

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ

ІНСТИТУТ ВОДНИХ ПРОБЛЕМ І МЕЛІОРАЦІЇ

МЕЛІОРАЦІЯ І ВОДНЕ ГОСПОДАРСТВО

Випуск 106

*Міжвідомчий тематичний
науковий збірник*

Київ
2017

УДК 631.67:631.62:626.8:691.175:699.8

Засновник – Інститут водних проблем і меліорації Національної академії аграрних наук України. Свідоцтво про державну реєстрацію – № 21720-11620 ПР

Видання занесене до переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата технічних і сільськогосподарських наук (Наказ Міністерства освіти і науки України від 09.03.2016 № 241).

Рекомендовано до друку вченою радою Інституту водних проблем і меліорації НААН 30 листопада 2017 року (протокол № 9).

У збірнику відображено результати теоретичних та експериментальних досліджень з пріоритетних напрямів: агроресурси, водні ресурси, зрошення, осушення, гідрорологія, екологія, гідротехніка, агроінженерія тощо. Стане у пригоді науковцям, фахівцям водного та сільського господарства.

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

М.І. РОМАЩЕНКО, д.т.н., проф., акад. НААН (*головний редактор*)
А.П. ШАТКОВСЬКИЙ, д.с.-г.н., с.н.с. (*заступник головного редактора*)
Т.І. ТРОШИНА, Н.В. ЛОГУНОВА (*відповідальні секретарі*)

В.В. АДАМЧУК, д. т. н., проф., акад. НААН
С.А. БАЛЮК, д. с.-г. н., проф., акад. НААН
BART SCHULTZ д., проф. (*Нідерланди*)
WALDEMAR. MIODUSZEWSKI, д., проф. (*Польща*)
В.А. ВЕРГУНОВ, д. с.-г. н., проф., акад. НААН
В.І. ВИШНЕВСЬКИЙ, д. геогр. н., проф.
Р.А. ВОЖЕГОВА, д. с.-г. н., проф., чл.-кор. НААН
В.А. ГУРИН, д. т. н., проф.
М.М. ДУБЕНОК, д. с.-г. н., проф., акад. РАН (*Росія*)
О.І. ЖОВТОНОГ, д. с.-г. н., с.н.с.
В.Ф. КАМІНСЬКИЙ, д. с.-г. н., проф., акад. НААН
Б.М. КІЗЯЄВ, д. т. н., проф., акад. РАН (*Росія*)
П.І. КОВАЛЕНКО, д. т. н., проф., акад. НААН,
член РАСГН (*Росія*), член IAA Geographi (i) (*Італія*)
П.І. КОВАЛЬЧУК, д. т. н., проф.
В.І. КРАВЧУК, д. т. н., проф., чл.-кор. НААН
А.П. ЛІХАЦЕВИЧ, д. т. н., проф., чл.-кор. НААН
(*Білорусь*), член РАН (*Росія*)
Ю.А. МАЖАЙСЬКИЙ, д. с.-г. н., проф.

М.П. МАЛЯРЧУК, д. с.-г. н., с.н.с.
Ю.О. МИХАЙЛОВ, д. т. н., с.н.с.
В.С. МОШИНСЬКИЙ, д. с.-г. н., проф.
О.П. МУЗИКА, к. т. н., с.н.с.
В.М. ПОПОВ, д.т. н.
А.М. РОКОЧИНСЬКИЙ, д. т. н., проф.
І.Т. СЛЮСАР, д. с.-г. н., проф.
В.А. СТАШУК, д. т. н., проф., чл.-кор. НААН
О.Г. ТАРАРІКО, д. с.-г. н., проф., акад. НААН
Ю.О. ТАРАРІКО, д. с.-г. н., проф., чл.-кор. НААН
В.О. УШКАРЕНКО, д. с.-г. н., проф., акад. НААН
Б.О. ФАЙБИШЕНКО, д.т.н. (*США*)
О.І. ФУРДИЧКО, д. с.-г. н., проф., акад. НААН
П.Д. ХОРУЖИЙ, д. т. н., проф.
С.А. ШЕВЧУК, к. т. н. с.н.с.
А.В. ЯЦИК, д. т. н., проф., акад. НААН
М.В. ЯЦИК, к.т.н., с.н.с.
М.В. ЯЦЮК, к.геогр.н.

Адреса редакції:

Інститут водних проблем і меліорації НААН
вул. Васильківська, 37, Київ, 03022
Тел. (044) 257-31-84, 050 947 90 35

ISSN 0507-2166

ISBN 978-966-289-197-3

UDC 631.15: 631.62

SCIENTIFIC BASIS OF RESTORATION AND DEVELOPMENT IN OF IRRIGATION UKRAINE IN THE CURRENT CONTEXT

M.I. ROMASHCHENKO, Doctor of Engineering Science, Academician of NAAS,
M.V. YATSIUK, PhD in Geographical Science,
O.I. ZHOVTONOG, Doctor of Agricultural Science,
O.O. DEHTIAR, PhD in Engineering Science,
R.V. SAYDAK, PhD in Engineering Science,
T.V. MATIASH, PhD in Engineering Science,
Institute of Water Problems and Land Reclamation of NAAS

The article highlights the current state and problems existing in the irrigation sector that caused a significant decrease in the efficiency of irrigated land use. The scientific principles of irrigation restoration on the way to its sustainable functioning and development have been considered, which became the basis for the development of «Irrigation and drainage strategy in Ukraine up to 2030»

Keywords: irrigation, restoration, development, engineering infrastructure, management, strategy

Formulation of the problem. One of the topical issues of the present is the achievement of sustainable development of the agrarian sector of Ukraine's economy. Global climatic changes that have caused the growth of the territory with manifestations of climate drought and desertification processes, together with a significant deficit of natural moisture, have created in Ukraine conditions under which the sustainable cultivation of crop production without irrigation is unproductive, and in the south of the country in Kherson, Zaporizhya, Mykolaiv and Odessa regions are impossible [1-3, 5].

The political, financial and economic crisis in the country, the imperfection of the modern water management system and existing legislation negatively affected the state of water and land use. In the background of these processes, there was a significant reduction in the areas of actual irrigation, which undermined its impact on reducing the dependence of agricultural production on weather conditions.

Today, the level of use of existing potential of irrigated infrastructure is close to the critical one. That is why irrigation is a prerequisite for adapting the agrarian sector to climate change and ensuring Ukraine's food security.

The scientific and conceptual framework for irrigation renewal and development has become the basis for the development of an «Irrigation and Drainage Strategy in Ukraine up to 2030», prepared jointly with a team of experts from the World Bank, the Food and Agriculture Organization of the United Nations in cooperation with Coordination Council established under the Cabinet of Ministers of Ukraine.

The purpose of the research is to analyze the state and main trends of the development of the

irrigation sector in Ukraine at the present stage and to substantiate the scientific principles of its restoration and sustainable use in conditions of climate change.

Analysis of recent research and publications. The analysis of world experience shows that today irrigation plays a decisive role in ensuring the sustainability of agriculture in the face of natural warming due to climate change. The study of various aspects of rational use of irrigated lands, the sustainable functioning of irrigation systems, in particular through the restoration and modernization of the objects of their engineering infrastructure, is devoted to a number of scientific studies of domestic and foreign scientists. The international organizations such as the United Nations Economic Commission for Europe (UNECE), the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), the Food and Agriculture Organization of the United Nations (UN FAO), the International Commission on Irrigation and Drainage (ICID)) etc. [4, 7-10].

According to the Association Agreement between Ukraine and the European Union, Directive 2000/60 / EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 «On the establishment of the framework for Community action in the field of water policy», Ukraine is obliged to implement measures aimed at achieving sustainable management of all water resources. The scientific and conceptual framework for the rehabilitation and development of irrigation is part of the solution to this priority task.

Research results. According to preliminary expert estimates, about 2/3 of the territory of our country is in conditions of insufficient natural water supply. Climate change is manifested

mainly due to the increase in air temperature at the background of the existing rainfall, and this negatively affects the conditions of farming, especially in the southern region of the country.

It should be noted that over the past decades in Ukraine, the area of dry and very dry zone has increased by 7% and covers 11.6 million hectares of arable land, and arid and insufficiently humid areas have shifted to the north of the country. At the same time, the area of percolated lands decreased by almost 10% and occupies 7.6 million hectares (Table 1, Fig. 1). In Ukraine, agriculture accounts for 18.7 million hectares of arable land (60%) in the conditions of a significant deficit of annual climatic balance of more than 150 mm, which causes a high need for irrigation.

Especially acute issue of irrigation is in the Steppe zone, where the deficit of climatic water balance is 360-480 mm, and the probability of

years with a significant deficit of moisture during the growing season is 90-95%.

In the case of insufficient water supply, the yield of agricultural crops directly depends on the ability of the irrigation systems to function effectively, that is to provide water supply at the right time and sufficient to grow high and sustainable yield crops. Achievement of this is possible provided that the engineering infrastructure of the systems is in good working order.

Unfortunately, the current situation in the irrigation sector is of a crisis nature and leads to further deterioration of the state of the existing engineering infrastructure. The process of decay accelerated by a number of ill-considered measures during the reform of the agrarian sector of Ukraine's economy, namely:

– in accordance with the Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of August 13,

1. Estimation of annual climatic water balance and relative areas of zones of Ukraine with different levels of hydrothermal provision

№ zone	Scale of CWB, mm	Qualitative evaluation	Relative area of the zone, % of the total territory of Ukraine		
			1961-1990	1991-2016	+ to 1961-1990
I	More than 50	Excessively humid	12,5	4,5	- 8,0
II	-50 – (-50)	Humid	32,0	30,0	-2,0
III	-50 – (-150)	Deficiently humid	10,0	16,0	6,0
IV	-150 – (-300)	Arid	23,0	20,0	-3,0
V	-300 – (-450)	Dry	18,5	22,0	3,5
VI	Less than -450	Very dry	4,0	7,5	3,5

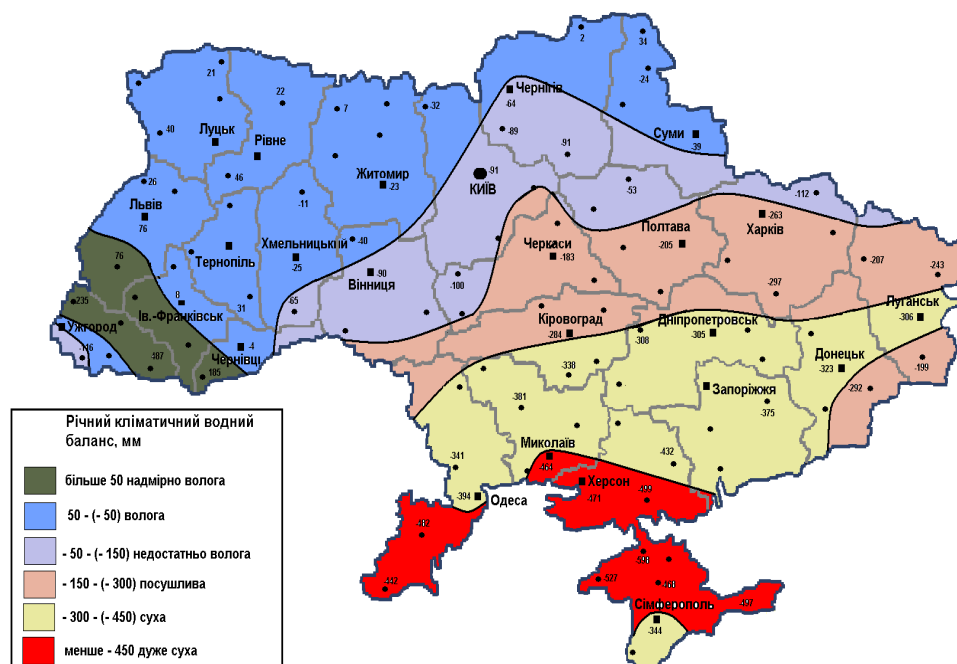


Fig. 1. The zoning of the territory of Ukraine by the annual climatic water balance

2003, № 1253, the inter-farm network located on the balance of liquidated collective agricultural enterprises was transferred to the ownership of local governments, which created the prerequisites for the sharp deterioration in the level of exploitation of inland irrigation networks by different owners (Table 2) and, as a result, reduction of irrigation areas, theft and destruction of networks;

2. Ownership of farm reclamation systems

Owner	Area (ha)	% of total area
Village Councils	949 470	36%
Not yet transferred to village councils (without the owner)	835 630	32%
Private and collective agricultural enterprises	407 070	16%
Ownerless land	373 230	14%
State property	55 330	2%
Total:	2 620 730	100%

– separate plots of land within technologically integral irrigated arrays were allocated without proper regulation and determination of responsibility for misuse of reclaimed land, resulting in the destruction of the integrity of the entire reclamation complex;

– the establishment of a minimum lease term for irrigated land, which is insufficient for

the return on investment, and does not encourage investors to invest in restoration and development.

Unlike farm networks, inter-farm infrastructure, due to the more responsible attitude of the State Agency for Water Supply to its maintenance and operation, is in a slightly better condition. Data from the latest inventory carried out by the State Agency of Ukraine for Water Supply in 2013 show that the composition of inter-farm irrigation systems includes 423 main water intake structures, 1730 pumping stations, and 96 reservoirs with a useful volume of 463 million cubic meters. The length of the permanent irrigation network is 7.3 thousand kilometers, including the canals – 3.3 thousand kilometers and pipelines – 3.9 thousand kilometers [5].

The general engineering infrastructure of irrigation systems, which in most cases lasted for about 50 years, completely exhausted its technical resource, and some objects reached their limit state, in which their further exploitation is impossible or inappropriate (Table 3). This is mainly the case with the hydraulic structures of the internal irrigation network, which, as a result of unsuccessful political and economic transformations in the country, remained without an effective owner and were subject to decay, destruction and looting [3, 5, 6, 12, 13].

As a result, due to the significant reduction of budget financing, the lack of proper financial resources for water users to restore the engi-

3. The main reasons of non-use farm irrigation networks

Administrative unit	Actual irrigated land, thousand hectares	Total land out of use, thousand hectares	Including reasons:				Area of irrigated land, where it is possible to restore reclamation systems, thousand hectares
			Unsatisfactory technical condition of the network, thousand hectares	Lack of sprinklers, thousand hectares	Subject to retirement, thousand hectares	Unsatisfactory technical condition of pumping equipment, thousand hectares	
1	2	3	4	5	6	7	8
Vinnitsya	23,8	22,6	11,1	20,2	8,4	10,8	13,0
Volyn	0,5	0,5			0,5		
Dnipropetrovsk	198,7	163,0	136,4	37,0	55,6	12,5	80,4
Donetsk	122,3	105,3	61,0	8,9	32,9	2,0	14,8
Zakarpatska	0,9	0,9	0,3	0,6			0,9
Zaporizhyya	240,7	191,9	130,2	48,2	13,5		172,2
Kyiv	43,9	23,5	19,2	13,7	13,7	9,2	16,7
Kirovograd	40,7	25,2	18,9	24,9	13,1	18,0	27,2
Lugansk	54,1	48,7	41,7	48,2	35,3	8,5	13,3
Mykolaiv	190,3	138,3	115,8	111,7	47,0	32,5	36,5

End of table 3

1	2	3	4	5	6	7	8
Odessa	226,9	187,8	105,8	46,6	0,5	0,7	175,2
Poltava	50,8	50,8	4,3	21,9	23,5	1,1	23,6
Sumy	1,2	1,2			1,2		
Kharkiv	82,4	74,8	62,7	57,4	55,5	12,7	14,4
Kherson	426,8	135,3	59,0	66,1	1,4	8,8	108,9
Khmelnysk	1,3	1,3			1,3		
Cherkasy	63,2	56,4	13,0	26,6	16,7		39,7
Chernigiv	0,5	0,5			0,5		
AR Crimea	401,6	242,9			40,8		147,1
Totally in Ukraine	2170,5	1470,8	925,7	660,2	361,4	122,1	884,5

neering infrastructure of irrigation systems, and the purchase and renovation of the park of sprinkling equipment, there was a significant reduction in actual watering areas – today only about 20% of the available irrigated areas are watered lands (Table 4) [3, 5, 6].

The outdated pump equipment on irrigation systems has expired its normative lifetime and, as a result, the actual efficiency of pump units has

decreased to 0.6, that is steel at 20-25% lower than their nominal values. Because of this, the water supply process is characterized by high energy consumption (up to 400 kWh / thousand m³).

The constant increase in the cost of electricity consumed to supply water to irrigation, due to the imperfect payment system, creates a situation where water users, agricultural producers, farmers can not pay for these services and irrigate their land.

The imperfection of existing legislation and the ineffectiveness of the management system require the settlement of institutional, legislative, managerial and organizational issues to facilitate the investment required to restore irrigation infrastructure as a basis for increasing the effective use of water and land resources in the country and further enhancing agricultural production.

On the basis of the performed complex of research on the restoration and development of irrigation in Ukraine it is proposed to implement using the following basic provisions:

- The expansion of irrigation areas should be carried out primarily through the reconstruction and modernization of irrigation systems on lands that were previously watered with the maximum use of existing farming networks;

- Modernization and reconstruction of irrigated systems should provide for the predominant application of low-pressure spray systems and drip irrigation, including subsoil, as well as anti-filtering measures on channels using geomembrane coatings;

- Increased energy efficiency of irrigation should be ensured by the use of pumped-and-power equipment with a controlled drive and the transfer of energy supply to the use of renewable sources (wind, solar) of energy with their location on the lands of the water fund;

- Irrigation restoration should take place for unconditional compliance with ecological safety

4. Availability and use of irrigated lands in Ukraine

Region	Availability of irrigated land, thousand hectares	Irrigated in 2016	
		thousand hectares	%
Vinnitsya	23,82	3,8	15,95
Volyn	0,50	–	–
Dnipropetrovsk	198,68	27,9	14,04
Donetsk	122,32	4,1	3,35
Zakarpatska	0,88	0,6	68,18
Zaporizhyya	240,40	45,9	19,09
Kyiv	43,90	9,8	22,32
Kirovograd	40,69	2,8	6,88
Lugansk	60,30	0,5	0,83
Mykolaiv	190,30	26,0	13,66
Odessa	226,86	40,3	17,76
Poltava	51,20	1,7	3,32
Sumy	1,20	–	–
Kharkiv	82,38	6,4	7,77
Kherson	426,80	292,2	68,46
Khmelnysk	1,30	–	–
Cherkasy	63,18	10,6	16,78
Chernigiv	2,10	–	–
AR Crimea	397,30	–	–
Totally in Ukraine	2178,30	472,6	21,70

requirements, taking into account the ecological and reclamation state of irrigated lands, the direction of soil processes and regimes, the level of soil fertility, the possibilities of manifestation of salinity processes, salinization, groundbreaking, hydromorphization of land and quality of irrigated water;

- In order to ensure the effective operation of the internal network of irrigation systems, organizations of water users who are required to receive and manage these networks on a royalty-free basis should be established. There may be two main options for the transfer of farmland networks – before restoration or after recovery. In the first case, the organization of water users will rely on the task of its restoration, in the second – only to ensure effective operation. The status, basic rights and obligations of water users organizations should be regulated by a special law of Ukraine «On Water Users Organization». The development and adoption of this law is one of the priority tasks;

- Implementation of irrigation rehabilitation and development projects should be preceded by institutional reform of the water sector. In the process of its implementation, the key provisions of the EU Water Framework Directive should be implemented, first of all, the functions of forming and implementing water policy should be separated from the functions of infrastructure management and provision of services;

- Tariffs for water supply services for irrigation should be formed with the participation of all

stakeholders and cover all water supply costs, ie their amount should be sufficient to transfer irrigation to self-sufficiency;

- Irrigation areas in Ukraine should be brought to a level where their role in eliminating the dependence of crop production volumes from unfavorable weather conditions is restored. According to expert estimates, such an irrigation role is ensured in the southern region of Ukraine, provided that the irrigation area is increased to 1.5-1.7 million hectares;

These and other provisions are the basis of the «Strategy for the rehabilitation and development of irrigation and drainage in Ukraine up to 2030», developed jointly with the experts of the World Bank and FAO and recommended for consideration and approval by the Cabinet of Ministers of Ukraine.

Conclusions. The proposed scientific principles for the restoration and development of irrigation in Ukraine in modern conditions provide for an integrated approach with the simultaneous implementation of measures for the modernization of land reclamation systems, institutional reform and legislative support.

Implementation of the Strategy will enable to create favorable conditions for attraction of investments for restoration of the potential of irrigation and drainage systems and thereby increase the area of irrigated agricultural land to 1.5-1.7 million hectares, increase the stability of the agrarian sector of the economy to climate change while raising the level of ecological safety irrigation.

Bibliography

1. *Scientific bases of protection and rational use of irrigated lands in Ukraine* / S. Balyuk, et al. Kyiv: Agrarian Science, 2009. 624 p.
2. *Technical and technological principles of irrigation restoration in Ukraine* / Romaschenko M. I., et al. // *Reclamation and water management*. 2006. Issue 93. pp. 21-33.
3. *Concept of Irrigation Recovery and Development in the Southern Region of Ukraine* (edited by M.I. Romashchenko) K.: «Comprint» CPU, 2014. 28 p.
4. Carlos Garsez-Restrepo, Douglas Vermillion, Giovanni Munoz. *Transfer of management of irrigation systems / World experience and results. FAO report on water issues. Rome: 2007. 63 p.*
5. *Soil melioration (systematics, perspectives, innovations): a collective monograph.* / Balyuk S.A., et al. Kherson: Grin D. S., 2015. 668 p.
6. Romashchenko M., Dekhtiar O. *Irrigation Reform in Ukraine: Organizational and Legal Aspects / 2nd World Irrigation Forum (WIF2) «Water Management in a Changing World: Role of Irrigation in Sustainable Food Production.» 6-12.11 2016. Chiang Mai, Thailand.W.1.3.01. -11r*
7. Svendsen, Mark, Jose Trava. *Participatory Irrigation Management: Benefits and Second Generation Problems. Lessons from an International Workshop held at CIAT, Cali, Colombia, 9-15 February 1997. The Economic Development Institute of the World Bank, Washington, DC.*
8. *Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture. Water for Food, Water for Life. Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture. London: Earthscan, and Colombo: International Water Manegment Institute. 2007*
9. Hrabrin Bachev. *Agricultural water management in Bulgaria. Institute of Agricultural Economics, Sofia, 1st of August 2010. Online <https://mprapub.uni-muenchen.de/24535/> MPRA Paper No. 24535, posted on August 23, 2010.*

10. Renault D and Makin I.W. *Modernizing Irrigation Operations: Spatial Differentiated Resource Allocations Research Report 35*. International Water Management Institute. P O Box 2075, Colombo, Sri Lanka. 1999

11. *Managing the process of restoration and sustainable use of irrigation* / Romaschenko M. I. et al. // *Reclamation and water management*. 2014. Issue 101. P. 137-147.

12. *Scientific principles of agriculture development in the steppe of Ukraine* / Romashchenko M.I., et al. // *Bulletin of Agrarian Science*. 2015. № 10. P. 5-9.

13. *Restoration of the functional capacity of irrigation systems*. Kruchenyuk V.D., et al. // *Bulletin of Agrarian Science*. 2016. № 3. P. 49-52.

**М.І. Ромащенко, М.В. Яцюк, О.І. Жовтоног, О.А. Дехтяр,
Р.В. Сайдак, Т.В. Матяш**

**Научные основы восстановления и развития орошения в Украине
в современных условиях**

В статье освещено современное состояние и проблемы, существующие в секторе орошения, которые повлекли существенное снижение эффективности использования орошаемых земель. Рассмотрены научные основы восстановления орошения на пути к его устойчивому функционированию и развитию, которые стали основой для разработки «Стратегии орошения и дренажа в Украине на период до 2030 года»

**М.І. Ромащенко, М.В. Яцюк, О.І. Жовтоног, О.А. Дехтяр,
Р.В. Сайдак, Т.В. Матяш**

Наукові основи відновлення та розвитку зрошення в Україні в сучасних умовах

У статті висвітлено сучасний стан та проблеми, що існують у секторі зрошення, які призвели до істотного зниження ефективності використання зрошуваних земель. Розглянуто наукові основи відновлення зрошення на шляху до його стійкого функціонування та розвитку, які стали основою для розробки «Стратегії зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року»

УДК 631.15:631.62

НАУКОВІ ЗАСАДИ ВІДНОВЛЕННЯ ТА РОЗВИТКУ ЗРОШЕННЯ В УКРАЇНІ В СУЧАСНИХ УМОВАХ

М.І. РОМАЩЕНКО, академік НААН, док. техн. наук,
М.В. ЯЦЮК, канд. геогр. наук,
О.І. ЖОВТОНОГ, док. с.-г. наук,
О.О. ДЕХТЯР, канд. техн. наук,
Р.В. САЙДАК, канд. техн. наук,
Т.В. МАТЯШ, канд. техн. наук
Інститут водних проблем і меліорації НААН

У статті висвітлено сучасний стан і проблеми, що існують у секторі зрошення та спричинили істотне зниження ефективності використання зрошуваних земель. Розглянуто наукові засади відновлення зрошення на шляху до його сталого функціонування та розвитку, які стали основою для розроблення «Стратегії зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року»

***Ключові слова:** зрошення, відновлення, розвиток, інженерна інфраструктура, управління, стратегія*

Постановка проблеми. Одним з актуальних питань сьогодення є досягнення сталого розвитку аграрного сектора економіки України. Глобальні кліматичні зміни, що спричинили зростання території з проявами посушливості клімату та процесами опустелювання, поряд із значним дефіцитом природного волого забезпечення, створили в Україні умови, за яких стало вирощування продукції рослинництва без зрошення непродуктивне, а на півдні країни в Херсонській, Запорізькій, Миколаївській та Одеській областях неможливе [1-3, 5].

Політична, фінансова та економічна криза в країні, недосконалість сучасної системи управління водогосподарською галуззю та існуючого законодавства негативно вплинули на стан використання водних та земельних ресурсів. На фоні цих процесів відбулось значне скорочення площ фактичного зрошення, що знівелювало його вплив на зменшення залежності виробництва сільськогосподарської продукції від погодних умов.

На сьогодні рівень використання наявного потенціалу зрошуваної інфраструктури близький до критичного. Саме тому відновлення зрошення є обов'язковою умовою адаптації аграрного сектора економіки до змін клімату та забезпечення продовольчої безпеки України.

Наукові та концептуальні засади відновлення та розвитку зрошення стали основою розробки «Стратегії зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року», підготовленою спільно із групою експертів зі Світового банку, Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН у співпраці

з Координаційною радою, створеною при Кабінеті Міністрів України.

Мета досліджень – проаналізувати стан та основні тенденції розвитку сектора зрошення в Україні на сучасному етапі та обґрунтувати наукові засади його відновлення і сталого використання в умовах змін клімату.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз світового досвіду свідчить, що сьогодні зрошенню належить визначальна роль у забезпеченні сталості землеробства на фоні природного потепління внаслідок змін клімату. Дослідженню різних аспектів раціонального використання зрошуваних земель, сталого функціонування зрошувальних систем, зокрема і шляхом відновлення і модернізації об'єктів їхньої інженерної інфраструктури, присвячено низку наукових досліджень вітчизняних та зарубіжних вчених. Цим проблемам значну увагу приділяють і такі міжнародні організації як Європейська економічна комісія ООН (ЄЕК ООН), Міжурядова група експертів по зміні клімату (МГЕІК), Продовольча та сільськогосподарська організація Об'єднаних націй (ФАО ООН), Міжнародна комісія з іригації та дренажу (МКІД) та ін. [4, 7-10].

Згідно з Угодою про асоціацію між Україною та Європейським Союзом, Директивою 2000/60/ЄС Європейського Парламенту і Ради Європи від 23 жовтня 2000 р. «Про встановлення рамок діяльності Співтовариства в галузі водної політики» Україна зобов'язана впроваджувати заходи, спрямовані на досягнення сталого управління всіма водними ресурсами. Наукові та концептуальні засади відновлення та розвитку

зрошення є складовою вирішення цього пріоритетного завдання.

Результати досліджень. За попередніми експертними оцінками близько 2/3 території нашої країни перебуває в умовах недостатнього природного вологозабезпечення. Зміни клімату проявляються переважно через зростання температури повітря на фоні існуючого рівня опадів і це негативно впливає на умови ведення землеробства, особливо у південному регіоні країни.

Слід відзначити, що за останні десятиріччя в Україні площа сухої та дуже сухої зони збільшилась на 7% і охоплює 11,6 млн га ріллі, а посушлива та недостатньо зволожені зони змістились на північ країни. Водночас площа перезволожених земель скоротилась майже на 10% і займає 7,6 млн. га (табл. 1,

рис. 1). В Україні на 18,7 млн. га орних земель (60%) землеробство ведеться в умовах значного дефіциту річного кліматичного балансу понад 150 мм, що обумовлює високу потребу у зрошенні.

Особливо гостро питання зрошення стоїть у зоні Степу, де дефіцит кліматичного водного балансу становить 360-480 мм, а імовірність років зі значним дефіцитом вологи у вегетаційний період становить 90-95%.

При недостатньому вологозабезпеченні врожайність сільськогосподарських культур безпосередньо залежить від спроможності зрошувальних систем ефективно функціонувати, тобто здійснювати водоподачу в необхідний час і в достатній для вирощування високих і сталих врожаїв кількості. Досягнення цього можливо за

1. Оцінка річного кліматичного водного балансу та відносні площі зон України з різним рівнем гідротермічного забезпечення

№ зони	Шкала КВБ, мм	Якісна оцінка	Відносна площа зони, % від загальної території України		
			1961-1990 рр.	1991-2016 рр.	+ до 1961-1990 рр.
I	Більше 50	Надмірно волога	12,5	4,5	- 8,0
II	-50 – (50)	Волога	32,0	30,0	-2,0
III	-50 – (-150)	Недостатньо волога	10,0	16,0	6,0
IV	-150 – (-300)	Посушлива	23,0	20,0	-3,0
V	-300 – (-450)	Суха	18,5	22,0	3,5
VI	Менше -450	Дуже суха	4,0	7,5	3,5

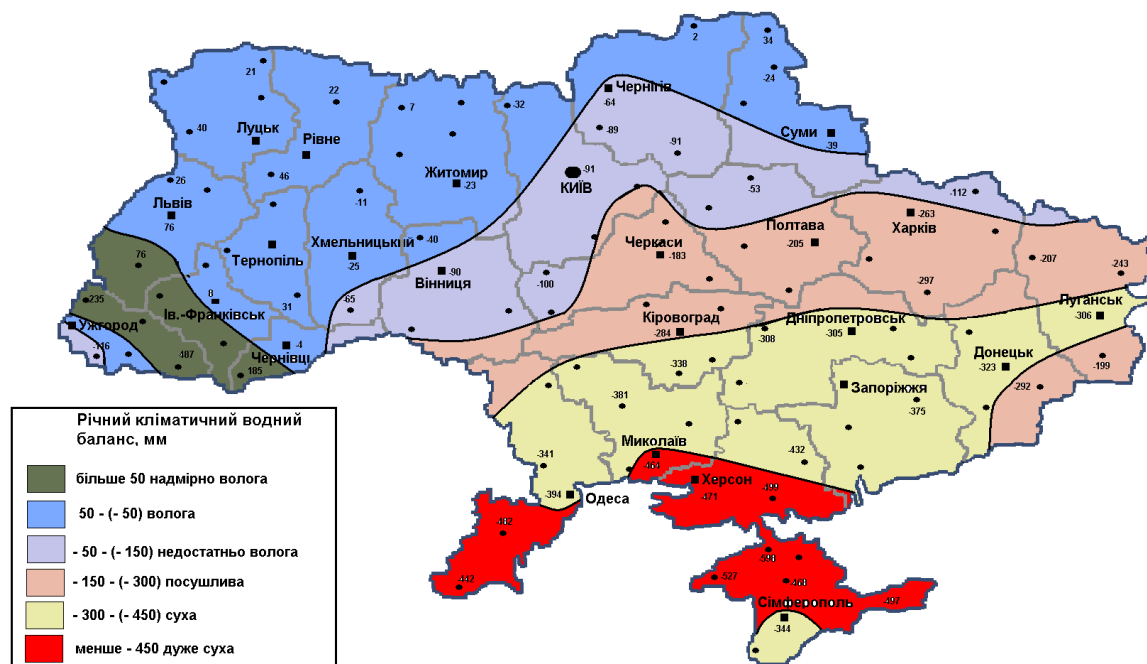


Рис. 1. Районування території України за річним кліматичним водним балансом

умови належного, працездатного технічного стану об'єктів інженерної інфраструктури систем.

На жаль, сучасна ситуація в секторі зрошення має кризовий характер і спричиняє подальше погіршення стану наявної інженерної інфраструктури. Процес занепаду прискорився цілим рядом непродуманих заходів під час реформування аграрного сектора економіки України, а саме:

– згідно з Постановою КМ України від 13 серпня 2003 р. № 1253 внутрішньогосподарська мережа, що перебувала на балансі ліквідованих колективних сільськогосподарських підприємств, передана у власність органів місцевого самоврядування, що створило передумови для різкого погіршення рівня експлуатації внутрішньогосподарських зрошувальних мереж різними власниками (табл. 2) і, як наслідок, скорочення площ поливу, розкрадання і руйнації мереж;

2. Власність внутрішньогосподарських меліоративних систем

Власник	Площа (га)	% від загальної площі
Сільські ради	949 470	36%
Ще не передана до сільських рад (без господаря)	835 630	32%
Приватні та колективні с/г підприємства	407 070	16%
Безгосподарні землі	373 230	14%
Державна власність	55 330	2%
Усього:	2 620 730	100%

– окремі земельні паї в межах технологічно цілісних зрошуваних масивів виділяли без належного врегулювання та визначення відповідальності за нецільове використання меліорованих земель, в результаті чого зруйнувалася цілісність всього меліоративного комплексу;

– встановлення мінімального терміну оренди зрошуваних земель, який недостатній для окупності інвестицій і не сприяє заохоченню інвесторів вкладати кошти у відновлення та розвиток. На відміну від внутрішньогосподарських мереж міжгосподарська інфраструктура, завдячуючи більш відповідальному ставленню Держводагентства до її утримання та експлуатації, перебуває у дещо кращому стані. Дані останньої інвентаризації, проведеної Держводагентством України у 2013 р., свідчать, що до складу міжгосподарських зрошувальних систем входять 423 головні водозабірні споруди, 1730 насосних станцій, 96 водосховищ з корисним об'ємом 463 млн. куб. метрів. Протяжність постійної зрошувальної мережі складає 7,3 тис. км, у тому числі канали – 3,3 тис. км та трубопроводи – 3,9 тис. км [5].

Загальна інженерна інфраструктура зрошувальних систем, яка в більшості випадків пропрацювала близько 50 років, повністю вичерпала свій технічний ресурс, а деякі об'єкти досягли свого граничного стану, при якому їх подальша експлуатація неможлива чи недоцільна (табл. 3). В основному це стосується гідротехнічних споруд внутрішньогосподарської зрошувальної мережі, які внаслідок невдалих політичних та економічних трансформацій в країні залишилися без ефективного власника і зазнали занепаду, руйнування та розграбування. [3, 5, 6, 12, 13].

3. Основні причини невикористання внутрішньогосподарських зрошувальних мереж

Адміністративна одиниця	Наявні зрошувані землі, тис.га	Всього не використовується, тис.га	У тому числі з причин:				Площі зрошуваних земель, на яких можна відновити меліоративні системи, тис.га
			незадовільний технічний стан мережі, тис.га	відсутність ДМ, тис.га	підлягає списанню, тис.га	незадовільний технічний стан НС обладнання, тис.га	
1	2	3	4	5	6	7	8
Вінницька	23,8	22,6	11,1	20,2	8,4	10,8	13,0
Волинська	0,5	0,5			0,5		
Дніпропетровська	198,7	163,0	136,4	37,0	55,6	12,5	80,4

Закінчення таблиці 3

1	2	3	4	5	6	7	8
Донецька	122,3	105,3	61,0	8,9	32,9	2,0	14,8
Закарпатська	0,9	0,9	0,3	0,6			0,9
Запорізька	240,7	191,9	130,2	48,2	13,5		172,2
Київська	43,9	23,5	19,2	13,7	13,7	9,2	16,7
Кіровоградська	40,7	25,2	18,9	24,9	13,1	18,0	27,2
Луганська	54,1	48,7	41,7	48,2	35,3	8,5	13,3
Миколаївська	190,3	138,3	115,8	111,7	47,0	32,5	36,5
Одеська	226,9	187,8	105,8	46,6	0,5	0,7	175,2
Полтавська	50,8	50,8	4,3	21,9	23,5	1,1	23,6
Сумська	1,2	1,2			1,2		
Харківська	82,4	74,8	62,7	57,4	55,5	12,7	14,4
Херсонська	426,8	135,3	59,0	66,1	1,4	8,8	108,9
Хмельницька	1,3	1,3			1,3		
Черкаська	63,2	56,4	13,0	26,6	16,7		39,7
Чернігівська	0,5	0,5			0,5		
АР Крим	401,6	242,9			40,8		147,1
Разом по Україні	2170,5	1470,8	925,7	660,2	361,4	122,1	884,5

Унаслідок цього та у зв'язку зі значним скороченням обсягів бюджетного фінансування, відсутністю власних фінансових

4. Наявність та використання зрошуваних земель в Україні

Область	Наявність зрошуваних земель, тис.га	Полито у 2016 р.,	
		тис.га	%
Вінницька	23,82	3,8	15,95
Волинська	0,50	–	–
Дніпропетровська	198,68	27,9	14,04
Донецька	122,32	4,1	3,35
Закарпатська	0,88	0,6	68,18
Запорізька	240,40	45,9	19,09
Київська	43,90	9,8	22,32
Кіровоградська	40,69	2,8	6,88
Луганська	60,30	0,5	0,83
Миколаївська	190,30	26,0	13,66
Одеська	226,86	40,3	17,76
Полтавська	51,20	1,7	3,32
Сумська	1,20	–	–
Харківська	82,38	6,4	7,77
Херсонська	426,80	292,2	68,46
Хмельницька	1,30	–	–
Черкаська	63,18	10,6	16,78
Чернігівська	2,10	–	–
АР Крим	397,30	–	–
Разом	2178,30	472,6	21,70

можливостей у водокористувачів на відновлення інженерної інфраструктури зрошувальних систем, придбання та оновлення парку дощувальної техніки відбулось значне скорочення площ фактичного поливу – сьогодні поливається лише близько 20 % від наявних площ зрошуваних земель (табл. 4) [3, 5, 6].

Застаріле насосно-силове обладнання на зрошувальних системах відпрацювало свій нормативний термін експлуатації і в результаті фактичні ККД насосних агрегатів знизилась до 0,6, тобто стали на 20-25 % нижчі за їх номінальні значення. Через це процес водоподачі характеризується високою енергоємністю (до 400 кВт год/ тис. м³).

Постійне зростання вартості електроенергії, що витрачається для подачі води на зрошення, за недосконалої системи оплати створює ситуацію, коли водокористувачі, сільгосптоваровиробники, фермери не можуть оплачувати ці послуги та зрошувати свої землі.

Недосконалість існуючого законодавства та неефективність системи управління потребують врегулювання інституційних, законодавчих, управлінських та організаційних питань для сприяння залученню інвестицій, необхідних для відновлення інфраструктури зрошувальних систем, як основи підвищення ефективного використання водних та земельних ресурсів країни і подальшого нарощування сільськогосподарського виробництва.

На основі виконаного комплексу досліджень відновлення та розвитку зрошення в Україні запропоновано здійснювати з використанням наступних основних положень:

- нарощування площ поливу має здійснюватись в першу чергу шляхом реконструкції та модернізації систем зрошення на землях, що раніше поливались з максимальним використанням існуючих внутрішньогосподарських мереж;

- модернізація та реконструкція зрошуваних систем має передбачати переважне застосування низьконапірних систем дощування та краплинного зрошення в тому числі підґрунтового, а також здійснення протифільтраційних заходів на каналах з використанням геомембранних покриттів;

- підвищення енергоефективності зрошення має забезпечуватись шляхом використання насосно-силового обладнання з регульованим приводом та переведення енергопостачання на використання відновлюваних джерел (вітрова, сонячна) енергії з їх розташуванням на землях водного фонду;

- відновлення зрошення має відбуватись за безумовного дотримання вимог екологічної безпеки з максимальним урахуванням еколого-меліоративного стану зрошуваних земель, спрямованості ґрунтових процесів та режимів, рівня родючості ґрунтів, можливості прояву процесів засолення, осолонцювання, підлужування, гідроморфізації земель та якості зрошуваної води;

- для забезпечення ефективної експлуатації внутрішньогосподарської мережі зрошувальних систем мають бути утворені організації водокористувачів, які на безоплатній основі мають отримати в управлінні та експлуатацію ці мережі. При цьому може бути два основних варіанти передачі внутрішньогосподарських мереж – до відновлення або після відновлення. В першому випадку на організації водокористувачів буде покладатись і завдання з її відновлення, в другому – лише забезпечення ефективної експлуатації. Статус, основні права і обов'язки організацій водокористувачів мають бути врегульовані спеціальним законом України “Про організації водо-

користувачів”. Розроблення та прийняття цього закону належить до першочергових завдань;

- реалізації проектів з відновлення та розвитку зрошення має передувати інституційна реформа галузі водного господарства. В процесі її здійснення мають бути реалізовані основні положення Водної рамкової директиви ЄС, в першу чергу функції формування та реалізації водної політики мають бути відокремлені від функцій управління інфраструктурою та надання послуг;

- тарифи на послуги з подачі води на зрошення мають формуватись за участю всіх зацікавлених сторін і забезпечувати покриття всіх витрат на подачу води, тобто їх величина має бути достатньою для переведення зрошення на самоопукність;

- площі зрошення в Україні мають бути доведені до рівня за якого відновлюється їх роль в ліквідації залежності обсягів продукції рослинництва від несприятливих погодних умов. За експертними розрахунками така роль зрошення є забезпечується в південному регіоні України за умови доведення площ поливу до 1,5-1,7 млн.га;

Ці та інші положення покладені в основу проекту «Стратегії відновлення та розвитку зрошення і дренажу в Україні на період до 2030 року», що розроблений спільно з експертами Світового банку та ФАО і рекомендований до розгляду та схвалення Кабінетом Міністрів України.

Висновки. Запропоновані наукові засади відновлення та розвитку зрошення в Україні в сучасних умовах передбачають комплексний підхід з одночасним здійсненням заходів з модернізації меліоративних систем, інституційної реформи та законодавчого забезпечення.

Впровадження Стратегії дасть можливість створити сприятливі умови для залучення інвестицій на відновлення потенціалу зрошувальних і дренажних систем і завдяки цьому довести площу зрошуваних сільськогосподарських угідь до 1,5-1,7 млн. га до 2030 року, підвищити стійкість аграрного сектора економіки до змін клімату за одночасного підвищення рівня екологічної безпеки зрошення.

Бібліографія

1. *Наукові основи охорони і раціонального використання зрошуваних земель України / Балюк С.А. та ін. Київ: Аграрна наука, 2009. 624 с.*
2. *Техніко-технологічні засади відновлення зрошення в Україні / Ромащенко М. І, та ін. // Меліорація і водне господарство. 2006. Вип. 93. С. 21-33.*
3. *Концепція відновлення та розвитку зрошення у південному регіоні України (за наук. ред. М.І. Ромащенко) К.: ЦП «Компринт», 2014. 28 с.*

4. Карлос Гарсез-Рестрепо, Дуглас Вермиллион, Джуованни Муньоз. Передача управления ирригационными системами /Мировой опыт и результаты. Отчет ФАО по водным вопросам. Рим: 2007. 63 с.
5. Меліорація ґрунтів (систематика, перспективи, інновації): колективна монографія. / Балюк С.А. та ін. Херсон: Грінь Д.С., 2015. 668 с.
6. Romashchenko M., Dekhtiar O. Irrigation Reform in Ukraine: Organizational and Legal Aspects/ 2nd World Irrigation Forum (WIF2) "Water management in a changing World: Role of Irrigation in Sustainable Food Production". 6-12.11 2016. Chiang Mai, Thailand.W.1.3.01. -11p.
7. Svendsen, Mark, Jose Trava. Participatory Irrigation Management: Benefits and Second Generation Problems. Lessons from an International Workshop held at CIAT, Cali, Colombia, 9-15 February 1997. Economic Development Institute of the World Bank, Washington, DC.
8. Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture. Water for Food, Water for Life. Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture. London: Earthscan, and Colombo: International Water Management Institute. 2007.
9. Hrabrin Bachev. Agricultural water management in Bulgaria. Institute of Agricultural Economics, Sofia, 1. August 2010. Online at <https://mpr.aub.uni-muenchen.de/24535/> MPRA Paper No. 24535, posted 23. August 2010.
10. Renault D and Makin I.W. Modernizing Irrigation Operations: Spatially Differentiated Resource Allocations Research Report 35. International Water Management Institute. P O Box 2075, Colombo, Sri Lanka. 1999.
11. Управління процесом відновлення та сталого використання зрошення / Ромащенко М. І. та ін. // Меліорація і водне господарство. 2014. Вип. 101. С. 137-147.
12. Наукові засади розвитку землеробства у зоні Степу України / Ромащенко М. І. та ін. // Вісник аграрної науки. 2015. № 10. С. 5-9.
13. Відновлення функціональної здатності зрошувальних систем. Крученко В.Д. та ін. // Вісник аграрної науки. 2016. № 3. С. 49-52.

**М.І. Ромащенко, М.В. Яцюк, О.І. Жовтоног, О.А. Дехтяр,
Р.В. Сайдак, Т.В. Матяш**

**Научные основы восстановления и развития орошения в Украине
в современных условиях**

В статье освещено современное состояние и проблемы, существующие в секторе орошения, которые повлекли существенное снижение эффективности использования орошаемых земель. Рассмотрены научные основы восстановления орошения на пути к его устойчивому функционированию и развитию, которые стали основой для разработки «Стратегии орошения и дренажа в Украине на период до 2030 года»

**M. Romashchenko, M. Yatsiuk, O. Zhovtonog, O. Dekhtiar,
R. Saydak, T. Matiash**

**Scientific principles of restoration and development of irrigation in Ukraine
under modern conditions**

The article highlights the current state and problems that exist in the irrigation sector and have caused a significant decrease in the efficiency of irrigated land use. The scientific principles of irrigation rehabilitation have been considered to provide for its sustainable functioning and development, which principles have become the basis for the development of "Irrigation and Drainage Strategy in Ukraine up to 2030"

УДК 631.4:631.61

ЗАКОНОМІРНОСТІ ПРОФІЛЬНОЇ МІНЛИВОСТІ ВЛАСТИВОСТЕЙ ОСУШУВАНИХ ТОРФОВИХ ҐРУНТІВ

С.С. КОЛОМІЄЦЬ, канд. с.-г. наук,
С.М. КІКА

Інститут водних проблем і меліорації НААН України

За удосконаленими лабораторними методами досліджень водоутримувальної здатності охарактеризовані закономірності профільної мінливості фізичних та водно-фізичних властивостей торфових ґрунтів, у т. ч. значень їх найменшої вологості (НВ) та мінливості структури порового простору під впливом меліоративного землеробства.

Ключові слова: фізичні і водно-фізичні властивості, профільна мінливість, структура порового простору торфу

Сучасний стан та актуальність. Останнім часом проблеми подальшого використання осушуваних торфових ґрунтів в Україні все частіше стають центром уваги фахівців-меліораторів, екологів та громадськості. Зазвичай це викликано негативними наслідками осушення торфовищ, зокрема такими як масштабні торфові пожежі і регіональне задимлення атмосфери. Все більше уваги приділяється загальнобіосферним функціям торфових боліт і гідроморфних ландшафтів [1, 2, 3]. Активізуються пошуки біосферносумісного використання торфовищ і торфових ґрунтів [1, 4]. Зокрема, в Інституті водних проблем і меліорації НААН проведено наукове обґрунтування та розроблена «Стратегія відновлення та розвитку зрошувальних і дренажних систем в Україні до 2030 року», згідно з якою більшу частину осушуваних торфовищ пропонується ренатуралізувати та повторно перевести у стан боліт. Зроблено також важливий висновок, що економічно доцільним є лише інтенсивне використання осушуваних земель, у т.ч. торфових. Однак сучасна парадигма меліоративного землеробства на осушуваних торфових ґрунтах орієнтована на збереження і подовження використання торфових ґрунтів за їх низькоінтенсивного використання з подовженим лучним періодом [5]. При такому використанні екологічні збитки основним компонентам гідроморфних ландшафтів перевищують прибуток від землеробства на цих землях [6].

Радикальним виходом з цієї ситуації є розірвання згубного кола, спрямованого на повну мінералізацію торфового покладу, створенням періодів відновлення торфонакопичення. Напрямок ренатуралізації і повторного заболочування вироблених і неефективно використовуваних осушуваних торфовищ інтенсивно розвивається у світі в рамках Програми

розвитку ООН Глобальний екологічний фонд (ПРООН/ГЕФ).

Нами також запропоновано концепцію екологічно збалансованого використання осушуваних торфовищ у меліоративному землеробстві шляхом створення так званих каскадних меліоративних систем, де лише 10% території використовують в інтенсивному землеробстві, а на 90% модулів створюють болотний режим з відновленням торфонакопичення [7].

Цей перспективний напрямок гармонізації продуктивних функцій торфових ґрунтів породжує низку питань, які необхідно вирішувати при повторному освоєнні осушуваних торфових ґрунтів: оптимальні терміни торфонакопичення, стратифікація торфового покладу (конструювання), прискорене освоєння та окультурення, регулювання швидкості торфонакопичення та ботанічного складу рослинності, сумісне використання заболочених модулів, технічні аспекти забезпечення заданого водного режиму тощо. Для вирішення цих питань необхідне поглиблення знань про закономірності профільної мінливості водно-фізичних властивостей торфових ґрунтів.

Метою даної публікації є висвітлення нового бачення щодо закономірностей трансформації фізичних та водно-фізичних властивостей торфового ґрунту на основі нових лабораторних методів досліджень, які стануть основою імітаційного моделювання процесів трансформації в умовах їх землеробського використання.

Методика досліджень. Для досліджень вибрано два профілі осушуваних торфових ґрунтів болотного масиву Чемерне на території Сарненської дослідної станції ІВПіМ НААН. Торфові ґрунти потужністю більше 2 м; добре розкладені (ступінь розкладу

більше 40 % в орному шарі та 10 % у глибших горизонтах); за ботанічним складом гіпно-во-осокові. Опробування ґрунтових профілів проведено на полі N1 площею 4,77 га між осушувальними каналами К15-1 та МК-2 на території дрібноділянкового досліджу з вирощування перспективних кормових культур на ділянках пайзи та кормових бобів. Відстань між ділянками не перевищує 10 м, тому ці ґрунтові профілі можна розглядати як повторність вивчення профільної мінливості властивостей осушуваних торфових ґрунтів.

На момент відбору монолітів торфового ґрунту (червень) рівень підґрунтових вод на дослідних ділянках знаходився на глибині 70-80 см від поверхні. З кожного ґрунтового профілю з глибини 15-30 см, 35-50 см та 65- 80 см у пластикові ріжучі кільця діаметром 12 см та висотою 15 см відібрано по три зразки ґрунту непорушеної структури.

Для проведення гідрофізичних досліджень водоутримувальної здатності за радіальною схемою циклу десорбція-сорбція відібрані моноліти були оснащені за схемою, представленою на рис.1.

Після оснащення зондами зразки насичували до повної вологості (ПВ) у вакуумній камері та проводили відповідно

до схеми цикли випробувань: максимально швидка десорбція від ПВ – повільна рівноважна сорбція – повторна швидка десорбція. Повний опис алгоритму випробувань наведений в [8, 9]. Проведені лабораторні дослідження щодо визначення тиску порової води та лабораторного визначення водоутримувальної характеристики відповідали чинним ДСТУ ISO 11274 [10] та ДСТУ ISO 11276 [11]. Проведення комплексних гідрофізичних досліджень за нижченаведеною схемою і алгоритмом дозволяє суттєво розширити їх інформативність та отримати нові знання й діагностичні показники ґрунту, зокрема величину найменшої вологості (НВ) [12] та характеристику структури порового простору, які раніше для торфових ґрунтів не визначались.

Основою визначення структурної характеристики порового простору ґрунту є експериментальне одержання петлі капілярного гістерезису водоутримувальної здатності, що дозволяє графічним способом отримати залежність $V_{зп}=f(P)$, або $V_{зп}=f(r)$, яка становить собою сумарний об'єм пор певного розміру, тобто є диференціальною кривою розподілу порового простору за розмірами (радіусами) [9]. Оригінальний спосіб лабораторного визначення значень найменшої

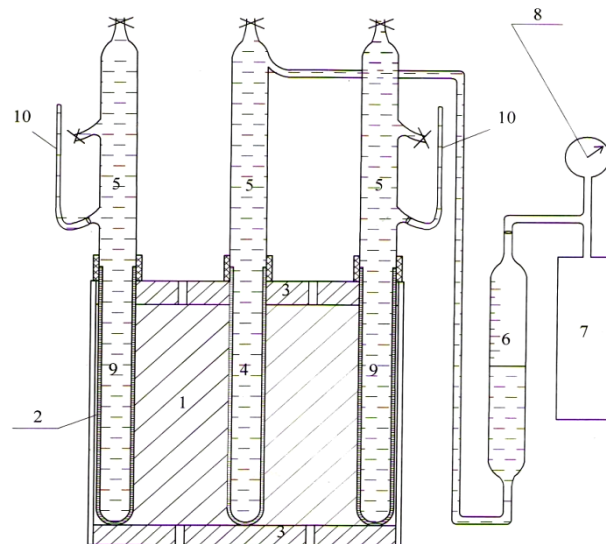


Рис. 1. Схема оснащення зразків ґрунту непорушеної структури для проведення гідрофізичних випробувань водоутримувальної здатності в циклі десорбція-сорбція:

- 1 – торфовий ґрунт; 2 – ріжуче пластикове кільце; 3 – парафіно-бітумні корки; 4 – центральний робочий керамічний зонд; 5 – скляні газозловлювачі; 6 – вимірювальна бюретка на 100 мл; 7 – баластна вакуумна ємкість; 8 – контрольний вакуумметр; 9 – керамічні зонди контрольних тензіометрів; 10 – вимірювальні капіляри для індикації капілярного тиску

вологомісткості (НВ) для будь-яких ґрунтів, у т.ч. торфових, базується на визначенні точки зламу нормованої кривої кінетики десорбції $\Delta\theta = f(\bar{r})$ за значеннями першої похідної $\frac{\partial\Delta\theta}{\partial t} = 1$ або графічно за дотичною 45° лінії до цієї кривої [12], тобто за зменшенням швидкості десорбції значно меншою за одиницю ($\frac{\partial\Delta\theta}{\partial t} \ll 1$).

Вивчення зміни структури порового простору торфових ґрунтів за оригінальною методикою під впливом осушення та їх землеробського використання проведено вперше.

Результати та обговорення. Результати гідрофізичних випробувань у графічному вигляді для двох ґрунтових профілів представлені на рис. 2 та 3. На частинах а) представлені графіки водоутримувальної здатності $\theta = f(P)$ у циклі «десорбція від ПВ – рівноважна сорбція – повторна десорбція», а на частинах б) наведені так звані структурні характеристики порового простору ґрунту $V_{зп}=f(P)$ ($V_{зп}=f(r)$). Адже капілярний тиск (P) функціонально пов'язаний з радіусами капілярів залежністю Жюрена $r \approx \frac{0,15}{P}$. Ці структурні характеристики графічно побудовані як різниця вологонасичення торфу між гілками швидкої десорбції від ПВ та рівноважної сорбції. Фізична модель і теоретичне обґрунтування капілярного гістерезису у вигляді гофрованого еквівалентного капіляра наведена в [8, 9].

