

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ

ІНСТИТУТ ВОДНИХ ПРОБЛЕМ І МЕЛІОРАЦІЇ

ISSN 2616-5562 (Online)

ISSN 2616-5643 (Print)

МЕЛІОРАЦІЯ І ВОДНЕ ГОСПОДАРСТВО

№ 2 • 2019

журнал

(випуск 110)

Присвячується 90-річчю від дня заснування
Інституту водних проблем і меліорації НААН

Київ
2019

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg201902>

Засновник – Інститут водних проблем і меліорації Національної академії аграрних наук України. Свідоцтво про державну реєстрацію – серія КВ № 24001-13841Р.

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 р. № 241).

У журналі відображено результати теоретичних та експериментальних досліджень з пріоритетних напрямів: агроресурси, водні ресурси, зрошення, осушення, гідрологія, екологія, гідротехніка, агроінженерія тощо. Журнал розрахований та буде корисним для науковців, фахівців водного та сільського господарства. Два видання журналу за рік публікують оригінальні наукові статті, а також огляди, пов'язані з профілем журналу.

Журнал включено до міжнародних та національних інформаційних та наукометричних баз, репозитаріїв і пошукових систем:

*The International System
for Agricultural Science
and Technology (FAO)*



*Research Bib
Journal Database
(Японія)*



Crossref



*BASE – Bielefeld
Academic Search Engine
(Німеччина)*



РИНЦ (Російська Федерація)

РОССИЙСКИЙ ИНДЕКС
НАУЧНОГО ЦИТИРОВАНИЯ

Science Index



Національна бібліотека України ім. В.І. Вернадського



*Open Ukrainian Citation
Index (OUCI)(Ukraine)*



*Scientific Indexing
Services (SIS)*

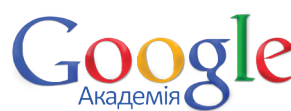


**Scientific Indexing
Services**

CIARD RING



Google Scholar (США)



Пристатейний список літератури продубльовано відповідно до вимог міжнародних систем транслітерації (зокрема наукометричної бази SCOPUS)

Рекомендовано до друку вченою радою Інституту водних проблем і меліорації НААН 28 листопада 2019 року (протокол № 13).

Адреса редакції:

Інститут водних проблем і меліорації НААН
вул. Васильківська, 37, Київ, 03022
Тел. (044) 257-40-30, 067 791 67 11
<http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg>

ISSN 2616-5643 (Print)
ISSN 2616-5562 (Online)

© Інститут водних проблем і меліорації НААН, 2019

JOURNAL
“LAND RECLAMATION AND WATER MANAGEMENT”

№ 2 • 2019

«МЕЛІОРАЦІЯ І ВОДНЕ ГОСПОДАРСТВО»

EDITORIAL BOARD:

M. ROMASHCHENKO, Doctor of Engineering Sciences, Prof, Academician of NAAS. (*Editor-in-Chief*)

T. TROSHYNA, N. LOGUNOVA, K. SHATKOVSKA, O. VOITOVYCH (*Executive Editors*)

TECHNICAL SCIENCES
(192 – *Construction and civil engineering*):

B. FAYBISHENKO,
Doctor of Engineering Sciences, Prof. (USA)

V. ADAMCHUK,
*Doctor of Engineering Sciences, Prof.,
Academician of NAAS*

V. BULGAKOV,
*Doctor of Engineering Sciences, Prof.
Academician of NAAS*

A. ROKOCHYNSKIY,
Doctor of Engineering Sciences, Prof.

D. CHARNYI,
Doctor of Engineering Sciences.

V. KOVALCHUK,
Doctor of Engineering Sciences.

V. BOHAIENKO,
Ph.D. in Engineering Sciences

P. KOVALCHUK,
Doctor of Engineering Sciences, Prof.

P. KOVALENKO,
*Doctor of Engineering Sciences, Prof.,
Academician of NAAS, RAS (Russia)
and IAA Georgofili (Italy)*

V. KRAVCHUK,
Doctor of Engineering Sc.s, Prof., Full member of NAAS

Y. MYKHAILOV,
Doctor of Engineering Sciences

V. POPOV,
Doctor of Engineering Sciences

P. KHORUZHYI,
Doctor of Engineering Sciences, Prof.

V. VYSHNEVSKIY,
Doctor of Science in Geography, Prof.

M. YATSIUK,
Ph.D. in Geography

O. MUZYKA,
Ph.D. in Engineering Sciences

S. SHEVCHUK,
Ph.D. in Engineering Sciences

AGRICULTURAL SCIENCES
(201 – *Agronomy*):

