшення відстані між першим і другим рядом гвинтовентилятора [7].

У даній роботі проведені розрахунки (табл. 1) за представленою вище методикою, з використанням експериментальних даних [8].

Результати розрахунків показують, що запропонована методика дає змогу оцінити зміну паливної економічності під час проведення заходів щодо зниження рівня шуму. Для розглянутого випадку збільшення відстані між рядами гвинта дає можливість покращити паливну економічність на 0,95 кг за год. Двигун експлуатується в середньому 200 годин на місяць і 2200 годин на рік. Отже, це дасть можливість заощадити 190 кг за місяць і більше ніж 2 тони за рік для одного двигуна.

Головні висновки. У роботі запропонована методика оцінки та врахування акустичних втрат гвинтовентилятора в енергетичному балансі авіаційної силової установки з турбогвинтовентиляторним двигуном. Методика дає можливість визначити внесок акустичних втрат у загальний енергетичний баланс та оцінити зміну паливної економічності під час впровадження заходів щодо зниження рівня шуму гвинтовентилятора.

Для урахування втрат на акустичне випромінювання пропонується використовувати коефіцієнт втрат енергії акустичного випромінювання. Він показує, яка відносна частка потужності, що підводиться до гвинтовентилятора, переходить в акустичне випромінювання.

Уточнено формулу для розрахунку питомої витрати палива з урахуванням втрат на акустичне випромінювання гвинтовентилятора.

Апробація методики показала, що для двигуна типу Д-27 збільшення відстані між рядами гвинтовентилятора на 300 мм дає можливість покращити паливну економічність на крейсерському режимі його роботи на 0,95 кг за годину. Для силової установки, що складається з чотирьох двигунів (наприклад, Ан-70), економія палива протягом 200 годин польоту (середньомісячна експлуатація) становить 760 кг.

Перспективи використання результатів дослідження. Отримані результати планується використовувати під час проведення досліджень щодо розроблення заходів для зменшення акустичного випромінювання гвинтовентилятора турбогвинтовентиляторного двигуна.

Література

1. Chen N. Aerothermodynamics of turbomachinery: analysis and design. Singapore, 2010. 461 p.
2. Терещенко Ю.М. та ін. Теорія теплових двигунів : підручник ; за ред. Ю.М. Терещенко. Київ, 2001. 382 с.
3. Hueenecke K. Jet engine. 6th impression. Shrewsbury, 2003. 242 p.
4. Терещенко Ю.М., Дорошенко Е.В., Ластивка І.А. Оценка экономичности трехконтурного турбореактивного двигателя. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2013. № 5/7 (65). С. 38–41.
5. Авиационные двигатели и силовые установки / под ред. А.И. Ланшина. Москва, 2010. 520 с.
6. Терещенко Ю.М. и др. Энергетический баланс двухконтурного турбореактивного двигателя. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2011. № 3/8 (51). С. 13–15.
7. Приложение к техническому отчету № 70.00.252.837. Д15-2002. Самолет Ан-70. Наземные испытания по исследованию акустических характеристик винтовентилятора СВ-27 в самолётной компоновке Ан-70 при изменении зазора между плоскостями переднего и заднего винтов. Киев : АНТК им. О.К. Антонова, 2002. 96 с.

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ КАРБОНІЗАЦІЇ СОДОБІКАРБОНАТНОГО РОЗЧИНУ У ВИРОБНИЦТВІ ОЧИЩЕНОГО БІКАРБОНАТУ НАТРІЮ НА СТУПІНЬ АБСОРБЦІЇ CO₂

Порохня М.Ф.

Державний науково-дослідний і проектний інститут основної хімії «НІОХІМ»
вул. Мироносицька 25, 61002, м. Харків
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»
вул. Кирпичова 2, 61002, м. Харків
nikolay.porokhnya@gmail.com

У роботі проведено аналіз впливу таких параметрів технологічного процесу, як температура, тиск, склад рідини, що піддається карбонізації, на ступінь поглинання вуглекислого газу. Виявлено найбільш оптимальні показники температури та тиску, що впливають на ступінь абсорбції CO₂ та на розмір кристалів бікарбонату натрію. Установлено необхідність подальших досліджень у галузі підвищення продуктивності та екологічної безпеки виробництва очищеного бікарбонату натрію. *Ключові слова:* вуглекислий газ, очищений бікарбонат натрію, содобікарбонатний розчин, карбонізація, абсорбція.