Аналіз інформації рисунків 2 і 3 засвідчує: 1) близькість кривих водоутримувальної здатності торфу з підорних горизонтів; 2) різниця вологонасичення при фіксованих значеннях капілярного тиску не перевищує 1-2%; 3) суттєва різниця водоутримання для оброблюваного шару торфу, порівняно з

підорними горизонтами, тобто існує суттєва диференціація ґрунтового профілю для обох дослідних ділянок.

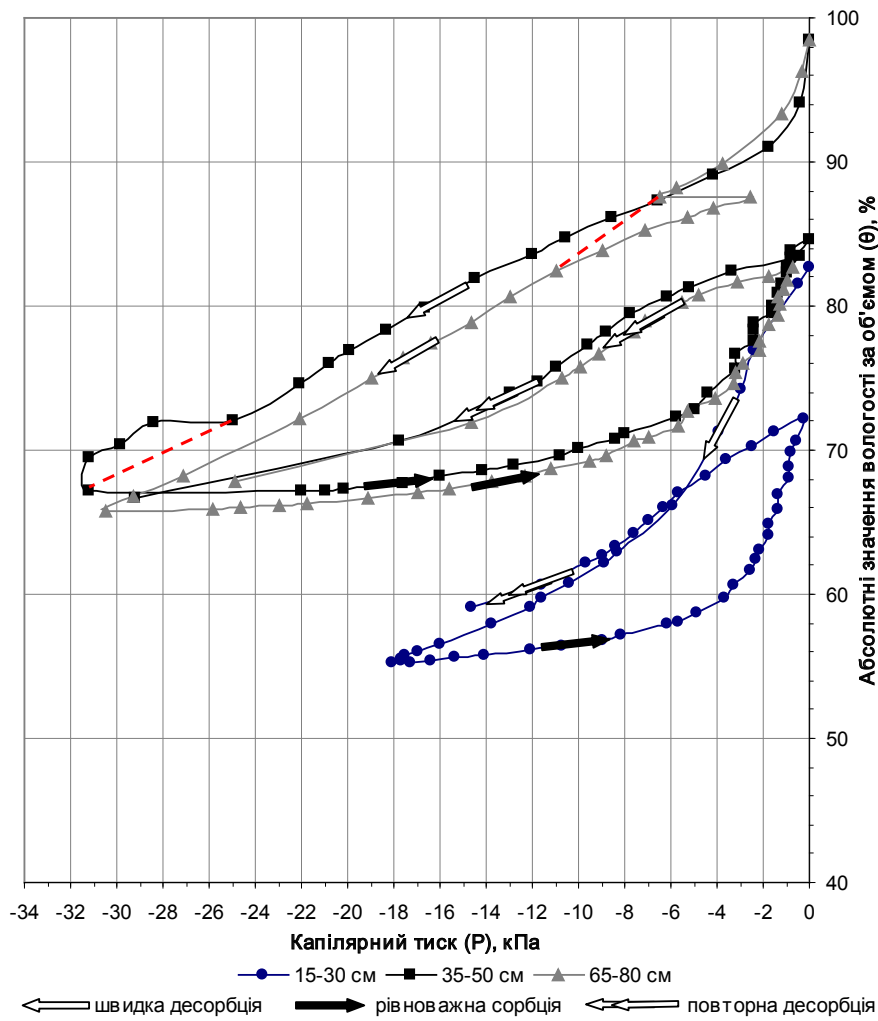
Результати визначення фізичних та водно-фізичних властивостей осушуваних торфових ґрунтів для обох ділянок наведені в таблиці 1.

Закономірності профільної мінливості визначених параметрів ідентичні для обох ділянок, відрізняючись лише числовими значеннями. Загальними закономірностями є: 1) зменшення з глибиною щільності складення; 2) зростання значень ПВ та НВ.

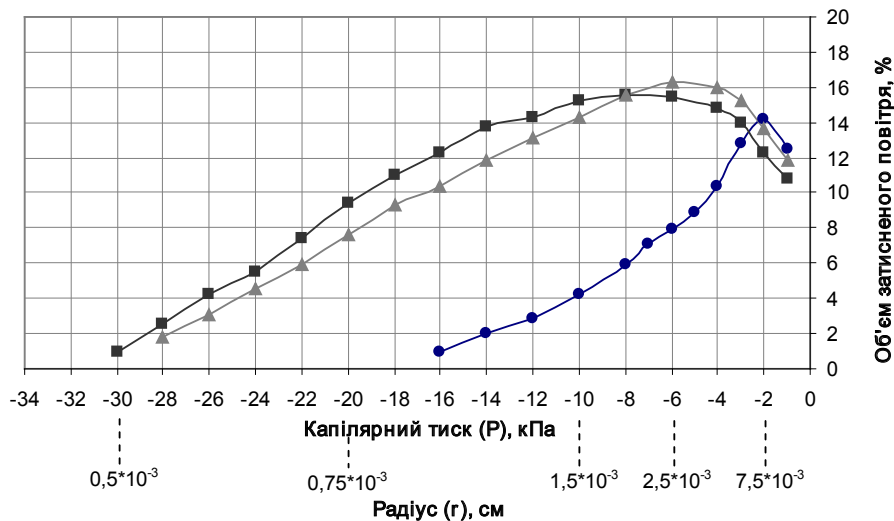
Аналіз структурних характеристик порового простору $\theta = f(r)$ (рис. 2-3 б) дозволяє більш детально охарактеризувати профільну різницю структури порового простору торфових ґрунтів, зокрема за наявністю пор переважаючого розміру, що встановлюють за екстремумом структурної характеристики $V_{зп}=f(P_{зпmax})$ та абсолютними значеннями їх сумарного об'єму ($V_{зпmax}$) (табл. 1). Так, якщо для підорних горизонтів структурні характеристики порового простору близькі, з різницею, що не перевищує 1-2%, то для орного шару структура порового простору суттєво трансформована. У цьому горизонті сумарний об'єм пор, дрібніших за $2,5 \times 10^{-3}$ см ($P=-6$ кПа), зменшується відносно глибших горизонтів на 8-10%. Це означає, що під впливом осушення та біохімічного розкладу зменшується об'єм найдрібніших пор. Найвірогідніше, суть такої трансформації порового простору полягає в розкладенні рослинних решток (детриту), який має внутрішню пористість. Фактично торф має так звану подвійну пористість: найкрупніші пори утворені грубими рослинними рештками, а більш тонкі пори – це пори всередині цих рослинних решток і при розкладенні детриту суттєво змінюються капілярні властивості торфу.

1. Основні фізичні та водно-фізичні властивості осушуваних торфових ґрунтів на дослідних ділянках

Глибина, м	Щільність складення, г/см ³	Повна вологоємність (ПВ), %	Найменша вологоємність (НВ), %	Характеристика переважної пористості	
				$V_{зпmax}$, %	$P_{зпmax}$, кПа
Ділянка 1 (культура – пайза)					
0,15-0,30	0,333	82,69	58,53	14,2	-2,0
0,35-0,50	0,153	98,51	74,74	15,7	-8,0
0,65-0,80	0,136	98,47	77,24	16,2	-5,0
Ділянка 2 (культура – кормові боби)					
0,15-0,30	0,378	75,54	49,65	18,0	-3,0
0,35-0,50	0,139	98,94	78,87	14,0	-6,0
0,65-0,80	0,141	98,54	78,34	15,8	-5,0

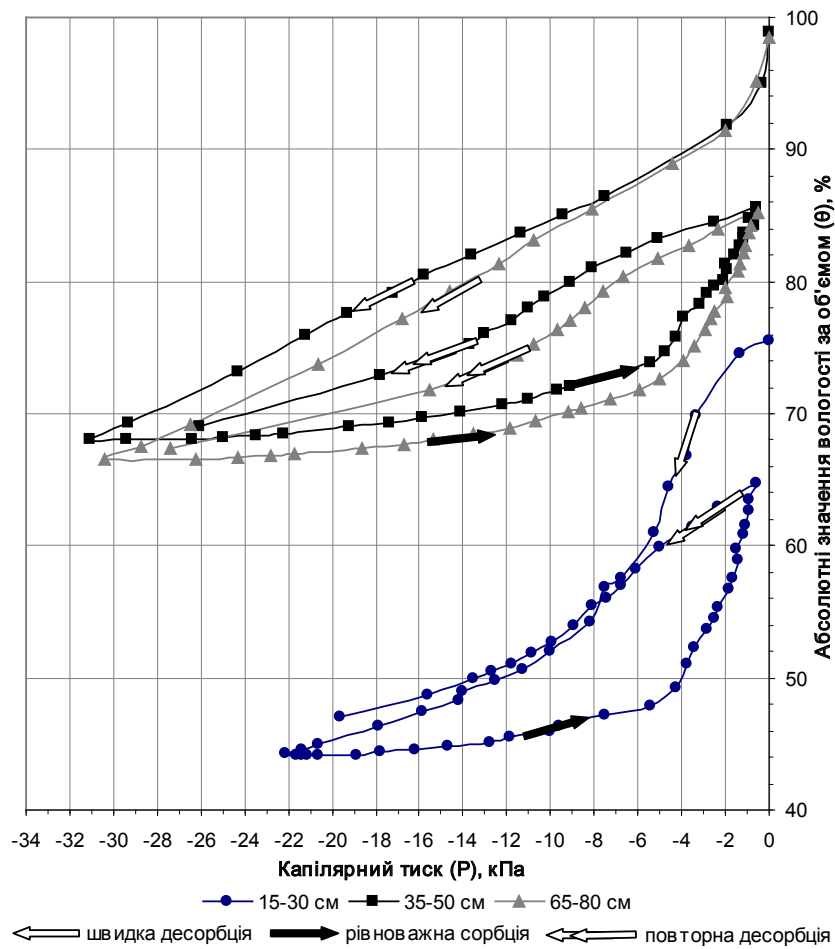


а)

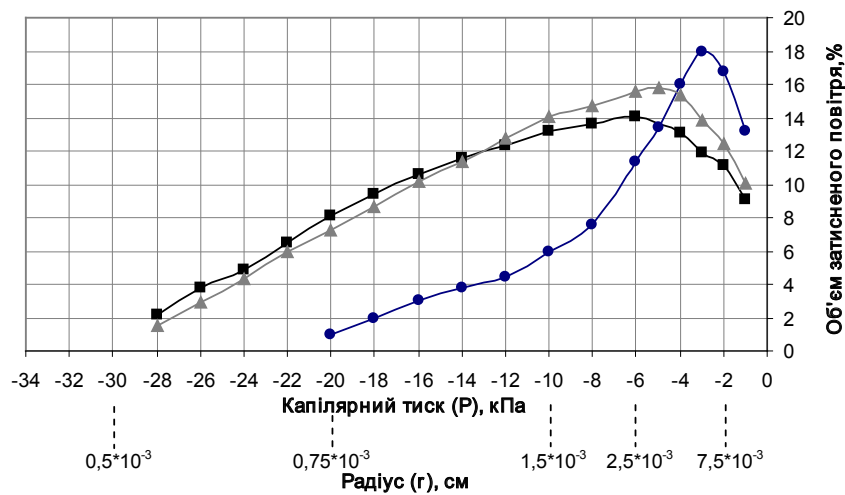


б)

Рис. 2. Суміщені графіки водоутримувальної здатності торфового ґрунту $\theta = f(P)$ у циклі десорбція – сорбція – десорбція (а) та структурних характеристик порового простору $V_{\text{п}} = f(r)$ (б) на дослідній ділянці 1 (культура – пайза)



а)



б)

Рис. 3. Суміщені графіки водоутримувальної здатності торфового ґрунту $\theta = f(P)$ у циклі десорбція – сорбція – десорбція (а) та структурних характеристик порового простору $V_{\text{п}} = f(r)$ (б) на дослідній ділянці 2 (культура – кормові боби)

Високі значення повної вологоємності (ПВ) (табл. 1), отримані після насичення у вакуумі, найвірогідніше пояснюються заповненням водою найдрібніших пор всередині рослинних решток, чого, зазвичай, не досягається в умовах осушення, навіть при тимчасовому затопленні.

Деструкція органічних решток призводить до зростання щільності складення ґрунту, зниження значень ПВ та НВ, а також вологопровідності і темпів десорбції: за однакового часу першої швидкої десорбції зразки торфу орного шару набули значень капілярного тиску -18 кПа (ділянка 1, пайза) і -22 кПа (ділянка 2, кормові боби), в той час як зразки торфу з підорних горизонтів – -31 кПа. Зміщення екстремумів структурних характеристик орних горизонтів у бік крупніших пор, що зневоднюються за значень капілярного тиску -2 та -3 кПа (табл. 1), свідчить про наявність епігенетичного (вторинного) структуроутворення диспергованої органічної маси під дією гомеостатичних ґрунтових процесів [8]. До речі, глибина осушення зразків торфового ґрунту була свідомо обмежена через суттєве затухання темпу десорбції, однак при подальшій десорбції активізуються незворотні усадки торфу, про що свідчить досвід лабораторних гідрофізичних випробувань торфів. Аналогічні негативні процеси необоротного зневод-

нення і гідрофобізації торфу спостерігаються і в польових умовах.

Висновки. Лабораторне гідрофізичне діагностування торфових ґрунтів з визначенням гістерезису водоутримувальної здатності зразків непорушеної структури дозволило отримувати нові знання щодо механізму трансформації фізичних та водно-фізичних властивостей орного шару осушуваних торфових ґрунтів.

Встановлено кількісні закономірності суттєвої диференціації ґрунтового торфового профілю за значеннями щільності складення, повної (ПВ) та найменшої (НВ) вологоємності.

Порівняльний аналіз структури порового простору різних ґрунтових горизонтів дозволяє стверджувати, що трансформація щільності складення і водно-фізичних показників ПВ і НВ в орному горизонті відбувається за рахунок зменшення сумарного об'єму пор дрібніших за $r < 2,5 \times 10^{-3}$ см, що знаходяться переважно у нерозкладених рослинних рештках у відповідності з моделлю подвійної пористості торфу.

Структура порового простору орного горизонту свідчить про наявність процесів вторинної епігенетичної самоорганізації розкладеної органічної маси з формуванням структурної макропористості торфового ґрунту, якими можливо цілеспрямовано керувати.

Бібліографія

1. Торфово-земельний ресурс України (концепція комплексного використання) / за ред. В.П. Ситника, Р.С. Трускавецького. Харків: ННЦ «ІГА ім. О.Н. Соколовського», 2010. 71 с.
2. Эколого-экономическое обоснование мелиорации торфяно-болотных комплексов и технологии их рационального использования / под общей ред. проф. Ю.А. Мажайского. Рязань: ФГБОУ ВПО РГАУ, 2012. 302 с.
3. Зайдельман Ф.Р., Шваров А.П. Пирогенная и гидротермическая деградация торфяных почв, их агроэкология, песчаные культуры земледелия, рекультивация. Москва: Изд. МГУ, 2002. 168 с.
4. Екологія водно-болотних угідь і торфовищ (збірник наукових статей) // Гол. ред. В.В. Коніщук. Київ: ТОВ «НВП «Інтерсервіс», 2014. 300 с.
5. Сільськогосподарське використання осушуваних земель гумідної зони України. Методичні рекомендації. Київ: Аграрна наука, 2000. 75 с.
6. Копытовских А.В., Бохонко В.И. Эффективность осушения болотных экосистем в Белорусском Полесье // Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных мелиоративных технологий: Сб. научных трудов / Под общей ред. Ю.А. Мажайского. Рязань: Мещерский филиал ГНУ ВНИИГИМ Россельхозакадемии, 2008. Вып. 3. С. 344-348.
7. Коломієць С.С., Пилипчук І.М. Екологічно збалансоване використання осушуваних торфовищ у мелиоративному землеробстві // Меліорація і водне господарство. 2017. Вип. 105. С. 67-70.
8. Коломієць С.С. Екологічна характеристика ґрунту. // Вісник аграрної науки. 1999. № 12. С. 9-13.
9. Спосіб визначення структури порового простору ґрунтів (дисперсних середовищ) : пат. 45287 Україна. МПК G01N 15/08 ; заявл. 04.12.2008 ; опубл. 10.11.2009, Бюл. № 21.

10. ДСТУ ISO 11274:2001. Якість ґрунту. Визначення водоутримувальної характеристики. Лабораторні методи. Київ : Держстандарт України, 2003. 24 с. (Національний стандарт України).

11. ДСТУ ISO 11276:2001. Якість ґрунту. Визначення тиску порової води. Метод з використанням тензіометрів. Київ : Держстандарт України, 2003. (Національний стандарт України).

12. Розробити метод визначення найменшої вологомісткості різних типів ґрунтів з урахуванням їхньої водоутримувальної характеристики: звіт про НДР (заключний, 2014-2015 рр.). № ДР 0113U007808 / ІВПіМ НААН. Київ, 2015. 101 с.

С.С. Коломиец, С.М. Кика

Закономерности профильной изменчивости свойств осушаемых торфяных почв

С помощью усовершенствованных лабораторных методов исследований водоудерживающей способности охарактеризованы закономерности профильной изменчивости физических и водно-физических свойств торфяных почв, в т. ч. значений их наименьшей влагоёмкости (НВ), а также изменчивости структуры порового пространства торфа под воздействием мелиоративного земледелия.

S.S. Kolomiets, S.M. Kika

Patterns of the profile variability of drained peat soil properties

Using the improved laboratory methods for studying soil water-holding capacity, the patterns of the profile variability of physical and water-physical properties of peat soils have been characterized, including minimum moisture-holding capacity (MMHC), as well as the variability of the porous space structure of peat soil under the influence of ameliorative farming.

УДК 631.16:502.63

СИСТЕМНА ОПТИМІЗАЦІЯ ВОДО- ТА ЕНЕРГОКОРИСТУВАННЯ НА РИСОВИХ ЗРОШУВАЛЬНИХ СИСТЕМАХ НА ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНИХ ЗАСАДАХ

В.О. ТУРЧЕНЮК, канд. тех. наук,

Н.А. ФРОЛЕНКОВА, канд. екон. наук,

А.М. РОКОЧИНСЬКИЙ, док. тех. наук

Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

У роботі обґрунтовано необхідність проведення системної оптимізації параметрів водо- та енергокористування при функціонуванні рисових зрошувальних систем, викладені методичні підходи і результати, сформульовані підходи до вибору проектних критеріїв та умов економічної і екологічної оптимізації при побудові комплексних оптимізаційних моделей у проектах їх реконструкції та експлуатації з урахуванням кліматологічної стратегії управління такими об'єктами.

Ключові слова: системна оптимізація, природно-меліоративний режим, рисова зрошувальна система, еколого-економічні засади

Постановка проблеми. У світлі сучасних економічних та екологічних вимог до такого роду об'єктів, якими є рисові зрошувальні системи (РЗС), виникає потреба переходу від звичної практики розгляду їх не суто як технічних, а як складних природно-технічних еколого-економічних систем із відповідною зміною усієї методології, технічної та технологічної стратегії їхнього створення й функціонування, а також безпосереднього врахування мінливих у часі та невизначених за своїм характером природно-кліматичних умов, оскільки саме вони, разом із меліоративними чинниками, мають визначальний вплив на загальний природно-меліоративний режим (ПМР) земель РЗС та відповідний еколого-економічний ефект [1, 2].

Як показують практика і накопичений досвід, вирішення такої складної проблеми для існуючих РЗС, які по суті є також і еколого-економічними об'єктами, вимагає застосування відповідних комплексних і системних рішень, насамперед системної оптимізації їх водо- та енергокористування на еколого-економічних засадах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Суть системної оптимізації полягає у знаходженні в ідеалі всіх проміжних і локальних оптимумів за всіма основними елементами технології водорегулювання (насосна станція, водоподаюча мережа, дренажно-скидна мережа, водоподача, водовідведення), всіма основними змінними факторами в просторі і часі, які впливають на ефективність водорегулювання та природно-меліоративний режим РЗС в цілому (клімат, рельєф, склад культур сівозміни, гідрогеологічні

умови та ін.) для всіх рівнів реалізації відповідної моделі оптимізації. Отже, оскільки в складних природно-технічних еколого-економічних системах, згідно [3,2], має місце виражений зв'язок виду *ефект-режим-технологія-конструкція*, то для діючих РЗС системна оптимізація полягає в оптимізації параметрів ПМР, удосконаленні технології водорегулювання та конструктивних рішень щодо їх забезпечення.

Оптимізація ПМР РЗС, виходячи з необхідності створення та підтримання промивного водного режиму на зрошуваних засоленних землях як основного фактора забезпечення їх сприятливого еколого-меліоративного стану, а також підвищення загальної технічної, технологічної, економічної і екологічної ефективності системи, може бути зведена до оптимізації інтенсивності фільтрації при поверхневому поливі провідної культури рису за рахунок відповідного співвідношення між подачею і відведенням води при відповідному режимі зрошення. Саме фільтраційний режим, який формується на поливних рисових картах у період підтримання шару води, а також у подальшому у позавегетаційний період, визначає їх загальний еколого-меліоративний стан, а також дає оцінку технологічній ефективності роботи дренажної мережі в різні періоди функціонування РЗС.

Методика досліджень. Традиційним, вже класичним шляхом управління та вибору рішень є *оптимізаційний підхід*. Він передбачає чітку (кількісно виражену у скалярному вигляді) формалізацію задачі управління, розробку моделей процесів, що протікають в об'єкті, і моделей впливу на об'єкт.

Формально модель для вибору рішень складається із цільової функції і набору обмежень, одним з яких є власне модель об'єкта. Знаючи критерій оптимізації U і моделі $F(u)$ впливу управлінських дій u на критерій U , можна визначити оптимальне рішення U_0 як таке, що екстремізує відповідний критерій якості

$$U_0 = U^{-1} [\text{extr}_{\{u\} \in \Omega} F(u)], \quad (1)$$

де Ω – область, в якій виконуються обмеження, що мають місце при реалізації моделі.

Загальна структура вирішення такого питання передбачає вибір критерію, формування умови й прийняття функції оптимізації, вибір структури розрахунків відповідно до рівня сформульованого завдання і, зрештою, побудову економіко-математичної моделі та її реалізацію.

Отже, за результатами вищезрозглянутих передумов, що пов'язані з загальною постановкою і шляхами розв'язання проблеми оптимізації водного і загального ПМР, а також за відповідними підходами до розв'язування оптимізаційних задач у складних природно-технічних еколого-економічних системах, якими є рисові зрошувальні системи, модель оптимізації технології водо- та енергокористування на РЗС відповідно до прийнятого за основу оптимізаційного підходу [2,5] може бути подана в загальному вигляді як

$$U_0 = \text{extr}_{\{i\}} U_i, \quad i = \overline{1, n_i}, \quad (2)$$

де U_0 – екстремальне значення за прийнятою умовою обраного критерію оптимізації U , що відповідає оптимальному (раціональному) рішенням із сукупності можливих альтернативних варіантів $I = \{i\}$, $i = \overline{1, n_i}$.

Мета та завдання досліджень. Метою роботи є підвищення ефективності функціонування рисових зрошувальних систем шляхом оптимізації їх водо- та енергокористування й природно-меліоративного режиму на еколого-економічних засадах.

Для досягнення вказаної мети вирішували такі завдання:

- розвиток теоретичних основ і розробка сучасних підходів до системної оптимізації технічних і технологічних рішень з водо- та енергокористування на РЗС на еколого-економічних засадах щодо різних рівнів прийняття у часі в проектах їх реконструкції та експлуатації;

- дослідження, аналіз і оцінка режимних, технологічних та технічних аспектів водо- та енергокористування на РЗС у їхньому взає-

мов'язку в змінних природно-агроекологічних умовах;

- розробка загальних принципів побудови та реалізації моделей оптимізації технічних і технологічних рішень з водо- та енергокористування на РЗС на еколого-економічних засадах.

Результати досліджень. На підставі та в розвиток [2, 1], системна оптимізація на еколого-економічних засадах водо- та енергокористування на відповідних рівнях їх прийняття в часі може бути реалізована за відповідними комплексними моделями.

На стадії проекту при обґрунтуванні оптимальних параметрів конструктивних рішень з урахуванням кліматологічної стратегії управління об'єктом модель має вигляд

$$\begin{cases} ZP_{iks}^0 = \min_{\{i\}} \sum_{p=1}^{n_p} [(C_i + E_p K_i) + R_i] a_p / W_i; i = \overline{1, n_i}; k = \overline{1, n_k}; s = \overline{1, n_s}; \\ Z_{iks}^0 = \min_{\{i\}} \sum [Z_{jks} - \hat{Z}_j] \cdot a_p; j = \overline{1, n_j}; i = \overline{1, n_i}; k = \overline{1, n_k}; s = \overline{1, n_s} \end{cases} \quad (3)$$

де ZP_{iks}^0 - мінімальне значення приведених витрат за прийнятою умовою обраного критерію економічної оптимальності, що відповідає оптимальному проектному рішенням із сукупності можливих варіантів $I = \{i\}$, $i = \overline{1, n_i}$;

Z_{jks} - сукупність $\{j\}$, $j = \overline{1, n_j}$ критеріїв (фізичних показників) екологічної ефективності водорегулювання на РЗС за сукупністю проектних рішень (ПР) $\{i\}$, $i = \overline{1, n_i}$, відповідною технологією водорегулювання $\{s\}$, $s = \overline{1, n_s}$;

\hat{Z}_j - відповідні лімітуючі показники екологічної ефективності, що розглядаються; a_p - відомі (встановлені або задані) значення повторюваності чи часток можливого стану типових метеорологічних режимів у розрахункові періоди вегетації сукупності $\{p\}$, $p = \overline{1, n_p}$ у межах проектного терміну функціонування об'єкта, $\sum_{p=1}^{n_p} \alpha_p = 1$; W_i - обсяг (вартість) отриманої продукції за варіантами режимних, технологічних та технічних рішень сукупності $\{i\}$, $i = \overline{1, n_i}$; C_i - поточні витрати на отримання продукції за варіантами ПР; E_p - нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень K_i за відповідними варіантами ПР; R_i - погоднокліматичний ризик за відповідними варіантами проектних рішень, визначається за виразом

$$\bar{R}_i = \sqrt{\sum_{j=1}^m (W_{ij} - \bar{W}_{nm})^2 \cdot \alpha_{pj}} = \sqrt{\sum_{j=1}^m R_{ij}^2 \cdot \alpha_{pj}}, \quad i = \overline{1, n}, \quad (4)$$

де W_{ij} - вартість валової продукції за фактичною врожайністю, отриманою за i -тим

варіантом ПР, $грн/га$; \bar{W}_{nm} – вартість валової продукції за потенційно можливою врожайністю на об'єкті, $грн/га$.

За аналогією, на стадії експлуатації для діючих РЗС модель має такий вигляд

$$\begin{cases} D_o = \max_{\{s\}} \sum_{k=1}^{n_k} [W_i - C_i - R_i] \cdot a_p; i = \bar{1}, n_i; k = \bar{1}, n_k; s = \bar{1}, n_s; \\ Z_{iks}^0 = \min_{\{j\}} \sum_j [Z_{jks} - \hat{Z}_j] \cdot a_p; j = \bar{1}, n_j; i = \bar{1}, n_i; k = \bar{1}, n_k; s = \bar{1}, n_s, \end{cases} \quad (5)$$

де D_o - максимальне значення показника чистого доходу, що досягається за рахунок отримання певного обсягу вирощуваної сільськогосподарської продукції при застосуванні різних варіантів технологічних рішень сукупності $\{i\}$.

За аналогією з [2], екологічна умова оптимізації на рисовому полі і на системі в цілому розглядається нами за визначеною, обґрунтованою і прийнятою сукупністю фізичних показників (критеріїв) оцінювання водного, сольового і загального ПМР: за режимом РГВ у позавеgetаційний період (Hg); тривалістю його стояння нижче критичної глибини (T); інтенсивністю фільтраційних процесів під затопленим рисовим полем (V); ступенем засолення кореневмісного шару ґрунту (S); зрошувальною нормою (M); мінералізацією ґрунтових вод (G) та ін.:

$$Z_{jks} = (Hg_{ks}, T_{ks}, V_{ks}, S_{ks}, M_{ks}, G_{ks}), j = \bar{1}, n_j, k = \bar{1}, n_k, s = \bar{1}, n_s \quad (6)$$

За такими показниками, порівняно з їх граничними значеннями відповідно до конкретних ґрунтово-меліоративних умов об'єкта, що досліджується, можна передбачати направленість процесів, які відбуваються на рисовому полі і системі в цілому, тобто неявно оцінити екологічний ефект від реалізації меліоративних заходів.

Обґрунтування оптимальних загального природно-меліоративного та ґрунтових режимів, відповідно до параметрів технологічних та технічних проектних рішень на РЗС за інтегральною оцінкою сукупності показників їхньої екологічної ефективності, може бути достатньо ефективно виконане на основі методу Б.П. Карука [6], згідно з яким характеристику екологічної надійності варіанту меліоративного проекту можна представити у вигляді вектора H з компонентами H_z

$$H = H_z / z = 1, 2, \dots, N / , \quad (7)$$

де N – кількість елементів (факторів), які характеризують екологічну надійність меліоративного проекту.

За припущення, що в системі факторів всі вони є однаково важливими, відсутність певного елементу можна вважати як відповідне зменшення міри екологічної надійності, тому тут компоненти H_z приймають відповідні значення за умови, що

$$H_z = \begin{cases} 1, & \text{якщо } H_z \leq H_{nz}; \\ 0, & \text{якщо } H_z > H_{nz}, \end{cases} \quad (8)$$

де H_{nz} – нормативне, критичне або допустиме значення z -го елементу.

Тоді коефіцієнт екологічної надійності варіанту меліоративного проекту можна визначити за формулою

$$k_n = \frac{\sum_{z=1}^N H_z}{N} \quad (9)$$

Такий коефіцієнт є наближеною оцінкою екологічної стійкості проекту і ступінню врахування факторів екологічної надійності його функціонування.

У розвиток та на відміну від розглянутого підходу нами пропонується більш гнучкий інструмент визначення компоненти H_z , коли вона приймає всі можливі значення в інтервалі $[0, 1]$ за умови, що

$$H_z = \begin{cases} H_z = 1 - \frac{H_{nz} - H_{fz}}{H_{nz}}, & \text{якщо } H_{fz} \leq H_{nz}; \\ H_z = 1 + \frac{H_{nz} - H_{fz}}{H_{nz}}, & \text{якщо } H_{fz} \geq H_{nz}, \end{cases} \quad (10)$$

де H_{fz} – фактичне значення z -го показника екологічної ефективності; H_{nz} – відповідно нормативне, критичне або допустиме його значення, яке відповідає \hat{Z}_j .

Даний підхід до оцінювання екологічної надійності проекту відрізняється від класичної теорії надійності, де фігурують імовірнісні величини, проте він є досить простим та універсальним за своєю суттю, оскільки дає змогу залежно від постановки завдання використовувати різні, переважно експертні, методи оцінювання та будь-який комплекс різномірних показників.

Таким чином, екологічно оптимальні загальний природно-меліоративний та ґрунтовий режими земель РЗС за розглянутою методикою забезпечуються за умови дотримання обмеження, що коефіцієнт екологічної надійності за варіантом меліоративного проекту знаходиться в інтервалі значень

$$0,5 < k_n \leq 1,0. \quad (11)$$

Запропонована схема оцінювання екологічної надійності меліоративного проекту є досить універсальною, оскільки в якості скла-

дових елементів надійності може виступати будь-який комплекс факторів як кількісних, так і якісних, які характеризують еколого-меліоративний стан території.

Як показують результати проведених досліджень, режимним показником, який характеризує фільтраційні процеси та необхідний рівень промивності на рисовому полі, виступає швидкість вертикальної фільтрації. Оптимальні параметри показника швидкості вертикальної фільтрації було обґрунтовано нами за еколого-меліоративним підходом на основі визначення показника екологічної надійності згідно з формулами (7)-(10). Для подальшої оцінки екологічної надійності варіантів розроблених технологічних та конструктивних рішень щодо параметрів швидкості вертикальної фільтрації на рисовому чеку, яка відображає одночасно режимний та технологічний аспекти водорегулювання на РЗС, розглядалися нами при її зміні в реальних умовах від 0,5 до 18 мм/добу. Узагальнені результати такої оцінки наведені в таблиці 1.

Наведені результати засвідчують, що оскільки екологічно оптимальні загальний природно-меліоративний та ґрунтові режими земель РЗС за розглянутою методикою забезпечуються за умови дотримання обмеження, що $0,75 < k_{нi} \leq 1,0$, то швидкість фільтрації (6...10 мм/добу) забезпечує створення мінімально необхідного промивного водного режиму, з яким пов'язане в цілому ефективне функціонування РЗС, що підтверджується оцінкою її екологічної надійності, при якій $k_{нi} = 0,8...0,87$.

Таким чином, при обґрунтуванні у подальшому оптимальних параметрів технологічних та конструктивних рішень розробленого нами комплексу заходів у відповідних моделях оптимізації (3) та (5) в якості екологічної умови оптимізації розглядалось обмеження, що швидкість фільтрації при реалізації економічно оптимальних рішень приймає значення, наближені до обґрунтованих оптимальних, тобто $V_{i.} \Rightarrow V^o$.

Відповідно виконані розрахунки з визначення оптимальних технологічних параметрів за економічним критерієм ефективності функціонування РЗС показали, що оптимальною часткою рису в сівозміні є його частка 50...60%, а оптимальною з точки зору отримання максимального чистого прибутку 26602 грн/га є зрошувальна норма рису 18 тис. м³/га.

При оптимальній величині зрошувальної норми рису $M^o = 18$ тис.м³/га та відповідним сумарним об'ємом перекачаної води $W_{пi}^o = 27,5$ тис. м³/га визначено, що оптимальні затрати електроенергії на РЗС складають $Q^o = 1,78$ тис. кВт·год/га. До того ж, реконструкція насосних станцій на РЗС з переходом на сучасне насосно-силове обладнання дасть змогу знизити показник затрат електроенергії ще на 20...40%.

Щодо конструкції та оптимальних параметрів дренажно-скидної мережі за розглянутими розробками нами були сформовані варіанти досліджень, за якими була здійснена оптимізація основних конструктивних елементів Придунайських РЗС з урахуванням оптимальних параметрів середньої швидкості

1. Оцінка екологічної надійності варіантів ПР залежно від створюваної швидкості вертикальної фільтрації на рисових картах-чеках

Швидкість вертикальної фільтрації V , мм/добу	Компонента Hz за Hg	Компонента Hz за T	Компонента Hz за S	Компонента Hz за G	Компонента Hz за M	Коефіцієнт екологічної надійності, k_n
0,5	0,80	0,82	0,51	0,43	0,24	0,56
1,0	0,95	0,98	0,55	0,50	0,28	0,65
2,0	1,00	1,00	0,67	0,60	0,33	0,72
4,0	0,93	0,93	0,73	0,75	0,50	0,77
6,0	0,87	0,89	0,80	0,86	0,61	0,80
8,0	0,80	0,93	0,89	1,00	0,74	0,87
10,0	0,67	0,86	1,00	0,83	0,77	0,83
12,0	0,70	0,86	1,00	0,73	0,77	0,81
14,0	0,65	0,86	0,75	0,67	0,83	0,75
16,0	0,59	0,82	0,63	0,50	0,96	0,70
18,0	0,50	0,79	0,50	0,33	0,91	0,61

2. Основні результати оптимізаційних розрахунків для Придунайських РЗС щодо обґрунтування оптимальних параметрів дренажу на рисових картах-чеках

Варіанти ПР	Відстань між дренами	Глибина залягання РГВ в осінньо-зимовий період, м	Швидкість вертикальної фільтрації з поверхні рисового поля V, мм/добу	Капіталовкладення, грн	Амортизаційні відрахування, грн	Сільськогосподарські витрати, грн./га	Меліоративні витрати, грн./га	Вартість проектної валової продукції, грн.	Вартість фактичної валової продукції, грн.	Погодно-кліматичний ризик	Показник приведених витрат із врахуванням погодно-кліматичного ризику
1	50	1,86	27,1	74022,2	3701,1	10353,0	11768,7	55800	31248,0	21069,0	1,86
2	75	1,78	12,0	66702,5	3335,1	11764,9	11063,9	55800	39606,8	16193,2	1,32
3	85	1,75	9,4	65656,8	3282,8	13670,6	10938,6	55800	50889,6	4910,4	0,84
4	100	1,59	6,8	63565,4	3178,3	14125,8	10497,1	55800	53584,7	2215,3	0,74
5	125	1,49	4,7	61474,1	3073,7	13086,3	10718,8	55800	47430,0	8370,0	0,94
6	150	1,35	3,0	62519,8	3126,0	12187,1	10639,0	55800	42106,7	13693,3	1,16
7	175	1,23	2,2	60951,2	3047,6	10894,9	9023,6	55800	34456,5	21343,5	1,55
8	200	1,11	1,7	58337,0	2916,9	10248,3	8999,1	55800	30628,4	25171,6	1,83
9	225	0,95	1,3	57814,2	2890,7	9206,8	8982,4	55800	24462,0	31338,0	2,50
10	250	0,83	1,0	57291,4	2864,6	8856,3	8970,4	55800	22387,0	33413,0	2,80
11	300	0,60	0,7	56559,4	2828,0	7600,0	8954,8	55800	14948,8	40851,2	4,60
12	500	0,40	0,2	55200,0	2760	7286,1	8932,0	55800	13090,7	42709,3	5,34

вертикальної фільтрації на рисовому чеку для встановленого оптимального показника дольової частки рису в сівозміні – 50...60%:

- варіанти 1...3 – конструкція та параметри дренажу, згідно з рекомендаціями Мендуся С.П. [7]; варіанти 4...8 – удосконалена нами конструкція дренажно-скидної мережі на картах-чеках шляхом улаштування проміжних закритих дренажних колекторів [8]; варіанти 9...12 – конструкція та параметри існуючої дренажно-скидної мережі у вигляді відкритих каналів [5].

Узагальнені результати такої оцінки наведені в табл. 2, де показано, що економічно вигідним та екологічно прийнятним варіантом ПР щодо розрахункової відстані між дренажно-скидними каналами і додатковими закритими дренами-колекторами для умов ПРЗС є варіант із відстанню 100 м. Така міждренна відстань, на відміну від існуючої 200...500 м, забезпечує створення та підтримання на рисовому полі промивного водного режиму з оптимальною інтенсивністю вертикальної фільтрації 6...10 мм/добу.

Економічний критерій оптимізації становить $ZP_0 = 0,74$.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Застосування системної оптимізації дає змогу послідовно обґрунтувати оптимальні параметри різномірних режимних, технологічних та конструктивних рішень у їх взаємозв'язку з дотриманням сучасних економічних та екологічних вимог у проектах будівництва й реконструкції РЗС.

Системна оптимізація природно-меліоративного режиму РЗС на еколого-економічних засадах дає змогу підвищити загальну ефективність функціонування РЗС із врахуванням економічних та екологічних вимог через узгодження параметрів, рівня конструктивної та екологічної надійності й відповідно вартості цих рішень з рівнем створюваного загального ефекту при їхній реалізації.

Слід зазначити, що отримані загальні рекомендації мають у подальшому уточнюватися для умов кожного реального об'єкта, який буде розглядатися, за відповідними техніко-економічними та екологічними показниками.

Бібліографія

1. Рокочинський А.М. Наукові та практичні аспекти оптимізації водорегулювання осушуваних земель на еколого-економічних засадах.: монографія / За ред. акад. УАН Ромашенка М.І. Рівне: НУВГП, 2010. 351 с.

2. Рокочинский А.Н. Системная оптимизация водорегулирования на мелиорированных землях. // Проблемы рационального использования природных ресурсов и устойчивое развитие Полесья: сб. докл. междунар. науч. конф. (Минск, 14-17 сент. 2016 г.). В 2 т. Т. 2 / Нац. акад. наук Беларуси [и др.]. Минск: Беларуская навука, 2016. С. 111-114.

3. Фроленкова Н.А., Кожушко Л.Ф., Рокочинський А.М. Еколого-економічне оцінювання в управлінні меліоративними проектами: монографія. Рівне: НУВГП, 2007. 257 с.

4. Рис в Україні: монографія / В.А. Сташук та ін. Херсон: Грінь Д.С., 2014. 976 с.

5. Рис Придунав'я: [колективна монографія] / за ред. В.А. Сташука та ін. Херсон: Грінь Д.С., 2016. 620 с.

6. Карук Б.П. Экологическое обоснование проектов мелиоративных систем: конспект лекций. Киев: Изд. ВИПК Минводстроя СССР, 1989. 110 с.

7. Мендусь С.П. Обґрунтування необхідності та посилення дренажності поливних карт рисових систем (на прикладі Придунайських рисових зрошувальних систем): автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 06.01.02 «Сільськогосподарські меліорації». Рівне, 2012. 21 с.

8. Карта-чек рисової системи з закритою дренаю-колектором. Пат. на корисну модель № 104000, Е 02 В 13/00, 11/00. Україна. 2016. Бюл. №1.

В.А. Турченко, Н.А. Фроленкова, А.Н. Рокочинский
Системная оптимизация водо- и энергопользования на рисовых оросительных системах на эколого-экономических принципах

В работе обоснована необходимость проведения системной оптимизации параметров водо- и энергопользования при функционировании рисовых оросительных систем, изложены методические подходы и результаты, сформулированы подходы к выбору проектных критериев и условий экономической и экологической оптимизации при построении комплексных оптимизационных моделей в проектах их реконструкции и эксплуатации с учетом климатологической стратегии управления такими объектами.

V. Turcheniuk, N. Frolenkova, A. Rokochynskyy
Water and energy-management systematic optimization of rice irrigation systems based on ecology-economic principles

The work substantiates the necessity of systematic optimization of water and energy utilization parameters in the operation of rice irrigation systems, the methodological approaches and results are outlined, the approaches to the selection of project criteria and conditions of economic and ecological optimization in the course of construction of complex optimization models in projects of their reconstruction and operation taking into account the climatological strategies for managing such objects.

УДК 631.62:631.432:633.2

ВОДОСПОЖИВАННЯ ВИСОКОПРОДУКТИВНИХ КОРМОВИХ КУЛЬТУР НА ОСУШУВАНИХ ТОРФОВИХ ҐРУНТАХ ЗАХІДНОГО ПОЛІССЯ УКРАЇНИ*

С.М. КІКА

Інститут водних проблем і меліорації НААН України

Наведено результати досліджень закономірностей водоспоживання високопродуктивних кормових культур, зокрема пайзи, амаранту, кормових бобів, в умовах вегетаційних періодів 2016-2017 рр. Встановлено, що найбільшу кількість вологи зазначені культури використовують у фази утворення суцвіть – цвітіння – початок дозрівання зерна, тобто у період інтенсивного накопичення органічної речовини.

Ключові слова: осушувані землі, торфові ґрунти, вегетаційний період, водоспоживання кормових культур, високопродуктивні кормові культури

Постановка проблеми. Для забезпечення сталого розвитку кормової бази та інтенсифікації кормовиробництва необхідним є впровадження у сільськогосподарське виробництво високопродуктивних кормових культур [1, 2], зокрема пайзи, амаранту, кормових бобів. Зазначені культури формують високі врожаї зеленої маси і насіння навіть в екстремальних посушливих умовах.

Одержання високих і сталих врожаїв кормових культур тісно пов'язане з обсягами водоспоживання на одиницю продукції. Недостатня вологозабезпеченість кормових культур у період вегетації значно знижує інтенсивність їх росту і негативно впливає на потенційні можливості культур та кормову продуктивність [3, 4], тому дослідження закономірностей процесів водоспоживання слугуватиме основою для обґрунтування оптимальних параметрів водного режиму при вирощуванні пайзи, амаранту та кормових бобів і оперативного планування осушувально-зволожувальних заходів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій та новизна. Для підвищення продуктивності вирощуваних культур важливу роль відіграє створення сприятливого водного режиму впродовж вегетаційного періоду [5, 6, 7].

Дослідженнями багатьох учених як в Україні, так і за кордоном встановлено, що для кожної сільськогосподарської культури існують свої вимоги до вологості активного шару ґрунту, які змінюються упродовж вегетаційного періоду залежно від розвитку рослин. Достатнє уявлення про водоспоживання дають подекадні спостереження. У засушливі та гострозасушливі періоди вегетації сільськогосподарські культури потребують вологи у два-три і навіть у п'ять-шість разів більше від об'єму випадających атмосферних опадів. Найменше вологи сільськогосподарські культури потребують на початку і в кінці вегетації,

а найбільше – у фази інтенсивного росту, цвітіння, колосіння, утворення генеративних пагонів та за високої температури повітря.

На сьогодні дані щодо норм водоспоживання таких високопродуктивних сільськогосподарських культур як пайза, амарант та кормові боби за фазами вегетації та оптимальних меж вологості при їх вирощуванні на осушуваних землях відсутні. Встановлення закономірностей водного режиму та вологозабезпеченості цих культур за фазами вегетації дозволить розробляти та оптимізувати меліоративні режими, оперативно регулювати водний режим ґрунту протягом вегетаційного періоду, раціонально використовувати водні ресурси, сприяючи підвищенню продуктивності вирощуваних культур.

Мета та методика проведення досліджень. Метою досліджень є встановлення закономірностей водоспоживання пайзи, амаранту та кормових бобів за фазами вегетації на осушуваних торфових ґрунтах у зоні Західного Полісся.

На пілотному об'єкті – осушуваних землях Сарненської дослідної станції Інституту водних проблем і меліорації НААН – були проведені комплексні експериментальні дослідження, які включають збір та аналіз метеорологічних даних (кількість опадів, температура та дефіцит вологості повітря), спостереження за параметрами водного режиму ґрунту (динаміка рівнів ґрунтових вод (РГВ), пошарова вологість у зоні аерації), фенологічні спостереження (динаміка лінійного приросту, потужність кореневої системи, листовий індекс), облік врожайності.

Польові та лабораторні дослідження проводили згідно із загальноприйнятими методиками [8, 9]. Для визначення вологості ґрунту використовували термостатно-ваговий метод. Разом із традиційним методом використовували також тензіометричний метод,

*- Робота виконана під керівництвом к.т.н. Яцика М.В.

який базується на вимірюванні капілярного потенціалу ґрунтової вологи в зоні аерації тензіометрами [10]. Заміри рівнів ґрунтових вод проводили по декадах мірною стрічкою. Листковий індекс визначали розрахунковим способом. Сумарне водоспоживання визначали на основі проведення водно-балансових розрахунків.

Викладення основного матеріалу, результати досліджень. Натурні дослідження закономірностей водоспоживання пайзи, амаранту та кормових бобів протягом вегетаційного періоду проводили на осушуваному торфовищі Чемерне Сарненської дослідної станції у 2016-2017 рр. Облікова площа дослідних ділянок 4 м², повторність триразова. Ґрунти дослідних ділянок – потужні низинні гіпново-осокові високозольні осушувані торфіві. Орний шар характеризується такими показниками: щільність – 0,29-0,33 г/см³, шпаруватість – 80-85%, повна вологоємність – 280-295%. Кислотність ґрунту – рН_{сол.} – 5,0-5,2. Забезпеченість рухливими формами: NH₄ та NO₃ – 67,2; P₂O₅ – 21; K₂O – 14 мг/100 г ґрунту.

У дослідях вивчали пайзу сорту Лебедина 2, амарант сорту Поліщук, кормові боби сорту Чабанські. Сівбу здійснювали широкорядним способом із шириною міжрядь 45 см за норми висіву: амарант – 0,5 кг/га, пайза – 6 кг/га, кормові боби – 160 кг/га. Під передпосівну культивування вносили мінеральні добрива в нормі N₄₅P₆₀K₁₂₀.

Погодні умови в 2016 р. були посушливими і не зовсім сприятливими – з нерівномірною кількістю опадів та з різкими перепадами температур. За вегетаційний період випало 176 мм опадів, що на 224 мм (56 %) менше середньобогаторічного значення. Середньомісячна температура повітря становила +16,2 °С та була вищою на 1,5 °С порівняно з багаторічним показником. Також було зафіксовано пізні весняні заморозки 17 травня -1,1 °С, 11 червня -0,6 °С та 12 червня -1,1 °С, які дуже сильно пошкодили досліджувані кормові культури.

Вегетаційний період 2017 р. був також дуже посушливим, проте опади випадали більш рівномірно порівняно з попереднім роком досліджень. За вегетаційний період 2017 р. випало 227 мм опадів, що на 173 мм (43,3 %) менше середньобогаторічного значення. Середньомісячна температура повітря становила +15,5 °С та була вищою на 0,8 °С порівняно з багаторічним показником. Після висіву кормових культур зафіксовані пізні весняні заморозки 16 травня -0,1 °С та 19 травня -0,3 °С були несуттєвими, проте

з змогли пригнітити ріст і розвиток рослин на початку вегетаційного періоду.

Регулювання водного режиму на дослідних ділянках здійснюється за допомогою шлюзування завдяки мережі відкритих каналів.

В умовах вегетаційного періоду 2016 р. РГВ знаходились у межах: квітень – 46-64; травень – 64-69; червень – 69-80; липень – 50-80; серпень – 80-97; вересень – 96-101 см від поверхні ґрунту та були не зовсім сприятливі для росту і розвитку досліджуваних кормових культур. Вологість ґрунту під кормовими культурами протягом вегетаційного періоду коливалась у межах 55,1-63,9 % від повної вологоємності (ПВ) у шарі 0-30 см; у шарі ґрунту 0-50 см – 67,0-71,3 % від ПВ.

РГВ вегетаційного періоду 2017 р. знаходились у квітні на глибині – 44-59; травні – 40-56; червні – 59-75; липні – 57-76; серпні – 76-88; вересні – 72-92 см від поверхні ґрунту і були сприятливі для росту і розвитку досліджуваних культур. Вологість ґрунту впродовж вегетаційного періоду 2017 р. коливалась у межах 63,7-71,1 % від ПВ у шарі 0-30 см; у шарі ґрунту 0-50 см – 70,1-76,7 % від ПВ, що забезпечило необхідні вологозапаси ґрунту при вирощуванні досліджуваних культур.

Встановлено, що наростання листової поверхні та динаміка лінійного приросту пайзи, амаранту та кормових бобів впродовж вегетаційних періодів обох років досліджень мають однаковий характер – на початку вегетації (травень-початок червня) зазначені культури досить повільно ростуть і розвиваються, основною причиною чого є вплив пізніх весняних заморозків. Найбільш інтенсивне наростання листової поверхні та лінійний приріст вегетативної маси кормових бобів відбувається з середини червня – протягом липня, амаранту – протягом липня – початку серпня, пайзи – протягом липня до середини серпня. Потужність кореневої системи досліджуваних кормових культур у ці періоди коливалась у таких межах: у пайзи – 35-49 см; амаранту – 28-43 см та кормових бобів – 62-70 см.

За результатами досліджень особливостей водоспоживання високопродуктивних кормових культур у 2016-2017 рр. встановлено, що пайза, амарант та кормові боби впродовж вегетаційного періоду використовують вологу в неоднаковій кількості, а за обсягом їх водоспоживання можна виділити три періоди: I – від появи сходів до початку інтенсивного росту, II – фаза інтенсивного накопичення органічної речовини і максимального споживання вологи, III – від початку старіння і в'янення листків. У перший період росту

культури випаровують вологи мало – 20-30 % усієї використаної за вегетацію, у другий період – 50-60, а в кінці вегетації – 15-20 %. Максимальне споживання вологи відзначено в період інтенсивного накопичення органічної речовини і припадає на кінець червня – липень (рис. 1). Розподіл водоспоживання пайзи, амаранту та кормових бобів по місяцях і декадах вегетаційного періоду наведено в табл. 1.

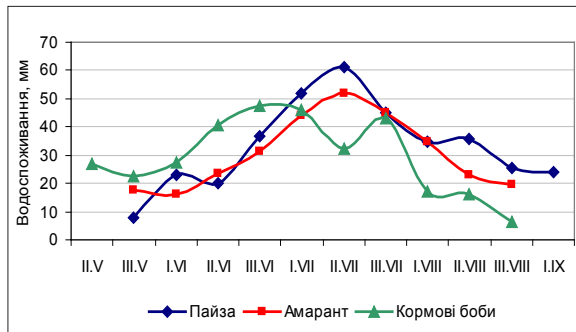


Рис. 1. Динаміка водоспоживання високопродуктивних кормових культур на торфових ґрунтах осушувально-зволожувальної системи Сарненської дослідної станції

Пайза в фазу від посіву до повних сходів (III декада травня – III декада червня) використовує вологи відносно мало (23,9 % всього водоспоживання за вегетацію), становить у середньому 21,9 мм/декаду. Максимальні витрати вологи (62,5 % всього водоспоживання за вегетацію) зафіксовано з початком фази викидання волоті, цвітіння (протягом липня – II декада серпня), що становить у середньому 45,7 мм/декаду. З настанням фази дозрівання зерна, старінням (III декада серпня, вересень)

і до збору врожаю спостерігається зменшення водоспоживання (13,6 % всього водоспоживання за вегетацію), що становить в середньому 24,9 мм/декаду (табл.2, рис.1). Сумарне сезонне водоспоживання на осушуваних торфових ґрунтах для пайзи складає 366 мм.

Аналіз водоспоживання амаранту показав, що обсяги витрат вологи в період від посіву до повних сходів, стеблуння (III декада травня – III декада червня) незначні (28,9 % всього водоспоживання за вегетацію) і становлять у середньому 22,2 мм/декаду. Найбільші показники водоспоживання (57,3 % всього водоспоживання за вегетацію) відмічено в фазі викидання волоті, цвітіння (протягом липня – I декада серпня) і становить в середньому 44,1 мм/декаду. З початком фази достигання насіння (з II декади серпня) відбувається скорочення витрат вологи (13,8 % всього водоспоживання за вегетацію) в середньому до 21,3 мм/декаду (табл.2, рис.1). Сумарне сезонне водоспоживання амаранту на осушуваних торфових ґрунтах складає 307 мм.

Водоспоживання кормових бобів з II декади травня по I декаду червня (період від посіву, повних сходів, кушіння до початку бутонізації) становить у середньому 25,6 мм/декаду і складає 23,5 % всього водоспоживання за вегетацію. Максимальні витрати вологи (64,3 % всього водоспоживання за вегетацію) відмічено від початку цвітіння, формування бобів до повного достигання насіння (II декада червня – протягом липня), що становить в середньому 41,9 мм/декаду. З початком старіння (протягом серпня) обсяги водоспоживання поступово зменшуються в середньому до 13,3 мм/декаду (12,2 % всього водоспоживання за вегетацію) (табл.2, рис.1).

1. Розподіл водоспоживання високопродуктивних кормових культур по місяцях і декадах, %

(за результатами досліджень 2016-2017 рр., торфові ґрунти, меліоративна система Сарненської дослідної станції)

Культура	Водоспоживання, %													Всього		
	по місяцях															
	V			VII			VII			VIII			IX			
	по декадах															
	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II			
Пайза	-	2,1	6,3	5,5	10,1	14,2	16,7	12,3	9,6	9,6	7,0	6,6	-	100		
	2,1		21,9			43,2			26,2			6,6				
Амарант	-	5,8	5,2	7,6	10,3	14,4	16,9	14,7	11,4	7,4	6,3	-	-	100		
	5,8		23,1			46,0			25,1			-				
Кормові боби	8,2	6,9	8,4	12,5	14,6	14,1	9,9	13,2	5,2	5,0	2,0	-	-	100		
	15,1		35,5			37,2			12,2			-				

2. Норми водоспоживання високопродуктивних кормових культур по декадах і фазах розвитку, мм

(за результатами досліджень 2016-2017 рр., торфові ґрунти, меліоративна система Сарненської дослідної станції)

Культура	Водоспоживання, мм														Всього
	по декадах														
	травень		червень			липень			серпень			вересень			
	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II		
за фазами розвитку*															
	I					II					III				
Пайза	-	7,8	22,9	20,0	36,9	51,8	61,0	45,2	34,6	35,8	25,5	24,2	-	-	365,6
	87,5 (23,9 %)					228,4 (62,5 %)					49,7 (13,6 %)				
Амарант	-	17,8	16,1	23,5	31,4	44,3	51,9	45,1	34,9	22,9	19,6	-	-	-	307,3
	88,7 (28,9 %)					176,1 (57,3 %)					42,5 (13,8 %)				
Кормові боби	I		II					III							
	26,8	22,6	27,3	40,7	47,6	45,8	32,1	43,1	17,2	16,2	6,4	-	-	325,6	
	76,7 (23,5 %)		209,3 (64,3 %)					39,7 (12,2 %)							

*I – посів, повні сходи, стеблуння; II – утворення суцвіть, цвітіння, фаза інтенсивного накопичення органічної речовини, III – дозрівання насіння, старіння, збір врожаю

Сумарне сезонне водоспоживання кормових бобів на осушуваних торфових ґрунтах складає 326 мм.