B. SCHULTZ,
Dr. habil., Prof. (The Netherlands)

R. ISLAM,
Ph. D. (USA)

V. USHKARENKO,
*Doctor of Agricultural Sciences, Prof.,
Academician of NAAS*

O. TARARIKO,
*Doctor of Agricultural Sc., Prof.,
Academician of NAAS*

S. BALIUK,
*Doctor of Agricultural Sciences, Prof.,
Academician of NAAS*

V. PICHURA,
Doctor of Agricultural Sciences, Prof.

V. MOSHYNSKIY,
Doctor of Agricultural Sciences, Prof.

O. TONKHA,
Doctor of Agricultural Sciences, Prof.

A. LIKHATSEVYCH,
*Doctor of Engineering Sciences, Prof.,
Full member of NAS, Academician of RAS (Belarus)*

A. SHATKOVSKIY,
Doctor of Agricultural Sciences

V. VERGUNOV,
*Doctor of Agricultural Sciences,
Prof., Academician of NAAS*

Y. TARARIKO,
*Doctor of Agricultural Sciences, Prof.,
Full member of NAAS*

I. SLIUSAR,
Doctor of Agricultural Sciences, Prof.

O. ZHOVTONOG,
Doctor of Agricultural Sciences

V. VASIUTA,
Doctor of Agricultural Sciences

M. MALYARCHUK,
Doctor of Agricultural Sciences

KYIV • 2019

“LAND RECLAMATION AND WATER MANAGEMENT”

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

М.І. РОМАШЕНКО, д.т.н., проф., акад. НААН (*головний редактор*)
Т.І. ТРОШИНА, Н.В. ЛОГУНОВА, К.Б. ШАТКОВСЬКА, О.П. ВОЙТОВИЧ (*виконавчі редактори*)

ТЕХНІЧНІ НАУКИ

(192 – *Будівництво та цивільна інженерія*):

Б.О. ФАЙБИШЕНКО,
д. т. н., професор (США)

В.В. АДАМЧУК,
д. т. н., професор, академік НААН

В.М. БУЛГАКОВ,
д. т. н., професор, академік НААН

А.М. РОКОЧИНСЬКИЙ,
д. т. н., професор

Д.В. ЧАРНИЙ,
д. т. н., с.н.с.

В.П. КОВАЛЬЧУК,
д. т. н., с.н.с.

В.О. БОГАСНКО,
к. т. н.

П.І. КОВАЛЬЧУК,
д. т. н., професор

П.І. КОВАЛЕНКО,
д. т. н., професор, академік НААН, член РАН,
член IAA Georgofili

В.І. КРАВЧУК,
д. т. н., професор, член-кор. НААН

Ю.О. МИХАЙЛОВ,
д. т. н., с.н.с.

В.М. ПОПОВ,
д. т. н., с.н.с.

П.Д. ХОРУЖИЙ,
д. т. н., професор

В.І. ВИШНЕВСЬКИЙ,
д. геогр. н., професор

М.В. ЯЦЮК,
к. геогр. н.

О.П. МУЗИКА,
к. т. н., с.н.с.

С.А. ШЕВЧУК,
к. т. н., с.н.с.

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ НАУКИ

(201 – *Агрономія*):

Б. ШУЛЬЦ,
д.н., професор (Нідерланди)

Р. ІСЛАМ,
Ph.D. (США)

В.О. УШКАРЕНКО,
д. с.-г. н., професор, академік НААН

О.Г. ТАРАРІКО,
д. с.-г. н., професор, академік НААН

С.А. БАЛЮК,
д. с.-г. н., професор, академік НААН

В.І. ПЧУРА,
д. с.-г. н., професор

В.С. МОШИНСЬКИЙ,
д. с.-г. н., професор

О.Л. ТОНХА,
д. с.-г. н., професор

А.П. ЛІХАЦЕВИЧ,
д. т. н., професор, чл.-кор. НАН, член РАН (Білорусь)

А.П. ШАТКОВСЬКИЙ,
д. с.-г. н., с.н.с.

В.А. ВЕРГУНОВ,
д. с.-г. н., професор, академік НААН

Ю.О. ТАРАРІКО,
д. с.-г. н., професор, член-кор. НААН

І.Т. СЛЮСАР,
д. с.-г. н., професор

О.І. ЖОВТОНОГ,
д. с.-г. н., с.н.с.