Анализ влияния технологических параметров процесса карбонизации содобикарбонатного раствора в производстве очищенного бикарбоната натрия на степень абсорбции CO₂. Порохня Н.Ф. В работе проведен анализ влияния таких параметров технологического процесса, как температура, давление, состав карбонизируемой жидкости на степень поглощения углекислого газа. Выявлены наиболее оптимальные показатели температуры и давления, влияющие на степень абсорбции CO₂, а также на размер кристаллов бикарбоната натрия. Установлена необходимость дальнейших исследований в области повышения производительности и экологической безопасности производства очищенного бикарбоната натрия. *Ключевые слова:* углекислый газ, очищенный бикарбонат натрия, содобикарбонатный раствор, карбонизация, абсорбция.

Analysis of the influence of technological parameters of soda-bicarbonate solution carbonization in the production of refined sodium bicarbonate on CO₂ absorption. Porokhnia M. The paper analyzes the influence of such process parameters as temperature, pressure, composition of carbonized liquid on the carbon dioxide absorption. The most optimal indicators such as temperature and pressure and their influence on the CO₂ absorption and sodium bicarbonate crystals size have been identified. The need for further research in the field of improvement of column capacity and environmental safety of refined sodium bicarbonate production has been confirmed. *Key words:* carbon dioxide, refined sodium bicarbonate, soda-bicarbonate solution, carbonization, absorption.

Постановка проблеми. Сьогодні проблеми забруднення навколишнього середовища вуглекислим газом досягли колосальних масштабів. За прогнозами вчених, уже до середини століття рослини на Землі не зможуть справлятися з поглинанням вуглекислого газу, обсяги емісії якого підвищуються з кожним роком, що призведе до серйозних незворотних змін клімату на планеті.

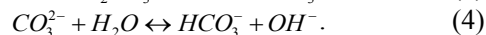
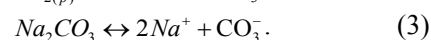
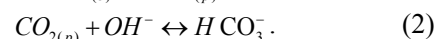
У содовій промисловості основним джерелом викидів вуглекислого газу є відділення очищеного бікарбонату натрію, емісія якого складає близько 270 кг на 1 т очищеного бікарбонату натрію. Вуглекислий газ у виробництві очищеного бікарбонату натрію є цінною сировиною, від ступеня абсорбції якої залежить обсяг виробництва кінцевого продукту. Отже, досягнення високого ступеня поглинання CO₂ під час виробництва очищеного бікарбонату натрію є актуальним науково-практичним завданням.

Таким чином, метою роботи є аналіз впливу основних технологічних параметрів на ступінь

поглинання вуглекислого газу в процесі карбонізації содового розчину з метою підвищення продуктивності карбонізаційних колон і мінімізації викидів CO₂ в атмосферу.

Абсорбція CO₂ в процесі карбонізації содобікарбонатного розчину

Промислове виробництво очищеного бікарбонату натрію (NaHCO₃) є заснованим на карбонізації водних розчинів кальцинованої соди (Na₂CO₃). Опис цього процесу може бути представлено у вигляді таких рівнянь [1]:



Реакції 2 та 4 утворюють пересичення NaHCO₃ в рідині, сприяючи тривалому осадженню твердого NaHCO₃ в нижній частині колони [2].

Продуктивність карбонізаційної колони визначається кількістю поглиненого CO_2 або ступенем його використання, який визначається за формулою (5) [3]:

$$K = \frac{(\varphi - \varphi'') \cdot 100}{\varphi' \cdot (100 - \varphi'')} \cdot 100, \quad (5)$$

де φ' – концентрація CO_2 в газі, що надходить у колону; φ'' – концентрація CO_2 в газі, що виходить із колони.

Як правило, в газі, що надходить у колону, під час використання вапняку для його отримання міститься 38–40% об'ємн. CO_2 , а за умов використання крейди – 33–35% об'ємн. CO_2 .

Згідно з практичними даними, на 1 т виробництва очищеного NaHCO_3 витрачається близько 600 кг CO_2 . Залежно від поглинання CO_2 , газ збіднюється і під час видалення з верхньої частини карбонізаційної колони в атмосферу (≈ 270 кг CO_2 /т NaHCO_3) його вміст в останньому становить 15–16%.

Вплив технологічних параметрів на ступінь абсорбції CO_2

На ступінь використання вуглекислого газу в процесі карбонізації сильно впливає склад і температура рідини, що надходить у колону, її рівень у колоні, тиск, а також чистота колони. Крім того, повнота поглинання двоокису вуглецю визначається тривалістю його контакту з рідиною і залежить від конструкції карбонізаційної колони.