Висновки. Пайза, амарант та кормові боби найбільш інтенсивно споживають вологу (62,5; 57,3 та 64,3 % відповідно всього водоспоживання за вегетацію) у фазі утворення суцвіть – цвітіння – початок дозрівання зерна, що становить у середньому 45,7; 44,1 та 41,9 мм/декаду відповідно.

Норми сумарного сезонного водоспоживання на осушуваних торфових ґрунтах для пайзи, амаранту та кормових бобів становлять 366, 307 та 326 мм відповідно.

Незважаючи на несприятливі кліматичні умови вегетаційних періодів обох років досліджень (пізні весняні заморозки, висока температура повітря, недостатня кількість атмосферних опадів), на фоні внесення мінеральних добрив в нормі N45P60K120 середня урожайність вегетативної маси пайзи становить 59,5 т/га, амаранту – 46,0 та кормових бобів – 40,5 т/га, що складає 84,9; 86,8 та 86,9 % відповідно від показників урожайності цих культур, отриманої в нормальних умовах. Це свідчить про їх високу адаптаційну здатність до специфічних ґрунтово-кліматичних умов осушуваних торфовищ.

Бібліографія

1. Рижук С.М., Слюсар І.Т. *Агроекологічні основи ефективного використання осушуваних ґрунтів Полісся і Лісостепу України* / Київ: Аграрна наука, 2006. 424 с.
2. Рижук С.М., Слюсар І.Т., Вергунов В.А. / *Агроекологічні особливості високоефективного використання осушуваних торфових ґрунтів Полісся і Лісостепу*. Київ: Аграрна наука, 2002. 135 с.
3. Скрипник О.В., Сорока І.С., Кубышкин В.П. *Технология регулирования водного режима осушаемых земель* / Киев: Урожай, 1992. 168 с.
4. Цюпа М.Г., Бистрицький В.С., Слюсар І.Т. *Землеробство на осушених землях* / Київ: Урожай, 1990. 183 с.
5. Артеменко В.И., Бескровный А.К. *Сельскохозяйственное использование осушенных торфяно-болотных почв* / Киев: Урожай, 1972. 232 с.
6. Маслов Б.С., Станкевич В.С., Черненко В.Я. *Осушительно-увлажнительные системы* / Москва: Колос, 1973. 175 с.
7. Стариков Х.Н. *Увлажнение осушаемых торфяников* / Москва: Колос, 1977. 296 с.
8. Муромцев Н.А., Коваленко П.И., Семенов Н.А. *Внутрипочвенный влагообмен, водопотребление и водообеспеченность многолетних культурных травостоев: монографія* / Рязань: ФГБОУ ВПО РГАТУ, 2013. 300 с.
9. Доспехов Б.А. *Методика полевого опыта* / Москва: Колос, 1973. 236 с.

10. Ромащенко М.І., Корюненко В.М., Муромцев М.М. Рекомендації з оперативного контролю та управління режимом зрошення сільськогосподарських культур із застосуванням тензіометричного методу / Київ: ІВПіМ, 2012. 72 с.

С.М. Кика

**Водопотребление высокопродуктивных кормовых культур
на осушаемых торфяных почвах Западного Полесья Украины**

Приведены результаты исследований закономерностей водопотребления высокопродуктивных кормовых культур, в частности пайзы, амаранта, кормовых бобов в условиях вегетационных периодов 2016-2017 годов. Установлено, что наибольшее количество влаги указанные культуры используют в фазы образования соцветий - цветения - начала созревания зерна, т. е. в период интенсивного накопления органического вещества.

S.M. Kika

**Water consumption of highly productive forage crops on drained peat soils
of the western part of Ukrainian Polissya**

Results of research of water consumption characteristics for highly productive forage crops, in particular payza, amaranth, fodder beans during the vegetative periods 2016-2017 have been described in this article. The research has shown that the specified cultures use the highest amount of moisture in phases of inflorescences formation, blossoming and at the beginning of grain maturing during intensive accumulation of organic substance.

УДК 556.114(282.247.32)

ЗАКОНОМІРНОСТІ ЗМІН ЯКОСТІ ВОДИ ЗА ТЕЧІЄЮ ДНІПРА**В.І. ВИШНЕВСЬКИЙ**, док. геогр. наук,**С.А. ШЕВЧУК**, канд. техн. наук

Інститут водних проблем і меліорації НААН

О.Й. КРАВЦОВА

Дніпровське басейнове управління водних ресурсів

Наведено відомості щодо найважливіших показників якості води за довжиною Дніпра. Показано зміни середніх, максимальних і мінімальних значень. Встановлено, що невелика водність Дніпра у 2015–2017 рр., яка спостерігалася за умов високої температури повітря і води, позначилася на якості води, зокрема спричинила збільшення концентрації сухого залишку і водночас зменшення розчиненого кисню. Встановлено, що значним забруднювачем Дніпра є Бортницька станція аерації.

Ключові слова: ріка Дніпро, якість води, водосховища, Бортницька станція аерації

Вступ. Дніпро – найважливіша ріка України, вода з якої використовується у багатьох сферах, зокрема господарсько-питному водопостачанні. Водночас ріка зазнає істотного впливу людської діяльності, головними чинниками якої є зарегулювання стоку і скиди стічних вод. Крім того, якість води у Дніпрі і створених на ньому водосховищах залежить від природних чинників, з яких найголовнішим є водність. Невелика водність у 2015–2017 рр. позначилася на якості води, спричинила більше, ніж звичайно, її “цвітіння”. Іншим природним явищем, що також впливає на якість води, є винесення гумусових речовин із заболочених територій. Останнє характерно для р. Прип’ять.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Якість води у Дніпрі є об’єктом вивчення багатьох учених [1–7]. Ці роботи охопили коло питань: зміни мінералізації за довжиною ріки, кисневий режим дніпровських водосховищ, вплив водосховищ на концентрацію біогенних речовин, концентрацію та форми знаходження у воді важких металів тощо. Певна увага дослідників приділена і притокам Дніпра – річкам Прип’ять, Інгулець, Рось та ін.

Хоча отримані результати здебільшого не викликають заперечень, потрібно зазначити, що окремі питання якості води у Дніпрі та створених на ньому водосховищах висвітлено недостатньо. Насамперед наявні праці не могли охопити останні роки, які виявилися на Дніпрі аномально маловодними. Водночас у ці роки істотно вищою, за звичайну, була температура повітря і води. Крім того, результати, представлені у багатьох працях, недостатньо наглядні. Це, зокрема, стосується змін гідрохімічних показників за довжиною Дніпра та упродовж року. Додамо, що більшість дослідників зосередили свою увагу

лише на окремих питаннях якості. Праць, які стосуються багатьох показників, небагато.

Вихідні дані. Інформаційною базою виконаного авторами дослідження насамперед слугували дані моніторингу Держводагентства, які узагальнюють у Дніпровському басейновому управлінні водних ресурсів. Значний розмір досліджуваного регіону визначає те, що аналіз проб, відібраних за довжиною Дніпра, виконують у шести гідрохімічних лабораторіях. Окрім основної, що розташована у м. Вишгород, аналізи виконують також Черкаське управління водних ресурсів (пункти спостережень на Кременчуцькому водосховищі), Полтавський РУВР (верхня частина Кам’янського водосховища), Дніпровське обласне управління водних ресурсів (нижня частина Кам’янського і верхня Дніпровського водосховищ), Запорізький РУВР (Каховське водосховище), Херсонське обласне управління водних ресурсів (ділянка Дніпра нижче Каховської ГЕС).

Повторюваність визначень залежить від значимості пункту спостережень. Найбільшою є повторюваність на водозаборах великих міст: Києва, Дніпра, Запоріжжя. Якісні показники визначають тут щомісяця, а іноді й частіше. З трьох питних водозаборів м. Дніпро основну увагу приділено найбільшому – Аульському. Важливо, що він розташований на виступі берега і тому добре відображає якість води у Кам’янському водосховищі в цілому. На порівняно невеликих господарсько-питних водозаборах повторюваність визначень становить раз на сезон. Найменша вона (тричі за теплий період) на водозаборах зрошувальних систем. Загалом на мережі моніторингу виконують визначення більш ніж 30 показників.

Крім даних Держводагентства України, у статті використано дані спостережень гідрометслужби, які узагальнюють у Центральній геофізичній обсерваторії. Це передусім дані щодо водності, а також температури повітря. Основну увагу приділено періоду 2012–2017 рр., який за тривалістю достатній для узагальнень.

Методичні підходи щодо опрацювання якісних показників води. Перед тим, як використати вихідні дані для аналізу, виконували пошук можливих помилкових значень. З цією метою щодо вихідних даних у програмі MS Excel здійснювали умовне форматування, яке полегшувало пошук аномальних значень. Крім того, розраховували середні, максимальні та мінімальні значення, за якими будували графіки змін за довжиною Дніпра. За цими графіками виявляли дані, що різко відхилялися від загальної вибірки. Далі оцінювали достовірність таких відхилень. З цією метою аналізували дані на суміжних пунктах спостережень, а також гідрометеорологічні умови. Це дало змогу виявити кілька помилкових значень, які надалі не враховувалися. У цілому кількість таких помилок виявилася зовсім невеликою, менше 0,1 % загальної кількості визначень.

Найбільшу увагу зосереджено на дані, які стосуються всього року, а не лише теплого сезону, що характерно для водозаборів зрошувальних систем.

Гідрометеорологічні умови. Гідрометеорологічні умови протягом досліджуваного періоду виявилися особливими. Якщо у 2012–2014 рр. водність Дніпра була близькою до норми, то в наступні два роки

аномально малою. У створі Київської ГЕС при нормі 1050 м³/с середньорічна витрата води відповідно становила: 2012 р. – 1070, 2013 р. – 1480, 2014 р. – 814, 2015 р. – 486, 2016 р. – 681, 2017 р. (за попередніми даними) – 903 м³/с.

Зазначимо, що водність Дніпра 2015 р. була найменшою з часу історичного маловоддя 1921 р. і найменшою за період існування Дніпровського каскаду. До того ж, такого поєднання маловодних років, як 2015–2017, ще ніколи не спостерігали. Особливістю останніх років було незначне весняне водопілля. У найменш повноводному 2015 р. витрати весняного водопілля у створі Неданчичі були меншими за норму у два рази, Прип'яті – у три рази, Десни – навіть у чотири рази.

Усі шість років, для яких виконано узагальнення, виявилися істотно теплішими за норму. У Києві при нормі середньорічної температури 7,7 °С фактично спостерігалося: 2012 р. – 9,0; 2013 р. – 9,4; 2014 р. – 9,4; 2015 р. – 10,5; 2016 р. – 9,5; 2017 р. – 9,8 °С. Середньорічна температура повітря в 2015 р. була найвищою за всю історію спостережень, починаючи з 1881 р. і вперше перевищила 10,0 °С. Неодноразово в ці роки фіксували рекордні значення температури, які раніше не спостерігали.

Висвітлення основних результатів. Концентрація сухого залишку. Середня концентрація сухого залишку у Дніпрі в межах України становила 250–320 мг/дм³. Менше значення характерне для ділянки на кордоні з Білоруссю (с. Кам'янка), більше – біля гирла. Для цього показника властива відносна стабільність

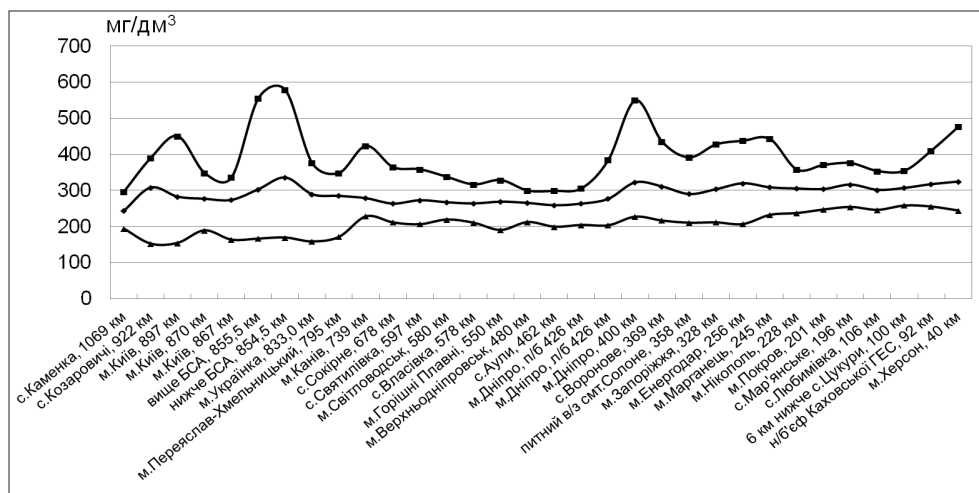


Рис. 1. Зміни сухого залишку за довжиною Дніпра протягом 2012–2017 рр.:
вгорі – максимальні, всередині – середні, внизу – мінімальні значення

середніх і мінімальних значень, значнішими є коливання максимальних (рис. 1).

На концентрацію гідрохімічних показників і, зокрема сухого залишку, істотно впливають місцеві умови, зокрема розташування пунктів спостережень відносно місць скидів стічних вод і впадіння приток. Помітне зростання концентрації сухого залишку (насамперед за максимальним значенням) спостерігається нижче скиду Бортницької станції аерації (БСА), а саме в пункті, що розташований за 0,5 км нижче за течією. Високими значеннями сухого залишку виділяються дані пункту спостережень у с. Карпівка, що розташований на Кам'янському водосховищі. Поясненням є розташування місця відбору проб у глибині затоки, куди впадає річка з доволі високою мінералізацією води. Ще одне місце з підвищеними значеннями сухого залишку розташоване на південній околиці м. Дніпро біля технічного водозабору Придніпровської ТЕС. Тут на мінералізацію води впливає р. Самара, яка впадає трохи вище за течією. Відомо, що концентрація солей у ній істотно більша, ніж у Дніпрі. Насамкінець підвищена мінералізація води спостерігається в нижній течії Дніпра, де трапляються згінно-нагінні явища.

Невелика водність Дніпра у 2015–2017 рр. позначилася на тому, що концентрація сухого залишку в цей час була вищою, ніж до цього. Зокрема у нижньому б'єфі Київської ГЕС протягом 2012–2014 рр. середня концентрація становила 270, у 2015–2017 рр. – 294 мг/дм³. Подібне співвідношення зафіксовано і в нижній течії біля Херсона – 313 і 336 мг/дм³.

Для довготривалого періоду спостережень концентрація сухого залишку дещо менша. Так, у нижньому б'єфі Київської ГЕС протягом 1993–2017 рр. вона становила 267 мг/дм³.

За наявними даними, існує слабо виражена обернена залежність між водністю і концентрацією сухого залишку. Невелика водність останніх років і стала головним чинником зростання концентрації.

Порівняно невелика водність протягом 2012–2017 рр. вплинула і на внутрішньорічний розподіл сухого залишку. У ці роки терміни з максимальними і мінімальними значеннями змістилися на пізніший час, ніж звичайно. Можна припустити, що це зумовлено збільшенням часу добігання води каскадом (рис. 2).

Кольоровість води. Характерною особливістю змін кольоровості води за довжиною Дніпра є її зменшення вниз за течією. Найбільшим цей показник є біля кордону з Білоруссю, зокрема біля гирла Прип'яті. Це особливо підтверджують дані про мінімальні та середні значення (рис. 3).

Про велику роль Прип'яті щодо кольоровості води свідчать дані Дніпровського БУВР за роки, коли відповідні спостереження виконували в гирлі цієї річки. Протягом періоду 1994–2008 рр. середнє значення кольоровості біля м. Чорнобиль становило 163 град. Максимум (566 град) зафіксовано 30.07.1998 р. під час літнього паводка на Прип'яті. Значний вплив цієї річки простежується ще за низкою показників. Окрім значної кольоровості, для Прип'яті властиві високі концентрації заліза загального і водночас порівняно невеликі концентрації розчиненого кисню.

Деяке зростання кольоровості фіксується у пунктах спостережень Власівка і Горішні Плавні. Обидва ці пункти розташовані в глибині лівобережних заток Кам'янського водосховища. З іншого боку, невеликими є значення кольоровості води біля м. Верхньодніпровськ. Ймовірно це зумовлено обмеженістю даних.

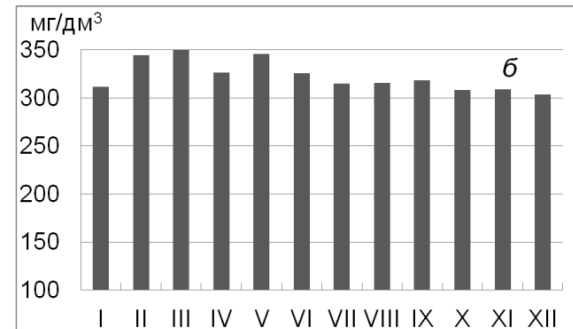
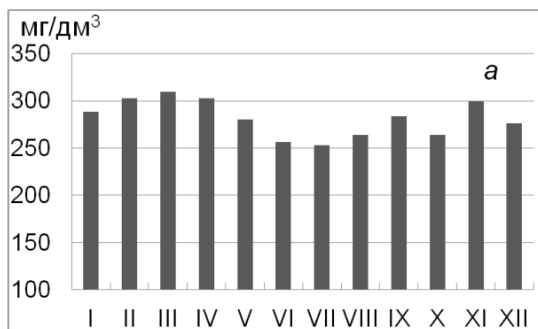


Рис. 2. Внутрішньорічний розподіл сухого залишку за довжиною Дніпра протягом 2012–2017 рр.: а – у нижньому б'єфі Київської ГЕС, б – на верхній околиці м. Херсон

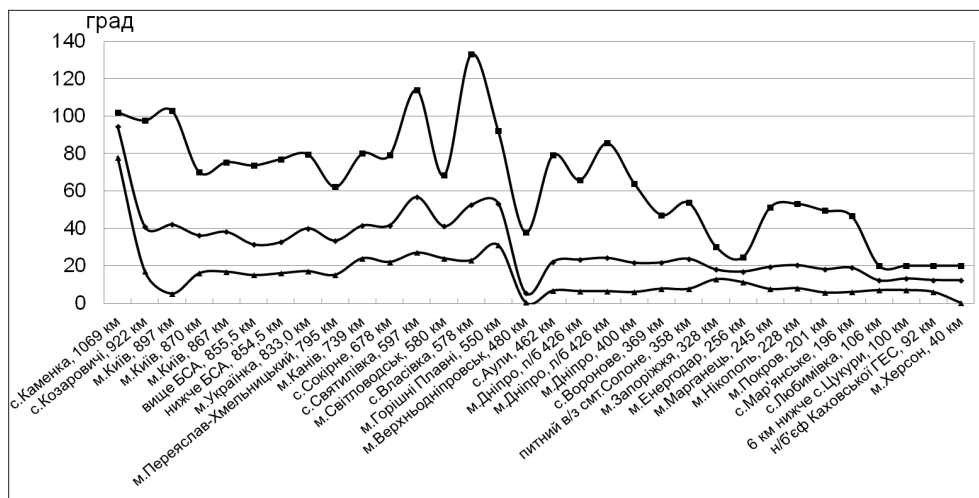


Рис. 3. Зміни кольоровості води за довжиною Дніпра протягом 2012-2017 рр.:
вгорі – максимальні, всередині – середні, внизу – мінімальні значення

Загалом упродовж досліджуваного періоду кольоровість води у Дніпрі виявилася незначною – насамперед у 2015–2017 рр. У нижньому б'єфі Київської ГЕС на питному водозаборі м. Києва у 2012–2014 рр. вона становила 53 град, у 2015–2017 рр. – 28 град. У попередній період (2001–2009 рр.) кольоровість була істотно вищою – 102 град. [2]. Невелика кольоровість, а також висока температура повітря і води позначилися на розвитку синьо-зелених водоростей. В останні роки (особливо в 2015–2017) “цвітіння” води досягло масштабів, яких давно не спостерігали [3].

Концентрація розчиненого кисню залежить як від природних, так і господарських чинників. Біля кордону з Білоруссю вона порівняно невелика – середньорічні значення становлять близько 8 мгО₂/дм³. Це пояснюється впливом двох чинників. Першим є значне надходження гумусових речовин, окиснення яких супроводжується поглинанням кисню. Другим є те, що у верхній частині Дніпра та Київському водосховищі інколи спостерігається тривалий льодостав, існування якого негативно позначається на концентрації кисню. Такі умови, зокрема, спостерігалися у лютому–березні 2010 р. Тоді у нижньому б'єфі Київської ГЕС було зафіксовано найменшу концентрацію розчиненого кисню – 18.03.2010 р. вона становила лише 0,21 мгО₂/дм³. За таких умов у Київському водосховищі виникла задуха. Нижче за течією концентрація кисню вища ніж у Київському водосховищі та нижньому б'єфі Київської ГЕС. Найбільші середньорічні значення (до 10,5 мгО₂/дм³) спосте-

рігаються у місцях, де існує посилений водообмін, наприклад на верхній околиці Херсона.

Доволі висока температура повітря і води у 2015–2017 рр. позначилася на тому, що в ці роки концентрація розчиненого кисню була меншою ніж у 2012–2014 рр. Так, у нижньому б'єфі Київської ГЕС у 2012–2014 рр. спостерігалось 8,7 мгО₂/дм³, у 2015–2017 рр. – 7,7 мгО₂/дм³. Аналогічні умови зафіксовано на водозаборі м. Черкаси (8,9 і 8,1 мгО₂/дм³), верхній околиці Херсона (10,8 і 10,4 мгО₂/дм³) та інших пунктах спостережень. У попередній період 2001–2009 рр. концентрації були дещо вищими [2].

Окрім високої температури повітря (і відповідно води), на концентрацію кисню в останні роки дещо вплинула невелика водність Дніпра. Про це свідчить наявність оберненої залежності між середньорічними значеннями витрат води і концентрацією кисню для довготривалого періоду.

Протягом року найвищі концентрації кисню звичайно спостерігаються у листопаді – грудні, коли стає холодною вода і водночас водосховища ще не вкриті кригою.

Концентрація завислих речовин у дніпровських водосховищах значною мірою відображає рівень “цвітіння” води. Про це, зокрема, свідчить той факт, що цей показник стає найбільшим у літній період. У деяких випадках зафіксовані значення сягають 20–25 мг/дм³, а іноді навіть 30 мг/дм³. Так, концентрацію 30 мг/дм³ зафіксовано 16.08.2017 р. біля м. Світловодськ на питному водозаборі міста. Найбільшим цей показник був у 2016–2017 рр., помітно меншим – у

2012–2014 рр. Значне “цвітіння” води в останні роки зафіксовано також за даними гідробіологічних спостережень [3].

Хімічне споживання кисню (ХСК) – показник, що відображає концентрацію органічних речовин, зокрема господарсько-побутових скидів. У цьому разі значною є роль Бортницької станції аерації – у розташованому нижче створі ХСК істотно зростає. Значним є цей показник і біля с. Святилівка, розташованому на лівому березі Кременчуцького водосховища. Це зумовлено періодичним відведенням води з розташованих поряд ставкових рибних господарств. На ХСК впливають також скиди м. Херсон у р. Верьовчину, які за тим потрапляють у рукав Кошова. Загалом за довжиною Дніпра показник ХСК має маловиразну тенденцію до зменшення (рис. 4).

Порівняння кількісного значення ХСК за 2012–2014 і 2015–2017 рр. показує, що більшими вони виявилися в першому випадку. Відповідні значення за довжиною Дніпра були такими: нижній б’єф Київської ГЕС – 30,5 і 28,9; водозабір м. Черкаси – 26,9 і 22,6; у Кам’янському водосховищі біля с. Аули – 29,7 і 27,7; на верхній околиці м. Херсон – 25,5 і 24,0 мгО/дм³.

Протягом року для показника ХСК властиві доволі значні сезонні відмінності, причому настання мінімумів і максимумів за довжиною Дніпра зміщуються на пізніші терміни (рис. 5).

Біохімічне споживання кисню (БСК₅). Як і в багатьох інших випадках, цей показник змінюється залежно від місцевих умов. Значним, зокрема, є вплив скидів БСА. Окрім того, доволі великими є значення БСК₅ у Кременчуцькому водосховищі біля

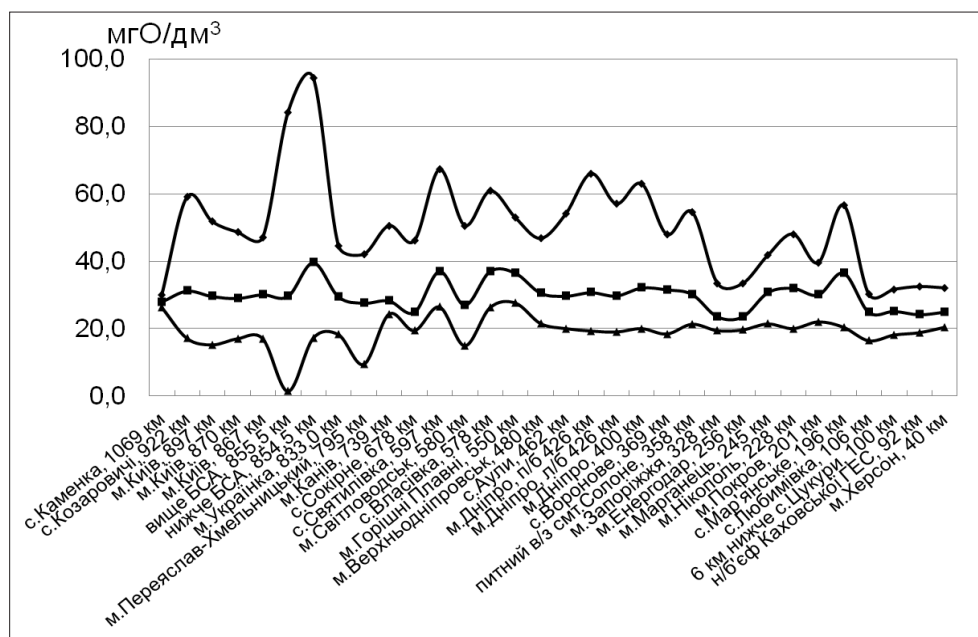


Рис. 4. Зміни ХСК за довжиною Дніпра протягом 2012-2017 рр.:
вгорі – максимальні, всередині – середні, внизу – мінімальні значення

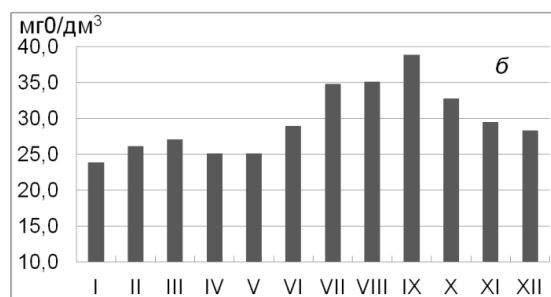
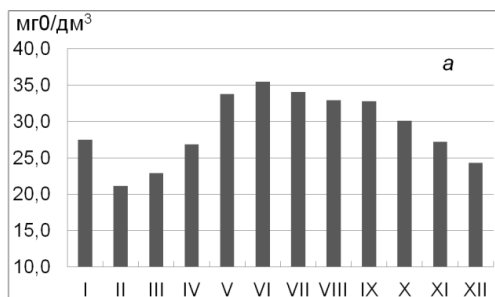


Рис. 5. Внутрішньорічний розподіл показника ХСК протягом 2012–2017 рр. у нижньому б'єфі Київської ГЕС (а) і на Кам'янському водосховищі біля с. Аули (б)

с. Святилівка, де існує вплив скидів ставкових рибних господарств (рис. 6).

Окремий розгляд даних за 2012–2014 рр. і 2015–2017 рр. показує, що в обох випадках БСК₅ виявилося близьким. У нижньому б'єфі Київської ГЕС відповідно зафіксовано 2,4 і 3,6 мгО₂/дм³. У свою чергу на водозаборі м. Черкаси в с. Сокирне спостерігалось: 2,4 і 2,2 мгО₂/дм³, на водозаборі м. Дніпро в с. Аули – 2,1 і 2,2 мгО₂/дм³.

Концентрація біогенних сполук. На мережі моніторингу Держводагентства

України найбільшим є обсяг визначень сполук азоту, фосфатів і заліза загального.

У верхньому створі біля кордону з Білоруссю середні за 2012–2017 рр. концентрації є такими: амоній – 0,50 мг/дм³, нітрити – 0,05 мг/дм³, нітрати – 1,5 мг/дм³, фосфати – 0,30 мг/дм³, залізо загальне – 0,34 мг/дм³.

Нижче за течією концентрації сполук азоту і фосфору зростають. Значним є вплив БСА – особливо за зафіксованими максимумами. Нижче за течією від цього скиду неоднора-

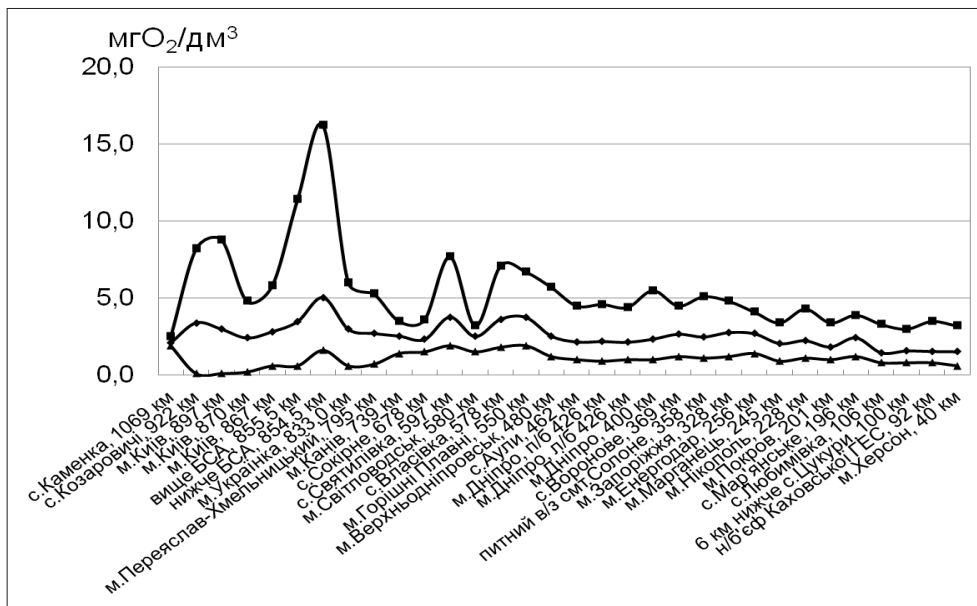


Рис. 6. Зміни БСК₅ за довжиною Дніпра протягом 2012-2017 рр.: вгорі – максимальні, всередині – середні, внизу – мінімальні значення

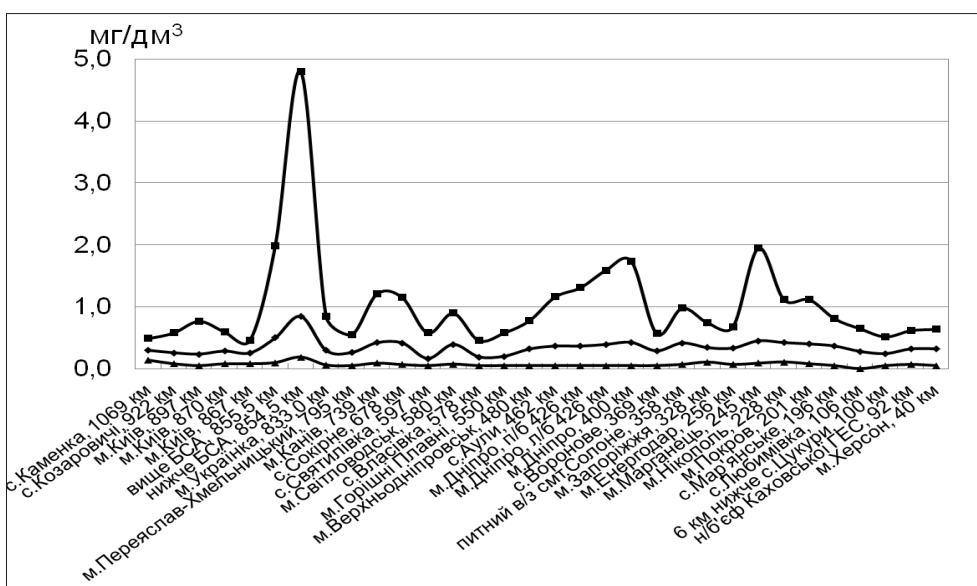


Рис. 7. Зміни концентрації фосфатів за довжиною Дніпра протягом 2012-2017 рр. вгорі – максимальні, всередині – середні, внизу – мінімальні значення

зово траплялися випадки, коли концентрація фосфатів перевищувала 2 мг/дм³. Підвищені концентрації фосфатів спостерігаються також біля м. Дніпро – насамперед на нижній околиці міста. Про останнє свідчать дані на водозаборі Придніпровської ТЕС (рис. 7).

Водночас униз за течією Дніпра концентрація заліза загального зменшується. У нижньому б'єфі Київської ГЕС її середнє значення за 2012–2017 рр. становило 0,25 мг/дм³, у Кам'янському водосховищі біля с. Аули – 0,12 мг/дм³.

Окремим питанням є те, чи вплинули невелика водність і високі температури в 2015–2017 рр. на концентрації біогенних речовин. У 2015–2017 рр. вони загалом виявилися дещо меншими, ніж раніше. Зокрема у нижньому б'єфі Київської ГЕС у 2012–2014 і 2015–2017 рр. відповідно спостерігалось: амоній – 0,57 і 0,30; нітриту – 0,06 і 0,06; нітрата – 2,9 і 2,3; фосфати – 0,27 і 0,20; залізо загальне – 0,30 і 0,17 мг/дм³. Аналогічно на водозаборі м. Черкаси в с. Сокирне спостерігалось: амоній – 0,62 і 0,37; нітриту – 0,06 і 0,04; нітрата – 2,5 і 3,0; фосфати – 0,38 і 0,45; залізо загальне – 0,40 і 0,27 мг/дм³. У свою чергу у Кам'янському водосховищі біля с. Аули зафіксовано:

амоній – 0,32 і 0,32; нітриту – 0,05 і 0,04; нітрата – 1,5 і 1,0; фосфати – 0,37 і 0,32; залізо загальне – 0,12 і 0,13 мг/дм³.

Протягом року концентрації біогенних сполук не залишаються сталими. Вважається [4], що вони істотно залежать від процесів, пов'язаних із життєдіяльністю організмів, біомаса яких у водосховищах дуже значна. За наявними даними, концентрації іона амонію найбільші в літній період (рис. 8).

Майже протилежними за часом є концентрації нітратів – найменші вони в літній період. Про невеликі значення нітратів у теплу пору року свідчать також праці [1, 4]. Показово, що вниз за довжиною Дніпра концентрації дещо зменшуються (рис. 9).

Значний інтерес являє внутрішньорічний розподіл фосфатів, адже їх присутність істотно впливає на "цвітіння" води. Найбільша вона в період літньо-осінньої межени. У цілому це відповідає результатам, отриманим для р. Рось [1] (рис. 10). Порівняння даних на рис. 8–10 показує, що протягом року істотно різним є не лише співвідношення між концентраціями іона амонію і нітратів, а й між концентраціями сполук азоту і фосфатів. Протягом року ці співвідношення змінюються більш як на порядок.

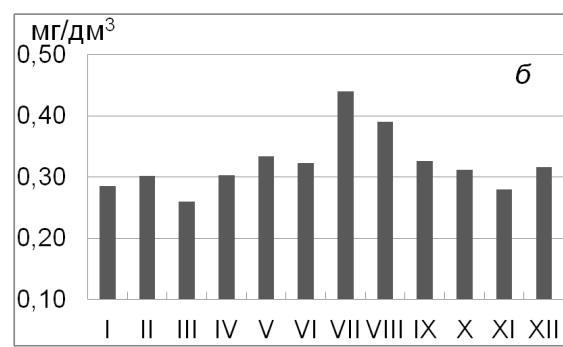
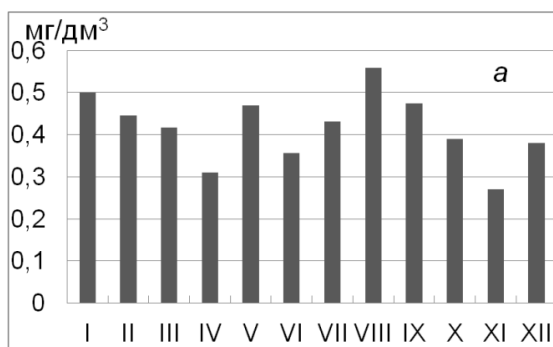


Рис. 8. Внутрішньорічний розподіл концентрації іона амонію в нижньому б'єфі Київської ГЕС (а) і на Кам'янському водосховищі біля с. Аули (б) протягом 2012–2017 рр.

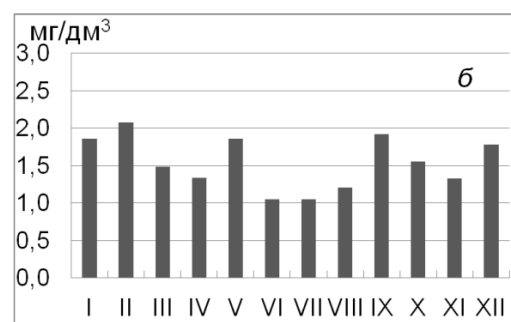
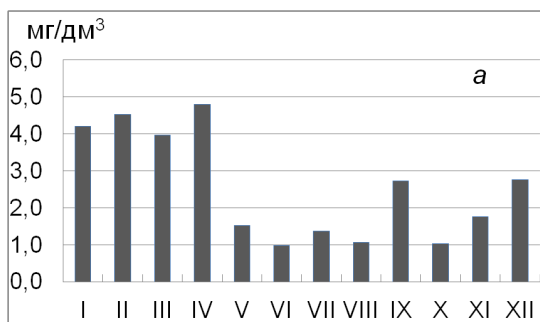


Рис. 9. Внутрішньорічний розподіл концентрації нітратів в нижньому б'єфі Київської ГЕС (а) і на Кам'янському водосховищі біля с. Аули (б) протягом 2012–2017 рр.

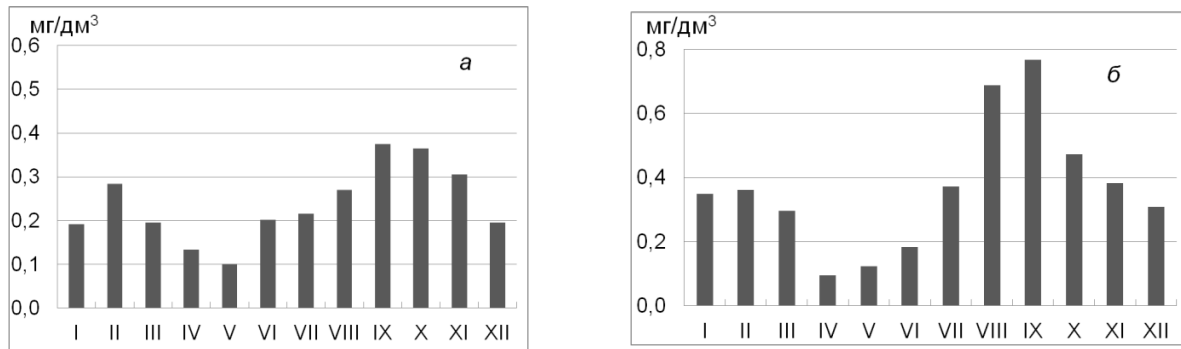


Рис. 10. Внутрішньорічний розподіл концентрації фосфатів протягом 2012–2017 рр. у нижньому б'єфі Київської ГЕС (а) і на Кам'янському водосховищі біля с. Аули (б)

Зокрема, на Кам'янському водосховищі біля с. Аули найбільша відмінність між концентраціями нітратів і фосфатів (до 20 разів) спостерігається у квітні–травні, найменша (близько трьох разів) – у серпні.

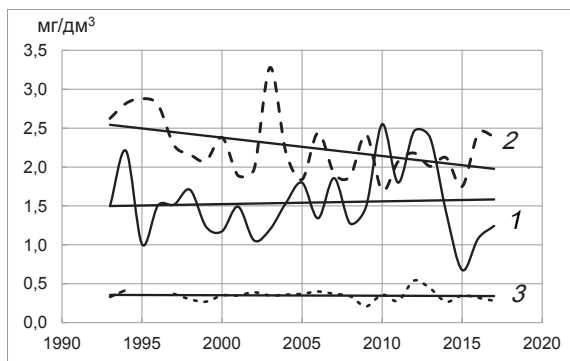


Рис. 11. Багаторічні зміни якісних показників води у Кам'янському водосховищі біля с. Аули:

1 – БСК₅, 2 – концентрація нітратів, 3 – концентрація фосфатів

Дані спостережень, які виконують та узагальнюють у Дніпровському БУВР з

1993 р., показують, що істотних змін якості води за цей період немає. За одними показниками якість має ознаки поліпшення, за іншими погіршення.

Існує зв'язок між деякими показниками і водністю. Так, існує слабкий кореляційний зв'язок між водністю і концентрацією нітратів – у повноводні роки ці концентрації зростають, у маловодні – зменшуються.

Бортницька станція аерації. Необхідність окремої уваги до БСА зумовлена її значним впливом на екологічний стан Дніпра, принаймні – прилеглу частину Канівського водосховища. Ця станція р-озташована на південно-східній околиці Києва і є єдиним підприємством, на якому очищують господарсько-побутові стоки міста. Станцію ввели в дію у 1965 р.; її проектна потужність – 1,8 млн м³ води на добу. Очищення виконується за класичною схемою з використанням пісколовки, первинних відстійників, аеротенків і вторинних відстійників. Очищена вода відводиться каналом у Канівське водосховище. Його створення в 1970-х роках зумовило необхід-

Таблиця 1. Середні за 2012–2017 рр. якісні показники води у скидному каналі БСА та прилеглих пунктах спостережень (дані Дніпровського БУВР)

Річка–створ	Сухий залишок	Кольоровість	Розчинений кисень	ХСК	БСК ₅	NH ₄	NO ₂	NO ₃	P
Дніпро, 500 м вище БСА	303	31	8,1	30	3,5	0,65	0,028	7,0	0,50
Скидний канал БСА	575	34	5,8	65	8,5	9,5	2,9	45,7	4,1
Дніпро, 500 м нижче БСА	335	33	8,2	40	5,0	2,1	0,97	10,6	0,85

ність перекачування стічних вод насосною станцією.

Найбільший обсяг стоків та їх очищення на БСА були наприкінці 1980-х і початку 1990-х років, коли він сягав 1,4–1,5 млн м³ на добу. Нині цей обсяг зменшився вдвічі. Насамперед це зумовлено високими тарифами на водоспоживання та водовідведення і відповідно економічним витратанням води населенням. За окремими роками обсяг очищення становив: 2000 р. – 468,7; 2005 р. – 413,2; 2010 р. – 311,6; 2012 р. – 291,6; 2013 р. – 297,3; 2014 р. – 270,4; 2015 р. – 259,0; 2016 р. – 265,4 млн м³.

За даними Дніпровського БУВР, усереднені показники якості води в скидному каналі БСА протягом 2012–2017 рр. були такими: сухий залишок – 575 мг/дм³, розчинений кисень – 5,8 мгО₂/дм³, ХСК – 65 мгО/дм³, БСК₅ – 8,5 мгО₂/дм³, нітрати – 45,7 мг/дм³, фосфати – 4,1 мг/дм³ (табл. 1).

Близькими є якісні характеристики ПАТ АК “Київводоканал” за формою 2-ТП (водгосп). Зокрема у 2016 р. середні показники за даними Дніпровського БУВРа і ПАТ АК “Київводоканал” були відповідно такими: завислі речовини: 39,3 і 19,6 мг/дм³, БСК₅ – 7,7 і 8,0 мгО₂/дм³, ХСК – 68,4 і 78,4 мгО/дм³, NO₂ – 2,6 і 1,6 мг/дм³, NO₃ – 55,1 і 38,7 мг/дм³, фосфати – 4,0 і 5,2 мг/дм³. Найвні відмінності можна пояснити використанням різних приладів, відбором проб у різні дати та ін.

З наведених у табл. 1 даних видно, що якість води у скидному каналі БСА незрівнянно гірша, ніж у Дніпрі. Найбільші відхилення, порівняно з дніпровською водою, простежуються щодо концентрації іона амонію та нітритів – більш ніж на порядок.

Заслуговує на увагу той факт, що концентрації забруднюючих речовин, які дозволено скидати водоканалу, доволі високі. Не менш важливо й те, що ці концентрації стають усе більшими. Так, у 2008 р. Київському водоканалу було дозволено скиди з такими концентраціями: азот амонійний – 2,5 мг/дм³; нітрити – 1,0; нітрати – 5,5 мг/дм³. У 2009 р. дозволені концентрації збільши-

лися: азот амонійний – 7,00 мг/дм³, нітрити – 3,0, нітрати – 35,0 мг/дм³. Останнім часом дозволені концентрації ще більше зросли: БСК₅ – 10,0 мгО₂/дм³, ХСК – 90,0 мгО/дм³, азот амонійний – 10,0 мг/дм³, нітрити – 7,0 мг/дм³, нітрати – 45,0 мг/дм³, фосфати – 8,0 мг/дм³.

Як видно, протягом останніх 10 років дозволені концентрації скидів збільшилися в кілька разів. Оскільки виміряні концентрації загалом є меншими, ніж дозволені, виходить, що стічні води формально потрапляють у категорію нормативно очищених стічних вод, а не забруднених у разі менших дозволених концентрацій.

Насправді БСА, як це видно з наведених вище рисунків, є дуже значним забруднювачем води у Дніпрі. Згідно даних ПАТ АК “Київводоканал”, щорічний скид цього підприємства за окремими показниками становить: завислі речовини – 5,1–5,3 тис. т, БСК₅ – 2,0–2,2 тис. т; ХСК – 20,0 тис. т; азот амонійний 2,0 тис. т; нітрити – 0,4 тис. т; нітрати – 10,0 тис. т; фосфати – 1,4 тис. т; залізо загальне – 100 т; нафтопродукти – 20 т.

Висновки. Дані спостережень Держводагентства України дають змогу характеризувати просторово-часові закономірності якості води за довжиною Дніпра. За деякими показниками (концентрація сухого залишку) якість води за течією погіршується, за іншими (кольоровість) – поліпшується. Отримані результати свідчать про значний вплив місцевих умов, зокрема скидів стічних вод. Значним забруднювачем Дніпра є БСА – насамперед за такими показниками як концентрація біогенних сполук. На якість води впливає також водність Дніпра. Протягом останніх років (2015–2017), які виявилися аномально маловодними, зафіксовано погіршення якості води за концентраціями сухого залишку і розчиненого кисню. У ці роки більшим за звичайне виявилось “цвітіння” води. Водночас концентрація біогенних речовин у 2015–2017 рр., порівняно з 2012–2014 рр., була дещо меншою.

Бібліографія

1. Бабій П.О., Вишневецький В.І., С.А. Шевчук. *Річка Рось та її використання*. Київ: Інтерпрес ЛТД. 2016. 128 с.
2. Вишневецький В.І. *Ріка Дніпро*. Київ: Інтерпрес ЛТД. 2011. 384 с.
3. Вишневецький В.І., Лопата Л.М. “Цвітіння” води на водозаборі Дніпровської водопровідної станції // *Меліорація і водне господарство*. 2016. Вип. 104. С. 31–35.
4. *Гидрология и гидрохимия Днепра и его водохранилищ* / Денисова А.И. и др. Киев: Наук. думка. 1989. 216 с.
5. *Гидрохимическая характеристика Киевского водохранилища на современном этапе его существования* / В.М. Якушин и др. // *Гидробиологический журнал*. 2017. Т. 53, № 4. С. 104–120.

6. Линник П.Н., Жежеря В.А. Содержание и формы миграции свинца в поверхностных водах // Гидробиологический журнал. 2016. Т.52, № 5. С. 95–118.

7. Осадча Н.М. Баланс стоку гумусових речовин у каскаді дніпровських водосховищ. Наук. праці УГМІ. 2012. Вип. 263. С. 81–99.

8. <http://watermon.iisd.com.ua/EcoWaterMon/MapEcoWaterMon/Index> – сайт з даними моніторингу стану поверхневих вод України.

В.И. Вишнеvский, С.А. Шевчук, О.И. Кравцова

Закономерности изменений качества воды по течению Днепра

Приведены сведения о важнейших показателях качества воды по длине Днепра. Показаны изменения средних, максимальных и минимальных значений. Установлено, что небольшая водность Днепра в 2015–2017 гг., наблюдавшаяся в условиях высокой температуры воздуха и воды, стала причиной увеличения концентрации сухого остатка и одновременно уменьшения растворенного кислорода. Показано, что значительным загрязнителем Днепра является Бортническая станция аэрации.

V.I. Vyshnevskiy, S.A. Shevchuk, O.I. Kravtsova

Water quality changes regularities alongside the Dnipro river

The data about main water quality indicators of water quality alongside the Dnipro river are presented. It was shown the changes of mean, maximum and minimum values. It was found that small water runoff of the Dnipro river in 2015–2017 simultaneously observed with high air and water temperatures, caused an increase of water mineralization and at the same time a decrease of dissolved oxygen. It was shown that the significant contaminant of the Dnipro river is the Bortnitska water treatment station.

УДК 628.1

ЛАБОРАТОРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ЗНЕЗАЛІЗНЕННЯ ПІДЗЕМНИХ ВОД ФІЗИКО-ХІМІЧНИМ МЕТОДОМ*

С.Р. СТАСЮК

Інститут водних проблем і меліорації НААН

Представлено результати лабораторних досліджень процесів знезалізнення підземних вод при їх спрощеній аерації та висхідному фільтруванні через плаваюче пінополістирольне завантаження. Встановлено закономірності зміни вмісту заліза у фільтрованій воді протягом фільтроциклу при різних швидкостях фільтрування води та розроблено рекомендації для оптимальних режимів експлуатації водознезалізнювальних установок.

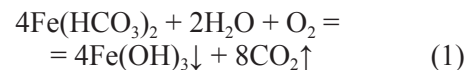
Ключові слова: підземні води, знезалізнення води, спрощена аерація води, пінополістирольне завантаження, висхідне фільтрування води, брудомісткість фільтра, тривалість фільтроциклу, інтенсивність і тривалість промивки

Вступ. Основним джерелом сільськогосподарського водопостачання в Україні є підземні води, які дуже часто характеризуються підвищеним вмістом заліза. Для вирішення проблеми понаднормового вмісту заліза у підземних водах, що використовуються як джерела водопостачання, у різні часи представниками багатьох наукових шкіл було проведено великий обсяг експериментальних та теоретичних досліджень, розроблено різноманітні технологічні схеми та методи розрахунку споруд для знезалізнення води.

Ключову роль у практиці знезалізнення води відіграють фізико-хімічні перетворення заліза, оскільки вони безпосередньо відповідають за його видалення [8,9]. Для видалення заліза із води застосовують реагентні і безреагентні методи. Вибір методу залежить від кількості і форми існування заліза, якісного складу води та продуктивності водоочисної станції [5]. В ІВПіМ НААН розроблена і запатентована установка для знезалізнення і зм'якшення води [6,7], на якій можна очищати воду від домішок, які найчастіше зустрічаються у підземних водах реагентним або безреагентним методами.

Нині для видалення заліза з води застосовують переважно безреагентні методи шляхом спрощеної її аерації та фільтрування [5]. Для спрощеної аерації збагачення води киснем забезпечується при падінні крапель з висоти 0,5 м. При цьому концентрація розчинного у воді кисню доходить до 5 мг/дм³ [2]. Для окиснення 1 мг заліза необхідно 0,143 мг кисню [1,2]. Розбрикування здійснюють, використовуючи дірчасті лотки або труби з отворами, через які вода витікає із швидкістю $V_{\text{отв}}=1,5-2$ м/с [6,7].

При аерації води відбувається окиснення двовалентного заліза з переводом його у тривалентну форму і утворенням малорозчинного гідроксиду заліза $\text{Fe}(\text{OH})_3$, що випадає в осад, та вуглекислого газу CO_2 , який видаляється з води:



Окиснення заліза можна здійснювати двома методами [5]:

- фізико-хімічним, при якому реакція (1) відбувається безпосередньо у водоповітряному баку;

- біологічним, при якому специфічні залізобактерії швидко окиснюють двовалентне залізо, споживаючи енергію окиснення для своєї життєдіяльності, а продукти окиснення $\text{Fe}(\text{OH})_3$ компактно ущільнюються.

Задачі лабораторних досліджень.

У роботі досліджували процеси знезалізнення підземних вод фізико-хімічним методом з метою встановлення закономірностей зміни вмісту заліза у фільтрованій воді протягом фільтроциклу при різних швидкостях її фільтрування та розробки рекомендацій з оптимальних режимів роботи водознезалізнювальних установок.

Дослідження виконували на лабораторній установці, технологічна схема якої представлена на рис.1.

Принципи роботи установки детально описано в роботах [6, 7].

Методика проведення досліджень.

Вимірювали вміст заліза у вихідній воді, що подавалась по трубі 1, та у фільтрованій воді, що відводилась по трубі 11. Вміст заліза у вихідній воді, що подавалась із водонапірної башти, змінювався протягом досліджень, постійно контролювався. Швидкість висхід-

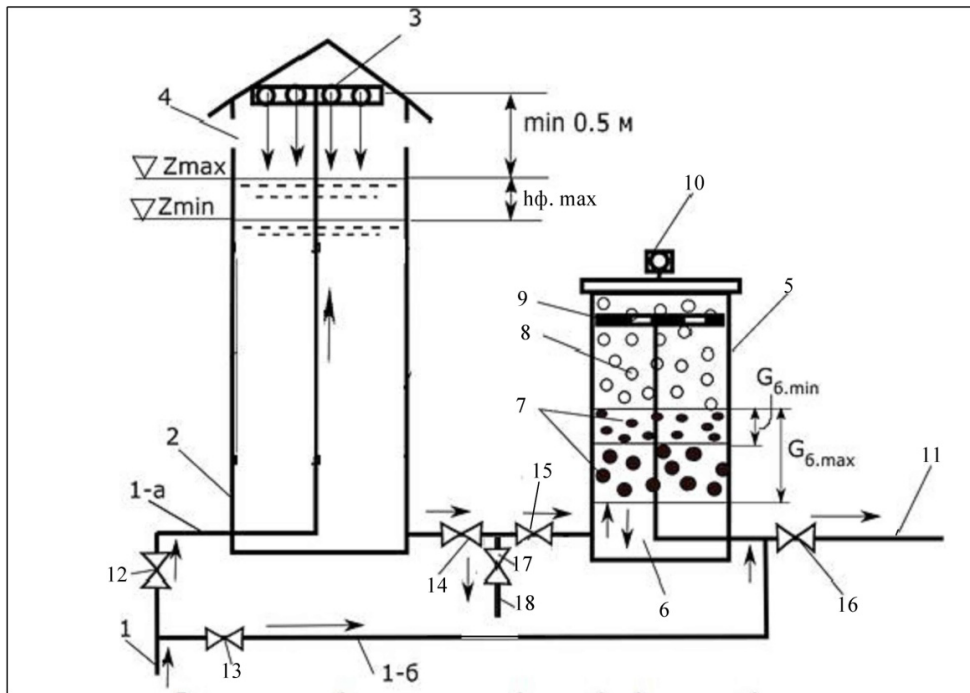


Рис. 1. Технологічна схема лабораторної установки для знезалізнення води фізико-хімічним методом:

- 1 – подача вихідної води; 1а – на очищення; 1б – на промивку фільтра;
 2 – водоповітряний бак; 3 – аератор, 4 – повітряпропускні вікна;
 5 – контактний прояснювальний фільтр (КПФ); 6 – підфільтровий простір;
 7 – осад з $Fe(OH)_3$; 8 – пінополістирольне плаваюче завантаження;
 9 – ковпачковий дренаж; 10 – вантуз; 11 – відведення очищеної води;
 12-17 – засувки; 18 – скидання промивної води

ного фільтрування води на КПФ визначали за формулою:

$$V_{\phi} = Q / \omega, \text{ м/год} \quad (2)$$

де Q – витрата води, $\text{м}^3/\text{год}$; ω – площа поперечного перерізу КПФ внутрішнім діаметром $d_{\phi}=144$ мм.