В.В. ВАСЮТА,
д. с.-г. н., с.н.с.

М.П. МАЛЯРЧУК,
д. с.-г. н., с.н.с.



Шановні читачі журналу «Меліорація і водне господарство»!

Саме журналу, а не збірника наукових праць. Починаючи з минулого – першого номера 2019 року, і ми це констатуємо з великим задоволенням, ми маємо не збірник, а саме науковий журнал. На наше переконання – це непересічна подія, до якої редакційна колегія останніми роками наполегливо готувалася. Якісно новими та принциповими аспектами на цьому етапі розвитку наукового видання є впровадження редакторської системи «Open Journal Systems», розміщення метаданих статей в 10 міжнародних наукометричних базах, репозитаріях та пошукових системах, залучення до процесу рецензування відомих закордонних учених тощо.

Наша наступна амбітна мета – підготовка наукового журналу до індексації в міжнародній наукометричній базі Web of Science Core Collection.

Тож, шановні автори, у зв'язку з тим, що рівень наукового журналу визначається, насамперед, якістю опублікованих у ньому статей, звертаємо до вас із величезним проханням подавати статті за результатами досліджень фундаментального характеру, змістовне наповнення яких буде відповідати тим високим цілям, які ми ставимо перед журналом.

Зрозуміло, що лише одним проханням покращувати якість статей ми цієї мети не досягнемо. Але дуже сподіваємось, що ще одна непересічна подія цього року, а саме схвалення Кабінетом Міністрів України «Стратегії зрошення і дренажу в Україні на період до 2030 року» (розпорядження Кабінету Міністрів України від 14 серпня 2019 р. № 688-р) започаткує процес відновлення ролі зрошення і дренажу в забезпеченні сталості землеробства в умовах змін клімату.

На жаль, зміни клімату істотно погіршують умови природного вологозабезпечення і створюють додаткові загрози як в частині погіршення умов ведення сільськогосподарського виробництва, так і у частині забезпечення водними ресурсами України в цілому так і окремих галузей економіки зокрема.

На наше переконання, реалізація завдань «Стратегії...», а вона передбачає до 2030 року збільшення площ зрошення на 1,0–1,2 млн. га, а площ водорегулювання майже на 1,0 млн. га, сприятиме формуванню кластерів сталого землеробства в усіх природно-кліматичних зонах України та перетворенню України в конкурентно-спроможного на світових ринках виробника продовольства і, що важливо, одного зі світових продовольчих донорів, завдяки діяльності якого стає можливим розв'язання світової продовольчої проблеми.

Але роль і значення «Стратегії...» не зводяться лише до каталізатора нарощування обсягів та забезпечення сталості виробництва сільгосппродукції в умовах змін клімату. Ми розглядаємо «Стратегію...» і як прискорювача відновлення повноцінних фундаментальних і прикладних досліджень усіх питань, пов'язаних з умовами формування поверхневих та підземних водних ресурсів, розроблення технологій та технічних засобів їх ефективного використання в усіх галузях виробництва та забезпечення життєдіяльності населення, збереження та відтворення запасів водних ресурсів, як основи розв'язання головного завдання переходу на засади інтегрованого управління за басейновим принципом, тобто досягнення їх доброго стану. Одночасно ми розраховуємо, що дослідження з питань подальшого розвитку меліорації земель також отримають значне прискорення, насамперед і завдяки збільшенню їх фінансування з державного бюджету.

І зміну статусу збірника наукових праць на статус журналу, і прийняття «Стратегії зрошення і дренажу в Україні на період до 2030 року» ми розглядаємо також у контексті підготовки до святкування 90-річчя від дня заснування Інституту водних проблем і меліорації НААН. Відзначення цієї події відбувається відповідно до постанови Верховної Ради України від 18.12.2018 р. № 2554-VIII «Про відзначення пам'ятних дат і ювілеїв у 2019 році».

До того ж ми розглядаємо дату 23 грудня 1929 р., коли на засіданні Ради народних комісарів УРСР було прийнято рішення організувати Науково-дослідний інститут сільськогосподарської меліорації при Наркомземсправ, як початок процедури створення Інституту, а дату 01 травня 1930 року, коли до роботи приступила його перша директорка Арансон Діна Абрамівна, як дату

завершення цієї процедури. Тому і святкування 90-річчя заснування Інституту ми проводимо, починаючи з грудня 2019 року із завершенням святкових заходів у травні 2020 року.