Склад рідини, що піддається карбонізації, характеризується співвідношенням Na_2CO_3 , NaHCO_3 , а також NaCl , концентрації яких істотно впливають на швидкість абсорбції CO_2 . Швидкість абсорбції CO_2 содовим розчином визначається швидкістю дифузії газу в рідину через газову плівку, що утворюється на її поверхні. Швидкість дифузії CO_2 через газову плівку залежить від парціального тиску двоокису вуглецю, який значно змінюється залежно від проходження газу через колону (від 600 до 100 мм).

У дослідях на трубці зі зрощуваними стінками автором роботи [4] було встановлено, що швидкість абсорбції двоокису вуглецю содовим розчином не

залежить від швидкості газового потоку. Збільшення щільності зрошення від 0,29 до 1,44 $\text{м}^3/\text{м}^2$ за годину також не досить сильно впливало на зміну швидкості абсорбції CO_2 . Це дозволило авторові зробити висновок про те, що лімітувальним фактором процесу є швидкість хімічної реакції або її порівняли зі швидкістю дифузії. Швидкість абсорбції двоокису вуглецю істотно залежить від його концентрації в газі, має максимум залежно від концентрації Na_2CO_3 і виражається рівнянням [5]:

$$W_a = \beta \cdot k \cdot \Delta P, \quad (6)$$

де W_a – швидкість абсорбції, β – хімічний параметр, який показує те, у скільки разів збільшується швидкість абсорбції за наявності в розчині хімічно активного компонента, k – коефіцієнт швидкості фізичної абсорбції, ΔP – рушійна сила абсорбції.

На концентрацію CO_2 в газовій фазі, що виражається через його парціальний тиск, значно впливає загальний тиск газової суміші відповідно до рівняння [6]:

$$p = P \cdot y, \quad (7)$$

де P – загальний тиск газової суміші, y – об'ємна (молярна) частка компонента.

Підвищення тиску сприятливо впливає на процес абсорбції, сприяючи підвищенню коефіцієнта масопередачі і рушійної сили абсорбції, яка може бути представлена у вигляді рівнянь [7]:

$$\Delta p_{\delta} = p_{\text{вх}} - p_{\text{вих}} \quad (8)$$

та

$$\Delta p_m = p_{\text{вх}} - p_{\text{вих}} \quad (9)$$

де $p_{\text{вх}}$ і $p_{\text{вих}}$ – парціальні тиску поглинається газу на вході і виході з апарату відповідно, $p_{\text{вх}}^*$ і $p_{\text{вих}}^*$ – відповідні рівноважні парціальні тиску цього газу на вході і виході.

Використовуючи рівняння 8 і 9, можна виразити середню рушійну силу абсорбції:

$$\Delta p_{cp} = \frac{\Delta p_{\delta} - \Delta p_m}{\ln(\Delta p_{\delta} / \Delta p_m)}. \quad (10)$$

Тоді рушійна сила масопередачі може бути представлена у вигляді рівняння:

$$M = K_p \cdot F \cdot \Delta p_{cp}, \quad (11)$$

де K_p – коефіцієнт масопередачі, віднесений до одиниці рушійної сили, вираженої через парціальний тиск газу, що поглинається, F – площа поверхні контакту фаз.

Вплив тиску на ступінь поглинання CO_2 може бути підтверджено графіком (рис. 1), побудованим на підставі виробничих даних одного із содових заводів Індії.

Як видно з рисунка 1, збільшення тиску супроводжується зменшен-

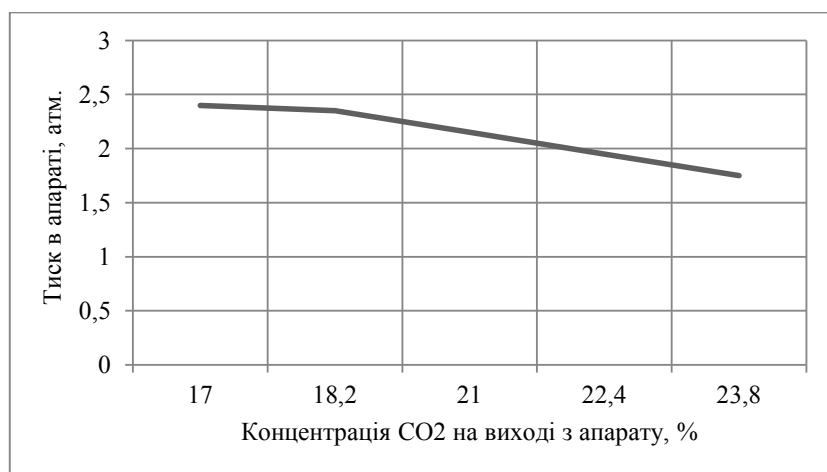


Рис. 1. Графік залежності концентрації CO_2 в газі, що виходить із бікарбонатної колони, від тиску в апараті

ням концентрації діоксиду вуглецю в газі, що виходить із бікарбонатної колони, що, як було сказано вище, викликано підвищенням ступеня абсорбції за рахунок збільшення парціального тиску CO_2 над розчином, що сприяє підвищенню рушійної сили процесу.