Дослідження виконували при трьох постійних протягом фільтроциклу швидкостях фільтрування води V_{ϕ} : 7; 9 і 11 м/год.

Протягом фільтроциклу накопичувався осад з $Fe(OH)_3$ у підфільтровому просторі, що збільшувало гідравлічний опір рухові води на величину $h_{\phi,max}$ та підвищувало рівень води у водоповітряному баку з відмітки Z_{min} (на початку фільтроциклу) до величини Z_{max} (у кінці фільтроциклу).

Питому брудомісткість КПФ в k -ий момент часу протягом фільтроциклу визначали за формулою:

$$G_k = 0,001 K_n V_{\phi} \sum_0^{T_{\phi,k}} (C_{o,i} - C_{\phi,i}) T_{\phi,i}, \text{ кг/м}^2 \quad (3)$$

де K_n – перевідний коефіцієнт, що враховує співвідношення молекулярної маси

гідроксиду заліза $Fe(OH)_3$ до атомної маси двовалентного заліза

$$K_n = \frac{M[Fe(OH)_3]}{AFe^{2+}} = \frac{107}{56} = 1,91; \quad (4)$$

$C_{o,i}$ і $C_{\phi,i}$ – середній вміст заліза відповідно у вихідній та фільтрованій воді за інтервал часу між сусіднім вимірюванням $T_{\phi,i}$, г/м^3 ; $T_{\phi,k}$ – тривалість фільтрування води, год.

Максимальна тривалість фільтрування $T_{\phi,max}$ визначається часом фільтрування води, після якого фільтр необхідно виключити на промивку, оскільки якість фільтрованої води досягла гранично допустимих значень вмісту заліза $C_{\phi} = 0,2$ мг/дм^3 , що контролюється відповідними граничними втратами напору на фільтрі:

$$h_{\phi,max} = Z_{max} - Z_{min}, \text{ м} \quad (5)$$

Ефективність знезалізнення води у будь-який (k -ий) період часу залежить від множини факторів:

$$E = \frac{C_0 - C_{\phi}}{C_0} \cdot 100\% = f(d_{\phi}, K_n, H_{\phi}, T.C, V_{\phi}, G_k), \quad (6)$$

де C_0 і C_{ϕ} – вміст заліза відповідно у вихідній та фільтрованій воді, мг/дм^3 ; d_{ϕ} , K_n ,

H_{ϕ} – діаметр, мм, коефіцієнт неоднорідності і товщина, м, гранул фільтрувального завантаження; Т.С – технологічна схема, що визначає спосіб аерації води та окиснення двовалентного заліза; V_{ϕ} – швидкість фільтрування води, м/год, що визначалась за формулою (2); G_k – питома брудомісткість КПФ, що визначалась за формулою (3).

Результати лабораторних досліджень.

У табл. 1-3 наведено результати досліджень та обчислень показників процесу знезалізнення води при швидкостях її висхідного фільтрування на КПФ відповідно 7; 9 і 11 м/год.

Зміна вмісту заліза у фільтрованій воді протягом фільтроциклу при $V_{\phi,1}=7$ м/год показана на рис.2.

З рис.2 бачимо, що «зарядка» фільтра при $V_{\phi}=7$ м/год становить $T_{зар.}=40$ годин, а тривалість корисної роботи установки, при якій забезпечується нормативна якість фільтрованої води, дорівнює $T_{\phi,1} = 143$ години. Після 183 годин фільтрування води КПФ необхідно виключити на промивку.

Дані табл.1 та рис.3 свідчать про те, що втрати напору в чистому фільтрувальному завантаженні дорівнюють $h_{\phi,0}=55$ мм, а після $T_{зар.}=40$ год $h_{\phi,min}=150$ мм і мінімальна питома брудомісткість $G_{min}=0,3$ кг/м². У кінці фільтроциклу, тобто після 183 годин фільтру-

вання води $h_{\phi,max}=410$ мм, а максимальна питома брудомісткість КПФ, при якій його необхідно виключити на промивку, дорівнює $G_{max}=1,84$ кг/м².

На рис.3 наведено графіки зміни питомої брудомісткості фільтра $G_{п.1}=f(T_{\phi,1})$ і втрат напору $h_{\phi,1}=f(T_{\phi,1})$ у фільтрі протягом фільтроциклу при швидкості фільтрування води $V_{\phi,1}=7$ м/год.

Аналогічними є дослідження процесів знезалізнення води при висхідному її фільтруванні на КПФ зі швидкостями $V_{\phi,2}=9$ м/год і $V_{\phi,3}=11$ м/год.

Результати досліджень і розрахунків наведено в табл. 2 і 3.

Дослідження процесів знезалізнення води на лабораторній установці виконували при початковій мінімальній питомій брудомісткості КПФ для даної швидкості фільтрування води, яка приймалась: при $V_{\phi,2}=9$ м/год $G_{min}=0,36$ кг/м², а при $V_{\phi,3}=11$ м/год $G_{min}=0,52$ кг/м².

За результатами досліджень побудовані графіки $C_{\phi}=f(V_{\phi}, T_{\phi})$ (рис. 4).

З табл. 2 і 3 та рис.4 визначаємо розрахункові параметри роботи установки: $T_{\phi,2}=138$ год; $T_{\phi,3}=105$ год; $G_{min,2}=0,36$ кг/м²; $G_{min,3}=0,52$ кг/м²;

$G_{max,2}=1,52$ кг/м²; $G_{max,3}=1,27$ кг/м²; $h_{\phi,max,2}=430$ мм; $h_{\phi,max,3}=470$ мм.

1. Результати вимірювань і обчислень показників знезалізнення води при $V_{\phi,1}=7$ м/год

Показники процесу знезалізнення води		Тривалість фільтрування води T_{ϕ} , год.							
		0	28	49	98	130	148	171	194
вміст заліза, мг/дм ³	C_o	0,83	0,91	1,14	1,2	0,8	0,9	1,15	1,12
	C_{ϕ}	0,46	0,22	0,19	0,18	0,15	0,1	0,16	0,25
питома брудомісткість G , кг/м ²		0	0,198	0,428	1,073	1,216	1,390	1,665	1,951
втрати напору h_{ϕ} , мм		55	75	185	255	280	290	370	450

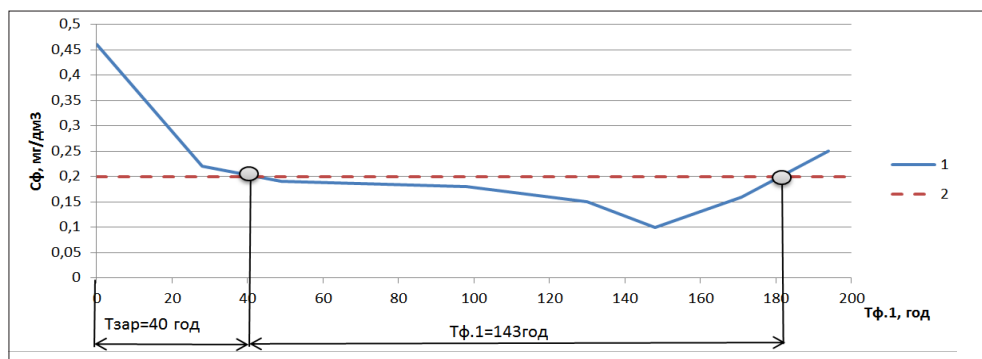


Рис. 2. Графік зміни вмісту заліза у фільтрованій воді протягом фільтроциклу при $V_{\phi,1}=7$ м/год:

1 – вміст заліза у фільтрованій воді, мг/дм³; 2 – нормативний вміст заліза у питній воді ($C_{\phi,n} = 0,2$ мг/дм³)

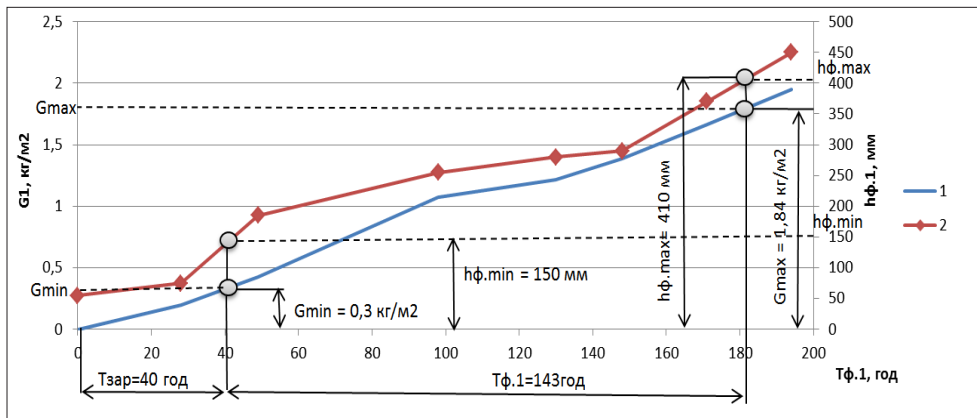


Рис. 3. Графіки зміни питомої брудомісткості фільтра $G_{\phi,1}=f(T_{\phi,1})$ – 1 і втрат напору у фільтрі $h_{\phi,1}=f(T_{\phi,1})$ – 2 протягом фільтроциклу при $V_{\phi,1}=7$ м/год

2. Результати вимірювань і обчислень показників знезалізнення води при $V_{\phi,2}=9$ м/год

Показники процесу знезалізнення води	Тривалість фільтрування води $T_{\phi,2}$, год.								
	0	23	39	63	86	122	134	155	
вміст заліза, мг/дм ³	C_o	-	3,18	1,08	0,89	1,15	1,13	1,25	1,29
	C_{ϕ}	-	0,104	0,101	0,108	0,12	0,1	0,167	0,37
питома брудомісткість G_{ϕ} , кг/м ²	0,36	1,576	2,133	2,496	2,854	3,491	3,709	4,071	
втрата напору h_{ϕ} , мм	-	190	200	230	260	330	430	530	

3. Результати вимірювань і обчислень показників знезалізнення води при $V_{\phi,3}=11$ м/год

Показники процесу знезалізнення води	Тривалість фільтрування води $T_{\phi,2}$, год.						
	0	15	38	64	87	116	
вміст заліза, мг/дм ³	C_o	-	1,49	1,54	0,81	1,03	1,29
	C_{ϕ}	-	0,125	0,08	0,13	0,05	0,3
питома брудомісткість G_{ϕ} , кг/м ²	0,52	0,95	1,633	2,217	2,618	3,218	
втрата напору h_{ϕ} , мм	-	175	280	380	420	480	

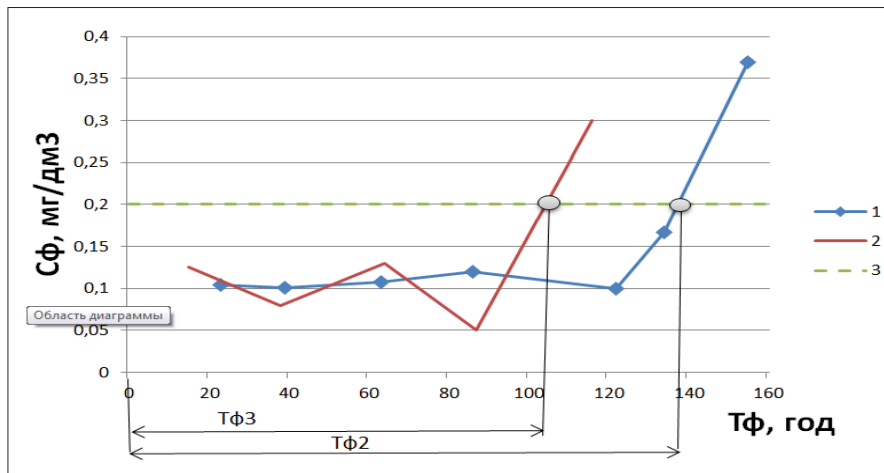


Рис. 4. Графіки залежностей $C_{\phi}=f(V_{\phi}, T_{\phi})$ для швидкостей фільтрування води:
1 – $V_{\phi,2}=9$ м/год; 2 – $V_{\phi,3}=11$ м/год; 3 – нормативний вміст заліза у питній воді ($C_{\phi,н}=0,2$ мг/дм³)

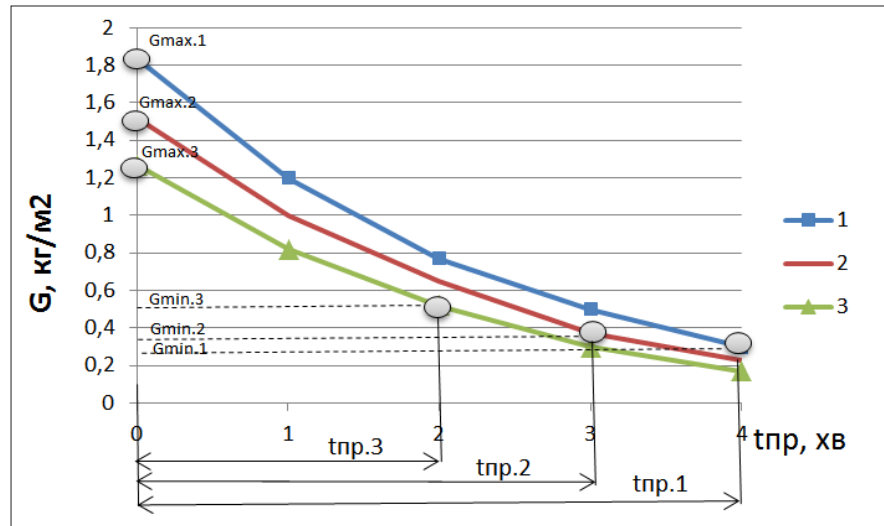


Рис. 5. Графіки виводу осаду з КПФ для швидкостей фільтрування води:

1 – $V_{\phi.1} = 7$ м/год; 2 – $V_{\phi.2} = 9$ м/год; 3 – $V_{\phi.3} = 11$ м/год

Промивка фільтра. Промивку КПФ виконували подачею промивної води витратою 12 л/хв $= 0,2$ л/с, а при внутрішньому діаметрі фільтра $d_{\phi} = 0,144$ м – інтенсивність промивки була:

$$q_{\text{пр}} = \frac{4Q_{\text{пр}}}{\pi d_{\phi}^2} = \frac{4 \cdot 0,2}{3,14 \cdot 0,144^2} = 12,3 \text{ л/с} \cdot \text{м}^2. \quad (7)$$

Промивку фільтра виконували з розрахунку, щоб після його промивки такою інтенсивністю в кінці процесу залишалась мінімальна питома брудомісткість фільтра для даної швидкості фільтрування води G_{min} .

Результати промивки КПФ показані на рис.5.

Висновки. На основі експериментальних досліджень на лабораторній установці встановлено залежності вмісту заліза у фільтрованій воді C_{ϕ} від швидкості її висхідного фільтрування та питомої брудомісткості КПФ. Розроблено рекомендації з вибору оптимальних експлуатаційних показників запропонованої установки конструкції ІВПіМ НААН для надійного забезпечення якості фільтрованої води та тривалості фільтроциклу.

Бібліографія

1. Николадзе Г.И. *Технология очистки природных вод: Учеб. для вузов – Москва: Высшая школа, 1987. – 479 с.*
2. Клячко В.А., Апельцин И.А. *Очистка природных вод – Москва: Стройиздат, 1971. – 578 с.*
3. Чернинский С.Н. *Руководство по гигиене водоснабжения – Москва: Медицина, 1975. – 327 с.*
4. ДСанПіН 2.2.4–171–10. *Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною. – МОЗУ 12.05.2010, № 400. – МЮУ 01.07.2010, № 452/17747.*
5. Хоружий П.Д., Хомутецька Т.П., Хоружий В.П. *Ресурсозберігаючі технології водопостачання – Київ: Аграрна наука, 2008. – 534 с.*
6. Патент на корисну модель №85009. *Установка для знезалізнення і зм'якшення води / Стасюк С.Р., Хомутецька Т.П., Хоружий П.Д. – Бюл.№21, 11.11.2013 р.*
7. Стасюк С.Р., Хомутецька Т.П., Хоружий П.Д. *Розрахунок установок для знезалізнення і зм'якшення підземних вод у системах сільськогосподарського водопостачання // Меліорація і водне господарство. – 2015. – №102. – С. 20–24.*
8. Поляков В.Л., Мартинов С.Ю. *Математичне моделювання динаміки накопичення сполук заліза у вхідному перерізі завантаження фільтра – Водопостачання, водовідведення та проблеми гідраліки. – 2017. – №28. – С. 272–280.*
9. Sharma S.K.. *Adsorptive Iron Removal from Groudwater: Dissertation for Degree of Doctor / Sharma S.K. – Delft, The Netherlands, 2009, 202 p.*

С.Р. Стасюк**Лабораторные исследования процессов обезжелезивания подземных вод
физико-химическим методом**

Приведены результаты лабораторных исследований процессов обезжелезивания подземных вод при их упрощенной аэрации и восходящем фильтровании через плавающую пенополистирольную загрузку. Установлены закономерности изменения содержания железа в фильтрованной воде на протяжении фильтроцикла при разных скоростях фильтрования воды и разработаны рекомендации для оптимальных режимов эксплуатации установок обезжелезивания воды.

S.R. Stasiuk**Laboratory studies of the processes of deironing of groundwater
by the physico-chemical method**

The results of laboratory studies are presented for the processes of iron removal from groundwater under the conditions of its simplified aeration and ascending filtering through floating polystyrene loading. The regularities of changes in the content of iron in filtered water during the filtration cycle at different rates of water filtration are established, and the recommendations for optimal modes of iron removal facilities operation are developed.

УДК 504.453

ОЦІНКА АНТРОПОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА БАСЕЙНИ МАЛИХ РІЧОК РІВНЕНСЬКОЇ ОБЛАСТІ

І.В. ГОПЧАК, канд. геогр. наук
Інститут водних проблем і меліорації НААН

Виконано розрахунок антропогенного навантаження і класифікацію екологічного стану басейнів малих річок Рівненської області за чотирма самостійними моделями основних підсистем басейну річки: радіоактивне забруднення території, використання земель, використання річкового стоку, якість води. Визначено величину індукційного коефіцієнта антропогенного навантаження. Встановлено, що загальний стан басейнів малих річок Рівненської області в цілому задовільний.

Ключові слова: річка, поверхневі води, басейн, антропогенне навантаження, класифікація, оцінка

Постановка питання. Відновлення природно-екологічної рівноваги у водних і навколоводних екосистемах річок України, створення умов для екобезпечного водокористування можливе лише на основі визначення їх дійсного екологічного стану, що дасть змогу здійснити водогосподарсько-екологічне районування території країни, розробити інженерно-організаційні засади вирішення проблем, що існують у басейнах річок.

Це можливо здійснити за допомогою екосистемного підходу на базі логіко-математичної моделі ієрархічної структури, що дає змогу оцінити стан басейнів річок у цілому і в межах окремих підсистем, зокрема радіоактивного забруднення територій, використання земельних ресурсів, використання річкового стоку і якості води. Ця модель дає можливість також оцінити вплив зміни окремих показників на стан підсистем і екосистем басейну в цілому [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Оцінюванню антропогенного навантаження з різних позицій присвячено низку наукових досліджень. Вагомий внесок у методологію розрахунку антропогенного навантаження і класифікації екологічного стану басейнів малих річок зробили А.В. Яцик, П.І. Ковальчук, Л.Б. Бишовець, А.П. Чернявська [1; 2]. Антропогенний фактор у формуванні гідрологічного режиму малих річок Західного Полісся України висвітлено у науковій праці [3].

Мета досліджень – розрахунок антропогенного навантаження і класифікація екологічного стану басейнів малих річок Рівненської області.

Методика досліджень. Розрахунок антропогенного навантаження та оцінку його впливу на екологічні системи річок Рівненської області виконано за результа-

тами класифікації (оцінки) стану основних природних систем (підсистем) – земельних і водних ресурсів, якості води за хімічним, токсикологічним, бактеріологічним та радіаційним забрудненням [1; 4].

Побудована за екосистемним принципом логіко-математична модель ієрархічної структури дає змогу простежити стан басейнів річок за різними показниками в межах окремих підсистем («Радіоактивне забруднення території», «Використання земель», «Використання річкового стоку», «Якість води») і басейну річки в цілому. За такою структурою моделі можливо не лише оцінити загальний стан басейну річки, а й скласти уявлення про те, як зміни окремих показників підсистем впливають на стан усієї системи басейну. Це дуже важливо для формування напрямів природоохоронної діяльності в басейнах конкретних річок [1; 2].

Результати досліджень. Водні ресурси Рівненської області достатні для задоволення всіх потреб господарства цього регіону. Річки, які протікають на території області, належать до басейну Дніпра і є притоками (правими) р. Прип'ять, яка протікає північно-західною окраїною області впродовж 20 км. Гідрографічна мережа області – це 1375 річок загальною довжиною 7,74 тис. км., із них 1368 – це малі річки, загальною довжиною 6,7 тис. км. [5]

Зібрані дані про забруднення басейнів поліських річок показали, що рр. Вілія, Устя, Замчисько мають басейни, які забруднені цезієм – 137 із щільністю 1,0 Ки/км², басейни річок Веселухи, Стубли, Вирки, Корчика, Льви забруднені цезієм – 137 із щільністю 5,0 Ки/км². Такі рівні забруднення дозволяють оцінити стан басейну по радіаційному забрудненню як “задовільний” [1].

Оскільки наступною підсистемою даного розрахунку буде оцінка стану використання річкового стоку, а питання про використання земельних ресурсів з ним тісно пов'язані, вважаємо необхідним навести характеристику їх використання в регіоні.

Унаслідок господарської діяльності відбувається зміна геоекосистем водозборів, трансформація природних комплексів. Вирубання лісів, введення до сільськогосподарського обігу значних площ земель, їх розорення, меліоративні заходи, які проводяться в екологічно невиправданих широких масштабах, розвиток вітрової і водної ерозії – все це відбилося на стані річкових водозборів.

Слід зауважити, що розораність зони Полісся України в цілому менша, ніж зони Лісостепу і зони Степу, але характеризується великими площами осушуваних земель. Отож, не можна не враховувати вплив осушувальної меліорації на режим ґрунтових вод на прилеглий території.

Викладені вище специфічні умови використання земельних ресурсів, а також тривалість існування меліоративних систем, розташування їх на водозборі та характер процесів, які в тій чи іншій мірі характеризують вплив меліорації, слід враховувати при виконанні розрахунку антропогенного навантаження.

Зазначимо, що аналіз стану використання земельного фонду на водозборах малих річок проведено за даними Інституту землеустрою НААН України. Вихідною інформацією слугували дані Державного земельного кадастру України, проекти внутрішньогосподарського землеустрою, матеріали ґрунтового обстеження земель і річок, технічна документація по встановленню водоохоронних зон і прибережних смуг річок і водойм, регіональні схеми протиерозійних заходів, паспорти річок тощо. На основі цих інформативних матеріалів визначені в межах кожного басейну площі сільськогосподарських угідь, орних земель, лісів і лісонасаджень, водного дзеркала, боліт і заболочених земель, рівень урбанізації, земель із природним станом (ліси і лісонасадження, території під водою, сінокоси, пасовища, перелоги) та площі еродованих земель, а також розраховано щорічний змив ґрунту. Серед показників використання земельних ресурсів особливе місце займає показник лісистості басейну.

Для визначення оптимальних показників лісистості конкретної річки використано системну логіко-математичну модель розрахунку антропогенного навантаження на басейн малої річки. Це призвело до зміни початкових показників використання земельних ресурсів.

Розрахунки за цією моделлю проводили методом поступового наближення. В Українському Поліссі в басейнах переважної більшості досліджених річок земельні ресурси використовуються незадовільно. Основний вплив на цей показник мають лісистість, природний стан та розораність.

Слід підкреслити, що за розрахунками для малих річок Українського Полісся оптимальна лісистість водозборів становить більше 50 % при загальній лісистості для зони мішаних лісів – до 40 %. Лісистість Українського Полісся у даний час складає 26,1 %.

При набагато меншій екологічній потребі у лісистості України взагалі, а Українського Полісся зокрема, сільськогосподарська освоєність території країни перевищує 72%, а розораність сягає понад 57 %; частка орних земель у загальній площі сільськогосподарських угідь становить майже 80 %, а під луками і випасами лише 12,9 %.

За розрахунками з 10 басейнів малих річок Полісся лише на 35% басейнів ліси займають 33 і більше відсотків території, а на решті лісистість складає переважно до 27 %. Частка площі водозборів, яка використовується сільським господарством (сільськогосподарська освоєність), коливається від 31 % до 72 % при переважних значеннях від 52 до 66 %. Розораність водозборів також коливається у значних межах – від 17,8 % (р. Веселуха) до 58 % (р. Устя) при переважних значеннях 40-60 %. Особливо значні межі коливань такого показника стану використання земельних ресурсів як ерозійність – змив ґрунту. Він коливається в межах менших 2 т/га рік до 32 т/га рік. Оцінку стану використання земельних ресурсів за окремими показниками наведено в таблиці.

Отримані результати показують, що за лісистістю 30 % річок мають оцінку стану “нижче норми” і “незадовільний”, за ступенем природного стану таких річок – 40 %, за сільськогосподарською освоєністю – 30 %, за розораністю – 40 %, за урбанізацією – 20 % і за ерозійністю – 60 %. Отже, проведений аналіз стану більшості показників використання земельних ресурсів у басейнах річок області свідчить про те, що майже половина з них (крім урбанізації) незадовільні та далекі від екологічно допустимих.

Таким чином, стан використання земельних ресурсів басейнів малих річок у регіоні в цілому далекий від екологічно безпечного. Майже половина розглянутих басейнів за станом використання земельних ресурсів мають оцінку стану “незадовільний” та “вкрай незадовільний” і лише три басейни мають стан “добрий”.

Стан основних показників земельних ресурсів у басейнах малих річок області

Річка	Лісистість	Ступінь природного стану	С.-г. освоєність	Розораність	Урбанізація	Еродованість – змив ґрунту
Веселуха	добрий	добрий	добрий	добрий	добрий	покращений
Слонівка	незадовільний	незадовільний	незадовільний	незадовільний	добрий	незадовільний
Іква	покращений	незадовільний	нижче норми	нижче норми	нормальний	незадовільний
Стубла	покращений	нормальний	добрий	добрий	добрий	нормальний
Вілія	добрий	покращений	покращений	добрий	нормальний	незадовільний
Устя	добрий	нижче норми	покращений	нижче норми	незадовільний	незадовільний
Замчисько	покращений	покращений	покращений	покращений	нижче норми	нижче норми
Вирка	нижче норми	нормальний	покращений	покращений	добрий	добрий
Корчик	нижче норми	незадовільний	незадовільний	незадовільний	покращений	нижче норми
Льва	покращений	нормальний	добрий	покращений	добрий	добрий

Як підкреслювалось вище, характер і стан використання водних ресурсів річок тісно пов'язані з рівнем і особливостями господарської діяльності. Зрозуміло, що на цей стан великий вплив має прямий забір води з річок та підземних водоносних горизонтів. Характеристики основних показників їх використання зумовлені тим, що майже у всіх прийнятих для дослідження річках забір води здійснюється безпосередньо з русел річок і з підземних водоносних горизонтів, які мають гідравлічний зв'язок з річкою і нею дрениється. В окремих басейнах річок (Веселуха, Слонівка) весь водозабір припадає на підземну складову річкового стоку, тобто водозабір здійснюється лише з підземних горизонтів. Для половини малих річок, які вибрані для розрахунків, водозабір з підземних горизонтів перевищує або дорівнює забору із річища.

У басейнах досліджуваних річок, де розташовані промислові об'єкти, найбільша частина забраної води використовується на виробничі потреби. Ця частина складає 38-89% для річок Веселуха, Слонівка, Корчик. Практично повсюдно малі річки є джерелом сільськогосподарського водопостачання – на окремих річках на ці потреби витрачається до 70% водних ресурсів, які залучені до господарського обороту. Для господарсько-побутових потреб витрачається 10-25% загального об'єму річкової води, що використовується. Ставкове рибне господарство представлено переважно на малих річках басейнів Горині.

Важливим показником стану використання водних ресурсів є величина безповоротного

водоспоживання, яка кількісно характеризує ступінь виснаження річки. На більшості малих річок зменшення річкового стоку в середні за водністю роки за рахунок водокористування не перевищує 10%; у маловодні роки ці величини збільшуються, сягаючи в дуже маловодні роки 25-40%. Проте, на р. Слонівка скид перевищує водозабір.

Для характеристики стану водокористування малих річок було розраховано основні показники використання водних ресурсів. За результатами оцінки (класифікації) стану використання водних ресурсів малих річок області з урахуванням спільного впливу всіх показників (qі) “добрий” стан оцінений для 7 річок (рр. Веселуха, Слонівка, Стубла, Вілія, Вирка, Корчик, Льва) (70%), “задовільний” для 1 річки (р. Іква) (10%) і “катастрофічний” – для двох (р. Устя і р. Замчисько) (20%).

За результатами дослідження встановлено, що лише в басейні р. Устя фактичне використання річкового стоку досягло катастрофічних меж (24-25%), а в басейні р. Замчисько – поганих (11-16%). У катастрофічному стані знаходяться рр. Устя та Замчисько. У зв'язку з цим слід зазначити, що міжнародною нормою водокористування вважається та ситуація, коли з річки використовується не більше 10% стоку. Якщо водокористування перевищує 20%, то водний об'єкт відноситься до числа неспроможних забезпечити соціально-економічний розвиток регіону, в якому він знаходиться.

Слід зауважити, що за хімічним складом річкової води навіть у межах однієї природної

зони досить різноманітні. Це обумовлено фізико-географічними особливостями їхнього формування, що є дійсним як тепер, так і тоді, коли господарська діяльність ще була незначною і не впливала на якість води. Нині до різноманітності місцевих фізико-географічних чинників приєдналась ще більша різноманітність чинників господарської діяльності людей [6].

Покрокове застосування моделі «Якість води» дало можливість здійснити загальну оцінку (класифікацію) якості води. Результати цієї оцінки такі: воду задовільної чистоти (III клас якості) мають річки Стубла, Іква, Вирка. Забруднена вода (IV клас якості) у річках: Веселуха, Вілія, Корчик і Льва. Брудна (V клас якості) - у річці Замчисько. Дуже забруднена (VI клас якості) вода річок Слонівка та Устя. Зауважимо, що на більшості річок обсяг стоку, потрібний для розведення стічних вод, значно більший за той обсяг, що спостерігається не лише у маловодні, але і у середні за водністю роки.

Як свідчать результати проведеного дослідження, немає жодної малої річки, яка мала б „добрий” екологічний стан. У 50 % розглянутих річок „зміни незначні”, 10 % мають „задовільний” стан але у 40 % – стан „поганий” і „дуже поганий”. Як „незначні зміни” оцінено стан басейнів річок Веселуха, Стубла, Вілія, Вирка, Льва; „задовільний” – р. Іква та „поганий” і „дуже поганий” у річок Слонівка, Устя, Замчисько та Корчик.

Висновки. Підсумовуючи оцінку антропогенного навантаження на басейни малих річок Рівненської області можна стверджувати, що загальний стан басейнів малих річок в цілому **задовільний**.

Отже, незважаючи на всю складність питання про нормування антропогенного навантаження на басейни річок, користуючись логіко-математичною моделлю “Басейн малої річки”, можна встановити для кожної річки ті величини навантаження, які не призведуть до втрати самоочисної здатності її екосистеми.

Бібліографія

1. Яцик А.В., Петрук А.М., Канааш А.П. *Методичне керівництво по розрахунку антропогенного навантаження і класифікації екологічного стану басейнів малих річок України*. Київ: УНДІВЕП, 1992. 40 с.
2. Яцик А. В. *Водогосподарська екологія: у 4 т., 7 кн.* Київ: Генеза, Т. 3, кн. 5. 2004. 496 с.
3. Будз М. Д. *Антропогенний фактор у формуванні гідрологічного режиму малих річок Західного Полісся України // Український державний університет водного господарства та природокористування. Вісник УДУВГП. Зб. наук. праць. Вип. 5(18). Ч.5. Гідротехнічні споруди, гідравліка. Гідрологія та гідроенергетика. Рівне: 2002. С. 10-16.*
4. Гопчак І.В. *Аналіз антропогенного навантаження на басейни малих річок Українського Полісся // Геодезія. Землеустрій. природокористування: присвячується пам'яті П.Г. Черняги: Зб. тез Всеукраїнської науково-практичної конференції (м. Рівне, 9-10 листопада 2016 р.). Рівне: НУВГП, 2016. С. 119-121.*
5. Паламарчук М. М., Загорчевна Н. Б. *Водний фонд України: Довідковий посібник*. Київ: Ніка-Центр, 2001. 392 с.
6. *Наукові засади нормування антропогенного навантаження річкових басейнів / Яцик А.В. та ін. // Збірка доповідей Міжнародного Конгресу "ЕТЕВК-2015" (Україна, м. Іллічівськ, 8-12 червня 2015 р.). Київ: ТОВ "ПРАЙМ-ПРИНТ". С. 314-322.*

И.В. Гопчак

Оценка антропогенной нагрузки на бассейны малых рек Ровенской области

Выполнен расчет антропогенной нагрузки и классификации экологического состояния бассейнов малых рек Ровенской области по четырем самостоятельными моделями основных подсистем бассейна реки: радиоактивное загрязнение территории, использование земель, использование речного стока, качество воды. Определена величина индукционного коэффициента антропогенной нагрузки. Установлено, что общее состояние бассейнов малых рек Ровенской области в целом удовлетворительное.

I.V. Gopchak

Assessment of the anthropogenic load on the basins of small rivers in the Rivne region

The calculation of anthropogenic load and classification of the ecological state of the basins of small rivers of Rivne region for four independent models of the main subsystems of the river basin: radioactive contamination of the territory, use of land, use of river runoff, water quality. The value of the induction coefficient of anthropogenic loading is determined. It is established that the general condition of the basins of small rivers (which means that the average ones) of the Rivne region are generally satisfactory.

УДК 621.501.72

УДОСКОНАЛЕННЯ УПРАВЛІННЯ ПРОМИВКОЮ РІЧКИ ІНГУЛЕЦЬ НА ОСНОВІ СЦЕНАРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ*

Р.Ю. КОВАЛЕНКО

Інститут водних проблем і меліорації НААН

Проведено сценарне моделювання різних варіантів промивки р. Інгулець з Карачунівського водосховища. Запропоновано регламент промивки, що використовує імпульсний метод в системі комбінованого управління з оберненим зв'язком для регулювання витрат води з водосховища. Регламент забезпечує економію водних ресурсів та промивку русла ріки без виходу штучного паводка на заплаву. При цьому на заплаві не відбувається накопичення відкладень, насичених небезпечними забруднювачами.

Ключові слова: управління промивкою, джерела забруднень, екологічний стан, комбінована система управління, обернений зв'язок, імпульсний метод, сценарний аналіз

Постановка задачі. В Україні промивку річок з водосховищ проводять для екологічного оздоровлення (рр.. Рось, Інгулець, Случ та ін.), зокрема забезпечення нормативних показників якості води при заборі на зрошення [1,2]. Промивка річок розглядається також у роботах [9,10,11,12]. Проте ефективних систем аналізу стану річок та управління промивкою у світовій практиці і в Україні практично не розроблено.

Річка Інгулець є однією з понад 63 тис. річок, що тече по території України. На її екологічний стан найсуттєвіше впливають скиди неочищених чи недостатньо очищених стічних вод підприємств і об'єктів гірничо-видобувної та переробної промисловості, а також комунально-побутові стоки, кар'єри, які є дифузними або точковими джерелами забруднення. Унаслідок скидів забруднюючих речовин промисловими підприємствами якість використовуваної води для зрошення, що подається в нижній течії на Інгулецьку зрошувальну систему, не завжди задовольняє вимогам екологічних показників [4].

Для поліпшення екологічного стану русла р. Інгулець та забезпечення нормативної якості води для зрошення сільськогосподарських угідь з 2011-2017 рр. здійснюється промивка русла дніпровською водою, яка подається каналом Дніпро-Інгулець з Карачунівського водосховища. Обсяг річної водоподачі з подальшим скиданням складає більше 120 млн. куб. м., у тому числі 100 млн. куб. м. за рахунок підприємств Кривбасу. Одночасно виникає необхідність вдосконалення як моніторингових досліджень, так і розробки методів управління промивкою [7].

Методика досліджень. Для підвищення екологічної ефективності і забезпечення економії водних ресурсів необхідно розробити, на відміну від існуючої розімкненої

системи управління, систему комбінованого управління, з використанням послідовності імпульсів промивки та оберненого зв'язку для регулювання витрат води з водосховища.

Експериментальні дослідження. Для оцінювання стану ріки був проведений виїзд до об'єкта, де, в свою чергу, відбирали проби води для визначення показників її якості для зрошення [4]. При дослідженнях було обрано показник аніон-хлору (Cl⁻), який призводить до штучного засолення ґрунтів, що є особливо небезпечним при формуванні якості води вздовж русла. За вмістом аніон-хлору (Cl⁻) виявляється негативний вплив викидів промислових підприємств. У результаті експериментальних досліджень промивки спостерігається зменшення вмісту показника аніон-хлору (Cl⁻), промивка сприяє поліпшенню якості води, яка змінюється від «непридатної» до «обмежено придатної» [3]. Але через деякий час концентрація аніон-хлору знов починає зростати, тобто промивка діє тимчасово, а не весь вегетаційний період. Проведене експериментальне дослідження показує, що значний вплив на якість води в процесі вегетаційного періоду мають дифузні та точкові джерела забруднень, які погіршують її якість.

Принцип комбінованих систем управління. Виходячи з аналізу світового досвіду, тобто фактично з відсутності методів управління промивкою річок з водосховищ, пропонується імпульсний метод на основі використання комбінованих систем управління (запропоновані академіком О. Г. Івахненко). Розроблена комбінована система забезпечує як позиційне, так і контурне, з оберненим зв'язком, управління промивкою р. Інгулець. Стан об'єкта оцінюється за вимірними концентраціями в пункті с. Андріївка та в пункті Головної насосної станції (ГНС) Інгулецької зрошувальної системи (рис. 1) [8].

* Роботу виконано під керівництвом д.т.н., проф. П.І. Ковальчука.
© Р.Ю. Коваленко, 2017

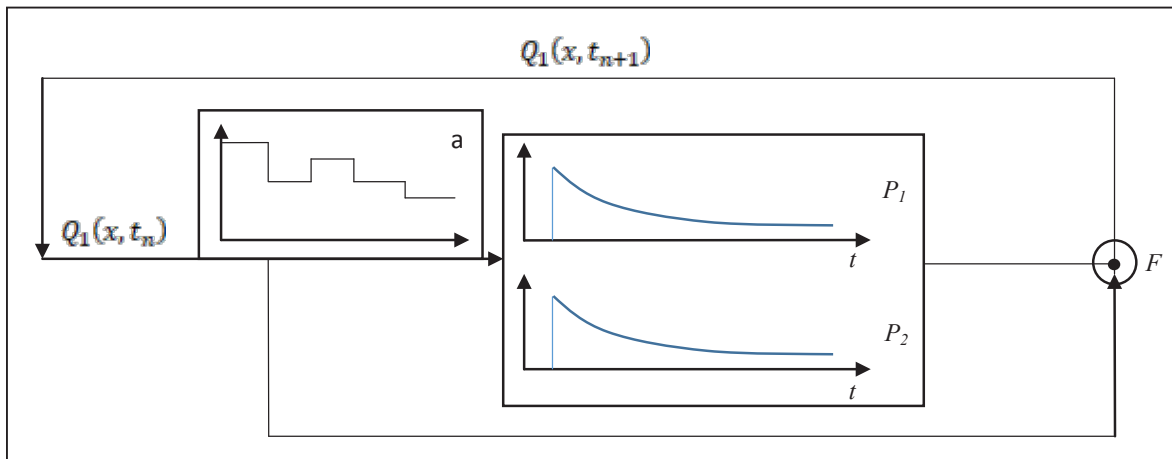


Рис. 1. Схематичне зображення принципу комбінованого управління промивкою русла р. Інгулець по вдосконаленому регламенту:

a – планова послідовність імпульсів; P_1 – значення концентрацій в пункті с. Андріївка; P_2 – значення концентрацій в пункті забору води ГНС Інгулецької зрошувальної системи

Пропонується встановити біля ГНС Інгулецької зрошувальної системи моніторинговий контроль за якістю води і, за потребою, подавати імпульс промивки дніпровською водою з Карачунівського водосховища.

У системі комбінованого управління для вдосконалення існуючого регламенту промивки нами пропонується імпульсний метод управління промивкою, за яким у результаті першого імпульсу здійснюються витіснення лінзи забруднених вод, а подальші імпульси промивки підтримують якість води в межах певних нормативних значень. Такий варіант регламенту в економічному плані не погіршує, а покращує існуючий регламент з урахуванням виділених лімітів використання води. В екологічному аспекті, при збереженні лімітів води для промивки р. Інгулець, необхідно розглянути різні варіанти промивки, оцінюючи їх екологічну ефективність на основі сценарного моделювання або експериментальних досліджень в натурних умовах.

Промивка здійснюється витісненням лінзи високомінералізованих вод без значного їх перемішування. У такому разі більш ефективним є метод управління, що базується на вимірюваннях якості води при заборі на ГНС Інгулецької зрошувальної системи та використанні оберненого зв'язку. Отже імпульс з великими витратами води (порядку 15-20 м³/с) можна скоротити до 7-10 діб, що призводить до суттєвої економії водних ресурсів.

Сценарний аналіз та прийняття рішень. Для обґрунтування регламенту промивки пропонується сценарний аналіз, що базується

на розрахунках поширення забруднень та еколого-економічної оптимізації варіантів.

Для визначення поширення концентрацій забруднюючих речовин була розроблена балансова різницева модель рівнянь, яка дає можливість оцінити рух забруднення (аніон-хлору (Cl⁻)) в часі та просторі [8].

Нами пропонується кілька сценаріїв, що певною мірою дозволяють оцінити та підвищити екологічну та економічну ефективність промивки.

Сценарій I. Даний сценарій відтворює існуючий метод промивки. Мета сценарію – підтвердити на моделі основні закономірності екологічного оздоровлення р. Інгулець з використанням існуючого методу промивки (рис.3) [7].

Проте, в даному регламенті не враховуються можливі аварійні скиди, неорганізовані одиничні та дифузні джерела забруднень (стоки притоки р. Саксагань та фільтрація через ґрунтові води з довколишніх хвостосховищ), що проникають в р. Інгулець і підвищують концентрації забруднень у воді. Оскільки неможливо провести другий імпульс, сценарій містить екологічний ризик підвищення концентрацій вище нормативних рівнів.

Сценарій II. Сценарій II відрізняється від сценарію I тим, що перший імпульс подається протягом меншого часу (7 діб), в зв'язку з чим відбувається економія води порівняно зі сценарієм I. Це дає змогу на деякому етапі, при перевищенні забруднюючих речовин у пункті забору біля ГНС Інгулецької зрошувальної системи, організувати, в межах виділеного

ліміту води другий імпульс. Основні параметри сценарію II такі: 5 квітня – поступовий підйом попусків до $20 \text{ м}^3/\text{с}$; 6 квітня-12 квітня – $20 \text{ м}^3/\text{с}$; з 13 квітня – $10 \text{ м}^3/\text{с}$, з постійним контролем якості води за показником хлоридів в пунктах щоденного контролю с. Андріївка Дніпропетровської області та Головної насосної станції Інгулецької зрошувальної системи Миколаївської області; при досягненні в створах контролю якості води на цих гідропостах за хлоридами $280\text{-}300 \text{ мг/л}$, по інших показниках – сульфати, мінералізація, жорсткість не повинно перевищувати нормативних значень, забезпечувати попуски $8 \text{ м}^3/\text{с}$ (рис. 3).

Сценарій III. За даним сценарієм вдосконалюється екологічна складова промивки р. Інгулець (порівняно із сценарієм II) тим, що на першому етапі протягом 7 діб подається невеликий імпульс з витратами $8 \text{ м}^3/\text{с}$.

Це забезпечує промивку русла без виходу штучного паводка на заплаву. При цьому на заплаві не відбувається накопичення відкладень, насичених небезпечними забруднювачами [6]. У подальшому сценарій III повторює сценарій II (рис. 2, 3).

Сценарій IV. Сценарій пропонується для визначення впливу концентрацій бічних притоків та фільтрації забруднень з підземних вод, які можуть підвищувати усталені концентрації через 30, 60 і більше днів до значень, що перевищують норматив. Це відбувається, якщо промивка здійснюється невеликими витратами $3\text{-}5 \text{ м}^3/\text{с}$. Для прикладу взято витрати води $3 \text{ м}^3/\text{с}$ (рис. 2).

Проведені розрахунки показують, що варіанти промивки відрізняються як за екологічним критерієм, так і за економічним показником витрат водних ресурсів (рис. 3). За сценарієм I є значні економічні витрати

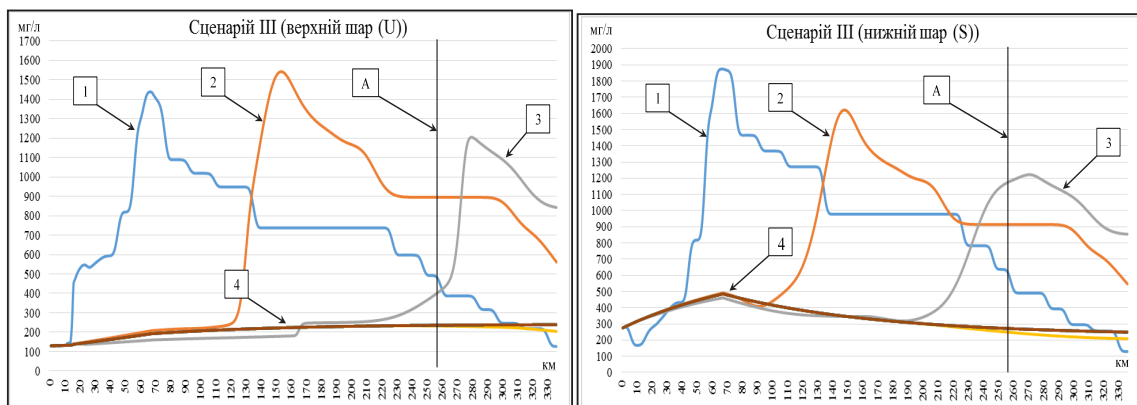


Рис. 2. Динаміка забруднень у верхньому (а) та нижньому (б) шарах у процесі промивки при сценарії III в різні моменти часу:

1 – 1-й день; 2 – 7-й день; 3 – 15-й день; 4 – 30-90-і дні (усталений режим)

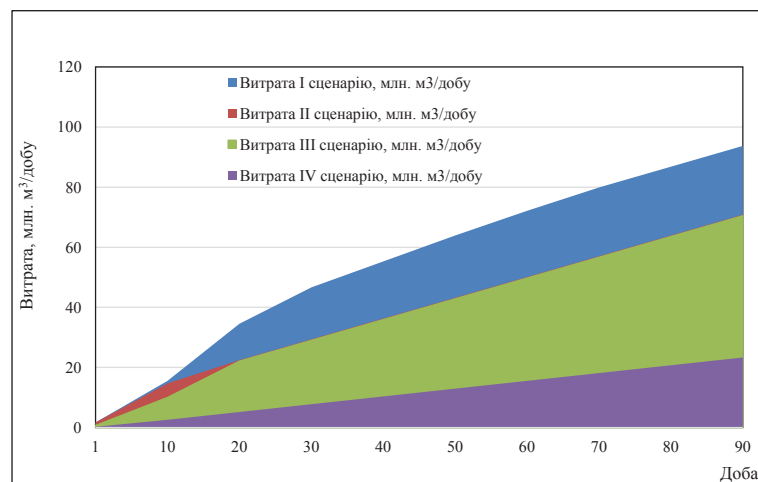


Рис. 3. Динаміка витрат води при різних сценаріях промивки упродовж 90 діб

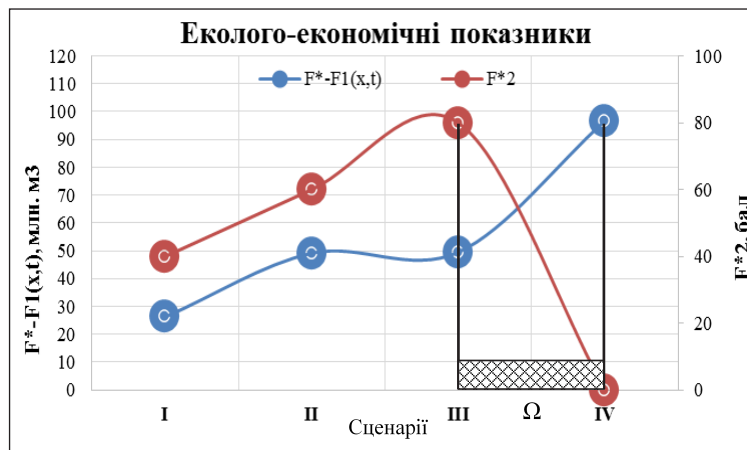


Рис. 4. Еколого-економічна оптимізація критеріїв

водних ресурсів і тому він є неприйнятним. Сценарій IV є найбільш економічно ефективним, проте не прийнятним за екологічними нормативами. На нашу думку найбільш ефективним за економічними та екологічними показниками є сценарій III, оскільки він забезпечує промивку русла р. Інгулець без виходу дуже забрудненої води на заплаву, забезпечує екологічний показник аніон-хлору (Cl⁻) нижче нормативних значень за достатньо ефективних значень економії водних ресурсів.

Екологічний критерій виступає як обмеження на якість води, проте його слід розглядати ширше, як управління з мінімізацією виходу забруднень на заплаву. При комплексній екологічній оцінці варіанту сценарію пропонується визначити його в балах за деяким критерієм F^*_2 , а критерії (економічний та екологічний) приймати як рівноправні (рис.4).

Оптимізація структури системи управління здійснюється за двома критеріями: екологічним, що оцінює ефективність сценаріїв за екологічним показником; економічним, за яким проводиться порівняння економії водних ресурсів (рис. 4).

У такому випадку вибір варіантів системи управління знаходять за моделлю двокритеріальної оптимізації:

$$\{F^*-F_1(x,t), F^*_2\} \rightarrow \max,$$

де F^*_2 - екологічний критерій, бал; $F^*-F_1(x,t)$ - економія водних ресурсів, млн куб. м.

Багатокритеріальна оптимізація сценаріїв показала, що при обмеженнях на якість водних ресурсів значну економію води дає сценарій III, цей же сценарій забезпечує найбільшу екологічну ефективність. Тому

ми рекомендували сценарій III для покращення існуючого регламенту. За висновком Держводагентства запропонований регламент промивки на основі оперативного управління імпульсним методом удосконалює існуючий регламент та суттєво скорочує строк витіснення призми мінералізованих вод до 4-7 діб. Це дає можливість на зазначений період забезпечити якісними водними ресурсами водокористувачів, в першу чергу сільгоспвиробників Інгулецької зрошувальної системи.

Висновки. Аналіз існуючих методів промивки р. Інгулець дозволив визначити напрямки вдосконалення управлінських рішень на основі комбінованого підходу та систем управління з оберненим зв'язком.

Застосований принцип комбінованого управління, імпульсний метод промивки та розроблена модель, що сумісно враховують витрати води з Карачунівського водосховища (вхідні дані) та вимірювання концентрацій забруднюючих речовин в пункті забору води на ГНС Інгулецької зрошувальної системи (вихідні дані) з візуалізацією процесу забруднень та динаміки водних ресурсів в верхньому та нижньому шарах, дозволяє проводити моделювання різних сценаріїв промивки, оцінюючи їх ефективність за станом оздоровлення р. Інгулець, досягнутою якістю води для зрошення та величиною використаних водних ресурсів.

Сценарний екосистемний аналіз забезпечує оцінювання варіантів промивки, вибрати оптимальний за їх екологічною ефективністю та критерієм економії водних ресурсів. Проведена двокритеріальна оптимізація за екологічним та економічним показниками. За результатами моделювання найбільш ефективним є сценарій III, в якому здійснюється

подача води малими витратами для запобігання виходу забруднень на заплаву, витіснення лінзи мінералізованих вод з меншими витратами води, а також забезпечення подачі води для зрошення в межах нормативних значень протягом вегетаційного періоду.

Сценарій забезпечує економічно ефективне водокористування та екологічне оздоровлення р. Інгулець.

Вдосконалений регламент розглянуто в Держводагентстві і рекомендовано до реалізації при промивці р. Інгулець.

Бібліографія

1. Бабій П., Лисюк О. *Рукотворна повінь на р. Рось // Водне господарство України. 2010. №5. С. 4–6.*
2. Бабій П. *Робота басейнового управління водних ресурсів річки Рось з поліпшенням якості води // Водне господарство України. 2012. №2 (98). С. 42–47.*
3. *ДСТУ 2730:2015. Якість природної води для зрошення. Агрономічні критерії. Київ: ДП «УкрНДНЦ» України. 2016. 14 с. (Національний стандарт України).*
4. Ковальчук П. І., Демчук О. С., Коваленко Р. Ю. *Математичне моделювання поширення забруднення в річках при промивках із водосховищ // Математичне та комп'ютерне моделювання. Серія: Технічні науки. м. Кам'янець-Подільський. 2016. Випуск 13. С. 91–99.*
5. Ладика М. М. *Меліорація води і агроландшафтів в басейні р. Інгулець. Монографія. Херсон: Вид-во «Айлант», 2010. 329 с.*
6. Максимова Н. М., Орлінська О. В., Любченко В. В. *Стан річки Інгулець біля відвалів гірничорудної промисловості // Чиста вода. Фундаментальні, прикладні та промислові аспекти: матер. III Міжнар. наук.-практ. конф. 2015. С. 137–139.*
7. *Регламент скиду надлишків зворотніх вод гірничорудних підприємств Кривбасу у 2016-2017 рр. "Укрводпроект", ДУ ІГНС. 2016. URL: <http://www.me.gov.ua/Documents/Download?id=01e3ab3f-a002-4152-832d-cb67450cafd5>.*
8. *Сценарне моделювання промивки річки Інгулець при подачі води на зрошення / Ковальчук П. І. та ін. // Індуктивне моделювання складних систем. Київ: 2016. №8. С. 117–127.*
9. Kovalchuk, P. I., Balykhina, H. A., Demchuk, O. S., & Kovalchuk, V. P., (2017) *Modeling of water use and river basin environmental rehabilitation. Комп'ютерні науки та інформаційні технології CSIT 2017: Матеріали XII Міжнародної науково-технічної конференції CSIT 2017. Львів: Видавництво «Вежа і Ко». 1. 468-472.*
10. Nils, R.B. (1999) *Two-dimensional numerical modelling of flushing processes in water reservoirs. Journal of Hydraulic Research. 37. 3-16.*
11. Schaffranek, R. (1987) *A Flow-Simulation Model of the Tidal Potomac River. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2234: A water-quality study of the tidal Potomac river and estuary. 41.*
12. Seng Mah, D., Putuhena, F, bt Rosli, N.A. (2011). *Modelling of river flushing and water quality in a tributary constrained by barrages. Irrigation and Drainage Systems, Volume 25, Issue 4. 427–434.*

Р.Ю. Коваленко

Усовершенствование управления промывкой реки Ингулец на основе сценарного моделирования

Проведено сценарное моделирование различных вариантов промывки р. Ингулец с Карачуновского водохранилища. Предложен регламент промывки, который использует импульсный метод в системе комбинированного управления с обратной связью для регулирования расхода воды из водохранилища. Регламент обеспечивает экономию водных ресурсов и промывку русла реки без выхода искусственного паводка на заплаву. При этом на заплаве не происходит накопления отложений, насыщенных опасными загрязнителями.