У роботі [4] було виявлено, що під час збільшення ступеня карбонізації розчину швидкість абсорбції CO_2 зменшується. Виняток становлять розчини з умістом понад 140 г/л Na_2CO_3 , для яких після кристалізації NaHCO_3 швидкість абсорбції двоокису вуглецю збільшується.

Ці дані перебувають у протиріччі з даними роботи [8], в якій установлено, що швидкість абсорбції CO_2 содовими розчинами безперервно зростає залежно від підвищення ступеня карбонізації, що пояснюється автором зменшенням загальної лужності внаслідок кристалізації бікарбонату натрію.

Одночасно автором роботи [8] було встановлено, що швидкість абсорбції розчину з твердою фазою є нижчою, ніж для насичених розчинів без осаду за однакових ступенів карбонізації. Звідси випливає, що тверда фаза гальмує швидкість абсорбції CO_2 .

Бедерар, вивчаючи швидкість абсорбції двоокису вуглецю содовими розчинами з концентрацією Na_2CO_3 – 230 г/л в апараті з мішалкою, встановив, що для всіх чисел оборотів (300–600 об/хв) швидкість процесу після випадання осаду NaHCO_3 безперервно зростає аж до ступеня переходу Na_2CO_3 у NaHCO_3 90%. До початку випадання осаду на кривих залежності швидкості абсорбції від ступеня карбонізації спостерігаються мінімуми і максимуми, які пояснюються автором аналогічною поведінкою поверхневого натягу розчину залежно від протікання процесу карбонізації.

Підвищення швидкості абсорбції CO_2 содовими розчинами з моменту початку випадання осаду NaHCO_3 спостерігали автори роботи [9], котрі проводили дослідження в апараті пінного типу. Основним недоліком роботи [4; 8; 9] є те, що автори не зробили спроб установити зв'язок між швидкістю процесу абсорбції CO_2 содовими розчинами і якістю кристалів бікарбонату натрію.

Кількість CO_2 , поглиненого содовим розчином у колоні, залежить не тільки від швидкості поглинання, але й від величини поверхні, через яку відбувається дифузія. У найпростішому разі дифузії, якщо на довжині dz концентрація компонента змінюється на dC , то кількість дифундувальної речовини пропорційна поверхні F , через яку відбувається дифузія, і градієнта концентрації $gradC = \frac{dC}{dz}$ [6]:

$$G = -D \cdot F \cdot \frac{dC}{dz} \cdot \tau, \quad (12)$$

де z – товщина плівки, м; C – концентрація речовини, кг-моль/м³; F – площа поверхні, м²; G – кількість дифундувальної речовини кг-моль/год; D – коефіцієнт дифузії, м²/год; τ – час, год.

Градієнт концентрації $\frac{dC}{dz}$ виражає зміну концентрації речовини на одиницю довжини і є рушійною силою процесу дифузії.

Відповідно до рівняння 12, на ступінь поглинання CO_2 у процесі абсорбції впливає тривалість процесу, яка є тим більшою, чим вище шар рідини, через яку відбувається масообмін. Так, карбонізаційні колони у виробництві очищеного бікарбонату натрію мають велику висоту (25–30 м) і на 2/3 заповнені розчином, що карбонізується.

Важливим параметром, що впливає на кінетику процесу абсорбції, є температура. Для розрахунку кінетики поглинання CO_2 використовується константа швидкості реакції, що встановлює залежність швидкості хімічної реакції від температури і яка заснована на рівнянні Арреніуса [10]:

$$k = A \cdot e^{-E_a/RT}, \quad (13)$$

де E_a – енергія активації, Дж/моль; R – універсальна газова постійна, Дж/моль·К; T – температура, К.

Під час оцінки залежності константи швидкості від температури необхідно враховувати екзотермічність й ендотермічність хімічних реакцій. Вплив температури на швидкість процесів, що лімітуються дифузією, є значно меншим, ніж ті, що лімітуються хімічною кінетикою [11]. За умов карбонізації содо-бікарбонатних розчинів швидкість абсорбції вуглекислого газу перебуває в залежності від швидкості кристалізації NaHCO_3 , оскільки цей процес пов'язаний зі зменшенням концентрації іонів HCO_3^- , які негативно впливають на поглинання CO_2 розчином. При цьому, з одного боку, відповідно до рівняння 13, швидкість абсорбції газів збільшується за умов зниження температури абсорбенту, з іншого – зниження температури розчину знижує розчинність NaHCO_3 , зменшуючи швидкість його кристалізації.

Оптимальний баланс температури у виробництві очищеного бікарбонату натрію має вагомое практичне значення, оскільки від її величини залежить не тільки ступінь поглинання CO_2 (продуктивність колони), але й розмір одержуваних кристалів NaHCO_3 , що має вагомое значення.

У таблиці 1 представлено аналітичні дані з роботи бікарбонатної колони одного із содових заводів Індії, що дозволяють простежити залежність розміру кристалів бікарбонату натрію і ступеня поглинання CO_2 содобікарбонатним розчином від його температури. Графічне зображення аналізованих параметрів представлено на рисунках 2 і 3.

На підставі даних, представлених у таблиці 1, отримано графік залежності концентрації CO_2 на виході з апарату від температури содобікарбонатного розчину.

Згідно з графіком, концентрація CO_2 у відпрацьованих газах коливається в досить широких межах за умов зміни температури содобікарбонатного розчину в межах $\Delta T = 5,6^\circ\text{C}$. Певно, відхилення зна-

Дані з роботи бікарбонатної колони в різні періоди

Параметри	I	II	III	IV
Температура, °С	84	78,4	80,11	81,8
Тиск, бар	2,05	1,98	2,036	2,13
Концентрація CO ₂ на виході з колони	25%	18%	20%	12%
Розмір кристалів:				
150 мкм	31,06	4,87	16,28	24,29
106 мкм	28,8	11,05	23,6	28,3
<75 мкм	12,8	65,27	26,66	18,8

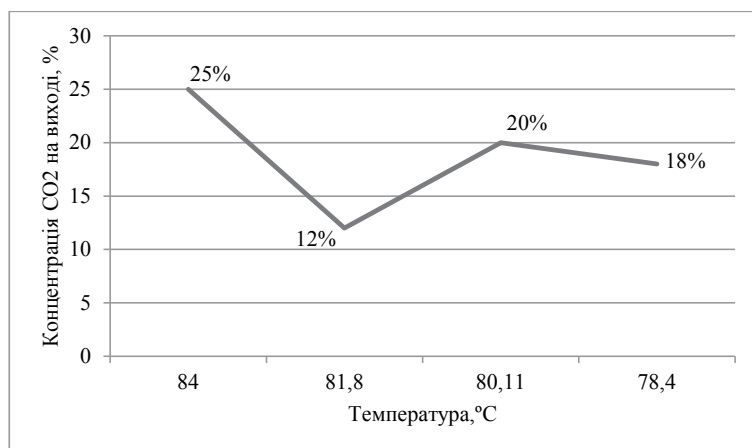
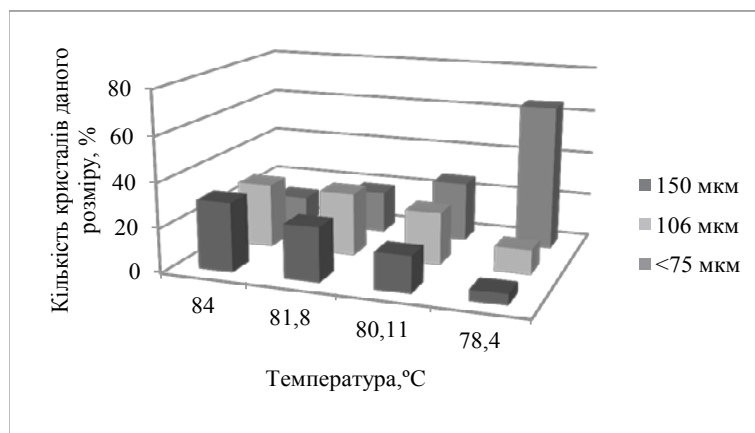
Рис. 2. Графік залежності концентрації CO₂ на виході з апарату від температури содобікарбонатного розчину

Рис. 3. Графік залежності розмірів кристалів від температури

чення концентрації CO₂ в другій точці від лінійної залежності, що простежується, є викликаним впливом більш високого, порівняно з іншими випадками, тиску, який, як уже було підтверджено, впливає на ступінь абсорбції газу.