R.Yu. Kovalenko

Improving the flushing control on the Ingulet River based on scenario modeling

A scenario modeling of various washing options of Ingulets River from Karachuniv reservoir has been carried out. The rules of flushing, which uses a pulsed method in the system of combined control with an inverse coupling for controlling the flow of water from reservoirs, are proposed. The regulation ensures the saving of water resources and the flushing of the river bed without any artificial flooding on the floodplain. At the same time, there is no accumulation of deposits saturated with dangerous pollutants on the floodplain.

УДК 556.182:556.3:631.621

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ВОДООБМІНУ НА МЕЛІОРОВАНИХ ЗЕМЛЯХ ВОЛИНСЬКОГО ПОЛІССЯ ПІД ВПЛИВОМ КЛІМАТИЧНИХ ТА АНТРОПОГЕННИХ ЧИННИКІВ

О.О. ДЯТЕЛ

Інститут водних проблем і меліорації НААН

Розглянуто питання впливу кліматичних та антропогенних чинників на гідрогеолого-гідрологічний режим і водообмін між поверхневими і підземними водами меліорованих земель Волинського Полісся. Наводиться детальний аналіз основних метеорологічних чинників, розрахунок випаровування, виокремлені основні техногенні чинники, які впливають на екологічний стан досліджуваного регіону.

Ключові слова: водообмін, екологічний стан, гідрогеолого-гідрологічний режим, рівні ґрунтових вод, гідродинаміка, евапотранспірація

Постановка питання. Збереження і захист природного середовища в зонах розвитку антропогенних навантажень є державним завданням. Особливе місце серед таких територій займає Волинське Полісся, яке є одним із основних областей формування водних ресурсів України та має державне і міжнародне природоохоронне значення (Шацький національний парк включено до міжнародного екологічного коридору «Західне Полісся» і до транскордонного біосферного резервату Липінський заказник). Активна господарська діяльність у даному регіоні, у зв'язку з недостатньою природною захищеністю від зовнішнього впливу на навколишнє середовище, може призвести до непередбачуваних та незворотних негативних наслідків.

Гідрогеологічні умови даного регіону досить складні і недостатньо вивчені. Із заходу на схід територію перетинає долина р. Прип'ять з притоками рр. Тенетиска та Вижівка, а із заходу обмежується основною рікою – Західним Бугом. Через територію досліджень пролягає слабковиражений вододіл між Балтійським і Чорним морями, тут також знаходиться група озер Шацького парку, та ряд озер, розташованих у північній частині області (Домашнє, Святе, Турське), які в цілому визначають гідрологічний режим та суттєво впливають на водообмін між поверхневими та підземними водами (рис. 1).

Метою досліджень є оцінювання впливу кліматичних та антропогенних чинників на екологічний стан досліджуваної території,

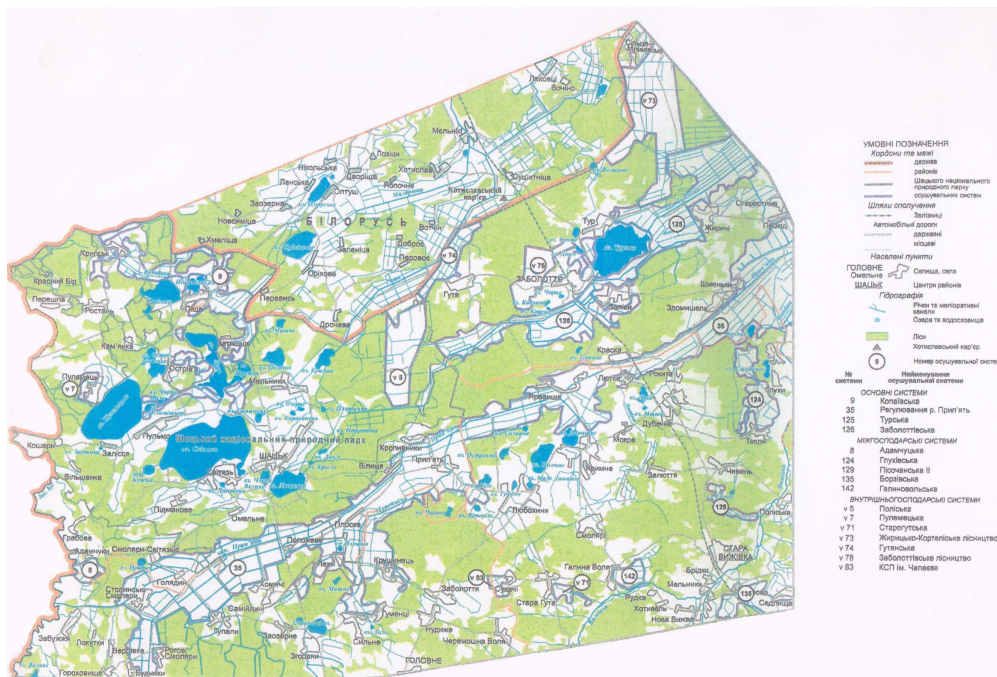


Рис. 1. Оглядова карта району досліджень. Масштаб 1:200 000 [10]

включаючи можливий вплив на гідродинаміку ґрунтових та підземних вод при розробці Хотиславського кар'єру будівельних матеріалів (Республіка Білорусь).

Результати досліджень. Основу комплексної характеристики природних умов будь-якої території завжди складають її кліматичні, ґрунтові, гідрологічні, геологічні, гідрогеологічні, ботанічні і зоологічні особливості [3, 4, 6, 10].

При цьому визначальними при оцінюванні змін природних умов будуть ті кліматичні особливості і антропогенні чинники, вплив яких найбільш ймовірний і істотний, що витікає з аналізу стану природного середовища у заданий проміжок часу. До того ж, вплив антропогенного чинника може бути оцінений величинами відхилень основних показників від їх фонових, первісно відображаючих природні умови їх формування.

Одним із найпотужніших антропогенних чинників впливу на стан природного середовища на Волинському Поліссі є Хотиславський кар'єр будівельних матеріалів, розташований на території Республіки Білорусь на відстані 300 м від кордону з Україною, що створює серйозну потенційну екологічну загрозу прикордонній геоекосистемі поліської зони [3, 4, 10].

При оцінюванні впливу техногенних факторів на умови водообміну територій, як правило, аналізуються, насамперед, зміна рівнів напірних, ґрунтових і поверхневих вод, а також їх хімічний склад.

Саме тому для оцінки впливу на навколишнє середовище водовідливу з діючого

кар'єру «Хотиславський» використовують метод аналізу динаміки коливання рівнів води на водпостах озер, зокрема озера Світязь. Цей метод дозволяє оцінити відносні зміни характерних показників на будь-який відрізок часу, коли для аналітичного прогнозу ще недостатньо вихідних даних.

Відомо, що на досліджуваній території у 70-ті роки минулого століття було побудовано мережу осушувальних систем, в результаті чого відбувся активний антропогенний вплив на водне середовище [3, 4, 9]. Були зафіксовані істотні зміни рівнів підземних (ґрунтових) і поверхневих вод, зміни річних амплітуд – річних та сезонних їх коливань і хімічного складу. У кінці 80-х початку 90-х років відбувається стабілізація цих показників і виникає відносна рівновага водного балансу в умовах інтенсивного меліоративного освоєння. У зв'язку з цим, оцінка сучасних параметрів природних складових ґрунтових та напірних вод відображає ті зміни, які відбулися не відносно вихідних (непорушених) станів, а відносно умов, що склалися після меліоративних заходів.

Для північної частини Волинського Полісся характерний континентально-морський клімат. Середньобагаторічна кількість опадів по метеостанції Світязь – 590 мм, при цьому амплітуда коливань – від 338 мм (1961 р.) до 854 мм (1974 р.). Дев'яності-двохтисячні роки, в середньому, були більш вологими, ніж попередні десятиріччя. З 1997 р. помітне систематичне збільшення річної кількості опадів, а з 2010 – поступове їх зниження (рис.2).

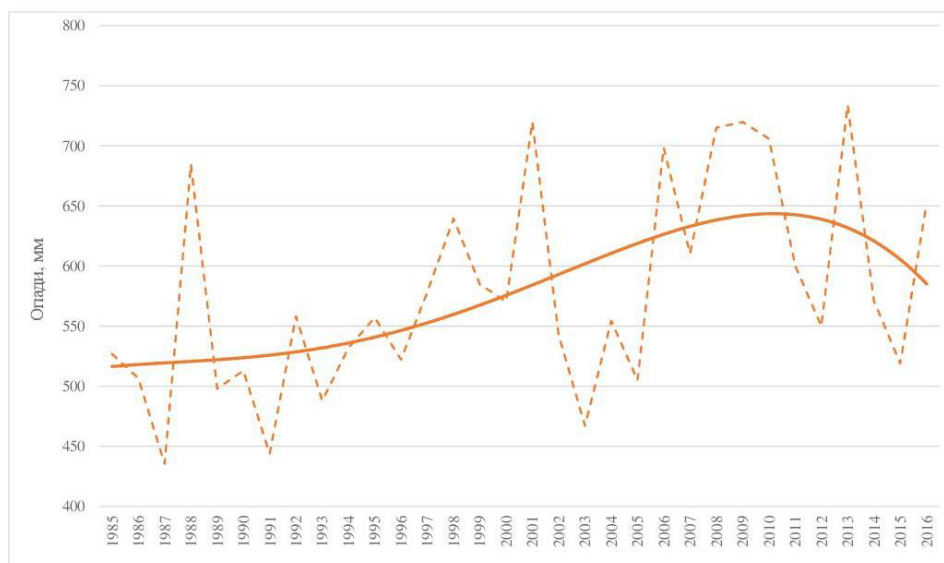


Рис.2. Динаміка річного коливання опадів по метеостанції Світязь за 1985-2016 рр.

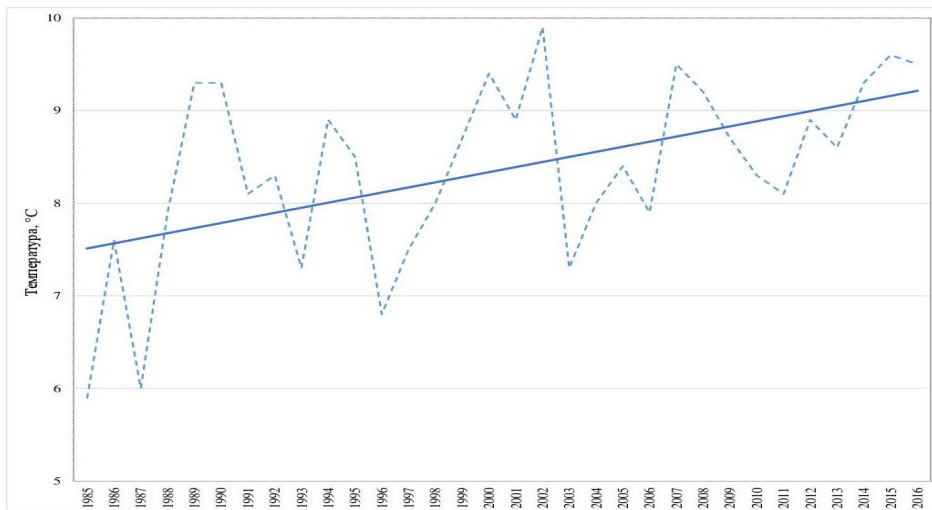


Рис. 3. Динаміка середньорічних температур по метеостанції Світязь за 1985-2015 рр.

За період з 1985 по 2016 роки найбільше опадів випало в 2013 році – 734,0 мм, а найменше в 1987 році – 435,5 мм. За цей період максимум опадів за місяць відмічалось у серпні 2006 р. – 290,7 мм, а мінімум у листопаді 2011 р. – 1,7 мм (рис. 2).

Не менш важливим метеорологічним фактором є температура повітря. За період з 1985 по 2015 рік найвища середня температура спостерігалась у 2002 р. – +9,9 °С, найнижча у 1985р. – +5,9 °С. Максимальна температура спостерігалась у серпні 2016 р. – +38,1 °С, а мінімальна у січні 1987 р. – -33,2 °С (рис. 3).

Значний вплив на гідрологічний режим озер та річок відбувається під дією випаровування. У зв'язку із зниженням кількості опадів, починаючи з 2010 р., та ростом серед-

ньорічних температур величина випаровування суттєво зросла (рис. 4).

Оскільки пряме вимірювання випаровування у польових умовах досить складне, то його величину розраховано за відомим методом Пенмана-Монтейта [1] та за кореляційною залежністю між випаровуванням і випаровуючим фоном, обчисленим за формулою М.М. Іванова [5] (формули (1) – (2)). Дані розрахунків за зазначеними формулами наведені на рис.4.

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)}, \quad (1)$$

де: ET_0 – еталонна евапотранспірація, мм добу⁻¹; R_n – чиста радіація на поверхні

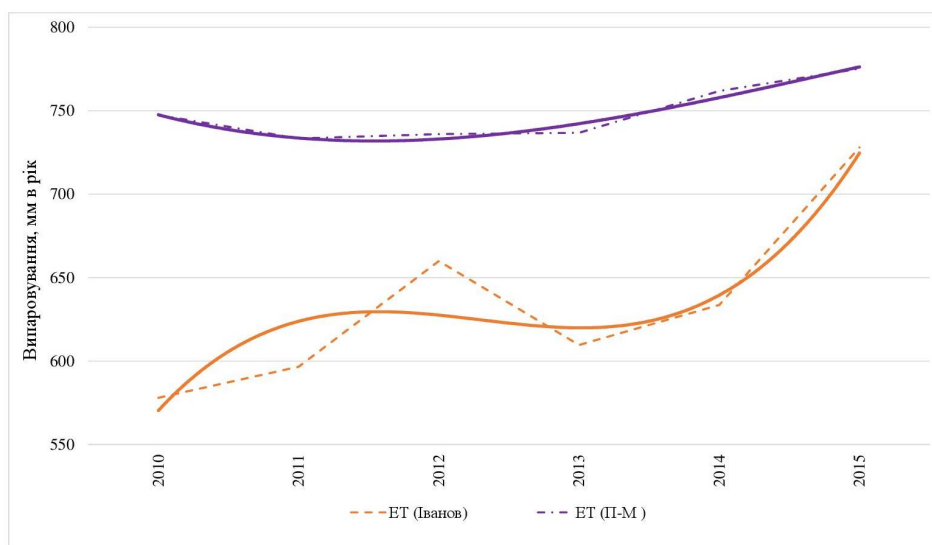


Рис. 4. Динаміка розрахункового випаровування за 2010-2015 рр.

рослин, МДж м⁻² добу⁻¹; G – щільність теплового потоку ґрунту, МДж м⁻² добу⁻¹; T – середньодобова (середньомісячна) температура повітря на висоті 2 м, °С; u_2 – швидкість вітру на висоті 2 м, м с⁻¹; e_s – тиск пари насиченої, кПа; e_s – фактичний тиск, кПа; $(e_s - e_a)$ – дефіцит тиску пари насиченої, кПа; Δ – похил кривої тиску пари, кПа °С⁻¹; γ – психрометрична стала, кПа °С⁻¹.

$$E_0 = 0,0018 \times (t + 25)^2 \times (100 - r), \quad (2)$$

де: E_0 – середньодобова випаровуваність, мм; t – середньодобова температура повітря, °С; r – відносна вологість повітря, %.

З даних розрахунків витікає, що незалежно від зміни кліматичних умов спостерігається збільшення величини випаровування, особливо у 2014-2015 рр., що відображується на умовах формування водообміну досліджуваного регіону.

За вищенаведеним, основним показником, що відображає фактичний вплив кар'єру, необхідно вважати величину зниження рівнів ґрунтових та підземних вод. Для відображення сучасного стану потрібно порівнювати гідрогеолого-гідрологічний режим не лише водних об'єктів, що розташовані поряд з кар'єром, а і групи озер Шацького національного парку, оскільки всі поверхневі водотоки та озера гідравлічно пов'язані між собою і створюють єдину водну систему [2, 10].

Згідно з умовами формування озер Західного Полісся, останні поділяються на карстово-тектонічні, що пов'язано із тектонічними порушеннями та древнім і сучасним карстом, суфозійно-карстові, сформовані серед четвертинних відкладів і підстилаються тріщинуватими мергельно-крейдяними утвореннями, та заплавні, що простежуються в річкових системах [10].

За режимом рівнів води озера належать до двох основних груп: озера із стабільним

положенням рівня води; озера з вираженими сезонними та внутрішньо сезонними коливаннями водної поверхні.

Озера відносяться до груп малого (по площі <10 км²) питомого водозбору. Вони характеризуються невеликим (<0,5) і середнім (0,5-5,0) умовним водообміном, що свідчить про автохтонність процесів водного режиму.

Джерелами живлення озер є атмосферні опади, поверхневий стік та підземні води. Втрати води з озер обумовлюються поверхневим та підземним стоками, а також випаровуванням з водного дзеркала.

За водним балансом озера поділяються на стічні і безстічні. Для перших характерно, що крім випаровування їх витрату визначають поверхневий та підземний стоки. Безстічні озера не мають втрат за відсутністю підземного та поверхневого витоків.

Більшість озер мають уповільнений водообмін, що свідчить про їх малопроточність. Найуповільненіший водообмін має місце в глибоких озерах зі складними улоговинами (Світязь, Пулемецьке, Чорне Велике, Пісочне, Дольське, Радожичі, Повурське, Люцимер, Острів'янське, Ухове та ін.).

Порівнюючи існуючі на сьогодні дані змін рівнів води в озерах, спостерігаємо загальну тенденцію до зниження (табл. 1). Хоча відносно 1991 р. у 2016 р. рівень у вдсх. Турське і оз. Довге знизився майже наполовину – від 0,77 м до 0,41 м у вдсх. Турському і від 1,33 м до 0,62 м – в оз. Довгому.

Як бачимо, амплітуда коливань рівнів істотно у 2016 р. як в озерах, так і у водосховищі Турське. Якщо в 2014 р. в оз. Довгому коливання рівня за рік були 0,12 м, то в 2015 і 2016 рр. – 0,85 м. При цьому у вдсх. Турському відповідно 0,11 і 1,45 м, а в оз. Святе 0,19 і 1,20 м. Максимальні рівні в озерах спостерігалися у квітні 2015 р. при опадах у березні

1. Рівневий режим озер в зоні можливого впливу Хотиславського кар'єру

Озеро	Абсолютна відмітка реперу біля урізу води (2013 р.), м	Критичні (на 25.09.1991 р.)		Фонові (на 23.10.1992 р.)	Сучасні середньомісячні рівні					
		абс. відм., м	рівень, м		2014 р.		2015 р.		2016 р.	
					абс. відм., м	рівень, м	абс. відм., м	рівень, м	абс. відм., м	рівень, м
Водосх. Турське	156,17	155,4	0,77	156,02	156,38	0,20	157,14	0,97	156,58	0,41
Довге	156,22	154,89	1,33		156,89	0,67	156,84	0,62	156,84	0,62
Святе	158,15	157,33	0,82	158,55	158,70	0,55	158,82	0,67		

124% від норми і в квітні 108% від норми. Але при опадах 280,7% від норми в березні і 210,5% від норми в квітні зростання рівнів не спостерігається. У вдсх. Турському рівень у 2015 р. – 0,97 м, у 2016 р. – 0,41 м. Стосовно рівневого режиму в озері Довге – він практично не змінився.

Найвищі рівні в оз. Світязь спостерігалися у 2007-2010 роках, а найнижчі – в 1973-1974 роках після проведення осушувальних робіт і активного використання осушуваних земель до середини 90-х років минулого століття. Проте надалі, незважаючи на підвищення об'ємів випаровування, рівень води, в цілому, підвищився (рис. 5) і коливання відбувалися відповідно до сезонів року та циклічно в «сухі – мокрі» роки, залежно від метеорологічних умов. Імовіріше стабілізація і підвищення рівня води за зазначений період відбулося у зв'язку із зменшенням інтенсивності осушення. Проте, незважаючи на це, починаючи з 2010-2011 рр. спостерігається незначне зниження рівня води, особливо мінімального, що не пояснюється тільки зміною кліматичних умов. Очевидно має місце і техногенний вплив на гідрологічний режим озера.

Аналізуючи сучасний гідролого-гідрогеологічний стан території, що склався протягом останніх років, необхідно відмітити, що на сьогодні спостерігається пониження рівнів вод ґрунтового та напірного горизонтів, а відповідно і зниження рівня води у поверхневих водотоках досліджуваного регіону [2, 3, 4, 10].

Хоча коливання відбуваються сезонно, спостерігається залежність коливань рівнів напірних вод від опадів та температури

повітря з деяким запізненням до півроку. Коливання рівнів ґрунтових вод швидше реагує на кількість опадів, оскільки область їх живлення співпадає з областю поширення. Реакція рівнів напірних вод ближче за характером змін рівня в оз. Світязь, що пояснюється переважанням в його живленні напірних вод. Враховуючи, що всі озера Шацького національного парку мають тісний гідралічний зв'язок, очевидно що така ж картина спостерігається і на інших озерах [2, 10].

Проведений раніше [2,7] розрахунок водного балансу в цьому районі показав, що поповнення озер відбувається за рахунок напірних вод і безпосередньо від надходження в них атмосферних опадів. Незважаючи на те, що у 2016 р. річна кількість атмосферних опадів майже на 100 мм перевищила норму, в озерах рівень води знизився. Це ще раз підтверджує вплив антропогенного чинника.

Найбільш уразливим з озер при поступовому збільшенні водовідливу з кар'єру, що витікає із матеріалів проекту по розробці кар'єру на прогнозований період до 2040 р., може виявитись оз. Кримно, яке є витокм р. Рита, що за прогнозом повинна зникнути при подальшій експлуатації кар'єру II черги розробки. Осушення русла р. Рита призведе до зміни водного балансу Шацького поозер'я і, як наслідок, до зниження рівнів води всієї групи Шацьких озер, впливаючи таким чином на гідродинамічні умови досліджуваної території [6, 8, 9, 10].

Висновок. Проведений аналіз кліматичних і антропогенних умов досліджуваної території Волинського Полісся свідчить про те, що на формування водообміну фактично впливають

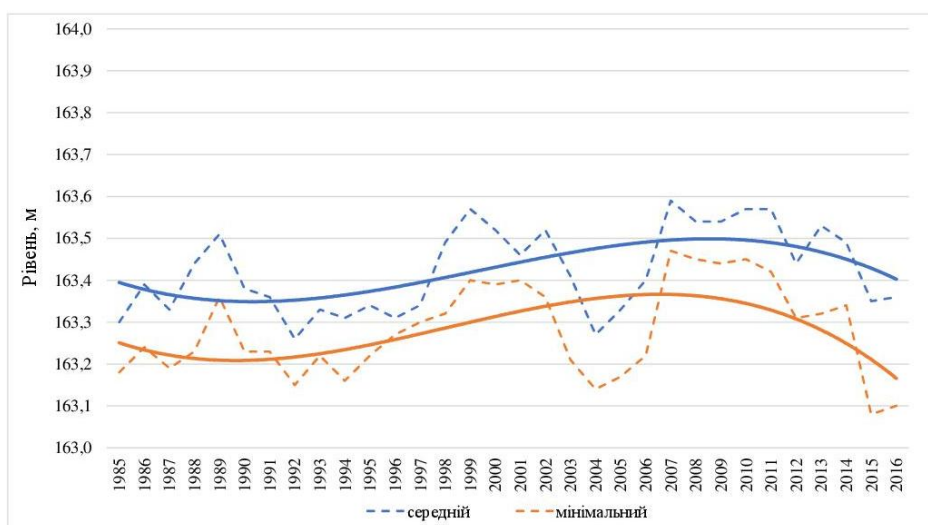


Рис. 5. Динаміка рівня води в оз. Світязь за 1985-2016 рр.

як кліматичні так, і техногенні чинники, одним з яких є експлуатація Хотиславського кар'єру, що почалася з 2009 р. Проведений раніше розрахунок водного балансу в цьому районі показав, що поповнення озер відбувається як за рахунок напірних вод, так і від надходження в них атмосферних опадів. Незважаючи на те, що у 2016 р. річна кількість атмосферних

опадів майже на 100 мм перевищила норму, в озерах рівень води знизився. Як показали прогнозні розрахунки стану рівнів ґрунтових вод, зазначений техногенний вплив за рахунок подальшої розробки кар'єру буде збільшуватись, порушуючи, в цілому, екологічний стан території, що потрапляють у зону можливого впливу кар'єру.

Бібліографія

1. R. G. Allen, L. S. Pereira, D. Raes, M. Smith. *Crop evapotranspiration (FAO 56)*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1998. 300 p. (FAO irrigation and drainage paper; 56). (ISBN 92-5-104219-5).

2. Цветова О. В., Рябцева Г. П., Наседкін І. Ю. Гідрогеоологічні умови верхів'я долини річки Прип'ять. – Київ-Ковель-Луцьк: 2013. – 219 с.

3. Гідродинамічний та гідрохімічний режими природних вод у районі впливу кар'єру «Хотиславський» на початку розробки мергельно-крейдових відкладів. / Сидоренко О. О. та ін. // Вісник НУВГП. 2016. №4. С. 40–48.

4. Дятел А. А. Эколого-мелиоративное состояние осушаемых земель в районе воздействия карьера "Хотиславский". РУП "Институт мелиорации". 2017. №1. С. 31–38.

5. Иванов Н.Н. Об определении величин испаряемости. Известия Всес. Геогр. Общества, 1954. Т. 86. №2. С. 189-195.

6. Музыкин В. П., Антипилович Ю. Ф., Будько С. А. Комплексное решение вопросов охраны окружающей среды при трансграничном воздействии разработки месторождения строительных материалов "Хотиславское" в Брестской области. Институт природопользования НАН Беларуси. 2017. С. 299–302.

7. Наседкин И. Ю. Формирование водного баланса группы Шацких озер при осушении прилегающих земель // Мелиорация и водное хозяйство. Москва: 1991. №2. С. 8–10.

8. Отчет двусторонней рабочей группы по экологическому мониторингу района Хотиславского карьера. Пилотный проект в Беларуси и Украине по следроектному анализу экологического воздействия в трансграничном контексте. Проект «Взаимосвязь между проблемами окружающей среды и безопасности в Беларуси». Апрель–декабрь 2013. 31 с.

9. Отчет о результатах проведения оценки воздействия на окружающую среду добычи мела на участке месторождения «Хотиславское» в Малоритском районе Брестской области. В 2-х книгах. Кн. 1. Оценка воздействия разработки месторождения мела «Хотиславское» (II очередь) на гидролого-гидрогеологические условия прилегающей территории. РУП «ЦНИИКИВР». Минск: 2009. 142 с.

10. Природа Західного Полісся, прилеглого до Хотиславського кар'єру Білорусі: монографія / за ред. Ф.В. Зузука. Луцьк: Східноєвропейський національний університет. 2014. 245 с.

A.A. Diatel

Особенности формирования водообмена на мелиорируемых землях Волынского Полесья под воздействием климатических и антропогенных факторов

Рассмотрены вопросы влияния климатических и антропогенных факторов на гидрогеолого-гидрологический режим и водообмен между поверхностными и подземными водами мелиорированных земель Волынского Полесья. Приводится детальный анализ основных метеорологических факторов, расчет испарения, выделены основные техногенные факторы, которые влияют на экологическое состояние исследуемого региона.

A.A. Diatel

Features of formation of water exchange on reclaimed lands of Volyn Polissya by influence of climatic and anthropogenic factors

The article deals with the questions of influence of climatic and anthropogenic factors on hydrogeological and hydrological regime and water exchange between surface and underground waters of reclaimed lands of Volyn Polissya. A detailed analysis of the main meteorological factors, the calculation of evaporation, and the main man-made factors that affect the ecological state of the region under study are given.

УДК 631.11.1

ОБҐРУНТУВАННЯ РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧОЇ СИСТЕМИ ЗЕМЛЕРОБСТВА ЗА МІЖГАЛУЗЕВОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ МЕЛІОРОВАНИХ АГРОЕКОСИСТЕМ ПОЛІССЯ

Ю. О. ТАРАРІКО, док. с-г. наук
Інститут водних проблем і меліорації

На інформаційній базі стаціонарного дослідження обґрунтовано потенціал біопродуктивності осушуваних земель Правобережного Полісся. На цій основі розроблено перспективні варіанти розвитку типового сільськогосподарського підприємства на засадах ресурсозберігаючої системи землеробства з мінімальним застосуванням промислових мінеральних добрив. У результаті формується невисока собівартість кінцевої продукції, що забезпечує прибутковість на рівні 7-8 тис. у.о./га.

Ключові слова: меліоровані агроєкосистеми Полісся, імітаційне моделювання, галузева структура, підприємство, системи землеробства, економічна ефективність.

Проблема та її актуальність. Імітаційне комп'ютерне моделювання сценаріїв аграрного виробництва різної спеціалізації, крім його інших очікуваних параметрів, дає змогу встановити особливості кругообігу біогенних елементів стосовно конкретної галузевої структури [1,2]. За найбільш поширеної рослинницької практики з ґрунту виноситься значна кількість макро- і мікроелементів, компенсація яких потребує застосування промислових мінеральних добрив [2,3]. Безповоротне тривале їх відчуження супроводжується зниженням забезпеченості ґрунту елементами живлення та його агрохімічною деградацією [4,5]. Формування різносекторного аграрного виробництва дозволяє досягти високого рівня рециркуляції біогенних елементів, значно скоротити компенсаційні дози мінеральних туків, забезпечити бездефіцитний баланс органічного вуглецю та перейти на засади органічного землеробства [6]. Для точної кількісної оцінки цих можливостей стосовно різнопрофільних агроєкосистем в умовах Правобережного Полісся проведено балансові дослідження [7] кругообігу біогенних елементів за різних сценаріїв розвитку типового сільськогосподарського підприємства.

Завдання та методика досліджень. Мета роботи – висвітлити особливості формування кругообігу органічного вуглецю, азоту, фосфору і калію за різної галузевої структури аграрного виробництва та обґрунтувати ресурсозберігаючу систему землеробства, що забезпечить відтворення родючості осушуваного дерново-підзолистого ґрунту. Для оцінювання потенціалу продуктивності орних земель на різних фонах удобрення використовували результати досліджень у стаціонарному

досліді Інституту сільського господарства Полісся НААН (с. Грозіне, Коростенського району Житомирської області) [8,9,10], закладеному на дерново-середньо-підзолистому супіщаному ґрунті, що має таку агрохімічну характеристику: уміст гумусу – 0,86-0,94 %, загального азоту – 0,05%, рухомих сполук фосфору – 23-24 мг/кг ґрунту та калію – 14-23 мг/кг ґрунту, рН_{сол.} – 4,5, Нг – 2,4 мг екв. на 100 г ґрунту. Посівна площа ділянки 102 м², облікова – 60 м², повторення 4-разове, розміщення – рендомізоване.

Показники урожайності культур сівозміни на мінеральному фоні удобрення використовували при моделюванні рослинницької спеціалізації аграрного виробництва, на органічно-мінеральному фоні – за наявності в галузевій структурі тваринництва. Для моделювання використовували усереднені і максимальні за історію спостережень урожайні дані: врожайність середня на удобрених фонах імітує оптимізацію поживного режиму ґрунту, максимальна на удобрених фонах – одночасне поліпшення водно-повітряного і поживного режимів ґрунту.

Господарство ТОВ «Український харчовий альянс» також розташоване в Коростенському районі Житомирської області, має в оренді 2850,5 га ріллі, що розміщуються в межах сільських рад с. Холосне, с. Домолоч і с. Обиходи. Багатоваріантне комп'ютерне моделювання його виробничої діяльності проводили за допомогою інформаційно-обчислювального комплексу «Агроєкосистема» [11] засобами EXESS. Балансові розрахунки також здійснювали за [7].

Результати досліджень. Розглянуто перспективні сценарії розвитку ТОВ «Український харчовий альянс»:

Модель № 1 «Рослинницька спеціалізація» – вирощування зернових і льону з врожайністю на фоні НРК у системі меліоративного землеробства з переробкою трести до кінцевої продукції (нитка, шпагат).

Модель № 2 «Тваринницька» – розвиток молочного скотарства до рівня, який забезпечує сівозміна на люпині і кукурудзою та врожайністю на фоні органо-мінеральної системи удобрення у стаціонарному досліді в середньому за роки спостережень (без регулювання умов зволоження). Продукція реалізується у вигляді незбираного молока і живої ваги.

Модель № 3 «Модель № 2 + переробка і зберігання» – залучення до інфраструктури потужностей з переробки молока і м'яса, монтаж складських приміщень зберігання кінцевих продуктів на реалізацію.

Модель № 4 «Модель № 3 + біогазова установка» – модель аналогічна попередній з додатковим будівництвом біогазової станції і переробкою усіх відходів на біоенергетичні ресурси і органічні добрива.

Модель № 5 «Модель № 4 + осушувально-зволожувальна система» – регулювання водно-повітряного режиму ґрунту з підвищенням продуктивності агроєкосистеми і відповідним зростанням потужності усіх складових інфраструктури.

Модель № 6 «Модель № 5 + льон» – залучення до сівозміни льону, а до інфраструктури – обладнання з переробки сировини (треста) до готової продукції (нитка і шпагат). Скорочення на 20% площі кормових культур та виробництва продуктів харчування, біоенергії і добрив.

Модель № 7 (Модель № 6 + 7 тис. га ріллі) – розширення площі ріллі до 10 тис. га для забезпечення повного завантаження обладнання з переробки льону.

Баланс гумусу. Згідно зі сценарієм Моделі № 1 за рослинницької спеціалізації підприємства з перевагою у структурі посівних площ зернових культур із реалізацією основної і побічної продукції складається від'ємний баланс гумусу – -0,58 т/га (табл. 1). Для його компенсації за таких умов потрібно щорічно вносити 11,6 т/га гною стандартної якості.

За сценаріями Моделей № 2-7 у разі впровадження 4-пільної сівозміни з люпині і кукурудзою кількість кореневих і післязбиральних решток буде забезпечувати накопичення гумусу у значно більшій кількості ніж обсяги його мінералізації. При цьому за виробництва та внесення значної кількості органічних добрив досягатиметься розширене відтворення гумусного стану ґрунту. За такого положення усі відходи виробництва, зокрема свіжий гній, відходи бойні і зберігання грубих і соковитих кормів доцільно використати для отримання теплової і електроенергії. У результаті метанового бродиння у реакторах біогазової установки приблизно половина маси органічної речовини трансформується у біогаз, який містить 60% метану і 40% вуглекислого газу. Половина ж залишається нерозкладеною у вигляді так званого біогумусу – повністю знезараженого органічного добрива, в якому зосереджена більша частина винесених рослинною біомасою з ґрунту макро- і мікроелементів. Тобто за доповнення інфраструктури біогазовим комплексом та при внесенні біогумусу досягається також розширене відтворення гумусного стану ґрунту з додатковим отриманням біоенергетичних ресурсів для повного задоволення власних виробничих потреб. При цьому за введення в структуру посівних площ льону (Моделі № 6 і 7) баланс гумусу виявився більш напруженим

1. Баланс гумусу і органічних добрив за різних систем удобрення, т/га

Модель	Баланс гумусу			Баланс органічних добрив		
	утворюється	мінералізується	баланс	потреба	вноситься	баланс
№1	0,54	1,12	-0,58	11,6	0	-11,6
Гній, 75% вологості						
№2	0,87	0,98	-0,1	2,0	8,65	6,65
№3	0,87	0,98	-0,1	2,0	8,75	6,75
Біогумус – залишки гною після газогенерації (суха речовина)						
№4	0,87	0,98	-0,1	0,24	1,2*	0,96
№5	1,43	0,98	0,46	0	1,95	1,95
№6	1,03	0,95	0,08	0	1,03	1,03
№7	1,03	0,95	0,08	0	1,03	1,03

* коефіцієнт гуміфікації сухої речовини біогумусу – 0,43

у зв'язку з меншими обсягами надходження в ґрунт рослинних решток.

Отже, з усіх запропонованих сценаріїв розвитку даної виробничої системи лише за умовами Моделі № 1 із зерновою спеціалізацією та відчуженням з поля усієї продукції рослинництва буде формуватися гостро-дефіцитний баланс гумусу. У 5 – пільній сівозміні: 1-3 – кукурудза на зерно, 4 – люпин, 5 – льон є можливість не тільки підтримувати бездефіцитний баланс гумусу, а й забезпечити систематичне нарощування запасів органічної речовини в орному шарі ґрунту.

За сучасної виробничої структури ТОВ «Український харчовий альянс», при вирощуванні тільки зернових культур, винос з ґрунту поживних речовин і втрати на вимивання набагато вищі за надходження. Баланс поживних речовин згідно зі сценарієм Моделі № 1 формується від'ємним і становить за азотом – 61, фосфором – 21 та калієм – 60 кг/га (табл. 2).

За внесення гною (Моделі № 2 та № 3) збільшується врожайність люпину та кукурудзи на зерно, а отже зростає винос поживних речовин. Проте застосування гною у нормі 17,5 т/га забезпечує позитивний баланс азоту (25 кг/га), однак цієї кількості недостатньо для досягнення позитивного балансу фосфору і калію.

Передбачене Моделями № 4-№ 7 збільшення поголів'я ВРХ буде супроводжуватися значним зростанням обсягів повернення біогенних елементів з біогумусом. Однак і за цими сценаріями позитивний баланс складається лише за азотом.

Оптимальна інтенсивність балансу азоту для дерново-підзолистих ґрунтів Полісся становить 105% [7], а за умовами Моделей № 2-№ 7 забезпечується інтенсивність балансу на рівні 105–117%.

Усі поля господарства мають середній вміст рухомих сполук фосфору та низький калію, тому у такому випадку екологічно безпечні

2. Баланс азоту, фосфору і калію, кг/га

Моделі	NPK	Втрати				Надходження					Баланс	ІБ*, %	Потрібно мінеральних добрив**
		з основною продукцією	з побічною продукцією	інфільтрація	разом	гній, біогумус	азотфіксація	насіння	опади	разом			
№1	N	39	20	15	74	-	-	3	10	13	-61	17	65
	P ₂ O ₅	15	7	-	23	-	-	2	-	2	-21	7	44
	K ₂ O	11	46	5	61	-	-	1	-	1	-60	2	79
№2	N	113	18	15	146	43	112	5	10	171	25	117	-
	P ₂ O ₅	28	6	-	34	22	-	2	-	24	-10	70	44
	K ₂ O	53	38	5	96	52	-	2	-	53	-42	56	72
№3	N	113	18	15	146	44	112	5	10	171	25	117	-
	P ₂ O ₅	28	6	-	34	22	-	2	-	24	-10	70	44
	K ₂ O	53	38	5	96	53	-	2	-	54	-42	56	71
№4	N	113	18	15	146	31	112	5	10	158	12	108	-
	P ₂ O ₅	28	6	-	34	13	-	2	-	15	-19	45	53
	K ₂ O	53	38	5	96	38	-	2	-	39	-56	41	85
№5	N	196	29	15	240	54	203	5	10	272	32	113	-
	P ₂ O ₅	48	9	-	57	21	-	2	-	23	-34	41	91
	K ₂ O	94	59	5	158	61	-	2	-	62	-96	40	143
№6	N	150	19	15	185	42	135	6	10	193	38	105	-
	P ₂ O ₅	40	6	-	46	16	-	2	-	18	-27	40	73
	K ₂ O	68	39	5	113	43	-	2	-	44	-68	40	102
№7	N	150	19	15	185	42	135	6	10	193	38	105	-
	P ₂ O ₅	40	6	-	46	16	-	2	-	18	-27	40	73
	K ₂ O	68	39	5	113	43	-	2	-	44	-68	40	102

* інтенсивність балансу

** компенсуючі норми мінеральних добрив розраховано для досягнення ІБ по азоту – 105%, по фосфору – 200% і калію – 130 %

нормативи інтенсивності балансу для середнього вмісту фосфору становлять 200 %, та низького калію – 130. Цього рівня повернення не забезпечує наявна кількість органічних добрив за всіма досліджуваними Моделями, тому компенсуючі норми фосфорних мінеральних добрив мають становити від 44 до 91 кг/га, а калійних – від 71 до 143 кг/га д.р.

Отже, враховуючи, що стосовно умов досліджуваних Моделей за рахунок органічних добрив оптимальна інтенсивність балансу досягається тільки за азотом, для даного сільськогосподарського підприємства потрібно рекомендувати органо-мінеральну систему удобрення із сумісним застосуванням органічних та фосфорно-калійних мінеральних добрив.

При визначенні складу полів господарства слід прагнути до того, щоб фактична площа кожного з них була максимально близькою до середньо-арифметичного розміру поля. За загальної площі ріллі 2850,5 га у 4-пільній сівозміні середній розмір поля буде становити 712,6 га, а у п'ятипільній – 570,1 га. Це дає змогу організувати технологічні процеси у рослинництві максимально ефективно і стабільно за роками.

Відповідно до проведених розрахунків встановлено, що лише за умовами Моделі №1 внаслідок вирощування лише зернових культур і льону формується від'ємний баланс азоту, тому потрібно вносити азотні добрива у кількості 65 кг/га (табл. 2) або на всю площу це буде становити 185 т д.р. За сценаріями інших Моделей азотні добрива вносити не потрібно. За різних сценаріїв розвитку господарства по Моделях № 2-7 потрібно вносити лише фосфорно-калійні та органічні добрива (табл. 3).

Мінеральні добрива у вказаних нормах з урахуванням забезпеченості полів рухомими сполуками фосфору та калію вносять під час посіву культур у рядки, гній або біогумус за допомогою наявних у господарстві гноєрозкидачів. За сценаріями перспективних Моделей № 2–№ 7 у 5-пільних сівозмінах органічні добрива доцільно вносити в полі після люпину на зелену масу.

Отже, одним із важливих ефектів від міжгалузевої оптимізації є створення замкнених циклів речовини, зокрема біогенних елементів з відчуженням за межі агроєкосистеми складових повітря: кисню, водню, вуглецю та азоту у складі жирів, білків, вуглеводів і вуглеводнів. Причому кінцевим продуктом виробничого циклу є органічне добриво, так званий біогумус, що отримується з відходів рослинництва і тваринництва, в якому

акумулюються винесені з біомасою біогенні елементи. Їх вміст у біогумусі залежить від особливостей галузевої структури, глибини переробки сировини, а також «герметичності» технологічних циклів.

3. Органо-мінеральні системи застосування добрив, що забезпечують бездефіцитні баланси гумусу і біогенних елементів

Моделі	Системи удобрення			
	мінеральні, кг/га		органічні, т/га	
	P ₂ O ₅	K ₂ O	гній	біогумус (30% вологості)
№1	44	79	-	-
№2	44	72	8,7	-
№3	44	71	8,7	-
№4	53	85	-	1,2
№5	91	143	-	1,95
№6	73	102	-	1,03
№7	73	102	-	1,03

Наприклад, в аеробних умовах (пухкий стан) після 2-місячного зберігання свіжого гною втрати загального азоту і органічного вуглецю становлять 20–30%, 4 місяців – 30–40 та 6–8 місяців – 45–60%. Напівперепрілий гній на солом'яній підстилці стандартної якості, виготовлений відповідно до існуючих вимог (4 місяці зберігання за щільної укладки) повинен мати вологість 76% та вміст загального азоту 0,61, фосфору – 0,39 і калію – 0,42% при середніх втратах за період зберігання органічної речовини та азоту відповідно 12,2 і 10,7%. Для порівняння ці показники за гарячого способу зберігання (пухка укладка) становлять 32,6 та 31,4%, а за гарячепресованого (пухка укладка з подальшим ущільненням) – 24,6 та 21,6% [12].

Тобто, цей приклад вказує на те, що свіжий гній, інші відходи переробки продукції рослинництва і тваринництва для запобігання непродуктивних втрат біогенних елементів доцільно трансформувати в біогаз і органічні добрива одразу після вилучення з тваринницьких приміщень, забою тварин тощо. Це стосується і інших виробничих циклів від вирощування окремих культур, транспортування та зберігання біомаси, її переробки у продукти харчування, біоенергію й органічні добрива. Отже, мінімалізація втрат азоту, органічного вуглецю та мінеральних елементів живлення є однією з важливих умов створення високоефективного аграрного виробництва.

З наявних у 4-пільній сівозміні кукурудзи на зерно і люпину, а за умовами Моделі № 5 – люну, органічні добрива доцільно вносити щорічно в одному полі після культури, що найраніше збирається. У даному випадку це люпин на зелену масу, після якого тривалість внесення біогумусу може становити 3 і більше місяців. Достатній проміжок часу дає змогу якісно внести добрива та здійснити відповідний обробіток ґрунту навіть за тривалої негоди. Така схема передбачає транспортування, буртування і зберігання частини органічних добрив на полі, де планують їх внести. Ці роботи виконують протягом року в періоди, коли звільняється техніка, сприяють погодні умови тощо.

У проміжки часу, коли вивозити біогумус або гній на поле не вдається, їх буртують і зберігають у сховищі неподалік від тваринницьких ферм або біогазової станції. Цю другу нагромаджену у сховищі частину органічних добрив після збирання попередньої культури вивозять і рівномірно розподіляють по ділянках другої половини поля, розташованих ближче до господарського двора. Купи масою від 2 до 6 т розкидають роторними розкидачами типу РУН-15А, а гній з польових буртів на віддаленіших площах – причіпними розкидачами типу ПРТ-10. Таке положення зумовлено тим, що при внесенні нагромаджених біля ферм добрив причіпні розкидачі при суміщенні з їх транспортуванням на відстань 2–3 км і розкиданням мають дуже низьку продуктивність. Невигідно також перевозити транспортом і вивантажувати добрива на полі, а потім знову завантажувати ними причіпні розкидачі. З іншого боку, не завжди доцільно при внесенні добрив з польових буртів застосовувати роторні розкидачі, оскільки це потребує виконання додаткової операції розвезення добрив з буртів купами по полю. Отже, найбільш раціональним є поєднання роботи роторних (внесення добрив зі сховища біля ферми) і причіпних розкидачів (внесення із польових буртів).

Добрива зі сховища вибирають зворотно до процесу їх закладання й транспортують на поле, де розподіляють по купах у певному порядку. Відстань між рядами куп визначають залежно від раціональної ширини розкидання. При малій об'ємній вазі добрив відстань між рядами становить 15–20, при великій – 20–25 м. Перед вивезенням добрив на полі позначають ряди, а кожному водію автосамоскидача чи тракторного транспортного агрегату роз'яснюють, на якій відстані слід розміщувати купи в ряду. Роторні розки-

дачі РУН-15А працюють надійніше, якщо вага куп не перевищує 2–2,5 т. Тому при вивезенні добрив автосамоскидами чи тракторними причепами більшої вантажопідйомності купи перед розкиданням бульдозерами або валкоутворювачами роторних розкидачів потрібно ділити на дві–три частини. З куп органічних добрив розкидають роторними розкидачами РУН-15А, які рухаються човниковим способом.

Норму внесення органічних добрив розкидачем РУН-15А встановлюють шляхом підбору величини прохідного вікна валкоутворювача. Остаточна норма внесення корегується на початку роботи. При правильно підібраній величині прохідного вікна маса однієї купи повинна розтягуватись у рівномірний валок до другої купи.

Добрива, вивезені в бурти на поле, розкидають гноєрозкидачами. При внесенні добрив на полі навантажувач завантажує в гноєрозкидачі тільки половину кожного бурту в ряду, а при зворотному русі навантажувача – другу половину. Це дає змогу швидко підготувати окремі частини поля для обробітку ґрунту. Кількість буртів та їх величину розраховують згідно з площею кожного контуру.

У разі переробки свіжого гною на біогаз і біогумус 30% вологості його норма в полі площею 703 га становитиме близько 24 т/га, що має супроводжуватись відповідним регулюванням технічних засобів, уточненням розмірів буртів та їх маси, відстані між купами і та ін. За обсягів виробництва біогумусу відповідно до показників продуктивності Моделі №5 загальна кількість органічних добрив значно менша і становить 11 тис. т при нормі внесення 16 т/га.

Навесні, при посіві наступної культури в рядки через тукові апарати посівних агрегатів вносять мінеральні добрива у нормах, що забезпечують оптимальну інтенсивність балансу фосфору і калію відповідно до забезпеченості окремих полів і контурів цими елементами (табл. 3).

У разі організації органічної системи аграрного виробництва добрива можна вносити у вигляді природних руд. Така система передбачає також відмову від застосування пестицидів. За реалізації на практиці виробничої структури, що відповідає Моделям №4–7, буде здійснено перехід до 4-х або 5-пільної сівозміни, де витримуються хороші попередники та оптимальні терміни повернення культур на попереднє місце вирощування. Це є головною передумовою, що блокує поширення шкочинних організмів. Крім того,

4. Економічна ефективність варіантів розвитку підприємства

Показники	Моделі						
	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7
Капітальні затрати, млн. у.о.	13,7	1,4	1,6	18,4	40,5	38,2	125,4
Валовий дохід, млн. у.о.	9,3	11,2	18,3	20,6	31,9	35,7	125,3
Виробничі витрати, млн. у.о.	2,9	5,7	7,1	7,3	11,6	12,2	42,3
Чистий прибуток, млн. у.о.	6,3	5,5	11,2	13,3	20,1	23,5	82,9
Чистий прибуток, тис. у.о./га	2,2	1,9	3,9	4,7	7,0	8,2	8,3
Строк окупності, років	2,2	2,6	1,4	1,4	2,0	1,6	1,5

на 3-х з 4-х полів або 3-х з 5-ти полів пропонується вирощування просапних культур, де гербіциди цілком можна замінити механічними способами боротьби з бур'янами.

Важливим є те, що на біогазовій установці в процесі метанового бродіння відбувається повна стерилізація усіх відходів рослинництва і тваринництва. Навіть насіння бур'янів втрачає схожість і руйнується. Це дає змогу перейти на засади органічного землеробства супутньо, без додаткових затрат, з досягненням високого рівня реалізації агроресурсного потенціалу території та забезпеченням істотного збільшення економічних показників аграрного виробництва (табл. 4).

Висновки. Проведені балансові дослідження і висвітлені технологічні аспекти застосування органічних добрив на меліорованих

землях гумідної зони свідчать, що за реалізації на практиці одного з представлених перспективних варіантів розвитку підприємства фактично йдеться про освоєння біоорганічної системи землеробства з мінімалізацією або відмовою від використання агрохімікатів за рахунок високих рівнів рециркуляції біогенних елементів і знезараження усієї біомаси та можливість екологічного маркування виробленої продукції найвищої якості (ISO 9000) із збереженням і відтворенням навколишнього природного середовища (ISO 14000) і створенням гармонійних умов для проживання населення. Ці аспекти, у свою чергу, є основними чинниками і передумовами високої конкурентоспроможності меліорованих агро-екосистем Полісся у майбутньому з досягненням чистого прибутку на рівні 8 тис. у.о./га.

Бібліографія

1. Розробка ґрунтозахисних ресурсо- та енергозберігаючих систем ведення сільськогосподарського виробництва з використанням комп'ютерного програмного комплексу / Рекомендації. Київ: Нора-Друк, 2002. 122 с.
2. Наукові основи агропромислового виробництва в зоні Полісся і Західного Регіону України / ред.: М.В. Зубець (голова редакційної колегії) та ін. Київ: Урожай, 2004. С. 161-191.
3. Городній М.М. Агрохімія: Підручник. 4-те вид., Київ: Арістей, 2008. 936 с.
4. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2000 році. Київ: Мінекономресурсів, 2001. С. 29.
5. Дегодюк Е.Г. Сучасний стан земельних ресурсів України і шляхи відновлення земле- і природокористування // Зб. доп. Всеукр. наук.-практ. конференції «Стан земельних ресурсів в Україні: проблеми, шляхи вирішення». Київ: Центр екологічної освіти та інформації, 2001. С. 32-37.
6. Наукові основи виробництва органічної продукції в Україні: монографія / за ред. Я.М. Гадзала, В.Ф. Камінського. Київ: Аграрна наука, 2016. 592 с. ISBN 978-966-540-440-8
7. Нормативи ґрунтозахисних контурно-меліоративних систем землеробства. Київ: 1998. 158 с.
8. Тараріко Ю.О., Личук Г.І. Моделювання агроекосистем на інформаційній базі стаціонарного дослідження в Поліссі // Вісник аграрної науки, 2013. № 3. С. 53-58.
9. Довгострокові стаціонарні польові дослідження України. Реєстр атестатів / УААН, ННЦ «Інститут ґрунтознавства і агрохімії ім. О.Н. Соколовського». Редкол. П.І. Коваленко та ін. Харків: Вид. «Друкарня № 13», 2006. 120 с.
10. Формування систем аграрного виробництва на осушуваних землях Центрального Полісся. (Рекомендації). Київ: ЦП «Компринт», 2016. 142 с.
11. Формирование устойчивых агроэкосистем. Київ: ДИА, 2007. С. 290-336.
12. Справочник по удобрениям. Москва: Колос, 1964. С. 93-122.

Ю.А. Тарарико

**Обоснование ресурсосберегающей системы земледелия
при межотраслевой оптимизации мелиорированных агроэкосистем Полесья**

На информационной базе стационарного опыта обоснован потенциал биопродуктивности осушаемых земель Правобережного Полесья. На этой основе разработаны перспективные варианты развития типичного сельскохозяйственного предприятия с применением ресурсосберегающей системы земледелия с минимальным использованием промышленных минеральных удобрений. В результате формируется невысокая себестоимость конечной продукции, обеспечивающая прибыльность на уровне 7-8 тыс. у.е./га

Y.O. Tarariko

**Substantiation of the resource-saving farming system
in inter-sectoral optimizing ameliorated agro-ecosystems of Polissya**

On the information base of the stationary experience, the potential of bioproductivity of the drained lands of the Right Bank Polissya is grounded. On this basis, long-term variants for the development of a typical agricultural enterprise have been developed with the use of a resource-saving farming system with the minimum use of industrial mineral fertilizers. As a result, a low production cost of the final product is formed, which ensures profitability at the level of \$ 7-8 thousand per hectare.

УДК 631.51:631.81:631.543.2:631.67:635.652.2

УРОЖАЙНІСТЬ ЗЕРНА КВАСОЛІ ЗВИЧАЙНОЇ ЗАЛЕЖНО ВІД ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ, МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ ТА ШИРИНИ МІЖРЯДДЯ ПРИ ЗРОШЕННІ

В.О. УШКАРЕНКО, док. с.-г. наук,**С.О. ЛАВРЕНКО**, канд. с.-г. наук,**Д.О. МАКСИМОВ**

Херсонський державний аграрний університет

У статті представлені результати багаторічних польових досліджень з вивчення продуктивності рослин квасолі звичайної залежно від обробітку ґрунту, мінеральних добрив та ширини міжряддя при зрошенні в умовах Південного Степу України. Проаналізовані експериментальні дані та висновки, підтверджені проведенням дисперсійного аналізу. Удосконалені елементи технології вирощування культури, які дають змогу отримувати високі врожайні зерна квасолі звичайної.