Як видно з рисунку 3, найбільша кількість дрібних кристалів утворюється за температури розчину, що перебуває в межах 80 °С і нижче. При цьому утворення найбільш великих кристалів відбувається за температури вище 81 °С.

Аналізуючи дані, представлені на рисунках 2 і 3, можна зробити висновок, що найбільш оптимальним значенням температури, що сприяє забезпеченню найбільш високого ступеня поглинання CO₂, а також утворенню найбільшої кількості великих кристалів, є температура, яка перебуває в межах ≈82°С за тиску вище 2,1 атм. Для більш точного визначення технологічних параметрів необхідним є проведення подальших досліджень у цій галузі.

Головні висновки. Визначено вплив таких технологічних параметрів, як склад содобікарбонатного розчину, його температура, робочий тиск, а також конструкція апарату на ступінь поглинання CO₂.

Установлено, що найбільш оптимальними значеннями технологічних параметрів, за яких відбувається найбільш ефективно поглинання CO₂, а також утворюються кристали NaHCO₃ задовільних розмірів, є:

- температура розчину в колоні, що перебуває в межах 82 °С;
- тиск у колоні, що становить >2,1 атм.

Виявлено необхідність подальших досліджень, спрямованих на пошук оптимальних технологічних параметрів, що сприяють підвищенню продуктивності бікарбонатних колон з отриманням продукту високої якості, а також підвищенням екологічної безпеки виробництва.

Література

1. Maharlooa D.G. Process intensification and environmental consideration of sodium bicarbonate production in an industrial soda ash bubble column reactor by CO₂ recycling. *J. of CO₂ Utiliz.* 2017. Vol. 20. P. 318–327.
2. Wylock C., Cartage T. Compartmental modeling of an industrial bubble column. *Chem. Prod. Process Model.* 2009. P. 21–28.
3. Колмановский И.И. Производство двууглекислого натрия (бикарбоната). Москва: Химия, 1964 г. 166 с.
4. Сытник А.А. Исследование процесса карбонизации содового раствора в производстве очищенного бикарбоната натрия [автореферат диссертации]. Москва: МХТИ им. Д.И. Менделеева, 1958 г.
5. Шокин И.Н., Крашенинников С.А. Технология соды. Москва: «Химия», 1975. 288 с.
6. Рамм В.М. Абсорбционные процессы в химической промышленности. Москва: ГХИ, 1951. 351 с.
7. Товажнянский Л.Л., Готлинская А.П. и др. Процессы и аппараты химической технологии. Учебник. В двух книгах. Книга 1 / Под общ. ред. Л.Л. Товажнянского. Харьков: НТУ «ХПИ», 2004. 632 с.
8. Седельников Г.С. Исследование жидкостных систем типа природного раствора [автореферат диссертации]. Москва: МХТИ им. Д.И. Менделеева, 1954 г.
9. Позин М.Е., Копылов Б.А., Тарат Э.Я. Влияние высоты слоя пены на ситчатой тарелке на абсорбцию двуокиси углерода раствором щелочи. *Прикладная химия.* 1959. т. 32, № 5, С. 1005–1010.
10. Tan L. S., Shariff A. M., Lau K. K., Bustam M. A. Factors affecting CO₂ absorption efficiency in packed column. *J. of Industrial and Eng. Chem.* 2012. Vol. 18. Iss.6. P. 1874–1883.
11. Позин М.Е., Зинюк Р.Ю. Физико-химические основы неорганической технологии. Ленинград: Химия, 1985. 384 с.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Афтаназів Іван Семенович (Львів) – доктор технічних наук, професор кафедри нарисної геометрії та інженерної графіки, Національний університет «Львівська політехніка».

Банніков Олексій Олексійович (Київ) – аспірант, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління.

Бондар Олександр Іванович (Київ) – доктор біологічних наук, професор, ректор Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління, Заслужений діяч науки та техніки України, член-кореспондент Національної академії аграрних наук України, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління.

Броницький Вадим Олегович (Київ) – асистент кафедри інженерної екології, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Василенко Ольга Миколаївна (Житомир) – кандидат біологічних наук, доцент кафедри екології та природокористування Житомирського державного університету імені Івана Франка.

Вашкурак Уляна Юріївна (Львів) – аспірант кафедри технології органічних продуктів, Національний університет «Львівська політехніка».