Ключові слова: квасоля звичайна, урожайність зерна, обробіток ґрунту, мінеральні добрива, ширина міжряддя, зрошення

Проблема та її актуальність. На сьогодні ставлення сільськогосподарських товаровиробників до зернобобових культур змінюється, це насамперед стосується гороху озимого, нуту, сочевиці та квасолі.

Рід квасолі *Phaseolus L.* налічує біля 230 видів, які поділяють на дві групи: американську та азіатську. У квасолі американського походження формуються великі плоскі боби з довгим дзьобиком і крупним насінням, у азіатської – вузькі боби без дзьобика з дрібним насінням [1-4]. У нашій країні поширеним видом є квасоля звичайна (*P. vulgaris L.*), яка належить до американської групи [5-7].

За кольором насінневої оболонки споживачі України надають перевагу білій, але поступово в побут входить нове забарвлення – чорне. Таку квасолу називають Прето (*Preto, Black Turtle, Frijol negro, Feijao preto*). Це невелика квасоля, шовковисто-чорного кольору зовні. Вона має ніжну, до того ж щільну текстуру, солодкуватий смак з легкою гіркуватістю і приємним ягідним ароматом. Квасоля Прето дуже популярна в латиноамериканській кухні – використовується у м'ясних, овочевих стравах, в супах і супових сумішах, рагу, салатах, а також в обсмаженому вигляді. Квасоля має м'ясисту текстуру, що робить її популярною у вегетаріанських стравах. Ця квасоля складає основу бразильської кухні, бразильці готують з неї «фейжоаду» – улюблену національну страву. Квасоля Прето відноситься до виду квасолі звичайної (*Phaseolus vulgaris*). Вирощують її в промислових обсягах у Канаді, США і Китаї [7, 8].

На сьогодні розширення площ посіву квасолі відбувається в основному за рахунок приватного сектора. Промислове вирощу-

вання незначне і не розширюється, в основному, через недостатню вивченість елементів технології вирощування культури в різних агрокліматичних районах.

В останні роки різним аспектам вирощування квасолі звичайної присвячені роботи [9-14]. Поряд з цим, для зрошуваних умов Південного Степу України не повною мірою досліджено вплив глибини обробітку ґрунту, добрив та ширини міжряддя на продуктивність квасолі звичайної в умовах енергетичної та фінансової кризи, що і обумовило проведення відповідних досліджень.

Методика досліджень. Дослідження з удосконалення елементів технології вирощування квасолі в умовах півдня України проводили шляхом закладання трифакторного польового дослідження на землях сільськогосподарського кооперативу «Радянська земля» Білозерського району Херсонської області. Ґрунт – темно-каштановий солонцюватий. Вміст гумусу 2,5%, легкогідролізованого азоту – 35, рухомого фосфору – 32 та обмінного калію – 430 мг/кг ґрунту. Щільність складення метрового шару ґрунту становила – 1,35, а його твердої фази – 2,66 г/см³, загальна пористість – 49-50%.

Польові досліді закладено в чотириразовій повторності. Розташування варіантів здійснювали методом розщеплених ділянок з частковою рендомізацією.

У польових дослідях вивчали такі фактори та їх варіанти:

Фактор А – основний обробіток ґрунту: полицевий на глибину 20-22 см; полицевий на глибину 28-30 см;

Фактор В – фон живлення: без добрив; N₄₅P₄₅; N₉₀P₉₀;

Фактор С – ширина міжряддя, см: 15; 30; 45; 60.

Під час проведення досліджень керувалися загальноновизнаними методиками польових дослідів [15-17]. Облік опадів за вегетаційний період культури проводили за показниками дощоміра, встановленого на дослідній ділянці. Температуру, відносну вологість повітря фіксували за даними метеостанції м. Херсон. Облік урожаю проводили методом суцільного збирання. Дані врожаю зерна перераховували до стандартної вологості (14%) і стовідсоткової чистоти. Урожайні дані піддавали агрономічному оцінюванню та статистичній обробці.

Технологія вирощування квасолі була загальноприйнятою для умов півдня України, за винятком факторів, які досліджували. Після збирання попередника (пшениця озима) проводили дворазове дискування стерні на глибину 6-8 та 10-12 см. Основний обробіток ґрунту виконували згідно зі схемою дослідів. Під основний обробіток вносили мінеральні добрива згідно зі схемою дослідів. З метою додаткового знищення бур'янів і вирівнювання ґрунту проводили культивуацію на глибину 12-14 см. При настанні фізичної стиглості ґрунту весною проводили боронування БЗСС-1,0. Передпосівну культивуацію виконували на глибину заробки насіння. Сівбу виконували на глибину 5-7 см трактором МТЗ-80 з сівалкою СЗ-5,4 «Акорд». Насіння за 1-2 години до сівби обробляли біопрепаратами селекційних високоефективних штамів бульбочкових бактерій. Після сівби поле прикочували кількочасто-шпоровими котками. Вологість ґрунту в період вегетації культури підтримували на рівні 75-80%НВ. Поливи здійснювали дощувальною машиною

ДДА-100 МА. Збирання врожаю проводили прямим комбайнуванням при повному дозріванні бобів.

Результати досліджень. Досліджувані елементи технології вирощування квасолі звичайної при зрошенні з Інгулецького магістрального каналу, води якого відносяться до II класу якості (обмежено придатні), суттєво вплинули на продуктивність культури. У середньому за 2014-2016 рр. досліджень урожайність зерна коливалася від 1,47 до 3,37 т/га (табл. 1).

При більш детальній оцінці окремого впливу досліджуваних елементів вирощування квасолі особливу увагу слід приділяти обробітку ґрунту. Більшість рекомендацій, які стосуються обробітку ґрунту під зернобобові культури, здебільшого пропонують виконувати оранку. Але за останнє десятиріччя провідні вчені та виробничники пропонують переходити на поверхневий та мілкий обробіток або взагалі відмовитися від нього, застосовуючи нульову технологію (no-till) обробітку. Кожний із зазначених способів обробітку має свої переваги та недоліки. У ґрунтово-кліматичних умовах проведення досліджень застосування поверхневого та мілкого обробітку є неефективним, тому що ґрунти є середньозасоленими, поливні води II класу якості та недосконала система хімічного захисту квасолі від бур'янів. Отже полицевий обробіток є більш доцільним, а глибина його виконання потребує вивчення.

Згідно з отриманими даними проведення оранки на глибину 28-30 см забезпечило кращі умови росту й розвитку рослин квасолі, що позначилося на рівні її врожаю (табл. 1, 2).

У середньому за роки досліджень виконання цього обробітку забезпечило приріст

1. Урожайність зерна квасолі звичайної залежно від досліджуваних факторів, т/га

Середнє за 2014-2016 рр.

Глибина оранки, см (фактор А)	Фон живлення (фактор В)	Ширина міжряддя, см (фактор С)				Середнє
		15	30	45	60	
20-22	без добрив	1,47	1,82	2,51	2,01	1,95
	N ₄₅ P ₄₅	1,88	2,29	3,09	2,51	2,44
	N ₉₀ P ₉₀	2,01	2,41	3,30	2,62	2,59
Середнє		1,79	2,17	2,97	2,38	2,33
28-30	без добрив	1,49	1,86	2,58	2,06	2,00
	N ₄₅ P ₄₅	1,91	2,34	3,17	2,58	2,50
	N ₉₀ P ₉₀	2,04	2,46	3,37	2,67	2,64
Середнє		1,81	2,22	3,04	2,44	2,38

НІР₀₅ за роками досліджень складала, т/га: для фактора А – 0,04-0,05; В – 0,05-0,06; С – 0,05-0,07; взаємодії АС – 0,08-0,09; АВ – 0,07-0,08; ВС – 0,09-0,11; комплексної взаємодії АВС – 0,13-0,16.

2. Приріст урожайності зерна квасолі звичайної залежно від поглиблення основного обробітку ґрунту, т/га

Середнє за 2014-2016 рр.

Фон живлення (фактор В)	Ширина міжряддя, см (фактор С)			
	15	30	45	60
без добрив	0,02	0,05	0,07	0,05
N ₄₅ P ₄₅	0,03	0,05	0,08	0,07
N ₉₀ P ₉₀	0,03	0,05	0,07	0,05

Примітка. Контроль – глибина оранки на 20-22 см

урожайності від 0,02 до 0,08 т/га порівняно з оранкою на глибину 20-22 см. Але ці показники згідно з проведеним дисперсійним аналізом знаходяться в межах похибки досліді (НР₀₅ за роками досліджень складала для фактора А – 0,04-0,05 т/га). У цьому випадку поглиблення обробітку ґрунту є мало-ефективним і недоцільним, тому у виробництві краще здійснювати обробіток на глибину 20-22 см. Додатковим підтвердженням ефективності більш мілкої оранки є пайова участь фактора у формуванні врожаю, яка за роки досліджень складала 0,18-0,29%.

В умовах інтенсифікації сільськогосподарського виробництва найбільше впливає

на врожайність будь-якої культури внесення як органічних, так і мінеральних добрив. Внесення органічних добрив на сьогодні в Україні є дуже обмеженим у зв'язку із занепадом галузі тваринництва. Тому доцільним для товаровиробників є застосування мінеральних добрив. Проведені нами дослідження показали високу ефективність цього елемента для квасолі звичайної. Слід також відмітити, що квасоля є бобовою культурою, яка здатна задовольняти свої потреби в азоті за рахунок азотфіксації, але за цих умов рівень продуктивності рослин досить низький. Це пояснюється дуже високими вимогами до рівня продуктивності товаровиробниками, високою інтенсифікацією виробництва, а також численними негативними чинниками природного та людського факторів (засолення ґрунту та зрошуваної води, застаріла техніка, порушення сівозмін і технології, низька свідомість спеціалістів тощо).

Проведений статистичний обробіток експериментальних даних показав, що пайова участь досліджуваних норм мінеральних добрив за роки досліджень складала 14,6-39,8%.

Виконання оранки на глибину 20-22 см на варіантах без добрив забезпечило формування

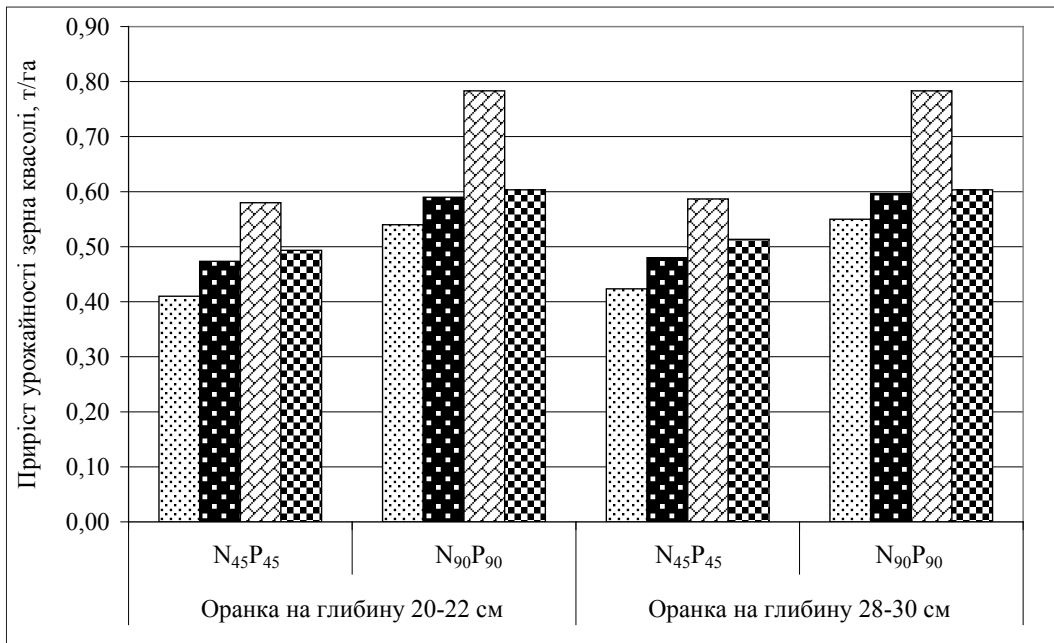


Рис. 1. Приріст урожайності зерна квасолі звичайної залежно від фону живлення (контроль – варіант без внесення мінеральних добрив), т/га (середнє за 2014-2016 рр.)

Примітки: ширина міжряддя
 - 15 см;
 - 30 см;
 - 45 см
 - 60 см.

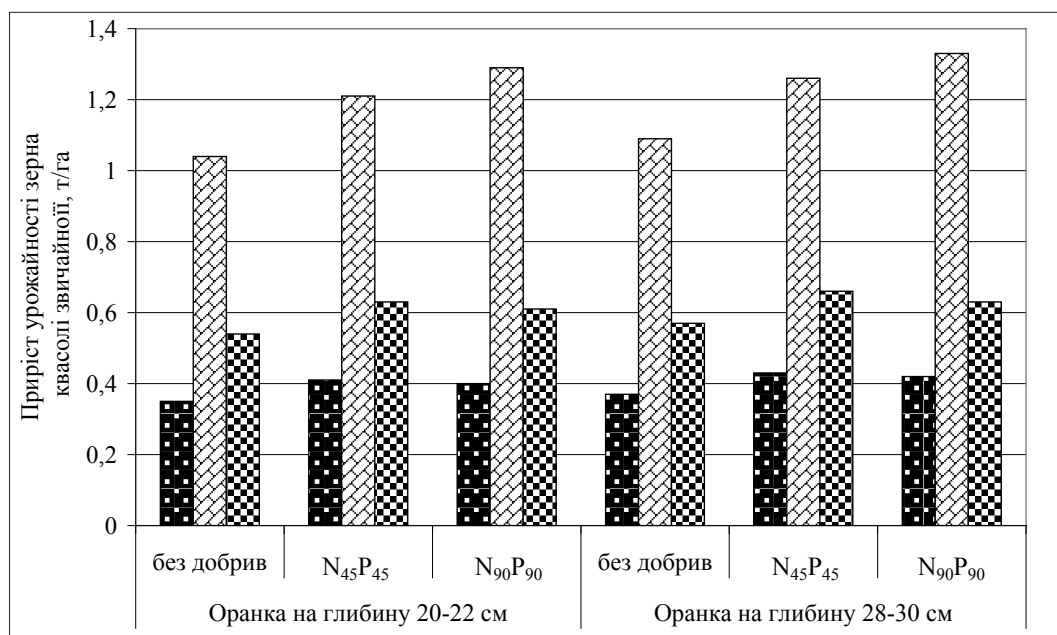


Рис. 2. Приріст урожайності зерна квасолі звичайної залежно від збільшення ширини міжряддя

(контроль – ширина міжряддя 15 см), т/га (середнє за 2014-2016 рр.)

Примітки: ширина міжряддя
 - 30 см;
 - 45 см;
 - 60 см.

врожайності, у середньому за роки досліджень, 1,95 т/га (табл. 1, рис. 1). Внесення азотно-фосфорних добрив в кількості 45 кг/га діючої речовини забезпечило зростання врожайності зерна квасолі звичайної на рівні 0,41-0,78 т/га. Збільшення кількості діючої речовини в два рази не забезпечило аналогічного зростання приросту врожаю зерна. За цих умов приріст, порівняно з неудобреними варіантами, склав 0,54-0,78 т/га, а порівняно з попереднім варіантом – лише на 6,1%.

За оранки на глибину 28-30 см динаміка зміни врожайності була аналогічною за попередній обробіток. Найвища продуктивність рослин квасолі звичайної формувалася за внесення N₉₀P₉₀ і склала в середньому 2,64 т/га. Зменшення кількості добрив зменшило і приріст урожайності, який склав 0,42-0,59 т/га порівняно з контрольними варіантами (без добрив). Найменший рівень врожайності спостерігався на ділянках, де мінеральні добрива не вносили, і коливався від 1,49 до 2,58 т/га.

Найбільший вплив на величину врожайності зерна квасолі звичайної з досліджуваних елементів технології вирощування мала ширина міжряддя, її пайова участь складала за роки досліджень 59,1-83,1% (табл. 1,

рис. 2). Проведений дисперсійний аналіз засвідчив суттєвість отриманого приросту врожайності зерна залежно від досліджуваних факторів.

Аналіз експериментальних даних свідчить, що найбільша продуктивність рослин квасолі звичайної була за ширини міжряддя 45 см. Починаючи з 15 до 45 см урожайність культури зростала в середньому від 1,79 до 2,97 т/га за оранки на глибину 20-22 см та з 1,81 до 3,04 – за глибини обробітку на 28-30 см. Подальше збільшення ширини міжряддя до 60 см призвело до значного зменшення врожайності культури.

Детальний аналіз отриманих показників свідчить про те, що розширення відстані між рядками та одночасне зменшення відстані між рослинами в рядку призвело до їх конкуренції за основні фактори життя. Приріст урожайності зерна квасолі звичайної за ширини міжряддя 30 см порівняно із звичайним рядковим способом сівби коливався від 0,35 до 0,43 т/га. За ширини міжряддя 45 см приріст урожайності зерна культури збільшився порівняно з шириною 15 см до 1,04-1,33 т/га, а порівняно з попередньо описаним міжряддям приріст зріс майже у 3 рази. Сівба квасолі з шириною міжряддя 60 см негативно

позначилася на рівні врожайності культури. За цих умов приріст урожайності коливався від 0,54 до 0,66 т/га, що порівняно з міжряддям 45 см було меншим у 2 рази.

Висновки. Дослідження, проведені протягом 2014-2016 рр. з квасолею звичайною при зрошенні, показали, що найвища продуктивність рослин – 3,37 т/га формувалася за оранки на глибину 28-30 см, внесення мінеральних добрив нормою $N_{90}P_{90}$ та ширини

міжряддя 45 см. Враховуючи проведений дисперсійний аналіз даних встановлено, що найбільш доцільним для впровадження у виробництво буде агротехнологічний комплекс вирощування культури, який включає тиме оранку на глибину 20-22 см, внесення мінеральних добрив нормою $N_{45}P_{45}$ та сівбу з міжряддям 45 см. Ці технологічні елементи забезпечать отримання врожайності зерна квасолі на рівні 3,09 т/га.

Бібліографія

1. Бабич А.О. Світові земельні, продовольчі і кормові ресурси. Київ: Аграрна наука, 1996. С. 147-271.
2. Минюк П.М. Фасоль. Минск: Ураджай, 1991. 92 с.
3. Біологічні особливості квасолі [Електронний ресурс]. Режим доступу до матеріалів: http://ultraagro.blogspot.com/2014/09/blog-post_949.html
4. Біологічні та ботанічні особливості вирощування квасолі звичайної в дендропарку «Дружба» [Електронний ресурс]. Режим доступу до матеріалів: <http://www.br.com.ua/diplom/Biology/40696-8.html>
5. Лихочвор В.В. Практичні поради з вирощування зернових і зернобобових культур в умовах Західної України. Львів: Українські технології, 2001. 128 с.
6. Шляхтуров Д.С. Урожайність квасолі звичайної залежно від технології вирощування і погодних умов // Зб. наук. праць ННЦ «Інститут землеробства УААН». Київ: 2008. Вип. 334. С. 85-89.
7. Фасоль чёрная Прето [Електронний ресурс]. Режим доступу до матеріалів: <http://fasol.tv/fasolepedia/detail.php?ID=13>
8. Башаби С.Ф. Особенности ростовых процессов у фасоли обыкновенной (*Phaseolus vulgaris*) // Проблемы развития сельскохозяйственного производства: материалы научной конференции СНО аграрного факультета, РУДН (20-21 апреля 2000 г.). Москва: 2000. С. 40-41.
9. Сайко О.Ю. Джерела для селекції квасолі овочевої, придатні до механізованого збирання // Овочівництво і багнетництво. 2012. Вип. 58. С. 269-273.
10. Горова Т.К., Сайко О.Ю., Черкасова В.К. Особливості формування фаз вегетаційного періоду квасолі звичайної // Вісник Центру наукового забезпечення АПВ Харківської області. 2014. Вип. 17. С. 88-96.
11. Акуленко В.В. Ріст рослин квасолі звичайної залежно від технології вирощування в північній частині Лісостепу // Вісник Центру наукового забезпечення АПВ Харківської області. 2014. Вип. 16. С. 5-11
12. Овчарук О.В. Агроекологічна характеристика сортів квасолі звичайної та їх продуктивність в умовах Західного Лісостепу // Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва. 2014. Вип. 85. С. 92-97.
13. Бахмат М.І., Овчарук О.В. Вплив різної норми висіву квасолі звичайної за широкорядного способу сівби на врожайність зерна та економічну ефективність технології вирощування в умовах Правобережного Лісостепу // Корми і кормовиробництво. 2016. Вип. 82. С. 92-95.
14. Otae H., Kumar A., Egawa E. and other. (2007). Assessing drought tolerance of snap bean (*Phaseolus vulgaris*) from genotypic differences in leaf water relations, shoot growth and photosynthetic parameters. *Plant Production Science*. Vol. 10. P. 28-35.
15. Методика польового дослідження (зрошуване землеробство): [навчальний посібник] / Ушкаренко В.О. та ін. Херсон: Грінь Д.С., 2014. 448 с.
16. Наукові дослідження в агрономії: [навчальний посібник] / Ушкаренко В.О. та ін. Херсон: Грінь Д.С., 2016. 316 с.
17. Дисперсійний і кореляційний аналіз результатів польових дослідів: [навчальний посібник] / Ушкаренко В.О. та ін. Херсон: Айлант, 2008. 372 с.

В.А. Ушкаренко, С.О. Лавренко, Д.А. Максимов
Урожайность зерна фасоли обыкновенной в зависимости от обработки почвы,
минеральных удобрений и ширины междурядья при орошении

В статье приведены результаты многолетних полевых исследований по изучению продуктивности растений фасоли обыкновенной в зависимости от обработки почвы, минеральных удобрений и ширины междурядья при орошении в условиях Южной Степи Украины. Проанализированные экспериментальные данные и выводы подтверждены проведенным дисперсионным анализом. Предложенные сельскохозяйственным товаропроизводителям усовершенствованные элементы технологии выращивания культуры позволяют получать высокие урожаи зерна.

V.A. Ushkarenko, S.O. Lavrenko, D.A. Maksymov
The yields of haricot beans depending on soil tillage, mineral fertilizers
and row spacing under irrigation

The papers presents the results of long-term field experiments on the productivity of haricot beans, depending on soil tillage, mineral fertilizers and row spacing under irrigation in the Southern Steppe of Ukraine. The analyzed experimental data and conclusions are confirmed with the dispersion analysis. The suggested elements of the crop cultivation technology allow for obtaining high grain yields.

УДК 630*161.15:630*114.354

ВПЛИВ ТРАДИЦІЙНИХ І ПЕРСПЕКТИВНИХ ДОБРИВ НА АКТИВНІСТЬ Cs^{137} В ОСУШУВАНОМУ ДЕРНОВО-ПІДЗОЛИСТОМУ ҐРУНТІ

М.Ю. ТАРАРІКО, канд. екон. наук

Інститут агроєкології та природокористування НААН

Г.І. ЛИЧУК, канд. с.-г. наук

ННЦ «Інститут землеробства НААН»

Метою досліджень було встановлення зміни активності Cs^{137} в осушуваному дерново-підзолистому супіщаному ґрунті за тривалого застосування органо-мінеральної системи удобрення та визначення ефективності позакореневого внесення полімінерального добрива на блокування надходження Cs^{137} в зерно тритикале. Систематичне застосування органо-мінеральної системи удобрення (ґній + NPK) в зерно-картопляній сівозміні забезпечило збільшення вмісту в ґрунті гумусу, фосфору, калію і відповідно зменшення активності радіоцезію. Обробка посівів тритикале під час вегетації полімінеральним добривом "Макромікс" сприяла підвищенню його врожайності та зменшенню в зерні вмісту Cs^{137} .

Ключові слова: осушуваний дерново-підзолистий ґрунт, зерно-картопляна сівозміна, родючість, гумус, фосфор, калій, радіоцезій Cs^{137} , полімінеральне добриво

Проблема та її актуальність. Після аварії на Чорнобильській атомній станції значна територія гумідної зони була забруднена радіоактивними речовинами. Навіть через 30 років після аварії в північних регіонах Житомирської області рівень забруднення залишається високим. Особливо небезпечним є забруднення ґрунтів радіоцезієм [1] на меліорованих землях, оскільки в сприятливих умовах зволоження цей елемент має властивість активно мігрувати в системі «ґрунт – рослина – тварина – людина». У результаті проведення численних досліджень встановлені ефективні прийоми блокування переходу радіонуклідів в рослини з ґрунту [2, 3, 4]. Ці прийоми є доволі витратними, що потребує розробки більш економічно доступних способів блокування радіонуклідів.

Завдання та методика досліджень. Мета досліджень – оцінити довготривалий вплив традиційної органо-мінеральної системи удобрення зерно-картопляної сівозміни на родючість осушуваного дерново-підзолистого ґрунту. Визначити вплив добрив на активність Cs^{137} , зокрема встановити ефективність застосування перспективного полімінерального рідкого добрива «Макромікс» шляхом позакореневого його внесення під час вегетації, з точки зору підвищення врожайності та зменшення надходження Cs^{137} в рослини. Експериментальні дослідження виконували в стаціонарному досліді Інституту сільського господарства Полісся НААН (с. Грозіно Коростенського району Житомирської області). Дослід було закладено в 2004 р. на осушуваному дерново-підзолистому супіщаному ґрунті. Вихідні показники параметрів

родючості 0–20 см шару: гумус загальний – 0,8 %, pH_{KCl} – 4,7, вміст легкогідролізованого азоту – 8,8 мг/100г ґрунту, P_2O_5 – 8,0, K_2O – 7,1 мг/100г ґрунту за Кірсановим.

Дослідження проводили в 4-пільній сівозміні: люпин – тритикале – картопля – овес на фоні традиційної системи удобрення – ґній 10 т + $N_{50}P_{56}K_{66}$. Під тритикале вносили – $N_{60}P_{60}K_{60}$, а під картоплю – ґній 40 т/га + $N_{80}P_{60}K_{100}$.

У ґрунті визначали: вміст гумусу за методом Тюріна в модифікації Сімакова (ДСТУ 4280: 2004), азот легкогідролізований – методом Корнфільда, фосфору та калію – за методикою Кірсанова (ДСТУ 4405: 2005) та pH_{KCl} потенціометричним методом (ГОСТ 26489 – 85).

Визначення питомої активності Cs^{137} у зразках рослин та ґрунту проводили шляхом радіометричних вимірів на вискоефективному низькофоновому гама-спектрометрі у відповідності до ДСТУ ISO 10703–200.

Полімінеральне добриво «Макромікс» (патент на корисну модель №78552) містить азот, калій, магній і ряд мікроелементів в формі фізіологічно активних сполук.

Результати досліджень. Встановлено, що після 10-річного систематичного застосування традиційної органо-мінеральної системи удобрення (ґн.+NPK) в 4-пільній зерно-картопляній сівозміні відбулось значне підвищення вмісту гумусу, фосфору і калію, істотно знизилася кислотність осушуваного дерново-підзолистого ґрунту (табл. 1).

Порівняння рівня родючості в полях тритикале за мінерального удобрення і картоплі показало, що внесення під цю культуру 40 т ґною та підвищеної дози калію забезпечило

1. Вплив удобрення культур зерно-картопляної сівозміни на стан родючості осушеного дерново-підзолистого супіщаного ґрунту

Шар ґрунту, см	Удобрення	Гумус		N л.г	P ₂ O ₅	K ₂ O	рН _{KCl}
		%	т/га				
Поле тритикале							
0–20	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	1,62	48,2	10,0	11,4	6,6	4,8
20–40		0,82	24,2	6,9	4,9	3,1	5,3
0–40		-	72,4	8,5	8,1	4,8	5,1
Поле картоплі							
0–20	40 т/га гною + N ₈₀ P ₆₀ K ₁₀₀	1,7	50,4	11,3	11,9	7,0	5,3
20–40		1,01	30,0	7,3	5,2	4,3	5,6
0–40		-	80,4	9,3	8,5	5,7	5,5

збільшення запасів органічної речовини в шарі 0–40 см на 8 т/га, а вмісту калію на 0,6 мг на 100 г ґрунту. Знизилась кислотність у шарі 0–20 см, а саме показник рН_{KCl} підвищився при застосуванні мінеральних добрив до 4,8, а при органо-мінеральній системі удобрення – до 5,3 [6,7].

Оцінка впливу різних ґрунтових властивостей покладена в основу прогнозування акумуляції радіонуклідів в рослинах [1]. Вміст обмінного калію впливає на накопичення в рослинах Cs¹³⁷, вміст обмінного кальцію – на акумуляцію в рослинах Sr⁹⁰. З підвищенням у ґрунті кількості органічної речовини зменшується накопичення Sr⁹⁰ в сільськогосподарських культурах в 1,1-3,0 рази, а Cs¹³⁷ в 1,3–4,0 рази відповідно [5].

Важливим завданням досліджень було визначення рівня активності Cs¹³⁷ у віддалений період за тривалого застосування у стаціонарному досліді традиційної органо-мінеральної системи удобрення. Встановлено, що майже через 30 років після Чорнобильської катастрофи рівень активності Cs¹³⁷ в ґрунті залишився високим.

Визначення Cs¹³⁷ в осушеному дерново-підзолистому ґрунті показало, що в полі картоплі за більш високого рівня його родючості в усіх шарах 0-20 см, і особливо в шарі 10-20 см, в який заробляється більша частина гною, рівень активності Cs¹³⁷ був значно нижчий ніж в полі тритикале. Відомо, що одним з основних факторів, що визначають поведінку радіонуклідів у ґрунті, є наявність в ньому органічних речовин, зокрема гумусних кислот, які в значній кількості вносяться разом із гноєм. Гумінові та фульвокислоти здатні створювати з радіонуклідами комплекси сполуки різної жорсткості. Ці дані свідчать про значну роль органічних і калійних добрив у зниженні активності радіоцезію (табл. 2).

2. Активність Cs¹³⁷ в осушеному дерново-підзолистому супіщаному ґрунті під культурами зерно-картопляної сівозміни

Шар ґрунту	Поля сівозміни			
	тритикале		картопля	
	кБк/м ²	Ki/км ²	кБк/м ²	Ki/км ²
0–5	327	8,8	302	8,2
5–10	321	8,7	287	7,8
10–20	348	9,5	274	7,4
0–20	332	9,0	288	7,8

Однак навіть за систематичного застосування традиційної органо-мінеральної системи удобрення активність Cs¹³⁷ залишається досить високою. Отже, для отримання гарантовано нормативно безпечної сільськогосподарської продукції необхідно застосувати додаткові запобіжні заходи. Особливо важливими в цьому відношенні на фоні традиційної органо-мінеральної системи удобрення зерно-картопляної сівозміни є заходи з контролю фізико-хімічних параметрів ґрунту, застосування підвищених норм калійних добрив, зокрема розчинних калійних добрив шляхом позакореневого внесення під час вегетації.

Сільськогосподарські культури мають різну здатність до накопичення Cs¹³⁷. Картопля відноситься до групи рослин з потенційно невисокою здатністю накопичення Cs¹³⁷. Якщо цю культуру на дерново-підзолистому ґрунті можливо вирощувати з рівнем щільності до 15 Ki/км², то зернові лише за щільності до 4 Ki/км² [3]. Отже, при більш високому рівні щільності забруднення необхідно застосовувати контрзаходи для зниження надходження радіонуклідів в сільськогосподарську продукцію. У зв'язку з цим нами проведено вивчення ефективності одного з перспективних прийомів блокування радіо-

3. Вплив полімінерального добрива «Макромікс» на вміст калію в соломі і зерні та Cs^{137} в зерні тритикале

Система удобрення	Вміст калію, %				Бк/кг		Зниження %
	солома		зерно		зерно		
Без добрив	1*	2**	1*	2**	1*	2**	9
	1,00	1,12	0,57	0,58	0,22	0,20	
10 т/га гною + $N_{50}P_{56}K_{66}$	1,29	1,39	0,60	0,62	0,19	0,17	11

1* – контроль; 2** - обробка «Макромікс»;

нуклідів в системі «грунт-рослина» шляхом позакореневого внесення розчинних добрив під час вегетації. Для цього закладено дослід з обробки посівів тритикале полімінеральним розчинним добривом «Мікромікс», що містить азот, калій, магній і мікроелементи в біологічно активній формі. Дослідження проводили в стаціонарному досліді Інституту сільського господарства Полісся методом розщеплених ділянок в 4-разовому повторенні на тритикале. Добриво вносили в фазу трубкування із розрахунку 20 л/га (табл. 3).

Проведені дослідження підтвердили, що одним з основних факторів, які впливають на перехід радіоцезію з ґрунту в рослинну біомасу є рівень забезпечення рослин калієм. Для визначення впливу добрива «Макромікс» на надходження в рослини тритикале Cs^{137} визначили його активність в залежності від вмісту калію в зерні і соломі. Результати показали, що під впливом цього заходу відповідно в зерні і соломі вміст калію збільшився на 14%. При цьому прослідковується тенденція до зменшення коефіцієнту переходу Cs^{137} із ґрунту в рослини.

Крім того, встановлено, що внесення даного добрива під час вегетації по листовій поверхні сприяло достовірному збільшенню урожайності тритикале у варіанті без добрив з 1,91 до 2,08 т/га, тобто на 9%, а у варіанті

з традиційною системою удобрення з 4,40 до 4,6 т/га або на 5%.

Враховуючи відносно невисоку вартість (близько 7 тис. грн/т) створеного на основі природного сольового розчину добрива «Макромікс», проведені дослідження свідчать про доцільність широкого його застосування на забруднених землях гумідної зони як додаткового запобіжного заходу до стандартних органічних, мінеральних добрив і меліорантів для отримання гарантовано нормативно безпечної сільськогосподарської продукції.

Висновки. На осушуваних дерново-підзолистих ґрунтах для ефективного блокування надходження Cs^{137} в сільськогосподарську продукцію необхідно підтримувати реакцію ґрунтового розчину близько до нейтральної, застосовувати підвищені дози калійних добрив та використовувати позакореневе підживлення зернових розчинними добривами, що містять калій, під час вегетації. Важливим також є ефект зниження концентрації радіоцезію за рахунок підвищення продуктивності культур, що значною мірою досягається за умови застосування традиційної органо-мінеральної системи удобрення через кардинальне покращення усіх показників родючості осушуваного дерново-підзолистого ґрунту та зменшення в ньому активності радіонуклідів.

Бібліографія

1. Динаміка накопичення Cs^{137} у сільськогосподарських культурах / Пристер Б.С. та ін. // Науковий вісник національного аграрного університету. 2001. С. 51–56.
2. Наукові основи агропромислового виробництва в зоні Полісся і західного регіону України. Київ: «Урожай», 2004. 560 с.
3. Дутов О.І. Наукові основи формування агроecosистем на радіоактивних територіях: автореф. дис. на здобуття наук. Ступеня докт. с-х наук. Київ: 2013. 41 с.
4. Ратошнюк В.І. Стан родючості та застосування агроеліоративних заходів на радіоактивно забруднених землях // Землеробство. 2004. Вип. 76. С. 57–64.
5. Йоханон К.Й. Функции органического вещества, определяющие поведение радиоцезия в системе почва-растение // Вісник аграрної науки. 1997. № 3. С. 15–18.
6. Бондарь О.И. Доступность $Cs-137$ и $Sr-90$ растениям из различных компонентов почвы // Почвоведение. 2000. № 4. С. 439–445.
7. Пристер Б.С. Оценка гарантированных коэффициентов перехода радиоактивного цезия в сельскохозяйственные культуры по агрохимическим показателям почвы: Сб. науч. тр. УНИИСХР / Проблемы сельскохозяйственной радиологии. Киев: 1991. С. 132–141.

М.Ю. Тарарико, А.И. Лычук

**Влияние традиционных и перспективных удобрений на активность Cs^{137}
в осушаемой дерново-подзолистой почве**

Цель исследований – установить изменения активности Cs^{137} в осушаемой дерново-подзолистой супесчаной почве при длительном применении органо-минеральной системы удобрения и определения эффективности внекорневого внесения полиминерального удобрения на блокирование поступления Cs^{137} в зерно тритикале. Систематическое применение органо-минеральной системы удобрения в зерно-картофельном севообороте обеспечило увеличение содержания в почве гумуса, фосфора, калия и, соответственно, уменьшение активности радиоцезия. Обработка посевов тритикале в период вегетации полиминеральным удобрением "Макромик" способствовала повышению его урожайности и уменьшению в зерне содержания Cs^{137} .

M.Y. Tarariko, A.I. Lychuk

**Effect of traditional and perspective fertilizers on the activity of Cs^{137}
in drained sod-podzolic soils**

The aim of the research was to establish the changes in the activity of Cs^{137} in drained sod-podzolic sandy soils under the long-term application of the organo-mineral fertilizer system and to research the effectiveness of the foliar application by polymineral fertilizers from the point of view of decreasing of Cs^{137} in the yield of triticale grains. The systematic application of the organo-mineral fertilizer system in grain-potato crop rotation provided an increase of humus, phosphorus and potassium in the soil and, accordingly, a decrease in the activity of radiocaesium. The treatment of triticale crops during vegetative cultivation with "Polymineral fertilizer" "Macromik" contributed to increase of its yield and reduced of Cs^{137} in grain.

УДК 626.01:626.82:338.001.36

ІНТЕГРОВАНІЙ ПІДХІД В УПРАВЛІННІ ПРОТИФІЛЬТРАЦІЙНИМИ ЗАХОДАМИ НА ВОДОГОСПОДАРСЬКИХ СИСТЕМАХ

В.І. ПЕТРОЧЕНКО, канд. техн. наук,
О.В. ПЕТРОЧЕНКО, канд. техн. наук
Інститут водних проблем і меліорації НААН

Розроблено науково-методичні основи інтегрованого підходу в управлінні протифільтраційними заходами на водогосподарських системах. На стадії прийняття проектних рішень в основу інтегрованого управління покладено методичні принципи синтезу і порівняльного аналізу альтернативних варіантів здійснення кожного протифільтраційного заходу. На стадії прийняття управлінських рішень в основу інтегрованого управління покладено методичні принципи пріоритетного вкладення інвестицій в здійснення протифільтраційних заходів в межах однієї або декількох водогосподарських систем.

Ключові слова: водогосподарська система, фільтрація, збитки, протифільтраційна споруда, відвернені збитки, індекс дохідності інвестицій

Проблема та її актуальність. Основою гідротехнічних споруд водогосподарських систем є ґрунт, через який з водних об'єктів шляхом інфільтрації можуть втрачатись значні об'єми води. Фільтрація води негативно впливає на стійкість підпірних споруд, призводить до виникнення аварійних ситуацій. Унаслідок фільтрації на водогосподарських системах не тільки втрачається товарна споживча вода, а й підтоплюються, заболочуються і засолюються землі прилеглих територій. Отже, фільтрацію води на водогосподарських системах слід розглядати як окремий вид шкідливої дії вод.

До середини минулого століття основними протифільтраційними матеріалами гідротехнічних споруд були глина, бетон та асфальт. З початку 60-х років минулого століття з розвитком хімічної промисловості у багатьох країнах світу протифільтраційні екрани почали будувати з полімерної плівки [1, 2]. В Україні широкого застосування набула гідротехнічна стабілізована поліетиленова плівка за ГОСТ 10354-82. Від початку впровадження полімерних плівок у водогосподарському будівництві донині основним інноваційним напрямком удосконалення проектних рішень протифільтраційних споруд є розроблення та застосування нових більш надійних полімерних матеріалів – армованих плівок, полімерних листів, геомембран тощо. Проте, за цей період технологія будівництва протифільтраційних споруд з полімерних матеріалів майже не змінилась. Так при спорудженні ґрунто-пліткових екранів на каналах, водоймах, полігонах побутових відходів ще й досі використовують недостатньо ефективну технологію, за якою передбачено виконання значних об'ємів земляних робіт: розробка

надплівкового шару ґрунту; переміщення ґрунту на значну відстань у відвал; підготовка ґрунтової основи під укладання плівки; переміщення ґрунту з відвалу на попередньо розстелене полотнище з плівки [2, 3].

Під час розробки проектів протифільтраційних споруд (екранів, діафрагм, завіс тощо) за критерій оцінки споруд проектувальники обирають їх надійність та здатність виконувати необхідні протифільтраційні функції. Економічну ефективність проектних рішень зазвичай визначають вже по завершенню розробки проектів без урахування комплексу багатьох важливих показників складної водогосподарської системи, таких як відвернені протифільтраційними заходами економічні, екологічні і соціальні збитки, довговічність споруд та їх системну структурно-функціональну підпорядкованість тощо.

Для усунення зазначеного недоліку в даній статті робиться спроба науково-методичного обґрунтування інтегрованого підходу до управління протифільтраційними заходами на стадії прийняття проектних рішень для забезпечення високої конкурентоспроможності заходів, а також на стадії прийняття управлінських рішень для забезпечення ефективного вкладення інвестицій у протифільтраційні заходи. Актуальність дослідження підтверджується прийнятим у жовтні 2016 р. Законом України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо впровадження інтегрованих підходів в управлінні водними ресурсами за басейновим принципом» [4].

Гіпотезою дослідження є припущення щодо можливості досягнення високої ефективності протифільтраційного захисту на гідротехнічних спорудах і водогосподарських системах шляхом розробки та впровадження

інтегрованого підходу в управлінні проти-фільтраційними заходами.

Мета дослідження. Розробка науково-методичних засад інтегрованого підходу в управлінні заходами захисту від шкідливої дії фільтрації на водогосподарських системах.

Методика дослідження. У роботі застосовано системний та аналітичний методи дослідження комплексу факторів, що впливають на ефективність протифільтраційних заходів на водогосподарських системах.

Задачі дослідження скоординовано в такому порядку:

- обґрунтування єдиного інтегрованого критерію оцінки економічної, екологічної і соціальної ефективності протифільтраційних заходів;

- розробка методичних принципів диференційованого аналізу показників ефективності протифільтраційних заходів;

- обґрунтування процедури пошуку найбільш ефективного варіанта протифільтраційного заходу за величиною індексу дохідності інвестицій;

- обґрунтування методичного підходу до розробки плану інтегрованого управління протифільтраційними заходами на водогосподарських системах.

Результатом дослідження є новий інтегрований підхід в управлінні протифільтраційними заходами на водогосподарських системах, наукове обґрунтування та методичне забезпечення якого складається з чотирьох розділів.

1. Обґрунтування єдиного інтегрованого критерію оцінки економічної, екологічної і соціальної ефективності протифільтраційних заходів.

Противільтраційні заходи на водогосподарських системах здійснюються для відвернення збитків від шкідливої дії фільтрації, які за характером поділяються на економічні, екологічні і соціальні. З огляду на різний характер збитків задача оптимізації проектних рішень протифільтраційних заходів вважається багатокритеріальною. До того ж, якщо функцію оптимізації скласти за кожним окремим видом відвернених збитків, вона буде ще й багатоцільовою. Відомо, що для розв'язання багатокритеріальних задач виникає потреба певного узгодження між усіма критеріями [5]. Таким узгоджувальним фактором є оцінювання у грошових одиницях як економічних, так і екологічних і соціальних збитків від фільтрації. Це дає підставу покласти економічний критерій в основу єдиного інтегрованого критерію оцінки ефективності протифільтраційних заходів.

В енциклопедії сучасної України водне господарство визначено як галузь економіки [6]. З огляду на це принцип обрання економічного критерію за основу єдиного інтегрованого критерію оцінки ефективності протифільтраційних заходів є достатньо обґрунтованим. Розглядаючи проблему протифільтраційного захисту на гідротехнічних спорудах і водогосподарських системах з позицій системного аналізу, можна встановити, що серед багатьох економічних показників за єдиний інтегрований критерій ефективності протифільтраційних заходів слід обрати індекс дохідності інвестицій, оскільки інші економічні показники інтегровані в ньому, або є залежними від нього:

$$I_{nz} = \frac{\sum P_1}{\sum H_1} = \frac{\sum P_T}{\sum H_T}; \quad (1)$$

$$E_1 = \sum \text{ЧП}_1 = \sum P_1 - \sum H_1 = (I_{nz} - 1) \sum H_1; \quad (2)$$

$$E_T = \sum \text{ЧП}_T = \sum P_T - \sum H_T = (I_{nz} - 1) \sum H_T; \quad (3)$$

$$P_{nz} = \frac{\sum P_1 - \sum H_1}{\sum H_1} = \frac{\sum P_T - \sum H_T}{\sum H_T} = I_{nz} - 1, \quad (4)$$

де I_{nz} – індекс дохідності інвестицій протифільтраційного заходу; T – розрахунковий термін отримання ефекту від здійснення протифільтраційного заходу, рік; $\sum P_1$ – сума позитивних ефектів від здійснення протифільтраційного заходу, що припадає на один рік, тис. грн./рік; $\sum H_1$ – сума негативних ефектів від здійснення протифільтраційного заходу, що припадає на один рік, тис. грн./рік; $\sum P_T$ – сума позитивних ефектів від здійснення протифільтраційного заходу, що припадає на T років, тис. грн.; $\sum H_T$ – сума негативних ефектів від здійснення протифільтраційного заходу, що припадає на T років, тис. грн.; E_1 і $\sum \text{ЧП}_1$ – річний економічний ефект і чистий позитивний ефект (прибуток), що припадає на один рік, тис. грн./рік; E_T і $\sum \text{ЧП}_T$ – повний економічний ефект і чистий позитивний ефект (прибуток), що припадає на T років, тис. грн.; P_{nz} – рентабельність здійснення протифільтраційного заходу.

2. Розробка методичних принципів диференційованого аналізу показників ефективності протифільтраційних заходів.

Економічні показники протифільтраційних заходів, що входять у формули (1)–(4), потребують їх диференційованого аналізу. За цільовим призначенням протифільтраційні заходи здійснюються для відвернення збитків від шкідливої дії фільтрації за усіма видами їх прояву: втрата товарної води з каналів і водойм; руйнування земляних дамб; підто-

плення сільгоспугідь і населених пунктів; засолення і заболочення земель; руйнування укосів та облицювань зрошувальних каналів ґрунтовими водами, що піднялись унаслідок фільтрації; руйнування заглиблених гідротехнічних споруд та ін.

Збитки від фільтрації, як і збитки від інших видів шкідливої дії вод, наприклад паводків [7], визначають за формулою:

$$Z_I = Z_I^{екн} + Z_I^{екл} + Z_I^{сц}, \quad (5)$$

де Z_I – загальні річні збитки від фільтрації, що мали місце до здійснення протифільтраційного заходу, тис. грн./рік; $Z_I^{екн}$, $Z_I^{екл}$ і $Z_I^{сц}$ – річні економічні, екологічні і соціальні збитки, тис. грн./рік.

Збитки $Z_I^{екн}$, $Z_I^{екл}$ і $Z_I^{сц}$ розраховують диференційовано, використовуючи методики [7, 8].

Здійсненням певного протифільтраційного заходу збитки від фільтрації можуть бути повністю або частково відвернені. У разі повного відвернення протифільтраційним заходом збитків маємо співвідношення:

$$Z_I = BZ_I, \quad (6)$$

де BZ_I – загальні відвернені річні збитки, або сумарні річні економічні, екологічні і соціальні відвернені збитки, тис. грн./рік.

У разі неповного (часткового) відвернення збитків маємо співвідношення:

$$Z_I = BZ_I + HBZ_I, \quad (7)$$

де HBZ_I – частина загальних річних збитків, які через неповний захист від фільтрації на водогосподарському об'єкті не були відвернені, тис. грн./рік.

Економічні, екологічні і соціальні складові збитків Z_I , відвернених збитків BZ_I і невідвернених збитків HBZ_I , співвідносяться подібно співвідношенню (7):

$$Z_I^{екн} = (BZ_I^{екн} + HBZ_I^{екн}); \quad (8)$$

$$Z_I^{екл} = (BZ_I^{екл} + HBZ_I^{екл}); \quad (9)$$

$$Z_I^{сц} = (BZ_I^{сц} + HBZ_I^{сц}). \quad (10)$$

Індекс дохідності інвестицій $I_{нз}$, який прийнято за інтегрований показник ефективності заходів, згідно (1) визначають через суми позитивних $\sum \Pi_I$ і $\sum \Pi_T$ та суми негативних $\sum H_I$ і $\sum H_T$ ефектів після їх розрахунку за формулами:

$$\sum \Pi_I = C_e (Q_{\phi}^{max} - Q_{\phi}) + (BZ_I^{екн} + BZ_I^{екл} + BZ_I^{сц}); \quad (11)$$

$$\sum \Pi_T = \sum \Pi_I T; \quad (12)$$

$$\sum H_I = \left(\frac{K}{T} + b \right) + HBZ_I = \left(\frac{B_{нфм} + B_{ем} + 3n}{T} + b \right) + (HBZ_I^{екн} + HBZ_I^{екл} + HBZ_I^{сц}); \quad (13)$$

$$\sum H_T = (K + bT) + HBZ_I T = \left[(B_{нфм} + B_{ем} + 3n) + bT \right] + (HBZ_I^{екн} + HBZ_I^{екл} + HBZ_I^{сц}) T, \quad (14)$$

де C_e – ціна товарної води, грн./м³; Q_{ϕ}^{max} – фільтраційні втрати води протягом року до здійснення протифільтраційного заходу, тис. м³/рік; Q_{ϕ} – фільтраційні втрати води протягом року після здійснення заходу, тис. м³/рік; K – капіталовкладення в будівництво або реконструкцію протифільтраційних споруд, тис. грн.; $B_{нфм}$ – витрати на придбання матеріалів протифільтраційних споруд, тис. грн.; $B_{ем}$ – витрати на експлуатацію машин під час будівництва або реконструкції протифільтраційних споруд, тис. грн.; $3n$ – заробітна плата, тис. грн.; b – річні експлуатаційні витрати по обслуговуванню протифільтраційних споруд, тис. грн./рік.

За результатами розрахунку за формулами (1)-(4) і (11)-(14) економічні показники протифільтраційного заходу відображають стовпчиком гістограми (рис. 1), який будують у системі координат $\sum H_I O_I I$ за таким принципом. На осі $O_I \sum H_I$ відображають значення $\sum H_I$ і $\sum H_T$, розраховані за формулами (13) і (14). На осі $O_I I$ у довільному масштабі відображають точку $I=1$. У цьому ж масштабі на осі $O_I I$ відображають значення $I=I_{нз}$, розраховане за формулою (1). Через точку $I=1$ проводять вісь рентабельності $O_P P$, на якій відображають значення рентабельності $P=P_{нз}$, розраховане за формулою (4). За таких умов на стовпчику гістограми (рис. 1) точки $I_{нз}$

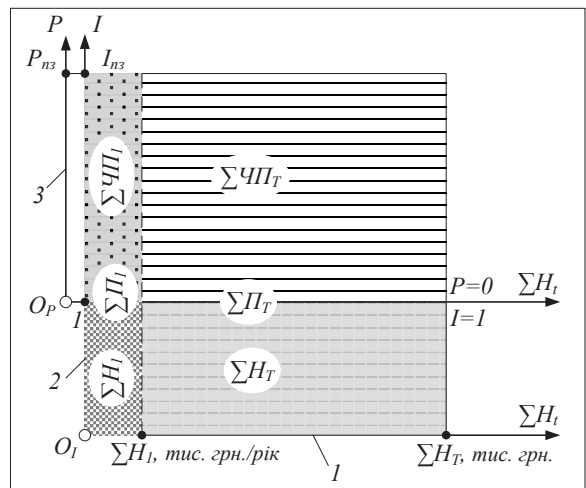


Рис. 1. Графічне відображення економічних показників ефективності протифільтраційного заходу на стадії його диференційованого аналізу:

- 1 – вісь суми негативних складових заходів;
- 2 – вісь індексу дохідності інвестицій;
- 3 – вісь рентабельності

і P_{nz} співпадають, а їх значення різняться на одиницю.

Стовпчик гістограми на рис. 1 містить повну інформацію щодо економічних показників протифільтраційного заходу. Суму негативних складових $\sum H_I$ і $\sum H_T$, а також індекс дохідності інвестицій I_{nz} і рентабельність P_{nz} протифільтраційного заходу відображено точками та лінійними відрізками на осях системи координат $\sum H_I O_I I$. Крім того, негативні ефекти $\sum H_I$ і $\sum H_T$ відображено площею прямокутників, з основою $O_I \sum H_I$ і $O_I \sum H_T$ та висотою $I=1$. Позитивні ефекти $\sum P_I$ і $\sum P_T$ відображено площею прямокутників, з основою $O_I \sum H_I$ і $O_I \sum H_T$ та висотою $I=I_{nz}$. Чисті позитивні ефекти $\sum ЧП_I$ і $\sum ЧП_T$ (річний і загальний прибуток) відображено площею прямокутників з основою $O_I \sum H_I$ і $O_I \sum H_T$ та висотою $P=P_{nz}$.

3. Обґрунтування процедури пошуку найбільш ефективного варіанта протифільтраційного заходу за величиною індексу дохідності інвестицій.

Зваживши на значну кількість показників, що позитивно і негативно впливають на ефективність протифільтраційних заходів, а також на альтернативність цих показників та їх параметрів, запишемо формулу індексу дохідності інвестицій (1) в диференційованому вигляді, розклавши згідно (11) суму позитивних ефектів $\sum P_I$ і згідно (13) суму негативних ефектів $\sum H_I$:

$$I_{nz} = \frac{\sum P_I}{\sum H_I} = \frac{C_\phi (Q_\phi^{\max} - Q_\phi) + (BZ_1^{екл} + BZ_1^{екл} + BZ_1^{екл})}{\left(\frac{B_{фл} + B_{ем} + 3n}{T} + b \right) + (HBZ_1^{екл} + HBZ_1^{екл} + HBZ_1^{екл})}. \quad (15)$$

Неважко встановити, що чисельник і знаменник у формулі (15) є залежними від величини фільтраційних втрат води Q_ϕ на певному об'єкті водогосподарської системи, де необхідно здійснити протифільтраційний захист. При цьому наведена в чисельнику формули (15) функціональна залежність суми позитивних ефектів $\sum P_I(Q_\phi)$ від фільтраційних втрат Q_ϕ , є характеристикою об'єкта протифільтраційного захисту, а наведена в знаменнику формули (15) функціональна залежність суми негативних ефектів від фільтраційних втрат води $\sum H_I(Q_\phi)$ є характеристикою варіанта здійснення протифільтраційного заходу. Зваживши на це, доцільно спочатку встановити експериментальні (розрахункові) значення $[(Q_\phi)_j, (\sum P_I)_j]$ залежності $\sum P_I(Q_\phi)$, а потім їх використовувати

під час проведення аналізу та обґрунтування ефективності кожного альтернативного варіанта протифільтраційного заходу на певному водогосподарському об'єкті.

Результати розрахунку j -х позитивних $(\sum P_I)_j$ і негативних $(\sum H_I)_j$ ефектів відображають графічно, використовуючи наведену на рис. 2 комбіновану систему координат, що містить вісь 1 фільтраційних втрат OQ_ϕ , вісь 2 позитивних ефектів $O\sum P_I$, вісь 3 негативних ефектів $O\sum H_I$ і вісь 4 індексу дохідності інвестицій O_I .

Найбільш складним етапом процедури пошуку ефективного варіанта протифільтраційного заходу є знаходження розрахункових точок $[(Q_\phi)_j, (\sum P_I)_j]$ (поз. 11-16 на рис. 2), за якими можна побудувати графік 17 функції $\sum P_I(Q_\phi)$. Для цього на осі фільтраційних втрат OQ_ϕ на інтервалі $0 < Q_\phi < Q_\phi^{\max}$ довільно обирають точки $(Q_\phi)_j$ (поз. 5-10 на рис. 2), а потім розраховують суму позитивних ефектів $(\sum P_I)_j$, що відповідають значенням фільтраційних втрат $(Q_\phi)_j$.