Вашенко Володимир Миколайович (Київ) – доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління.

Вдовенко Альона Володимирівна (Київ) – старший викладач кафедри глобальної економіки, Національний університет біоресурсів та природокористування.

Вдовенко Сергій Вікторович (Київ) – кандидат технічних наук, головний інженер проєктів, ТОВ «Укргазпромбуд».

Галкіна Олена Павлівна (Харків) – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри водопостачання, водовідведення і очищення вод, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова.

Ганошенко Олена Миколаївна (Полтава) – старший викладач кафедри прикладної екології та природокористування, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка.

Гейна Костянтин Миколайович (Херсон) – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, Інститут рибного господарства Національної академії аграрних наук України.

Голік Юрій Степанович (Полтава) – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри прикладної екології та природокористування, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка.

Гоферюк Віталій Віталійович (Чернівці) – магістр, Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича.

Гребенюк Тетяна Володимирівна (Київ) – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри інженерної екології, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Дегтяр Марія Володимирівна (Харків) – кандидат технічних наук, доцент кафедри водопостачання, водовідведення і очищення вод, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова.

Демчук Наталія Станіславівна (Житомир) – кандидат біологічних наук, асистент кафедри екології, природокористування та біології людини, Житомирський державний університет імені Івана Франка.

Дичко Аліна Олегівна (Київ) – доктор технічних наук, професор кафедри інженерної екології, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Дніпровський державний технічний університет.

Доценко Олена Олександрівна (Харків) – науковий співробітник, Науково-дослідна установа Український науково-дослідний інститут екологічних проблем.

Драган Ніна Вікторівна (Біла Церква) – кандидат біологічних наук, Державний дендрологічний парк «Олександрія» Національної академії наук України.

Ємець Богдан Володимирович (Житомир) – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри машиновикористання та сервісу технологічних систем, Житомирський національний агроекологічний університет Міністерства освіти і науки України.

Єрмаков Віктор Миколайович (Київ) – кандидат технічних наук, доцент, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління.

Журавель Вікторія Сергіївна (Полтава) – студентка кафедри прикладної екології та природокористування, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка.

Іванець Олег Романович (Львів) – кандидат біологічних наук, доцент, Львівський національний університет імені Івана Франка.

Калашнікова Людмила В'ячеславівна (Біла Церква) – кандидат біологічних наук, науковий співробітник лабораторії насінництва і первинного випробування інтродуцентів, дендрологічний парк «Олександрія» Національної академії наук України.

Карташ Ульяна Василівна (Київ) – студентка I курсу географічного факультету, Київський національний університет імені Тараса Шевченка.

Клімкіна Ірина Іванівна (Дніпро) – кандидат біологічних наук доцент, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка».

Коцюба Ірина Юріївна (Житомир) – кандидат біологічних наук, старший викладач кафедри екології, природокористування та біології людини, Житомирський державний університет імені Івана Франка.

Кратюк Олександр Леонідович (Житомир) – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри експлуатації лісових ресурсів, Житомирський національний агроєкологічний університет.

Крива Маргарита Сергіївна (Миколаїв) – викладач, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова.

Кризська Юлія Михайлівна (Київ) – аспірант, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління.

Критська Яна Олександрівна (Сєвєродонецьк) – аспірант, старший викладач кафедри комп'ютерних наук та інженерії, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля.

Кузнєцов Сергій Іванович (Херсон) – кандидат технічних наук, доцент кафедри хімії, екології та БЖД, Херсонський національний технічний університет.

Лисенко Геннадій Миколайович (Ічня) – кандидат біологічних наук, доцент, старший науковий співробітник, Ічнянський національний природний парк.

Лоза Євген Анатолійович (Київ) – кандидат технічних наук, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління.

Лук'янова Віталіна Віталіївна (Київ) – кандидат хімічних наук, доцент кафедри екології та безпеки життєдіяльності Національний транспортний університет.

Лукашик Олександра Василівна (Кременчук) – учениця 11 класу, Кременчуцька загальноосвітня школа I-III ступенів № 31.

Луньова Оксана Володимирівна (Київ) – кандидат технічних наук, доцент, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління.

Маркіна Людмила Миколаївна (Миколаїв) – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри «Техногенної та цивільної безпеки», Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова.

Мілехін Петро Опанасович (Київ) – кандидат сільськогосподарських наук, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління.

Никифорок Володимир Миколайович (Чернівці) – магістр, Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича.

Онищук Ірина Петрівна (Житомир) – кандидат біологічних наук, Житомирський державний університет імені Івана Франка.

Пасічник Сергій Валентинович (Ічня) – кандидат біологічних наук, доцент, науковий співробітник, Ічнянський національний природний парк.

Патлашенко Жанетта Іллівна (Київ) – кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління.

Пидорич Юрій Васильович (Біла Церква) – головний інженер, Державний дендрологічний парк «Олександрія» Національної академії наук України.

Підоріна Людмила Іванівна (Кременчук) – учитель вищої категорії, учитель-методист, Кременчуцька загальноосвітня школа I-III ступенів № 31.

Полякова Ірина Олександрівна (Київ) – кандидат технічних наук, LLC «TechnoChemAtom».

Порохня Микола Федорович (Харків) – науковий співробітник, ДУ Державний науково-дослідний і проектний інститут основної хімії «НІОХІМ», аспірант кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут».

Рибак Микола Петрович (Рахів) – здобувач, директор Карпатського біосферного заповідника, заслужений природоохоронець України.

Саварин Олександр Олександрович (Гомель) – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри екології, Гомельський державний університет імені Ф. Скорини.

Сакович Богдан Павлович (Херсон) – студент-магістр факультету кібернетики та системної інженерії, Херсонський національний технічний університет.

Скиба Маргарита Іванівна (Дніпро) – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології неорганічних речовин та екології Державного вищого навчального закладу «Український державний хіміко-технологічний університет».

Славін Віктор Васильович (Чернівці) – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Технологічне обладнання, машини та механізми» Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» Чернівецького факультету.

Сорока Тетяна Юріївна (Дніпро) – студентка, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка».

Стратійчук Денис Анатолійович (Київ) – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Інститут надтвердих матеріалів імені В.М. Бакуля Національної академії наук України.

Туркевич Володимир Зиновійович (Київ) – доктор хімічних наук, професор, академік Національної академії наук України, директор Інституту надтвердих матеріалів імені В. М. Бакуля Національної академії наук України.

Улицький Олег Андрійович (Київ) – доктор геологічних наук, доцент.

Усенко Вячеслав Юрійович (Київ) – здобувач, Національний авіаційний університет.

Харитонов Микола Миколайович (Дніпро) – доктор технічних наук, професор, Дніпровський державний аграрно-економічний університет.

Хом'як Іван Владиславович (Житомир) – кандидат біологічних наук, доцент кафедри екології, природокористування та біології людини, Житомирський державний університет імені Івана Франка.

Хрутьба Андрій Сергійович (Київ) – аспірант факультету інформаційних технологій, Київський національний університет імені Тараса Шевченка.

Хрутьба Вікторія Олександрівна (Київ) – доктор технічних наук, завідувач кафедри екології та безпеки життєдіяльності Національного транспортного університету.

Шевчук Лілія Іванівна (Львів) – доктор технічних наук, професор кафедри технології органічних продуктів, Національний університет «Львівська політехніка».

Шимончук Павло Павлович (Київ) – студент, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління.

Шпак Ніна Петрівна (Вінниця) – науковий співробітник, Національний природний парк «Кармелюкове Поділля».

Шпиг Віталій Михайлович (Київ) – кандидат географічних наук, Український гідрометеорологічний інститут Державної служби України з надзвичайних ситуацій України та Національної академії наук України.

Шульга Олександр Олександрович (Ічня) – директор, Ічнянський національний природний парк.

Якушева Анастасія Вікторівна (Харків) – аспірант, Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем».

Ястребова Ярослава Вікторівна (Житомир) – магістр, Житомирський державний університет імені Івана Франка.

НОТАТКИ

Наукове видання

ЕКОЛОГІЧНІ НАУКИ

НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ

1(24). Т. 2

- *Екологія і виробництво*
- *Зміна клімату*
- *Розвиток природно-заповідного фонду України*
- *Збереження біорізноманіття*
- *Поводження з відходами*
- *Сторінка молодого вченого*

Адреса редакції:

Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корпус 2, Київ, 03035;
тел./факс (+38 044) 206-30-34;
www.ecoj.dea.kiev.ua
e-mail: info@ecoj.dea.kiev.ua

Видавничий дім «Гельветика»

E-mail: mailbox@helvetica.com.ua Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 6424 від 04.10.2018 р.

Підписано до друку 05.02.2019. Формат 64x90/8.

Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman. Цифровий друк.

Ум.-друк. арк. 20,69. Тираж 100. Замовлення № 0519/92.

Ціна договірна. Віддруковано з готового оригінал-макета