Для цього спочатку, залежно від характеристики водогосподарського об'єкта і прилеглої території, виконують гідрогеологічні, гідравлічні, агроекологічні та інші дослідження, за результатами яких визначають фізичні показники збитків, залежних від фільтраційних втрат $(Q_\phi)_j$. А потім за методиками [7, 8] здійснюють грошову оцінку збитків та визначають суму позитивних ефектів $(\sum P_I)_j$.

Серед багатьох альтернативних варіантів здійснення протифільтраційного заходу найбільш ефективний варіант визначають за такою процедурою. Враховують таку ієрархічну підпорядкованість складових проектного рішення протифільтраційного заходу на водогосподарській системі: конструктивне рішення протифільтраційної споруди \rightarrow технологічне рішення будівництва споруди \rightarrow засоби механізації будівництва споруди. Оскільки конструктивне рішення протифільтраційної споруди займає вищий ієрархічний рівень, пошук ефективного проектного рішення протифільтраційного заходу починають з аналізу альтернативних конструктивних рішень протифільтраційної споруди.

Технологічні рішення і засоби механізації обирають за критерієм найменших капітальних та експлуатаційних витрат на здійснення протифільтраційного заходу. Для кожного альтернативного варіанта конструктивного рішення протифільтраційної споруди послідовно визначають параметри споруди, за яких відбуваються фільтраційні втрати $(Q_\phi)_j$, що відповідають точкам 5-10 (рис. 2).

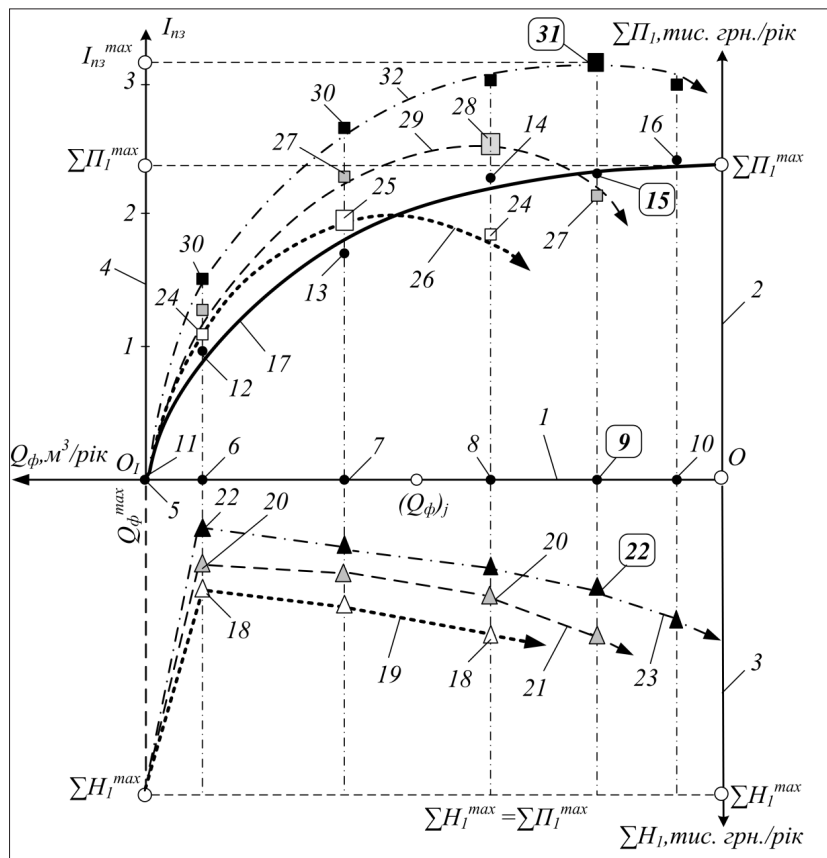


Рис. 2. Графічна інтерпретація процедури пошуку найбільш конкурентоспроможного варіанта протифільтраційного заходу на водогосподарській системі:

1 – вісь фільтраційних втрат; 2 – вісь суми позитивних ефектів заходу; 3 – вісь суми негативних ефектів заходу; 4 – вісь індексу дохідності інвестицій; 5, 6, 7, 8, 9, 10 – довільно обрані значення фільтраційних втрат на водному об'єкті; 11, 12, 13, 14, 15, 16 – значення суми позитивних ефектів ($\Sigma \Pi_i$), розраховані за формулою (11); 17 – графік функції $\Sigma \Pi_i(Q_\phi)$; 18 – значення суми негативних ефектів ΣH_1 за першим конструктивним варіантом протифільтраційної споруди, розраховані за формулою (13); 19 – графік функції $\Sigma H_1(Q_\phi)$ за першим варіантом споруди; 20 – значення суми негативних ефектів ΣH_1 за другим варіантом споруди, розраховані за формулою (13); 21 – графік функції $\Sigma H_1(Q_\phi)$ за другим варіантом споруди; 22 – значення суми негативних ефектів ΣH_1 за третім варіантом споруди, розраховані за формулою (13); 23 – графік функції $\Sigma H_1(Q_\phi)$ за третім варіантом споруди; 24, 25 – значення індексу дохідності інвестицій I_{nz} за першим варіантом споруди, розраховані за формулою (16); 26 – графік функції $I(Q_\phi)$ за першим варіантом споруди; 27, 28 – значення індексу дохідності інвестицій I за другим варіантом споруди, розраховані за формулою (16); 29 – графік функції $I(Q_\phi)$ за другим варіантом споруди; 30, 31 – значення індексу дохідності інвестицій I за третім варіантом споруди, розраховані за формулою (16); 32 – графік функції $I(Q_\phi)$ за третім варіантом споруди

Відповідно до кожного значення $(Q_\phi)_j$ за формулою (13) розраховують суму негативних ефектів $(\Sigma H_1)_j$. На рис. 2, наприклад, наведено результати розрахунку суми негативних ефектів $(\Sigma H_1)_j$ для трьох варіантів протифільтраційної споруди. За першим варіантом по розрахункових точках 18 побудовано графік 19 функції $\Sigma H_1 = \Phi_{nz}(Q_\phi)$. Аналогічно за другим варіантом споруди по точках 20 побудовано графік 21, а за третім варіантом споруди по точках 22 побудовано графік 23.

Для кожного варіанта за розрахунковими точками суми позитивного $(\Sigma \Pi_i)_j$ і суми негативного $(\Sigma H_1)_j$ ефектів визначають індекс дохідності інвестицій:

$$I_{nz}(Q_\phi)_j = (\Sigma \Pi_i)_j / (\Sigma H_1)_j. \quad (16)$$

Для першого варіанта протифільтраційної споруди на рис. 2 наведено розрахункові точки 24 і 25 індексу дохідності інвестицій $I_{nz}(Q_\phi)_j$, за якими побудовано графік 26 з найбільшим значенням $I_{nz}(Q_\phi)$ в точці 25. Для другого варі-

анта споруди наведено розрахункові точки 27 і 28 індексу дохідності інвестицій $I_{nz}(Q_\phi)$, за якими побудовано графік 29 з найбільшим значенням $I_{nz}(Q_\phi)$ в точці 28. Для третього варіанта споруди наведено розрахункові точки 30 і 31 індексу дохідності інвестицій $I_{nz}(Q_\phi)$, за якими побудовано графік 32 з найбільшим значенням $I_{nz}(Q_\phi)$ в точці 31.

За наведеною та графічно інтерпретованою на рис. 2 процедурою пошуку проектного рішення протифільтраційного заходу найбільш ефективним визначено рішення, в основу якого покладено, наприклад, третій конструктивний варіант протифільтраційної споруди. Фільтраційні втрати Q_ϕ за цим варіантом на рис. 2 відображено точкою 9, суму позитивних ефектів $\sum P_i$ точкою 15, суму негативних ефектів точкою 22, індекс дохідності інвестицій I_{nz} точкою 31.

За наведеною та графічно інтерпретованою на рис. 2 процедурою пошуку проектного рішення протифільтраційного заходу найбільш ефективним визначено рішення, в основу якого покладено, наприклад, третій конструктивний варіант протифільтраційної споруди. Фільтраційні втрати Q_ϕ за цим варіантом на рис. 2 відображено точкою 9, суму позитивних ефектів $\sum P_i$ точкою 15, суму негативних ефектів точкою 22, індекс дохідності інвестицій I_{nz} точкою 31.

4. Обґрунтування методичного підходу до розробки плану інтегрованого управління протифільтраційними заходами на водогосподарських системах.

Розробку плану інтегрованого управління протифільтраційними заходами на водогосподарських системах виконують у три стадії.

На першій стадії здійснюють передпроектні дослідження водогосподарських систем, обґрунтовують та визначають за вищенаведеною процедурою комплекс ефективних проектних рішень протифільтраційних заходів на одній чи декількох водогосподарських системах. Результатом першої стадії інтегрованого управління є гістограма, складена зі стовпчиків (рис. 1), кожен з яких відображає окремий попередньо обґрунтований протифільтраційний захід і займає відповідне місце в ранжованому за величиною індексу дохідності інвестицій ряду гістограми.

На другій стадії розроблюють проекти протифільтраційних заходів, за результатами яких корегують гістограму ефективних протифільтраційних заходів.

На третій стадії на основі розроблених проектів протифільтраційних заходів і гістограми з відображенням їхніх економічних показників розроблюють план інтегрованого управління протифільтраційними заходами на водогосподарських системах, який слугує основою прийняття управлінських рішень щодо пріоритетного вкладення інвестицій в окремі протифільтраційні заходи.

Висновки. Враховуючи актуальність впровадження інтегрованого управління водними ресурсами, науково обґрунтовано інтегрований підхід в управлінні протифільтраційними заходами на водогосподарських системах, за яким здійснюють диференційований аналіз кожного заходу на стадії прийняття проектних рішень та інтегрований аналіз комплексу заходів в межах однієї або декількох водогосподарських систем на стадії прийняття управлінських рішень.

З позицій системного аналізу обґрунтовано доцільність розрахунку у грошових одиницях як економічних, так і екологічних і соціальних збитків від шкідливої дії фільтрації на водогосподарських системах, а оцінювання ефективності протифільтраційних заходів запропоновано здійснювати за єдиним інтегрованим критерієм – індексом дохідності інвестицій.

Процедуру пошуку найбільш ефективних варіантів проектних рішень протифільтраційних заходів запропоновано здійснювати за наведеними методичними принципами шляхом диференційованого аналізу структурних конструктивно-технологічних складових водогосподарських систем, а також розрахунку позитивних і негативних ефектів та індексу дохідності інвестицій для кожного протифільтраційного заходу.

Запропоновано методичний підхід до розробки плану інтегрованого управління протифільтраційними заходами на водогосподарських системах, за яким передбачено три стадії управління заходами: наукове обґрунтування передпроектних рішень; проектування заходів; прийняття управлінських рішень щодо вкладення інвестицій у здійснення протифільтраційних заходів.

Бібліографія

1. *The first plastic lining is installed in New South Wales. – Power Farming and Better Farming Digest an Australia and New Zealand, 1958, №7. – P. 131.*
2. *Панасенко Г. А. Применение пластмассовых пленок в качестве противофильтрационных покрытий // Гидротехническое строительство. 1967. №1. С. 55-57.*

3. Кричевский И. Е. Опыт проектирования, строительства и эксплуатации полимерных пленочных экранов сооружений по защите окружающей среды в СССР и за рубежом (Обзорная информация). ЦБНТИ Минводхоза СССР. Обзорная информация, 1979, №9. 65 с.

4. Закон України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо впровадження інтегрованих підходів в управлінні водними ресурсами за басейновим принципом» від 4 жовтня 2016 року №1641-VIII.

5. Лотов А. В. Многокритериальные задачи принятия решений: Учебное пособие. Москва: МАКС Пресс, 2008. 197 с.

6. Водне господарство // Енциклопедія сучасної України. Київ: 2006. Т. 5. 1009 с.

7. Петроченко В. І., Сташук В. А. Еколого-економічна ефективність протифільтраційних заходів. – Київ: ДІУЕВР, 2009. 62 с.

8. Методика оцінки збитків від наслідків надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру. Затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 15 лютого 2002 р. № 175.

В. И. Петроченко, А. В. Петроченко

Интегрированный подход в управлении противофильтрационными мероприятиями на водохозяйственных системах

Разработаны научно-методические основы интегрированного подхода в управлении противофильтрационными мероприятиями на водохозяйственных системах. На стадии принятия проектных решений в основу интегрированного управления положены методические принципы синтеза и сравнительного анализа альтернативных вариантов осуществления каждого противофильтрационного мероприятия. На стадии принятия управленческих решений в основу интегрированного управления положены методические принципы приоритетного вложения инвестиций в осуществление противофильтрационных мероприятий в рамках одной или нескольких водохозяйственных систем.

V. I. Petrochenko, O. V. Petrochenko

Integrated approach to the control of anti-filtration measures on water supply systems

The scientific-methodical bases of the integrated approach to the control of anti-filtration measures in water management systems have been developed. At the stage of design decision making, integrated guidance is based on the methodological principles of synthesis and comparative analysis of alternative options for each anti-filtering measure. At the stage of making managerial decisions based on the integrated management, the methodical principles of priority investment investing in the implementation of anti-filtering measures within the framework of one or several water management systems are laid.

УДК 626.84;631.674

СХЕМИ ГІБРИДНИХ ПРИВОДІВ ВІЗКІВ ДОЩУВАЛЬНИХ МАШИН ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

О.П. МУЗИКА, канд. тех. наук

Г.Ф. МАРТИНЮК,

Г.Я. БОЙКО,

А.В. АНТОНЮК, канд.тех.наук

Інститут водних проблем і меліорації

С.Х. МЕДВІДЬ, канд.тех.наук

Національний університет водного господарства та природокористування

Обґрунтовано вихідні дані щодо розроблення схем гібридних приводів дощувальних машин на діючих зрошувальних системах із використанням альтернативних джерел енергії. Наведено схеми застосування повнопроточної гідротурбіни як джерела енергії для приводів опорних візків багатоопорних дощувальних машин.

Ключові слова: дощувальна машина, опорні візки, гідротурбіна, гібридний привід, генератор, гідромотор

Постановка проблеми. Аналіз роботи сучасних багатоопорних дощувальних машин показав, що для зрошення та пересування дощувальної техніки у процесі поливання застосовують різні типи привода і види енергоджерел, зокрема дизельне паливо і електроенергію [1, 2, 3, 4, 5].

У межах зрошувальних систем, на яких розміщена електрифікована насосна станція або лінії електропередач, пересування дощувальної машини забезпечується за рахунок електроенергії, що подається до зрошувальних машин підземним електричним кабелем. Така схема подавання електроенергії вимагає значних додаткових капітальних витрат на прокладання силового кабелю.

Більшість дощувальних машин пересувається у процесі зрошення за допомогою електромоторів самохідних візків, живлення яких забезпечується електрогенераторами невеликої потужності (до 20 кВт), які приводяться в дію дизельним двигуном, а вода до машини подається від стаціонарної електрифікованої насосної станції.

Існує варіант пересування дощувальних машин за допомогою встановлених на візках гідромоторів, які приводяться в дію гідравлічною рідиною, що подається до них гідравлічним насосом від привода дизельного двигуна.

Відомо, що для роботи однієї дощувальної машини з дизельним двигуном протягом поливного сезону витрачається у середньому три тонни дизельного палива, вартість якого значна і щорічно зростає, що призводить до зменшення ефективності зрошення, особливо на системах із наявною напірною мережею.

Оскільки електрифіковані насосні станції зрошувальних систем проектувалися на тиск 0,6...0,7 МПа в місці підключення дощувальної машини, а дощувальні машини сьогодні працюють під тиском 0,3...0,4 МПа, то є можливість використати так званий надлишковий тиск 0,2...0,3 МПа для отримання додаткової енергії в місці підключення дощувальної машини без перепроектування та прокладання додаткових трубопроводів чи силових ліній електропередачі. Цю додаткову енергію актуально направити на пересування дощувальних машин.

Мета досліджень – розроблення схем гібридних приводів із застосуванням альтернативних джерел енергії для зменшення витрат палива на зрошення дощувальними машинами кругової, фронтальної та фронтально-кругової дії.

Методика проведення досліджень. При виконанні наукових досліджень було використано методи математичного і фізичного моделювання, зокрема методи планування експерименту, методи гідравлічних розрахунків. У польових умовах на існуючих зрошувальних системах було визначено енергетичні, експлуатаційні характеристики модифікацій дощувальних машин зарубіжного і вітчизняного виробництва, які використовують на зрошувальних системах України.

Для спрощення і забезпечення можливості проведення досліджень в лабораторних умовах використовували моделі гідротурбіни і генератора, які відповідають умовам геометричної та кінематичної подібності.

На лабораторному стенді проводили випробування гідротурбіни, з'єднаної в одному

випадку з гідравлічним насосом, а в іншому – з електрогенератором, для визначення крутного моменту за різних тисків та потужностей.

Аналіз попередніх досліджень. Попередніми дослідженнями в Інституті водних проблем і меліорації НААН встановлено можливість застосування повнопроточної гідротурбіни, як джерела енергії, для живлення приводів опорних візків багатоопорної дощувальної електрифікованої машини кругової дії [6, 7]. Використання повнопроточної гідротурбіни, що живиться енергією потоку зрошувальної води, дає можливість обходитись без дизель-генератора, а відповідно без витрат палива на його роботу. Разом з цим, дощувальні машини, живлення яких забезпечується лише енергією потоку зрошувальної води (з трубопроводу зрошувальної мережі), не можуть пересуватися без виконання процесу поливу. Це є недоліком, що унеможливує реалізацію технологічних регламентів поливу такими типами дощувальних машин. Наприклад, окремі технологічні схеми роботи іподромних дощувальних машин, а саме фронтально-кругової дії, обов'язково передбачають пересування без виконання процесу поливу. Тому, для забезпечення оптимального режиму пересування дощувальних машин під час поливу або без нього нами пропонується використання гібридного привода, який переважну частину робочого часу дощувальної машини (при проведенні поливів) використовуватиме енергію потоку зрошувальної води, а для пересування дощувальної машини без проведення поливу буде використовуватися дизель-генератор або дизель-гідронасос в залежності від конструкції приводних візків. Використання гібридного привода візків дощувальних машин потребує аналітичного обґрунтування.

Результати досліджень. Одним з основних критеріїв обґрунтування гібридного привода є потужність на валу гідротурбіни для пересування дощувальної машини. Для визначення

потужності на валу гідротурбіни нами використана залежність, яка враховує тиск і витрату води дощувальної машини в місці підключення останньої до зрошувальної мережі [10]:

$$N_T = 9,81QH\eta_T, \text{ кВт} \quad (1)$$

де Q – витрата води дощувальної машини, м³/с;

H – перепад тиску в місці підключення гідротурбіни з врахуванням гідравлічного опору гідротурбіни, м;

η_T – коефіцієнт корисної дії гідротурбіни і механічної передачі, $\eta_T = 0,7 - 0,75$.

Загальну потужність $N_{зп}$, необхідну для пересування дощувальної машини, визначали за формулою [10]:

$$N_{зп} = \frac{F_T V}{102 \cdot 9,81}, \text{ кВт}, \quad (2)$$

де V – швидкість пересування дощувальної машини, м/с;

F_T – загальна сила тяги опорних візків.

Результати розрахунків потужності, необхідної для пересування дощувальних машин кругової дії різних модифікацій, наведено в таблиці 1. Розрахунки проводили за умов, що максимальний похил поля $i = 0,02$, а швидкість руху, яка відповідає поливній нормі $m = 100 \text{ м}^3/\text{га}$, становить $2,0 \text{ м/хв}$.

Використовуючи розрахунки втрати тиску на турбіні Δh_T залежно від потужності на валу N і витрати води Q визначено діапазон зміни потужностей, які можливо отримати на валу гідротурбіни, і потужностей, необхідних для пересування дощувальних машин різних модифікацій (рис. 1).

Як видно з рис.1, енергія зрошувальної води усіх модифікацій дощувальних машин з витратами від 50 до 100 л/с є достатньою для отримання потужності для пересування дощувальної машини при встановленні гідротурбінного привода.

Таким чином, використання надлишкової енергії зрошувальної води в трубопроводі на

1. Загальна потужність електропривода дощувальних машин за поливної норми 100 м³/га

Довжина $L, \text{ м}$	Зрошувана площа $S, \text{ га}$	Витрата води $Q, \text{ л/с}$	Робочий тиск $P, \text{ МПа}$	Маса $m, \text{ кг}$	Потужність $N, \text{ кВт}$	Витрати палива, Q_1 л/год.
503,0	82,1	88	0,43	34100	2,63	1,5
443,2	64	77	0,35	30000	2,06	1,5
383,4	48,1	67	0,29	25900	1,89	1,5
323,0	34,5	57	0,24	21900	1,74	1,0
263,5	23,2	46	0,21	17900	1,46	1,0
203,6	14,1	36	0,19	13800	1,20	1,0

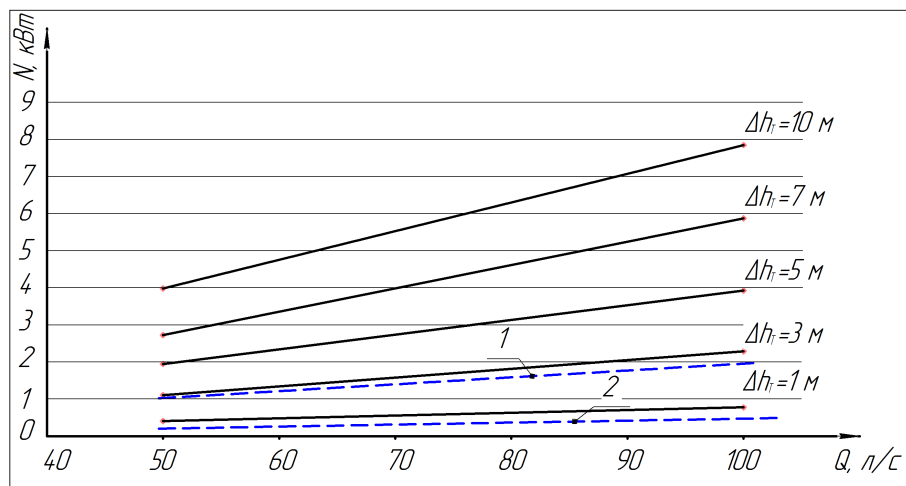


Рис. 1. Діапазон зміни потужностей на валу гідротурбіни і потужностей для пересування дощувальної машини

$1 - t = 100 \text{ м}^3/\text{га}; 2 - t = 600 \text{ м}^3/\text{га};$

Q – витрата води дощувальної машини л/с;

Δh_t – втрата напору на гідротурбіні, м.

вході дощувальної машини з гідротурбінним приводом, як джерела живлення електропривода або гідропривода для пересування опорних візків, потребує підвищення тиску в зрошувальній мережі до 4 м, а з врахуванням можливих втрат тиску на з'єднаннях і забезпечення запасу енергії води – до 10 м. При цьому гідротурбінний привод при витраті води від 50 до 100 л/с може забезпечити потужність у межах від 4,0 до 8,0 кВт.

За результатами проведених розрахунків нами отримано такі вихідні дані щодо розроблення схем гібридних приводів дощувальних машин на діючих зрошувальних системах з використанням альтернативних джерел енергії:

- витрата дощувальної машини, не менше 50 л/с;

- мінімальний тиск у місці приєднання дощувальної машини повинен бути більшим на 0,1 МПа від робочого тиску дощувальної машини і становити 0,48 МПа;

- необхідна потужність привода для пересування дощувальних машин – до 10 кВт.

Дотримання вихідних даних та обладнання дощувальних машин (довжиною від 200 до 500 м) гібридним приводом, який включає гідротурбіну із електрогенератором або гідронасосом, забезпечить дощувальній машині необхідну потужність (до 10 кВт) при пересуванні її під час проведення поливу.

Проведені розрахунки дали змогу запропонувати різні схеми гібридних приводів візків, які можуть бути застосовані на сучасних багатопорних дощувальних машинах.

Основою для розроблення гібридних схем служить схема гідротурбінного привода з використанням енергії зрошувальної води (рис. 2). Гідротурбінний привод може бути використаний на стаціонарних електрифікованих дощувальних машинах, які знаходяться на значних відстанях від насосних станцій, оскільки використання електроенергії від насосної станції є неефективним, адже вимагає додаткових капітальних витрат на прокладання силового кабелю.

Принцип роботи гідротурбінного привода такий. Вода із гідранта 1 зрошувальної системи під тиском по трубопроводу 2 через регулятор тиску 3 і гідротурбіну 4 подається до трубопро-

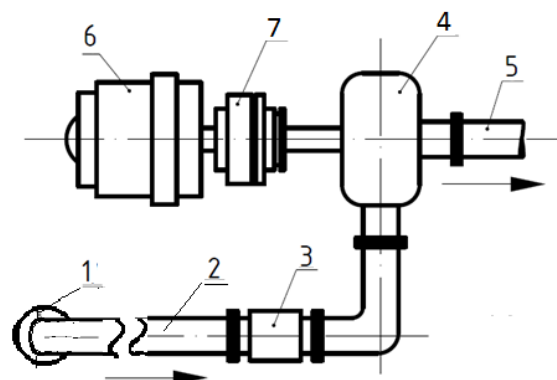


Рис. 2. Схема привода візків електрифікованих дощувальних машин кругової дії:

1 -гідрант, 2 -шланг, 3 -регулятор тиску, 4 -гідротурбіна, 5 -трубопровід дощувальної машини, 6 -генератор, 7 -кулачкова муфта

воду дощувальної машини 5 для поливу, при цьому гідротурбіна 3 обертає генератор 6, який виробляє електроенергію для живлення електромоторів привода візків, що забезпечують рух дощувальної машини при поливі.

Для електрифікованих дощувальних машин, які потребують пересування без поливу, нами розроблена схема гібридного привода візків, представлена на рисунку 3.

Принцип роботи гібридного привода візків електрифікованих дощувальних машин за даною схемою полягає у використанні потоку зрошувальної води для забезпечення руху машин при поливі, а енергії дизель-двигуна для пересування її без поливу. За рахунок потоку води, що подається від гідранта 1 по шлангу 2 через регулятор тиску 3, гідротурбіна 4 приводить у дію генератор 7, який

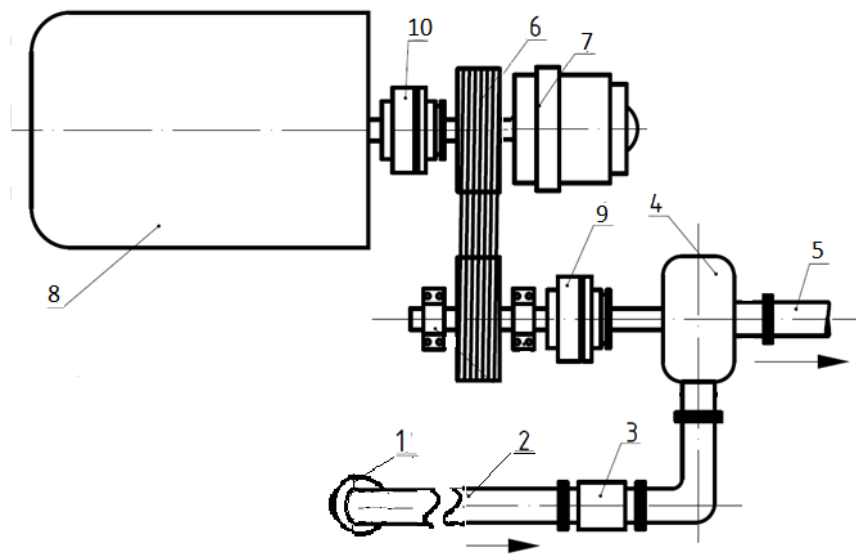


Рис. 3. Схема гібридного привода візків електрифікованих дощувальних машин:
1-гідрант, 2-шланг, 3-регулятор тиску, 4-гідротурбіна, 5-трубопровід дощувальної машини, 6-клиноремінна передача, 7-генератор, 8-дизель, 9,10-кулачкова муфта

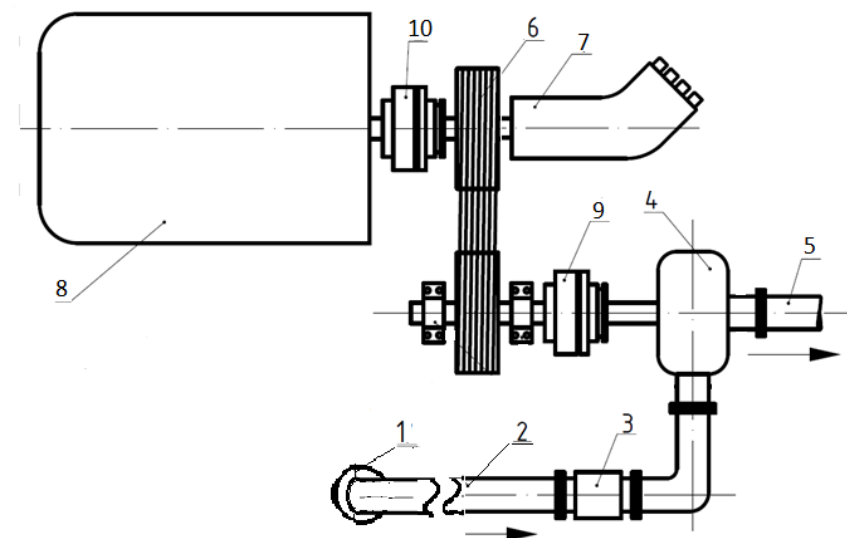


Рис. 4. Схема гібридного привода дощувальних машин з використанням гідронасоса:
1-гідрант, 2-шланг, 3-регулятор тиску, 4-гідротурбіна, 5-трубопровід дощувальної машини, 6-клиноремінна передача, 7-гідронасос, 8-дизель, 9,10-кулачкова муфта

виробляє електроенергію для живлення електромоторів приводних візків, що забезпечують рух дощувальних машин при поливі. При цьому дизель 8 від'єднаний кулачковою муфтою 10 від валу генератора 7. У разі пересування машини без поливу використовується дизель 8, що обертає генератор 7. При цьому за допомогою кулачкової муфти 9 гідротурбіна 4 від'єднана від привода генератора 7.

Для дощувальних машин, привод візків яких обладнаний гідромоторами, може бути використаний гібридний привод схема якого представлена на рисунку 4.

Принцип роботи гібридного привода візків гідроприводних дощувальних машин із використанням гідронасоса за даною схемою аналогічний принципу роботи гібридного привода візків електрифікованих дощувальних машин за схемою, наведеною на рисунку 3. Відмінність полягає лише в тому, що від гідротурбіни 4 під час поливу та дизеля 8 при пересуванні машини без поливу приводиться в рух не генератор 7 (рис. 3), а гідронасос 7 (рис. 4), який живить гідромотори, що встановлені на візках дощувальної машини і забезпечують її рух.

Використання гібридного привода візків дощувальних машин забезпечить економію паливно-мастильних матеріалів до 1,5-3,0 т

за сезон при поливі сільськогосподарських культур однією багатоопорною дощувальною машиною залежно від модифікації та зрошувальної норми [8, 9].

Висновки. 1. Встановлено, що на діючих закритих зрошувальних системах можливо отримати додаткову енергію на пересування дощувальної машини за рахунок гібридного привода.

2. Обґрунтовано потужність гідротурбіни для пересування дощувальної машини довжиною від 200 до 500 м, яка має складати до 10 кВт.

3. Отримано вихідні дані для розроблення схем гібридних приводів дощувальних машин на діючих закритих зрошувальних системах з використанням альтернативних джерел енергії: витрата дощувальної машини не менше 50 л/с; мінімальний тиск у місці приєднання дощувальної машини має складати 0,48МПа.

4. Розроблено схеми гібридних приводів візків дощувальних машин із застосуванням повнопроточної гідротурбіни, що дасть змогу за рахунок додаткової енергії тиску води в трубопровідній мережі існуючих зрошувальних систем підвищити ефективність роботи діючих зрошувальних систем, забезпечити економію енергетичних та матеріальних ресурсів в межах 20-30%.

Бібліографія

1. *Машини і обладнання для зрошування. Посібник / Колектив авторів. За ред. В.І. Кравчука. Міністерство аграрної політики та продовольства України; УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. Дослідницьке. 2011. 112 с.*
2. *Гринь Ю.І., Музика О.П., Антонюк А.В. Енергоефективність використання сучасних широкозахватних дощувальних машин // Механізація та електрифікація сільського господарства. Глевах, 2011. Вип. 95. С. 427-434.*
3. *Гринь Ю.І., Музика О.П., Антонюк А.О. Техніко-економічні та агротехнічні параметри сучасних дощувальних машин // Механізація та електрифікація сільського господарства. Глевах, 2013. Вип. 97. Том 1. С. 248-257.*
4. *Гринь Ю.І., Вельбік А.Г., Антонюк А.В. Аналіз енергоефективності сучасних багатоопорних дощувальних машин // Меліорація і водне господарство. 2013. Вип. 100. Т.1. С. 198-211.*
5. *Гринь Ю.І., Вельбік А.Г., Антонюк А.В. Енергетична і економічна ефективність застосування гідротурбінного привода для дощувальних машин кругової дії // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. Харків: 2014. Вип. 151. С. 134-140.*
6. *Гринь Ю.І., Музика О.П., Антонюк А.В. Эффективность применения многоопорных дождевальных машин в Украине // Система технологий и машин для инновационного развития АПК России. Междунар. Науч.-техн. конф.: сб. научн. докл. Москва: 2013. С. 255-260.*
7. *Антонюк А.В. Дослідження гідротурбінного привода дощувальної машини кругової дії // Меліорація і водне господарство. 2014. Вип.101. С. 351-359.*
8. *Ромашенко М.И., Музика А.П., Войтович И.В., Мартинюк Г.Ф. Технико-технологическое обеспечение водохозяйственно-мелиоративного комплекса Украины // Инновационное развитие АПК России на базе интеллектуальных машинных технологий. Междунар. науч.-техн. конф. Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства.: сб. науч. докл. Москва: 2014. С. 232-235.*

9. Гринь Ю.І., Дем'янюк О.С. Дослідження техніко-економічних показників дощувальних машин фронтальної дії // Меліорація і водне господарство. 2003. Вип. 89. С. 194-200.

10. Гринь Ю.І., Кондрашова Н.В. Расчет конструктивных параметров дождевальных машин // Мелиорация и водное хозяйство. 1992. Вип. 77. С. 63-69.

А.П. Музыка, Г.Ф. Мартынюк, Г. Я. Бойко, А.В. Антониук, С.Х. Медвидь
Схемы гибридных приводов тележек дождевальных машин
с использованием альтернативных источников энергии

Обоснованы исходные данные по разработке схем гибридных приводов дождевальных машин на действующих оросительных системах с использованием альтернативных источников энергии. Приведены схемы применения полнопроточной гидротурбины как источника энергии для приводов опорных тележек многоопорных дождевальных машин.

A.P. Musica, G.F. Martynyuk, G.Y. Boyko, A.V. Antoniuk, S.H. Medvid
Schemes of hybrid drives of sprinkler trolleys when using alternative energy sources

The initial data on the circuit design of hybrid drive of sprinkling machines on the existing irrigation systems when using alternative energy sources are substantiated. The application schemes of a full-flow hydro turbine as an energy source for the drives of the support sledges of multi-support sprinkling machines are given.

УДК 666.96; 691.5; 961.333

НОВІ СКЛАДИ САМОУЩІЛЬНЮВАЛЬНИХ ПОЛІМЕРЦЕМЕНТНИХ ФІБРОБЕТОННИХ СУМІШЕЙ

О.В. КОВАЛЕНКО, канд. техн. наук,
О.Ю. ЮЗЮК

Інститут водних проблем і меліорації НААН

Розроблено нові склади самоущільнювальних полімерцементних фібробетонних сумішей для ремонту залізобетонних конструкцій гідротехнічних споруд. Отримано експериментально-статистичні моделі, які характеризують вплив модифікуючих добавок на технологічні властивості бетонних сумішей та на фізико-механічні властивості бетону. Оптимізовано рецептуру ремонтних самоущільнювальних полімерцементних фібробетонних сумішей за критеріями рухомості та міцності на стиск бетону.

Ключові слова: бетонні суміші, бетон, модифікуючі добавки, рецептура, фізико-механічні властивості, технологічні властивості, експериментально-статистичні моделі

Актуальність теми. Однією з актуальних проблем гідротехніки останнім часом є ремонт і реконструкція гідротехнічних споруд водогосподарсько-меліоративного комплексу, які в процесі довготривалої експлуатації зазнали значних руйнувань. Вирішення даної проблеми можливе при застосуванні ефективних технологій ремонтно-відновлювальних робіт з використанням матеріалів з високими технологічними та фізико-механічними властивостями. Одним із перспективних матеріалів для ремонту та відновлення залізобетонних гідротехнічних споруд є самоущільнювальні бетонні суміші (СУБС), які дозволяють ефективно проводити бетонування конструкцій складної конфігурації, насичених арматурою, та в зонах обмеженого доступу методом лиття без застосування вібраційного ущільнення.

СУБС отримують модифікацією традиційних бетонних сумішей органо-мінеральними добавками. Органо-мінеральні добавки (ОМД) – це комплексні модифікатори, які становлять собою комбінації органічних та мінеральних добавок. Органічна складова в таких добавках представлена суперпластифікатором (СП), мінеральна – кремнеземістим компонентом: мікрокремнеземом (МК), метакаоліном (МТК) чи золюю-виносу. При спільному застосуванні СП та МК чи МТК проявляється синергічний ефект, тобто сумарний ефект від їх сумісної дії, який набагато перевищує ефект від дії кожного компонента окремо. При цьому проявляється також суперпозиційний ефект, при якому відбувається накладення впливів кожного компонента окремо [1].

Застосування комплексних органо-мінеральних добавки дає можливість отримати, з одного боку, високу рухомість бетонної

суміші, а з іншого – високі фізико-механічні властивості бетону. Останнім часом ведуться численні дослідження, направлені на подальшу модифікацію самоущільнювальних бетонних сумішей різними сучасними хімічними та мінеральними добавками з метою створення бетону з високими показниками міцності, морозостійкості, зносостійкості та водонепроникності.

Аналіз попередніх досліджень. Цементні системи, модифіковані за допомогою МК та СП, відповідають теоретичним уявленням про бетони високої і надвисокої міцності, низької проникності, підвищеної корозійної стійкості та довговічності. Завдяки своїм властивостям комплексні органо-мінеральні модифікатори є одним із ефективних засобів успішної реалізації концепції бетонів з високими експлуатаційними властивостями [2,3].

З появою СП і високодисперсних кремнеземістимі матеріалів техногенного походження, перш за все МК, у технології бетону стався перелом. Значний прогрес пов'язаний саме зі спільним застосуванням СП і МК. Поєднання зазначених добавок-модифікаторів, а також поєднання з ними в невеликих кількостях інших органічних і мінеральних матеріалів дозволяє управляти реологічними властивостями бетонних сумішей і модифікувати структуру цементного каменю на мікрорівні так, щоб надати бетону властивості, які забезпечують високу експлуатаційну надійність конструкцій. Так з'явився термін: High Performance Concrete (HPC – високофункціональний бетон) [4], під яким виступає бетон, отриманий із пластичних сумішей, високої (55-80 МПа) і надвисокої (вище 80 МПа) міцності, низької проникності, підвищеної корозійної стійкості та довговічності. В основі різкої зміни властивостей бетонів

лежать складні колоїдно-хімічні та фізичні явища, що відбуваються в цементній системі, які піддаються впливу модифікаторів і відображаються на фазовому складі, пористості, міцності і довговічності цементного каменю. Фахівці відносять виробництво таких бетонів до «високих технологій».

Встановлено, що введення в бетонну суміш комплексної органо-мінеральної добавки, що складається з суперпластифікатора «Химком Ф-1», метакаоліну та гідрофобізуючої кремнійорганічної рідини «Софексил-40», дозволяє отримати дрібнозернистий бетон для будівництва річкових гідротехнічних споруд, з міцністю ($R_{cm28} = 57,5$ МПа), водонепроникністю (W20) і морозостійкістю F600 [5].

Відомий комплексний органо-мінеральний модифікатор МБ (Мастер Бетон) – органо-мінеральна композиція, що включає мікрокремнезем, суперпластифікатор і регулятор твердіння [1]. Дрібнозернистий бетон, який отримано із застосуванням указанного модифікатора, при витраті цементу 1330 кг/м^3 має міцність на стиск через 1 добу – 68,1 МПа, через 7 днів – 91,5 МПа, через 28 днів – 128,3 МПа

Теоретичні дослідження та практичний досвід, пов'язаний із застосуванням органо-мінеральних модифікаторів, призвели до створення нового високоміцного бетону на основі високорухомих СУБС. Такі суміші були використані при реалізації нових амбіціозних проєктів в області будівництва: протяжні підвісні мости в Японії та Китаї, комплекси крупних гідротехнічних та транспортних споруд в Голландії та ряду інших [3]. Часто ділянки бетонування знаходились на великих відстанях від місця виробництва бетону і навіть на значному віддаленні від берега, в морі. Крім того, ще однією умовою будівництва стало скорочення часу та трудозатрат на ущільнення бетонної суміші, а також прискорений набір міцності в ранні терміни [6].

Розроблено суперпластифіковані цементуючі системи для самоущільнювального бетону (СУБ) із швидким наростанням міцності за рахунок поєднання комплексних хімічних добавок пластифікуюче-прискорюючої дії, високодисперсних алюмосилікатних активних мінеральних добавок, двоводного сульфату кальцію та вапнякового мікронаповнювача [8]. Високоміцні СУБ (клас В60-В65) на основі суперпластифікованих цементуючих систем характеризуються швидким наростанням міцності в нормальних умовах тверднення ($f_{cm2}/f_{cm28}=0,63$), середньою густиною $2350\text{-}2430 \text{ кг/м}^3$, масовим водопоглинанням

$1,1\text{-}1,3\%$, підвищеною водонепроникністю (W20), морозостійкістю (F400), корозійною стійкістю ($KC_6=1,1$) та атмосферостійкістю.

Виконано оптимізацію складу дорожнього СУБ за величиною водоцементного відношення і вмістом тонкодисперсного мінерального наповнювача – меленого вапняку [8]. Основні властивості бетонної суміші та бетону оптимізованих складів : рухомість суміші за діаметром розпливу конуса $310\text{...}370$ мм, межа міцності при стиску бетону в проєктному віці не менше 55 МПа. Область оптимальних складів: В/Ц=0,449-0,425 при вмісті мінерального наповнювача $15\text{...}33\%$. В якості в'язучого матеріалу застосовували портландцемент ПЦ І-500 Н; дрібний заповнювач – кварцовий пісок, крупний заповнювач – щебінь гранітний фракції $5\text{...}20$ мм. Для регулювання властивостей бетонних сумішей і бетонів застосовували хімічні модифікатори: суперпластифікатор на основі модифікованого акрилового полімеру (Дунапон SR-3, Марей), добавку зниження усадки бетону на основі поліпропіленгліколієвого полімера (Маресіге SRA 25, Марей), а також мінеральні добавки (наповнювачі): мікрокремнезем (МК «Марепласт SF», мелений вапняк ($S_{\text{шт.}} = 385 \text{ м}^2/\text{кг}$), розширювальний компонент у вигляді порошкоподібної добавки на основі оксиду кальцію «Ехрaнcrete» (Марей).

Досліджено властивості фіброармованого СУБ на основі портландцементу марки ПЦ 600, який містить такі компоненти: заповнювач – пісок кварцовий з включеннями вапняку фракцій від 0 до 5 мм (частка фракцій не більше 0,63 мм становить 50-65%); органо-мінеральний модифікатор МБ 50К – порошкоподібний продукт насипною щільністю 850 кг/м^3 , що містить мікрокремнезем, золу-винесення, суперпластифікатор на основі полікарбоксилатів; сталева фібра хвильового профілю (тимчасовий опір розриву 1200 МПа, модуль пружності 200 ГПа) [9, 10]. Дозування фібри складало (180 кг/м^3). Було отримано бетони класу В100 та В130, міцність на осьовий розтяг бетону складала 9,7-10,1 МПа, міцність на розтяг при згині – 20,2-21,0 МПа.

Дослідження, які проводяться останнім часом, направлені на розробку поліфункціональних модифікаторів, що включають органо-мінеральний модифікатор та добавки, які підвищують тріщиностійкість та адгезійну міцність бетону. На наш погляд, перспективним у цьому напрямку є поєднання органо-мінерального модифікатора з полімерними дисперсіями (латексами) та поліпропіленовими армуючими волокнами (фіброю) [11].

Мета досліджень – розробити новий композиційний матеріал: самоущільнювальний полімерцементний фібробетон (СПФБ) для ремонту та відновлення залізобетонних конструкцій гідротехнічних споруд шляхом модифікації традиційної бетонної суміші органо-мінеральним модифікатором в комплексі з полімерним латексом та поліпропіленовою фіброю; оптимізувати рецептуру самоущільнювальної полімерцементної фібробетонної суміші (СПФБС), дослідити технологічні та фізико-механічні властивості матеріалу.

Методика досліджень. Досліджували вплив вмісту полікарбоксилатного суперпластифікатора (СП), полімерного латексу (Л) та поліпропіленової фібри (Ф) на рухомість СПФБС та на фізико-механічні властивості бетону на їх основі при постійних значеннях водоцементного відношення (В/Ц) та вмісту метакаоліну (МТК): міцність на стиск $f_{cm\ cube}$, міцність на згин f_{ctd} , адгезійну міцність f_{adg} , ударну міцність f_{imp} , водопоглинання W_m . У дослідженнях застосовували: портландцемент ПЦ І-500 виробництва ВАТ «Волиньцемент», щебінь гранітний фракції 5-10 Коростеньського кар'єру, пісок річковий Дніпровський з модулем крупності $M_{кр}=1,49$, метакаолін виробництва ТОВ «Мета-Д», полікарбоксилатний суперпластифікатор марки Adium 150, полімерний латекс марки Neolit P 4400, поліпропіленову фібру довжиною 14 мм компанії Isomat.

Бетонні суміші готували з використанням ручного електроміксеру в три етапи: спочатку перемішували сухі компоненти протягом 5 хв., потім готували рідку фазу шляхом перемішування води, суперпластифікатора і полімерного латексу, насамкінець суміш сухих компонентів перемішували з рідкою фазою протягом 5 хв. Витрата цементу для всіх зразків становила 450 кг/м^3 , піску – 940 кг/м^3 , щебеню – 940 кг/м^3 , метакаоліну 45 кг/м^3 . Бетонні зразки формували методом наливу сумішей у відповідні форми. Водоцементне відношення (В/Ц) для всіх сумішей складало 0,4.

Рухомість бетонних сумішей визначали за діаметром розпливу конуса згідно ДСТУ БВ.2.7-114:2002 Суміші бетонні. Методи випробувань; міцнісні показники бетону – згідно ДСТУ БВ.2.7-214: 2009 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності – за контрольними зразками; водопоглинання – згідно ДСТУ Б В.2.7-170:2008 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення середньої густини, вологості, водопоглинання, пористості і водонепроникності.

Бетонні зразки-балочки розміром $4\times 4\times 16\text{ см}$ і куби розміром $7,07\times 7,07\times 7,07\text{ см}$ витримували в нормально-вологих умовах протягом 28 діб. Дозування добавок розраховували по відношенню до маси цементу.

Оптимізацію рецептури СУБС проводили за критеріями рухомості бетонної суміші (діаметр розпливу конуса не менше 550 мм) та за міцністю на стиск бетону (не менше 45 МПа для конструкційного ремонту класу R_4). Дослідження проводили із застосуванням методу математичного планування експерименту із застосуванням плану B_3 . Умови планування експерименту наведено в табл.1.

1. Умови планування експерименту

Фактори рецептури	Рівні варіювання			Інтервал варіювання
	-1	0	+1	
X_1 , вміст СП, % від маси цементу	1,4	1,6	1,8	0,2
X_2 , вміст Л, % від маси цементу	2,5	5,0	7,5	2,5
X_3 , вміст Ф, % від маси цементу	0	0,3	0,6	0,3

Результати досліджень. Матриця планування експерименту та результати випробувань наведені в табл.2.

У результаті математичної обробки експериментальних даних отримані експериментально-статистичні (ЕС) моделі, які виражають вплив рецептури на рухомість бетонної суміші та на фізико-механічні властивості бетону:

$$PK = 610 + 59x_1 + 37x_2 - 192x_3 - 12x_1^2 - 12x_2^2 - 17x_3^2 + 10x_1x_2 - 8x_1x_3 + 15x_2x_3 \quad (1)$$

$$f_{cm\ cube} = 44,8 + 2,7x_1 - 5,8x_2 + 1,2x_3 + 1,5x_1^2 - 3,3x_2^2 - 0,5x_3^2 + 0,4x_1x_2 - 0,7x_1x_3 + 0,6x_2x_3 \quad (2)$$

$$f_{ctd} = 10,16 + 0,19x_1 + 0,55x_2 + 0,36x_3 - 0,15x_1^2 - 0,15x_2^2 - 0,60x_3^2 + 0,25x_2x_3 \quad (3)$$

$$f_{adg} = 3,44 + 0,21x_1 + 0,69x_2 + 0,10x_3 - 0,17x_1^2 - 0,17x_2^2 - 0,12x_3 - 0,04x_1x_2 + 0,06x_1x_3 - 0,06x_2x_3 \quad (4)$$

$$f_{imp} = 0,25 + 0,01x_1 + 0,04x_2 + 0,05x_3 - 0,01x_1^2 - 0,03x_2^2 - 0,02x_3^2 + 0,25x_2x_3 \quad (5)$$

$$W_m = 3,67 - 0,10x_1 - 0,61x_2 - 0,16x_3 + 0,09x_1^2 + 0,32x_2^2 + 0,31x_3^2 + 0,10x_1x_3 + 0,10x_2x_3 \quad (6)$$

Графічне зображення моделей в локальних точках СП = -1 (1,4%), 0 (1,6%), +1 (1,8%) показано на рис. 1-6.

2. Матриця планування експерименту та результати випробувань

№ дос.	Матриця плану в кодах			Матриця плану в натуральних величинах			Розплив конуса РК, мм	Міцність на стиск f_{cube} , МПа	Міцність на згин f_{cfd} , МПа	Адгезійна міцність f_{adg} , МПа	Ударна міцність, f_{imp} , Дж/см ²	Водопоглинання, W_m %
	X ₁	X ₂	X ₃	СП	Л	Ф						
1	1	1	1	1,8	7,5	0,6	490	39,2	10,6	3,9	0,30	3,65
2	-1	1	1	1,4	7,5	0,6	370	38,1	10,3	3,6	0,29	3,87
3	1	-1	1	1,8	2,5	0,6	360	52,0	8,9	2,8	0,21	4,89
4	-1	-1	1	1,4	2,5	0,6	290	46,5	8,6	2,1	0,21	4,61
5	1	1	-1	1,8	7,5	0	850	40,5	9,5	3,8	0,19	3,67
6	-1	1	-1	1,4	7,5	0	710	30,6	9,1	3,5	0,19	3,89
7	1	-1	-1	1,8	2,5	0	790	49,4	8,8	2,2	0,10	4,91
8	-1	-1	-1	1,4	2,5	0	680	47,3	8,4	2,0	0,10	5,42
9	1	0	0	1,8	5,0	0,3	680	48,7	10,3	3,6	0,28	3,76
10	-1	0	0	1,4	5,0	0,3	530	40,3	9,8	3,0	0,23	4,10
11	0	1	0	1,6	7,5	0,3	640	34,3	10,4	3,9	0,26	3,47
12	0	-1	0	1,6	2,5	0,3	570	45,1	9,7	2,7	0,21	4,86
13	0	0	1	1,6	5,0	0,6	400	44,6	10,1	3,4	0,28	3,80
14	0	0	-1	1,6	5,0	0	800	40,4	9,2	3,3	0,20	4,50
15	0	0	0	1,6	5,0	0,3	600	47,3	10,1	3,3	0,24	3,45

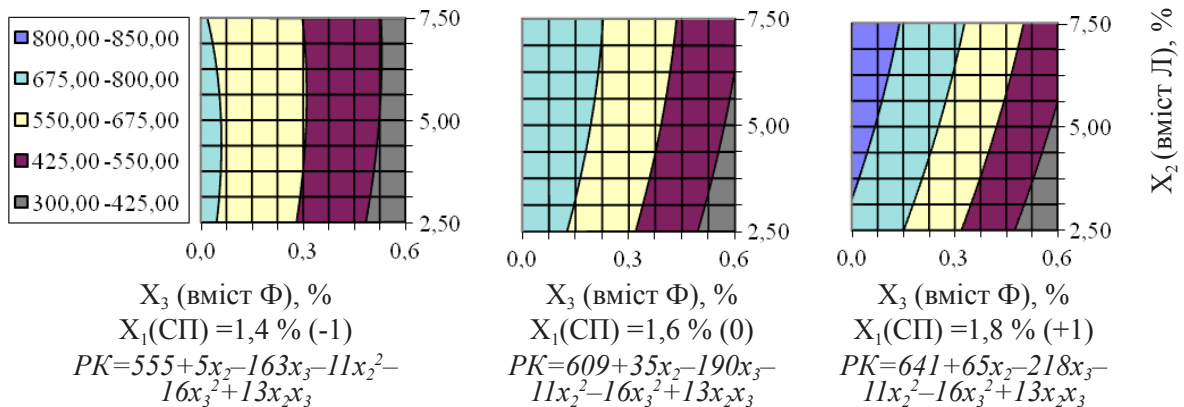


Рис. 1. Вплив вмісту полімерного латексу та поліпропіленової фібри на рухомість бетонних сумішей

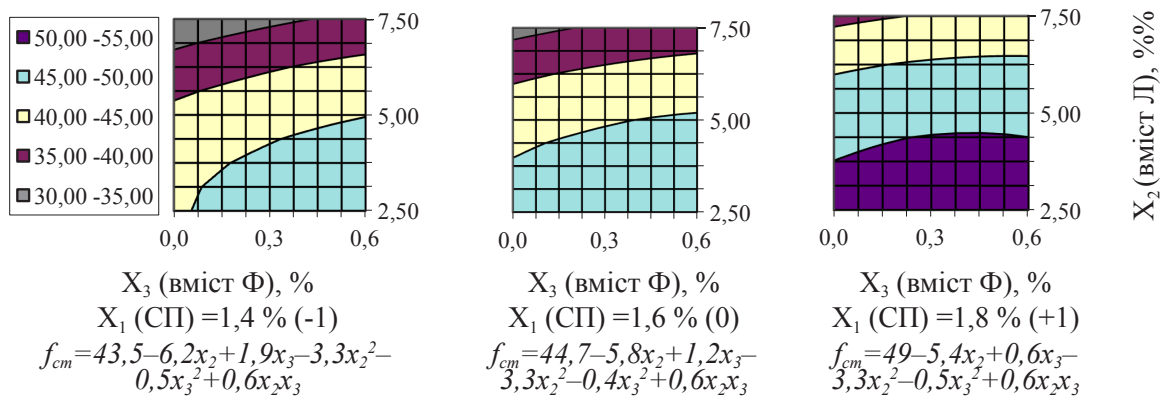


Рис. 2. Вплив вмісту полімерного латексу та поліпропіленової фібри на міцність на стиск бетону

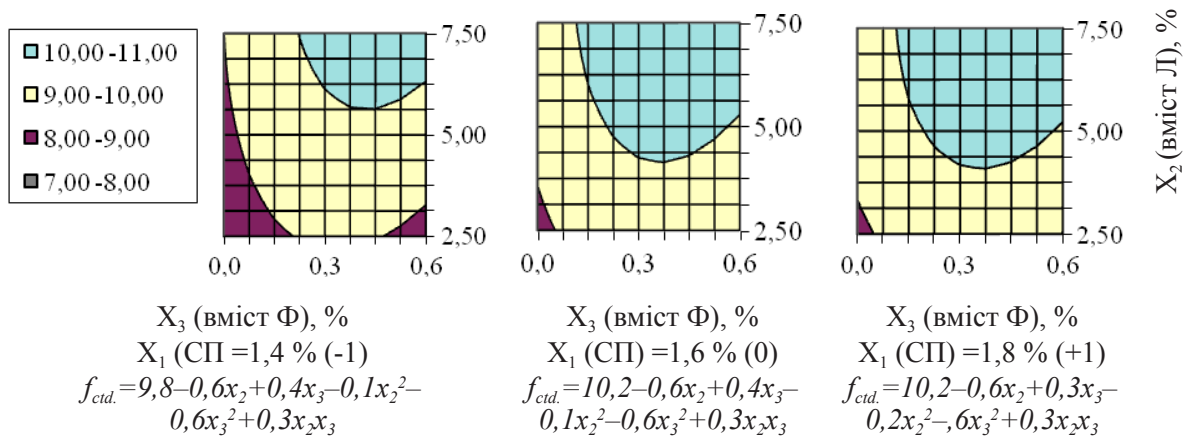


Рис. 3. Вплив вмісту полімерного латексу та поліпропіленової фібри на міцність на згин бетону

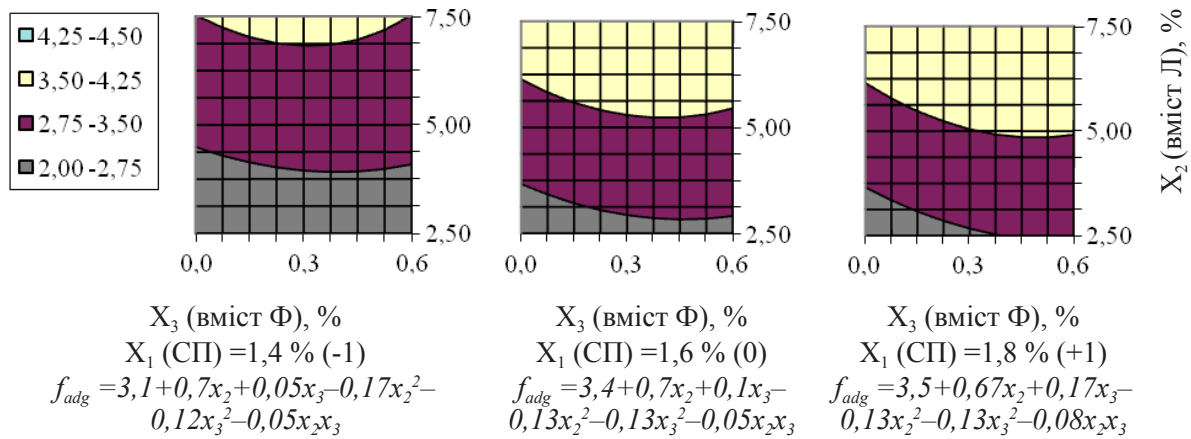


Рис.4. Вплив вмісту полімерного латексу та поліпропіленової фібри на адгезійну міцність бетону

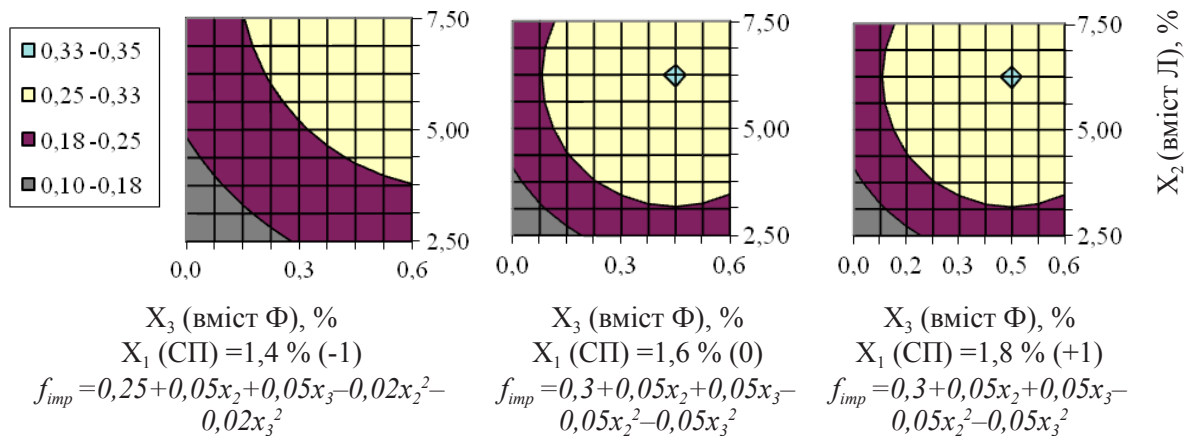


Рис. 5. Вплив вмісту полімерного латексу та поліпропіленової фібри на ударну міцність бетону

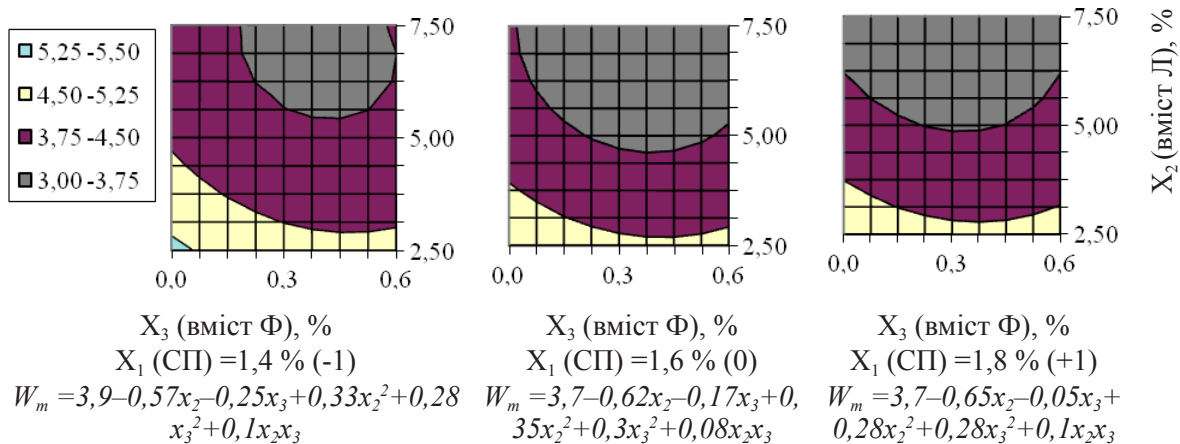


Рис. 6. Вплив вмісту полімерного латексу та поліпропіленової фібри на водопоглинання бетону

Аналіз моделей 1-6 та діаграм 1-6 показує, що на рухомість бетонних сумішей позитивно впливають суперпластифікатор та полімерний латекс (в моделі 1 коефіцієнт при $X_1 = +59$, коефіцієнт при $X_2 = +37$) при переважному впливі суперпластифікатора. Рухомість бетонних сумішей значно знижується при збільшенні вмісту поліпропіленової фібри в суміші (коефіцієнт при $X_3 = -192$). Міцність на стиск бетону дещо збільшується при збільшенні вмісту суперпластифікатора та поліпропіленової фібри в бетонній суміші (в моделі 2 коефіцієнт при $X_1 = +2,7$, при $X_3 = +1,2$).

Полімерний латекс негативно впливає на міцність на стиск бетону (в моделі 2 коефіцієнт при $X_2 = -5,8$). Суперпластифікатор, полімерний латекс та поліпропіленова фібра позитивно впливають на міцність на згин, адгезійну та ударну міцність бетону (в моделях 3-6 коефіцієнти при факторах X_1 , X_2 , X_3 позитивні) та знижують його водопоглинання (в моделях 3-6 коефіцієнти при факторах X_1 , X_2 , X_3 – від'ємні).

Задача оптимізації рецептури модифікованих бетонів вирішувалась у відповідності з прийнятими граничними значеннями функцій відгуку: рухомість по діаметру розпливу конуса повинна бути не менше 550 мм (згідно з Європейськими рекомендаціями з самоущільнювального бетону «The European Guidelines for Self-Compacting Concrete: Specification, Production and Use»), міцність на стиск – не менше 45 МПа, адгезійна міцність – не менше 2,0 МПа (згідно з вимогами DIN EN 1504 «Products and systems for the protection and repair of concrete structures – Definitions, requirements, quality control and evaluation of conformity» до ремонтних матеріалів на цементній основі класу R4, призначених для

конструкційного ремонту залізобетонних споруд).

Як видно з даних табл. 2 вся область рецептур бетонних сумішей відповідає вимозі по адгезійній міцності – $\geq 2,0$ МПа. Тому, оптимізіція рецептури СПФБС проведена шляхом суміщення діаграм, які виражають вплив рецептури на рухомість бетонних сумішей та її вплив на міцність на стиск бетону. Оптиміальні рецептури СПФБС знаходяться в заштрихованих зонах (рис. 7-9).

Як видно з рис. 8 при вмісті латексу в суміші 7,5 % від маси цементу умова $f_{cm\ cube} \geq 45$ МПа не виконується в усій області рецептур. З рис. 9 видно, що умова $R_K \geq 550$ мм не виконується в усій області рецептур при вмісті поліпропіленової фібри 0,6% від маси цементу. З рис. 7 видно, що області оптимальних рецептур СПФБС знаходяться в межах: вміст суперпластифікатора – 1,4...1,8%, вміст полімерного латексу – 2,5...5,0%, вміст поліпропіленової фібри – 0,1...0,4%. При цьому вміст метакаоліну в суміші становить 10% від маси цементу, а водоцементне відношення В/Ц=0,4.

Оптимальні склади (рецептура) СПФБС, призначені для ремонту та реконструкції гідротехнічних споруд водогосподарсько-меліоративного комплексу (кг/м³):

- портландцемент М500 – 450;
- щебінь гранітний фр. 5...10 мм – 940;
- пісок річковий ($M_{кр} = 1,49$) – 940;
- метакаолін – 45,0;
- вода – 180;
- полікарбосилатний суперпластифікатор – 6,3...8,1;
- полімерний латекс – 11,3...22,5;
- поліпропіленова фібра – 0,45...1,80.

Висновок. Розроблено нові склади самоущільнювальних полімерцементних фібробе-

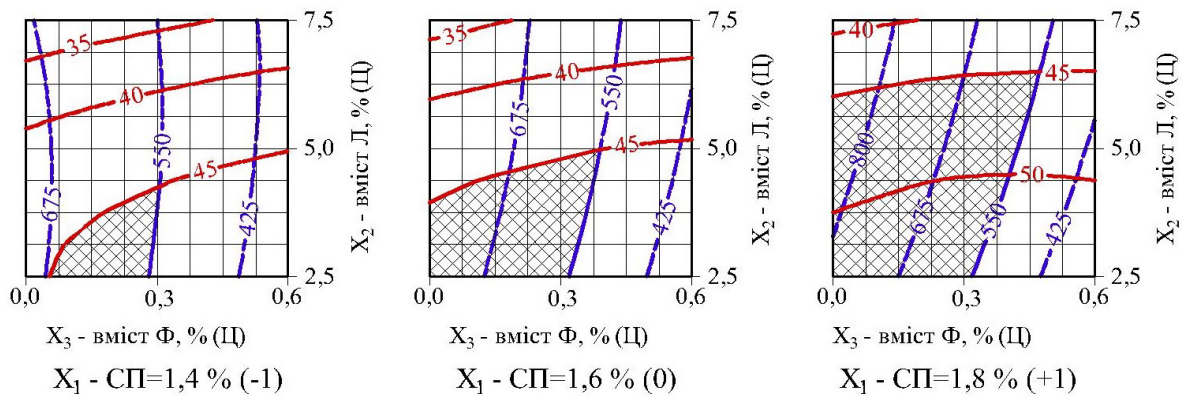


Рис. 7. Области оптимальних рецептур СПФБС в локальних точках СП = -1(1,4%), 0(1,6%), +1(1,8%)

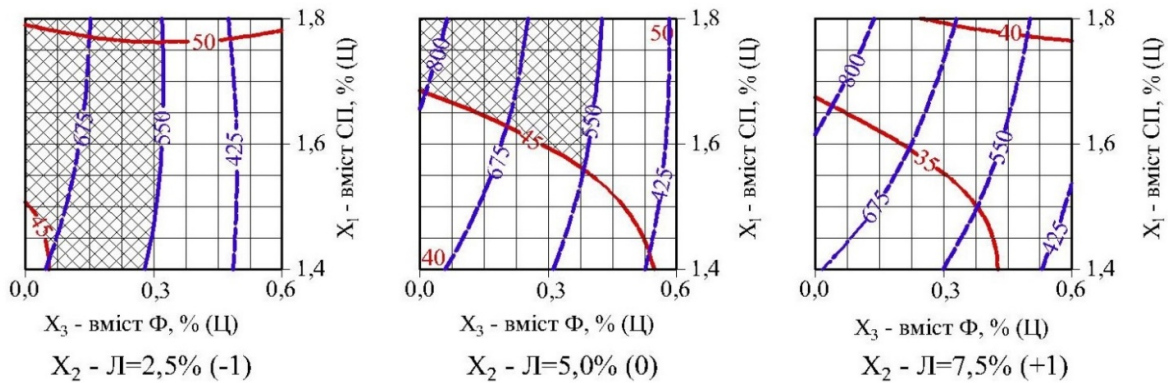


Рис. 8. Области оптимальних складів СПФБС в локальних точках Л = -1(2,5%), 0(5,0%), +1(7,5%)

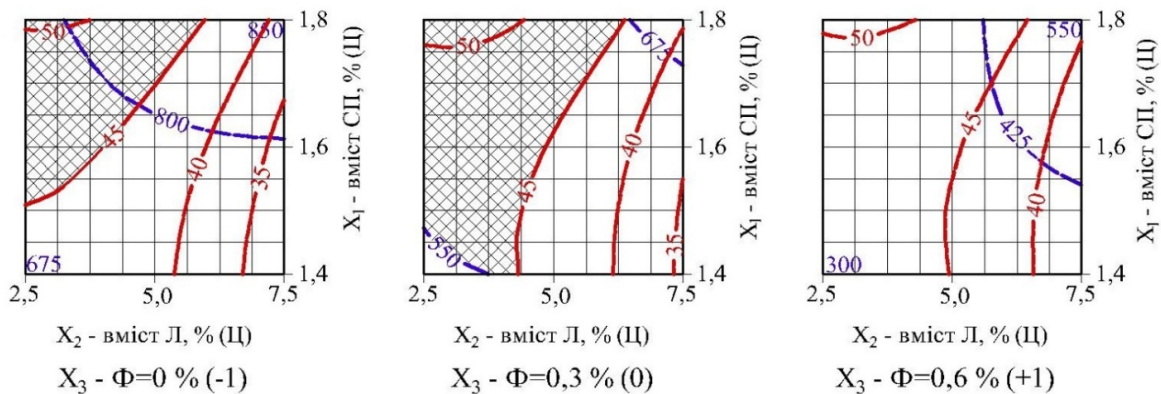


Рис. 9. Области оптимальних складів СПФБС в локальних точках Ф = -1(0%), 0(0,3%), +1(0,6%)

тонних сумішей для ремонту залізобетонних конструкцій гідротехнічних споруд. Отримано експериментально – статистичні моделі, які виражають вплив рецептури на технологічні властивості СПФБС та фізико-механічні властивості бетону. Оптимізовано рецептуру

СПФБС, як матеріалу для ремонту та відновлення залізобетонних конструкцій гідротехнічних споруд за критеріями рухомості суміші та за міцністю на стиск бетону. Область оптимальних рецептур знаходиться в межах (% від маси цементу): полікарбоксилатний супер-

пластифікатор – 1,4...1,8, полімерний латекс – 2,5...5,0, поліпропіленова фібра 0,45...1,80 при вмісті метакаоліну 10% від маси цементу, витраті цементу 450 кг/м³, витраті піску з $M_{кр} = 1,49 - 940$ кг/м³, витраті щебеню фр.5-10 – 940 кг/м³, В/Ц=0,4.

Бібліографія

1. Влияние органоминерального модификатора МБ-50С на структуру и деформативность цементного камня и высокопрочного бетона / Каприелов С.С. и др. // Бетон и железобетон. 2003. №3. С. 2-7.
2. Сучасні бетони на основі комплексних модифікаторів нової генерації / Саницький М.А. та ін. // Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка. 2011. Вип. 29. С. 98-102.
3. Фаликман В.Р. Новые эффективные высокофункциональные бетоны // Бетон и железобетон. Оборудование. Материалы. Технологи. 2011. №1. С. 48-54.
4. P.-C. Aitcin. High Performance Concrete // E&FN Sporn. 2004. P. 140.
5. Алексашин С.В., Булгаков Б.И., Попова М.Н. Повышение эксплуатационных свойств пластифицированных гидротехнических мелкозернистых бетонов. Подбор оптимального состава // Известия Южного федерального университета. 2014. С. 195-201.
6. Позняк О.Р. Конструкційні бетони нової генерації // Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка. 2011. Вип. 39. С. 58-63.
7. Кіракевич І.І. Структуроутворення модифікованих цементних систем // Вісник НУ „Львівська політехніка”. „Теорія і практика будівництва”. 2009. № 655. С. 132-139.
8. Оптимізація складу самоущільнювального дорожнього цементного бетону за критеріями рухливості суміші та міцності при стиску / Зайченко М.М. та ін. // Сучасне промислове та цивільне будівництво. 2015. №1. С. 35-43.
9. Мишина А.В., Чилин І.А., Андрианов А.А. Физико-технические свойства сверхвысокопрочного сталефибробетона // Вестник МГСУ. 2011. № 3. С.159-165.
10. Каприелов С.С., Чилин І.А. Сверхвысокопрочный самоуплотняющийся фибробетон для монолитных конструкций // Строительные материалы. 2007. №18. С. 10.
11. Самоущільнювальна фібробетонна суміш : пат. 121910 Україна. № и 201704850 ; заявл. 19.05.2017; Опубл. 26.12.2017, Бюл. № 24.

А.В. Коваленко, А.Ю. Юзюк

Новые составы самоуплотняющихся фибробетонных смесей

Разработаны новые составы самоуплотняющихся полимерцементных фибробетонных смесей для ремонта железобетонных конструкций гидротехнических сооружений. Получены экспериментально-статистические модели, которые характеризуют влияние модифицирующих добавок на технологические свойства бетонных смесей и на физико-механические свойства бетона. Оптимизирована рецептура ремонтных самоуплотняющихся полимерцементных фибробетонных смесей по критериям подвижности и прочности на сжатие бетона.

A.V. Kovalenko, A.Y. Yuzyuk

New compositions of self-compacting fiber-reinforced concrete mixtures

New compositions of self-sealing polymer-cement fiber-fiber mixtures for the repair of reinforced concrete structures of hydraulic structures have been developed. Experimental statistical models that characterize the effect of modifying additives on the technological properties of concrete mixtures and on the physical and mechanical properties of concrete are obtained. The recipe for repair self-compacting polymer-cement fiber-fiber mixtures has been optimized according to the criteria of mobility and compressive strength of concrete.

УДК 626.862:628.1

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ВЕРТИКАЛЬНИХ ДРЕНАЖІВ ІЗ СИФОННИМ ВОДОВІДБОРОМ ІНФІЛЬТРАЦІЙНИХ ВОД

П.Д. ХОРУЖИЙ, док. техн. наук,

В.Д. ЛЕВИЦЬКА

Інститут водних проблем і меліорації НААН

Проаналізовано ефективність роботи вертикальних ерліфтних дренажних систем Лівобережжя Каховського водосховища в межах масиву Кам'янський Під. Встановлено, що ерліфтні дренажні системи не ефективні через низький КПД ерліфтних установок, що обумовлено постійним зниженням дебіту свердловин унаслідок коагуляції їх фільтрів пластівцями гідроксиду заліза, що утворюється в результаті взаємодії повітря, яке нагнітається компресорними станціями до свердловин, та дренажною водою, яка містить колоїдний гідрокарбонат заліза. Запропоновано підвищити ефективність роботи протифільтраційних споруд шляхом переобладнання ерліфтної системи водовідбору з дренажних свердловин на сифонну систему. Наведено методику розрахунку вертикального дренажу із сифонною системою водовідведення безнапірних підземних вод на основі гідравлічних, гідрогеологічних і техніко-економічних розрахунків сумісної роботи всіх взаємодіючих споруд системи протифільтраційного захисту. На основі розрахунку взаємодіючих дренажних свердловин для визначення витрати води з кожної свердловини та зниження статичного рівня води розроблено алгоритм розрахунку вертикального дренажу з сифонною системою водовідбору. Алгоритм включає дев'ять взаємопов'язаних блоків та розрахунки згідно із формулами наведеної методики. Встановлено, що витрати води з дренажних свердловин при сифонному способі водовідбору залежать від глибини H , кількості взаємодіючих свердловин n , відстані між свердловинами l , питомого гідравлічного опору A , радіуса водозабірної свердловини r , висоти вакууму $H_{\text{вак.}}$, коефіцієнта фільтрації водоносного шару K_f , радіуса депресійної воронки R свердловини, взаємодії та дебіту свердловин і багатьох інших факторів, а оптимальні параметри сифонної системи забору води з дренажних свердловин визначаються розрахунками за запропонованою методикою шляхом ітерації.

Ключові слова: вертикальний дренаж, свердловина, сифонний водовід, водоприймальний збірний колодезь, радіус впливу зниження рівнів води, витрата води, гідравлічні опори, інфільтраційні води

Вступ. Одним із найбільш небезпечних проявів шкідливої дії вод є підтоплення, що завдає значної шкоди людям, навколишньому середовищу та економіці держави. У Загальнодержавній цільовій програмі розвитку водного господарства та екологічного оздоровлення басейну річки Дніпро на період до 2021 року, затвердженої Законом України від 24 травня 2012 року № 4836-VI, визначено першочергові заходи щодо ліквідації наслідків шкідливої дії вод, захисту населених пунктів, виробничих об'єктів та сільськогосподарських угідь [1].

Актуальність дослідження. Аналіз роботи захисного масиву Кам'янський Під. Місто Кам'янка-Дніпровська захищається від підтоплення і затоплення Кам'янською дамбою та влаштованою паралельно їй протифільтраційною завісою довжиною 9,8 км, яка складається з ряду свердловин (біля 200 шт.), пробурених через кожні 50 м.

Відкачування води зі свердловин здійснюється ерліфтною системою [2], роботу якої забезпечує Кам'янська компресорна станція, обладнана трьома діючими компресорами

продуктивністю 120 м³/хв. кожний. За розрахунками з кожної свердловини слід відкачувати 5-7 л/с води, яка надходить у колектор і в загальній кількості близько 1 м³/с подається у Білозерський лиман, звідки насосною станцією перекачується в Каховське водосховище.

Аналіз роботи протифільтраційних завіс з ерліфтною системою відкачування води з дренажних свердловин [3,4] показав нецільність її застосування в даному регіоні, оскільки підземні води мають високий (у межах 0,41-3,34 мг/дм³) вміст гідрокарбонату заліза Fe (HCO₃)₂, що при контакті з киснем повітря призводить до протікання хімічних реакцій з утворенням нерозчинного осаду з гідроксиду заліза Fe(OH)₃, який коагулює фільтри свердловин, перешкоджаючи надходженню води для її відкачування.

Все це зумовлює постійне зниження дебіту свердловин і призводить до необхідності буріння нових свердловин через кожні 5-8 років їх експлуатації, що вимагає значних коштів.

При цьому ерліфти мають дуже низький КПД, що призводить до перевитрат електроенергії на відкачування інфільтраційних вод.

Пропозиції щодо інтенсифікації роботи системи протифільтраційного захисту (СПФЗ). Оскільки існуючі ерліфтні СПФЗ є ненадійними, неефективними та неекономічними, вимагають великих капітальних витрат на буріння дренажних свердловин і значних перевитрат електроенергії на відкачування води, то, як показали дослідження, виконані одним з авторів [5], замість дренажних свердловин доцільно було б застосувати горизонтальний дренаж з відкачуванням води з водозбірного колодезя вискоєфективними насосами для мінімізації питомих витрат електроенергії на підняття води [6]. Проте в умовах експлуатації Каховського водосховища за надходження з нього інфільтраційних вод зробити це практично неможливо. Для покращення захисту від підтоплення м. Кам'янка-Дніпровська дренажними водами в 1990 р. інститутом "Укрдніпроводгосп" був виконаний робочий проект, що передбачав переобладнання дренажних свердловин СПФЗ заглибними насосами марки ЗЕЦВ 6-16-50. Проте, переобладнання цими насосами свердловин потребує значних капіталовкладень та витрат енергоносіїв. Крім того, глибинні насоси мають низьку експлуатаційну надійність. Тому на даному об'єкті забір води з дренажних свердловин Сташук В.А. [7] пропонує здійснювати за допомогою сифонного збірного водоводу (рис. 1), який прокладають нижче глибини промерзання ґрунтів із безперервним підйомом у напрямку водоприймального колодезя з похилом не менше 0,001.

При створенні вакууму у сифонному збірному водоводі за допомогою вакуум-насоса

під дією атмосферного тиску вода зі свердловини 1 рухається до водозбірного колодезя 2. Вакуум у сифоні біля кожної свердловини визначають як різницю відмітки верху трубки 6 у цій свердловині та відмітки динамічного рівня води в ній з урахуванням втрат напору у водопровідній трубці даної свердловини або колодезя.

Величина вакууму в сифонному водоводі збільшується від найвіддаленішої свердловини до збірного колодезя 2, в якому вакуум має перебувати у допустимих межах (не більше 7-8 м):

$$H_{\text{вак.доп.}} = H_z + h_m \leq 7-8 \text{ м}, \quad (1)$$

де H_z – висота розташування найвищої точки сифона 10 над динамічним рівнем води в збірному колодеязі 2; h_m – втрати напору в низхідній ділянці водоводу від точки 10 до колодезя.

Вакуум у будь-якій (k -тій) свердловині визначається за формулою:

$$H_{\text{вак.к}} = H_{\text{вак.доп.}} - \sum_1^k A_i l_i Q_i^2, \quad (2)$$

де A_i – питомий гідравлічний опір ділянки водоводу між свердловинами; l_i , Q_i – відповідно відстань між цими свердловинами і витрата води.

Відмітки динамічних рівнів води в свердловинах визначають за формулою:

$$Z_{\text{дин.к.}} = Z_{\text{кол.}} + \sum_1^k A_i l_i Q_i^2 = Z_{\text{ст.}} - S_k, \quad (3)$$

де $Z_{\text{кол.}}$ – відмітка динамічного рівня води у збірному колодеязі; $Z_{\text{ст.}}$ – відмітка статичного рівня ґрунтових вод (до відкачування

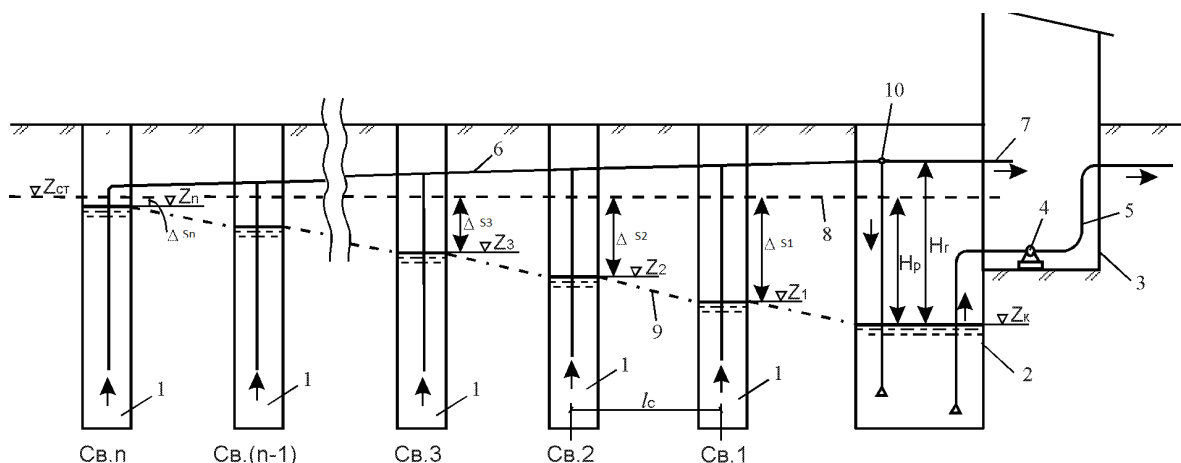


Рис. 1. Схема відведення води від групи з n свердловин сифонним збірним водоводом:

- 1 – водозабірні свердловини; 2 – водоприймальний збірний колодезь; 3 – насосна станція;
- 4 – горизонтальний відцентровий насос; 5 – напірний трубопровід; 6 – сифонний збірний водовід; 7 – труба до вакуум-насоса; 8 – лінія статичного рівня води у водоносному пласті;
- 9 – езометрична лінія в сифонному збірному водоводі; 10 – найвища точка сифонного водоводу

води); S_k – зниження статичного рівня води в k -тій свердловині внаслідок відкачування її з дренажних свердловин.

Недоліки методики розрахунку дренажних свердловин з сифонним збірним водоводом, описаній в [7].

- методика дійсна тільки для забору води дренажними свердловинами з напірних водоносних горизонтів. Насправді, потрібно відкачувати ґрунтову воду з безнапірних водоносних горизонтів.

- кожна свердловина працює з різною величиною вакууму в сифоні, що визначається формулою (2), а отже зі збільшенням відстані від водоприймального колодезя 2 (рис.1) витрата води з неї буде зменшуватись при однакових діаметрах і глибинах свердловин.

- відсутні рекомендації з визначення оптимальної кількості свердловин, відстаней між ними та глибини і діаметра кожної свердловини.

Пропозиції для оптимізації роботи вертикальних дренажів.

СПФЗ із сифонною системою водовідбору з дренажних свердловин пропонується виконувати за схемою, наведеною на рис.2, за якою вода з дренажних свердловин 1 (I, II, III, ... n-1, n) притікає по сифонних збірних водоводах 2 у спільний водоприймальний колодезь 3 з двох боків. На насосній станції 4 встановлюються

горизонтальні відцентрові насоси 5 з високим ККД, котрі перекачують воду з колодезя 3 до водоскидного колектора 7, який транспортує її за призначенням. Це дозволяє зменшити капітальні й експлуатаційні витрати в системі протифільтраційного захисту територій від підтоплення з боку Каховського водосховища.

При проектуванні вертикальних дренажів із сифонною системою водовідбору потрібно вирішувати питання, пов'язані з визначенням:

- оптимальної глибини H і діаметра d дренажних свердловин;

- оптимальної кількості водозабірних свердловин n_{opt} і відстані між ними l_c , м;

- розрахункових витрат води з кожної свердловини і зниження статичного рівня води в них з урахуванням їхньої гідрогеологічної взаємодії при відкачуванні води з усіх свердловин;

- оптимальних діаметрів труб на кожній ділянці сифонного збірного водоводу.

Відповідь на ці питання можна знайти на основі гідравлічних, гідрогеологічних і техніко-економічних розрахунків сумісної роботи всіх взаємодіючих споруд системи протифільтраційного захисту [8].

Розрахунок взаємодіючих дренажних свердловин. Розглянемо роботу взаємодіючих свердловин при відкачуванні води з безнапірних водоносних пластів (рис.3.)

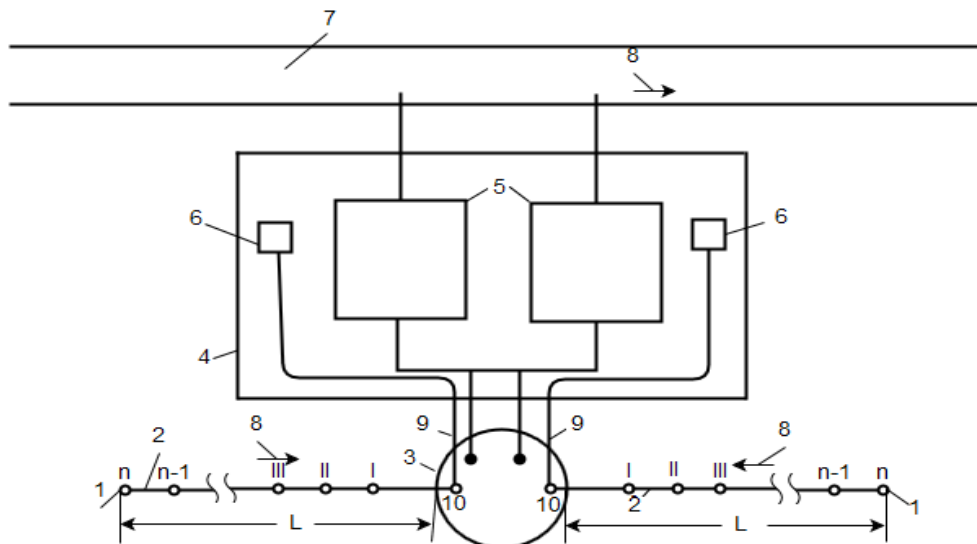


Рис. 2. Схема влаштування сифонної системи водовідбору з дренажних свердловин на Кам'янка-Дніпровській протифільтраційній завісі:

1 – дренажні свердловини (I, II, III, ... n-1, n); 2 – сифонний збірний водовід;

3 – водоприймальний збірний колодезь; 4 – насосна станція;

5 – горизонтальні відцентрові насоси; 6 – вакуум-насоси; 7 – водоскидний

колектор; 8 – напрям руху води; 9 – труба до вакуум-насоса; 10 – найвища

точка у сифонному водоводі, до якої підключається вакуум-насос

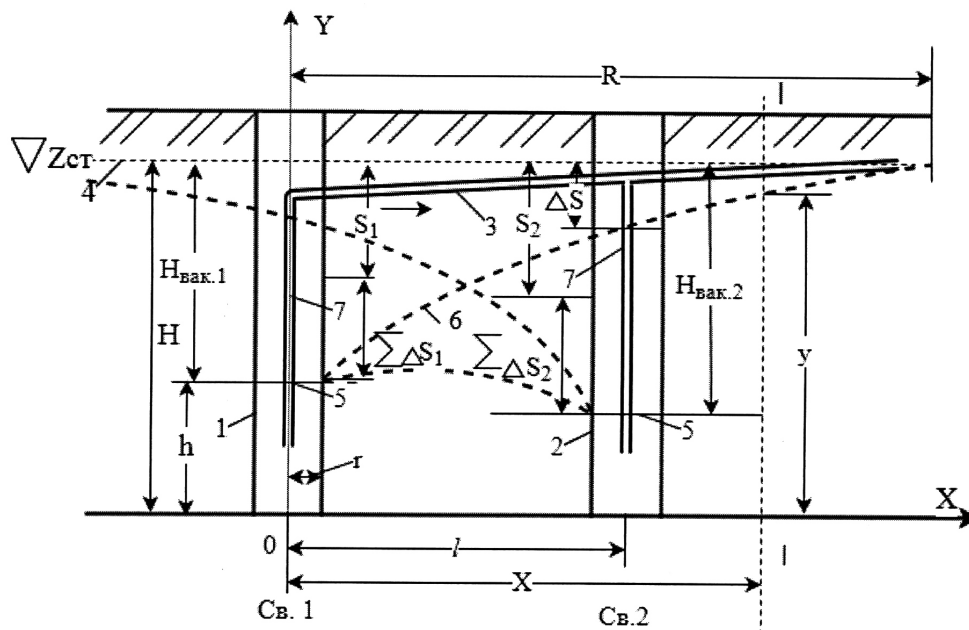


Рис. 3. Розрахункова схема забору ґрунтових вод із безнапірного водоносного пласта взаємодіючими дренажними свердловинами з сифонним збірним водоводом:

- 1, 2 - дренажні свердловини Св.1 і Св.2; 3 - сифонний збірний водовід;
4 - статичний рівень ґрунтових вод із відміткою $Z_{ст}$; 5 - динамічний рівень води у свердловинах; 6 - депресійна воронка у водоносному пласті;
7 - водопідйомна труба свердловини

За відсутності відкачування води з дренажних свердловин у них встановлюється стовп води висотою H , що вимірюється від статичного рівня води у водоносному горизонті $Z_{ст}$ і до низу фільтра свердловини (рис.3). Після запуску в роботу сифонного збірного водоводу 3 останній заповнюється водою. При цьому рівень води у свердловинах знижується на величину вакууму у вхідному отворі водопідйомної труби свердловини, що визначається за формулою (2).

Отже, чим ближче розташована свердловина до водозбірного колодязя, тим більший в ній вакуум, більше зниження статичного рівня, менша відмітка динамічного рівня води, що визначається за формулою (3), а отже і більша витрата води, що відкачується з даної свердловини.

Розглянемо можливість визначення витрати води з усіх n свердловин, а отже і розрахунку продуктивність насосної станції Q_n :

$$Q_n = \sum_1^n Q_i, \quad (4)$$

Для найпростішого випадку відкачування вода з одинокої свердловини витратою Q навколо неї утворюється депресійна воронка з радіусом R , рівень води в ній знизиться на величину

$$S = H_{вак.}, \quad (5)$$

а висота стовпа води дорівнює

$$h = H - S. \quad (6)$$

Встановимо осі координат X-Y: вісь 0Y – по осі свердловини, а вісь 0X – паралельно поверхні землі на рівні нижньої частини фільтра, тобто $Z_{ст} - H$.

Проведемо циліндричний переріз водоносного пласта I-I навколо свердловини на відстані x від осі 0Y.

При сталому напірному русі води витрата води, що забирається зі свердловини, дорівнює витраті води Q , що притікає із пласта в цю свердловину, тобто

$$Q = \omega v = 2 \pi x y K_\phi \frac{d_y}{d_x}. \quad (7)$$

Розділивши перемінні і проінтегрувавши отриманий вираз при зміні X в інтервалі від r до R і відповідних значеннях від h до H , отримали:

$$Q = \int_r^R \frac{dx}{x} = 2\pi K_\phi \int_h^H y \, d_y, \quad (8)$$

$$\text{звідки } Q (\ln R - \ln r) = \pi K_\phi (H^2 - h^2) \quad (9)$$

$$\text{або } Q = \frac{\pi K_\phi (H^2 - h^2)}{\ln R/r} = \frac{\pi K_\phi S(2H - S)}{\ln R/r} =$$

$$= \frac{1,36K_{\phi}S(2H - S)}{\lg R/r} \quad (10)$$

У цих формулах: r – радіус свердловини, K_{ϕ} – коефіцієнт фільтрації порід водоносного пласта.

Для випадку відкачування води сифонним водоводом з одинокої свердловини з урахуванням виразу (5) формулу (10) можна записати так:

$$Q = \frac{\pi K_{\phi} H_{\text{вак.}} (2H - H_{\text{вак.}})}{\ln R/r} = \frac{1,36K_{\phi} H_{\text{вак.}} (2H - H_{\text{вак.}})}{\lg R/r} \quad (11)$$

Залежність $Q = f(H_{\text{вак.}})$ має вигляд квадратної параболи.

При відкачуванні води із взаємодіючих дренажних свердловин відбувається додаткове зниження статичного рівня води в них унаслідок взаємного впливу одна на одну.

Так, при відкачуванні води із свердловини Св. 1 (рис. 3) у сусідній з нею свердловині Св. 2 відбувається зниження статичного рівня води на величину ΔS . Аналогічними розрахунками формулу 9 можна записати так:

$$Q \ln \frac{R}{R-l} = \pi K_{\phi} [H^2 - (H-\Delta S)^2], \quad (12),$$

де l – відстань між свердловинами. Після перетворень виразу 12 отримали:

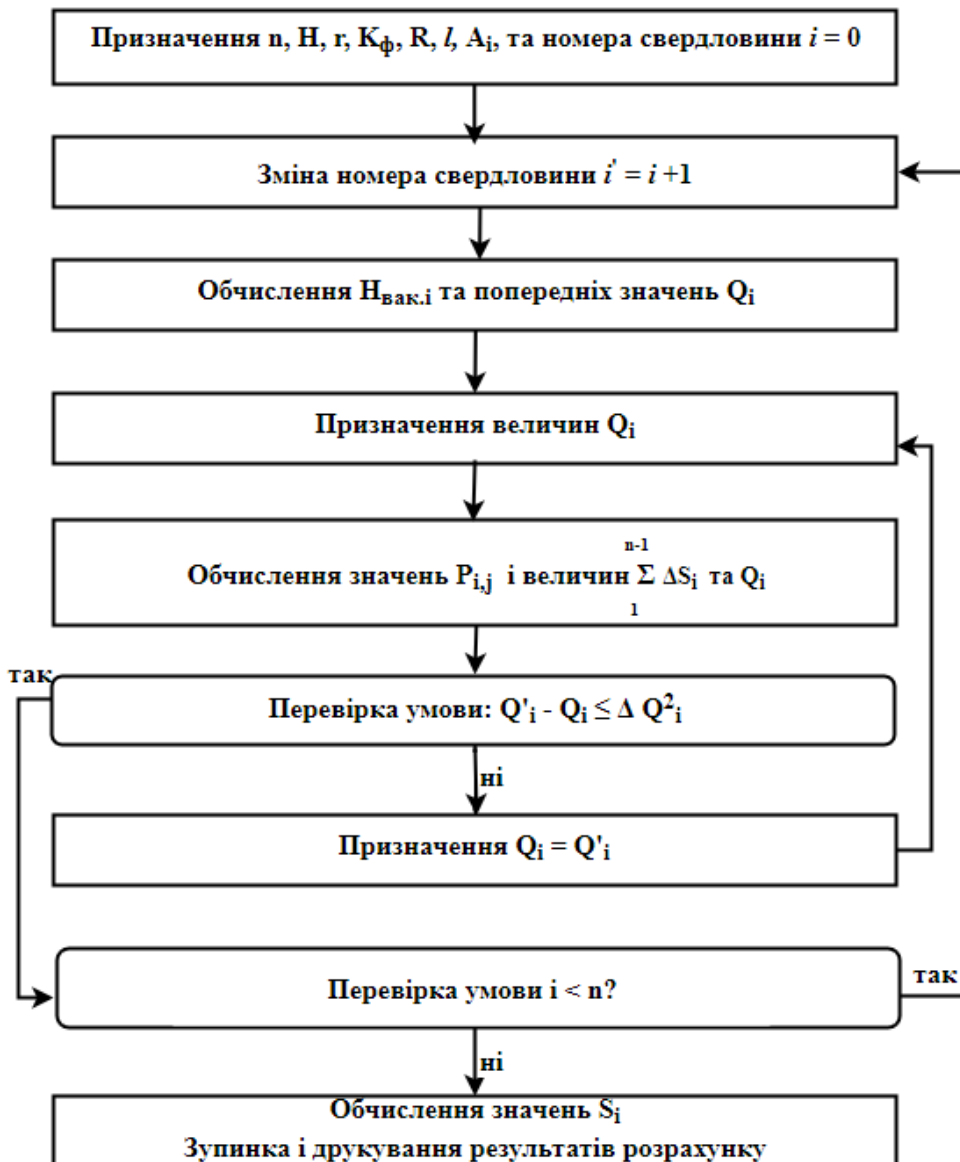


Рис. 4. Блок-схема розрахунків вертикального дренажу із сифонною системою водовідбору

$$\Delta S = H - \sqrt{H^2 - Q \ln \frac{R}{R-l}}, \quad (13)$$

У загальному випадку за одночасної роботи n взаємодіючих дренажних свердловин у кожній з них буде відбуватись додаткове зниження рівня води від впливу $n - 1$ свердловини, тобто можна записати:

$$\sum_1^{n-1} \Delta S_i = (n-1)H - \sum_1^{n-1} \sqrt{H^2 - Q_i P_{i,j}}, \quad (14)$$

де Q_i – витрата води з кожної дренажної свердловини; $P_{i,j}$ – параметр, що враховує гідрогеологічні умови водоносного пласта та відстані даної i -тої свердловини від кожної (j -тої) з решти взаємодіючих свердловин:

$$P_{i,j} = \ln \frac{R}{R-l_{i,j}}, \quad (15)$$

$l_{i,j}$ – відстані i -тої свердловини від кожної (j -тої) з решти ($n - 1$) взаємодіючих свердловин, тобто при роботі n свердловин будемо мати загальну кількість значень $P_{i,j}$:

$$\sum_1^n P_{i,j} = n(n-1). \quad (16)$$

Таким чином, для взаємодіючих свердловин витрату води з кожної свердловини можна визначати за формулою:

$$Q_i = \frac{\pi K_\phi H_{\text{вак},i}}{\ln \frac{R}{r}} \left[2 \left(H - \sum_1^{n-1} \Delta S_i \right) - H_{\text{вак},i} \right], \quad (17)$$

а зниження статичного рівня води в i -тій свердловині – за виразом

$$S_i = \left(H - \sum_1^{n-1} \Delta S_i \right) - \sqrt{\left(H - \sum_1^{n-1} \Delta S_i \right)^2 - Q_i \frac{\ln \frac{R}{r}}{\pi K_\phi}}. \quad (18)$$

Для визначення величини Q_i та S_i побудовано блок-схему розрахунків вертикального дренажу із сифонною системою водовідбору, що зображена на рис. 4.

Встановлено, що витрати води з дренажних свердловин при сифонному способі водовідбору залежать від багатьох факторів:

$$Q_i = f(H, r, n, l, A, H_{\text{вак}}, K_\phi, R). \quad (19)$$

Визначити оптимальні конструктивні і технологічні параметри таких дренажів можна тільки на основі техніко-економічних розрахунків з урахуванням сумісної роботи всіх взаємодіючих гідротехнічних споруд за наведеною методикою для забезпечення потрібного зниження рівня ґрунтових вод при мінімізації капітальних і експлуатаційних витрат [11].

Висновки. Аналіз роботи протифільтраційної завіси з ерліфтною системою водовідбору зі свердловин показав недоцільність її застосування через низький ККД ерліфтів, що призводить до значних перевитрат електроенергії, та постійної кольматації фільтрів свердловин гідроксидом заліза, внаслідок чого виникає необхідність буріння нових свердловин, що значно підвищує експлуатаційні витрати.

Ерліфтні системи водовідбору з дренажних свердловин слід переобладнати сифонними системами (рис.1, 2), а для їх розрахунку доцільно застосувати розроблену методику, що дозволяє аналізувати сумісну роботу всіх взаємодіючих гідротехнічних споруд, визначаючи витрати води з кожної свердловини за формулою (17) і зниження рівня ґрунтових вод у ній за формулою (18) при використанні блок-схеми (рис. 4).

Бібліографія

1. Загальнодержавна цільова програма розвитку водного господарства та екологічного оздоровлення басейну річки Дніпро на період до 2021 року, затверджена Законом України від 24 травня 2012 року № 4836-VI. Відомості Верховної Ради (ВВР), 2013, № 17, ст. 146 <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/4836-17>.
2. Хоружий П.Д., Крученко В.Д. Аналіз роботи дренажних свердловин з ерліфтною системою водовідбору // Меліорація і водне господарство, 2004 Вип.91. Київ: Аграрна наука, С. 209-218.
3. Хоружий П.Д., Левицька В.Д. Шляхи покращення роботи комплексу захисних споруд Кам'янського Поду // Меліорація і водне господарство, 2016. Вип. 104. Київ: С. 119-125.
4. Левицька В.Д. Аналіз сучасного стану та шляхи покращення роботи Кам'янка-Дніпровської протифільтраційної завіси // Збірник статей наук.-практ. конференції: Вода: проблеми і шляхи вирішення. м.Рівне 5-8 липня 2017 р. Житомир: вид-во ЕЦ «Укркобіокон» 2017. С. 196-200.
5. Заключний звіт НДР за договором № 677 «Дослідити, науково обґрунтувати та розробити технологічні заходи по інтенсифікації роботи дренажних свердловин з ерліфтною системою водовідбору» ІГіМ УААН. Київ 2005. 25 с.
6. Хомуцька Т.П. Енергоощадне водопостачання. Київ: Аграрна наука, 2016. 304 с.
7. Сташук В.А. Еколого-економічні основи басейнового управління водними ресурсами. Дніпропетровськ: ВАТ «Видавництво «Зоря», 2006. 480 с.

8. Хоружий П.Д. Расчет гидравлического взаимодействия водопроводных сооружений. Львов: Вища школа, 1983. 152 с.
9. Бочевар Ф.М. Теория и практические методы гидрогеологических расчетов эксплуатационных запасов подземных вод. Москва: Недра 1968. 328 с.
10. Jakovlev V.V., Svirenko L.P., Chebanov O.J., Spirin O.I. Rising groundwater levels in Northern-eastern Ukraine: hazardous trends in urban areas/Current problems of Hydrogeology on urban areas. Urban agglomerates and industrial centers. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2011. P. 221-241.
11. Олейник А.Я. Гидродинамика дренажа. Київ: Наукова думка, 1981. 284 с.
12. Хоружий П.Д., Хомутецька Т.П., Хоружий В.П. Ресурсозберігаючі технології водопостачання. Київ: Аграрна наука, 2008. 534 с.

П.Д. Хоружий, В.Д. Левицкая

**Методика расчета вертикальных дренажей с сифонным водоотбором
инфильтрационных вод**

Проанализирована эффективность работы вертикальных эрлифтных дренажных систем Левобережья Каховского водохранилища в пределах массива Каменский Под. Установлено, что эрлифтные дренажные системы не эффективны из-за низкого КПД эрлифтных установок, вызванного постоянным снижением дебита скважин вследствие коагулирования их фильтров хлопьями гидроксида железа, который образуется в результате взаимодействия воздуха, нагнетаемого компрессорными станциями к скважинам, и дренажной водой, содержащей коллоидный гидрокарбонат железа. Предложено повысить эффективность работы противофильтрационных сооружений путем переоборудования эрлифтной системы водоотбора из дренажных скважин на сифонную систему. Приведена методика расчета вертикального дренажа с сифонной системой водоотведения безнапорных подземных вод на основе гидравлических, гидрогеологических и технико-экономических расчетов совместной работы всех взаимодействующих сооружений системы противофильтрационной защиты. На основе расчета взаимодействующих дренажных скважин для определения расхода воды из каждой скважины и снижения статического уровня воды разработан алгоритм расчета вертикального дренажа с сифонной системой водоразбора. Алгоритм включает девять взаимосвязанных блоков и расчеты по формулам приведенной методики. Установлено, что расходы воды из дренажных скважин при сифонном способе водоотбора зависят от глубины H , количества взаимодействующих скважин n , расстояния между скважинами l , удельного гидравлического сопротивления A , радиуса водозаборной скважины r , высоты вакуума $H_{\text{вак.}}$, коэффициента фильтрации водоносного слоя K_f , радиуса депрессионной воронки R скважины, дебита скважин и многих других факторов, а оптимальные параметры сифонной системы забора воды из дренажных скважин определяются с помощью расчетов по предложенной методике путем итерации.

P.D. Khoruzhyy, V.D. Levytska

**The method of calculation of vertical drain performance when using siphon drains
for infiltration water intake**

The efficiency of the vertical air-lift drainage systems of the left bank of the Kakhovka water reservoir within the Kamenskiy Pod massif is analyzed. It is established that air-lift drainage systems are not effective because of low efficiency of air-lift systems caused by a constant decrease in production rates due to the flotation of their filters with flakes of ferric hydroxide that is formed as a result of the interaction of air pumped by compressor stations to the wells and drainage water containing colloidal hydrogen carbonate gland. It is proposed to increase the efficiency of the operation of anti-filtration structures by means of re-equipping the air-lift system from the drainage wells to the siphon system. The technique for calculating vertical drainage with a siphon drainage system of gravity groundwater is presented on the basis of hydraulic, hydrogeological and technical-economic calculations of the joint operation of all interacting structures of the anti-filtration protection system. Based on the calculation of the interacting drainage wells, an algorithm for calculating vertical drainage with a siphon tapping system has been developed to determine the flow rate from each well and to reduce the static water level. The algorithm includes nine interrelated blocks and calculations using the formulas of the above methodology. It has been established that the water flow from the drainage wells with the siphoning method of water abstraction depends on the depth H , the number of interacting wells n , the distance between the wells l , the specific hydraulic resistance A , the radius of the water intake well r , the vacuum height $H_{\text{vac.}}$, The aquifer layer filtration coefficient, a depression funnel R of a well, well production rate and many other factors, and the optimum parameters of a siphon system for withdrawing water from drainage wells are determined by calculations according to the proposed technique by iteration.

ЗМІСТ

ЗРОШЕННЯ – ОСУШЕННЯ

Romashchenko M.I., Yatsiuk M.V., Zhoytonog O.I., Dekhtiar O.O., Saydak R.V., Matiash T.V. Scientific basis of restoration and development in of irrigation Ukraine in the current context.....	3
Ромащенко М.І., Яцюк М.В., Жовтоног О.І., Дехтяр О.О., Сайдак Р.В., Матяш Т.В. Наукові основи відновлення та розвитку зрошення в Україні в сучасних умовах.....	9
Коломієць С.С., Кіка С.М. Закономірності профільної мінливості властивостей осушуваних торфових ґрунтів.....	15
Турченко В.О., Фроленкова Н.А., Рокочинський А.М. Системна оптимізація водо- та енергокористування на рисових зрошувальних системах на еколого-економічних засадах.....	22
Кіка С.М. Водоспоживання високопродуктивних кормових культур на осушуваних торфових ґрунтах Західного Полісся України.....	28

ВОДНІ РЕСУРСИ

Вишневський В.І., Шевчук С.А., Кравцова О.Й. Закономірності змін якості води за течією Дніпра.....	33
Стасюк С.Р. Лабораторні дослідження процесів знезалізнення підземних вод фізико-хімічним методом.....	43
Гопчак І.В. Оцінка антропогенного навантаження на басейни малих річок Рівненської області.....	49
Коваленко Р.Ю. Удосконалення управління промивкою річки Інгулець на основі сценарного моделювання.....	53
Дятел О.О. Особливості формування водообміну на меліорованих землях Волинського Полісся під впливом кліматичних та антропогенних чинників.....	58

АГРОРЕСУРСИ

Тараріко Ю.О. Обґрунтування ресурсозберігаючої системи землеробства за міжгалузевої оптимізації меліорованих агрокосистем Полісся.....	64
Ушкаренко В.О., Лавренко С.О., Максимов Д.О. Урожайність зерна квасолі звичайної залежно від обробітку ґрунту, мінеральних добрив та ширини міжряддя при зрошенні.....	71
Тараріко М.Ю., Личук Г.І. Вплив традиційних і перспективних добрив на активність CS^{137} в осушуваному дерново-підзолистому ґрунті.....	77

ГІДРОТЕХНІКА

Петроченко В.І., Петроченко О.В. Інтегрований підхід в управлінні протифільтратійними заходами на водогосподарських системах	81
Музика О.П., Мартинюк Г.Ф., Бойко Г.Я., Антонюк А.В., Медвідь С.Х. Схеми гібридних приводів візків дощувальних машин із використанням альтернативних джерел енергії.....	88

Коваленко О.В., Юзюк О.Ю. Нові склади самоущільнювальних полімерцементних фібробетонних сумішей.....	94
Хоружий П.Д., Левицька В.Д. Методика розрахунку вертикальних дренажів із сифонним водовідбором інфільтраційних вод.....	102

НОТАТКИ

Наукове видання

Меліорація
і водне господарство

Випуск 106

**Міжвідомчий тематичний
науковий збірник
Заснований у 1965 році**

Редактор – Т.І. Трошина
Коректор – Н.В. Логунова

Підписано до друку 30.11.2017 року.
Формат 60x84/8. Гарнітура Times New Roman.
Папір офсет. Цифровий друк.
Ум.-друк. арк. 13,02. Обл. вид. арк. 8,58.
Замов. № 1707-46. Наклад 100 прим.

Видавництво та друк: «ОЛДІ-ПЛЮС»
73034, м. Херсон, вул. Паровозна, 46-а
E-mail: oldi-ks@i.ua
Свід. ХС № 2 від 16.08.2000 р.