І журнал, який ви маєте можливість тримати в руках, – один з основних заходів у цьому переліку. Саме тому в ньому міститься низка статей, в яких узагальнено результати багаторічної роботи Інституту за весь період його існування, а також окреслено бачення пріоритетних напрямів та завдань досліджень науковців Інституту та інших наукових установ, діяльність яких пов'язана з проблематикою водних ресурсів і меліорації земель, на перспективу.

Серед подальших святкових заходів ми плануємо проведення Міжнародної наукової конференції «Сучасний стан та основні напрями наукових досліджень з питань сталого забезпечення водними ресурсами та розвитку меліорації земель в умовах змін клімату», присвяченої Всесвітньому дню водних ресурсів та 90-річчю Інституту водних проблем і меліорації НААН. Маємо за честь запросити всіх читачів журналу до участі у цій конференції, яка відбудеться 19–20 березня 2020 року. Її рівень, а також визначені нею пріоритетні завдання досліджень мають стати дороговказом науковцям на найближчу перспективу.

І, насамкінець, завершується 2019 рік, рік в усіх відношеннях не простий, а точніше, без перебільшення, дуже складний для наукової спільноти. Він став для Інституту роком випробувань на виживання. З великими труднощами, але ми вистояли. Я дякую всім співробітникам Інституту за підтримку і за відданість професії. А в новому 2020 році зичу всім здоров'я, впевненості у своїх силах, зміни ставлення держави до ролі науки і статусу науковців, нових наукових звершень, які в подальшому стануть гідним внеском у розвиток Інституту і сприятимуть процвітанню України.

З Новим 2020 роком!

*З повагою,
головний редактор журналу*



Михайло Ромащенко



Dear readers of Land Reclamation and Water Management Journal!

It is a journal, not a collection of scientific papers. Starting from the previous first issue of 2019, and we can state it with great pleasure, we have not a collection, but a scientific journal. In our opinion, this is an extraordinary event to which the editorial board had been steadily preparing in recent years. The introduction of the Open Journal Editorial Systems, placement of article metadata in 10 international scientometric databases, repositories and search engines, involvement of well-known foreign scientists in the review process and more are brand new and fundamental aspects at this stage of scientific journal development.

Our next ambitious goal is to prepare a scientific journal for indexing in the international scientometric database Web of Science Core Collection.

Therefore, dear authors, since the level of the scientific journal is determined, first of all, by the quality of the articles published in it, we urge you to submit articles based on the results of fundamental researches, the substantive content of which will meet the high goals which we set for the journal.

It is clear that with just one request to improve the quality of the articles we will not achieve this goal. But we very much hope that another unprecedented this year event, namely the approval by the Cabinet of Ministers of Ukraine of the Strategy of Irrigation and Drainage in Ukraine for the period up to 2030 (Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated August 14, 2019 № 688-p) will commence the resumption of the role of irrigation and drainage in ensuring the sustainability of agriculture in the face of climate change.

Unfortunately, climate change significantly worsens the conditions of natural moisture supply and creates additional threats both regarding the deterioration of agricultural production conditions and water supply in Ukraine as a whole and for economic sectors in particular.

We believe that the implementation of the objectives of the “Strategy ...”, which foresees an increase in irrigation area by 1.0-1.2 million hectares and the area under water regulation by almost 1.0 million hectares up to 2030, will contribute to the formation of clusters of sustainable agriculture in all natural and climatic zones of Ukraine. That will promote the transformation of Ukraine into a competitive food producer in the world markets and, importantly, one of the world’s food donors, thanks to which it becomes possible to solve the world food problem.

But the role and importance of «Strategy ...» is not limited to the catalyst for increasing volumes and ensuring the sustainability of agricultural production in the face of climate change. We consider the «Strategy ...» as an accelerator for the restoration of full fundamental and applied research of all issues related to the conditions of formation of surface and underground water resources, development of technology and technical means for their effective use in all industries of production and life support of the population, preservation and reproduction of water resources as a basis for solving the main task of transition to the basin integrated management principles, i.e. achieving their good status. At the same time, we expect that studies on the further development of land reclamation will also receive significant acceleration, primarily due to increased funding from the state budget.

We also consider the change of the status of the collection of scientific works to the status of the journal, and the adoption of the «Irrigation and Drainage Strategy in Ukraine until 2030» in the context of preparation for the celebration of the 90th anniversary of the founding of the Institute of Water Problems and Land Reclamation of NAAS. This event is celebrated in accordance with the resolution of the Verkhovna Rada of Ukraine dated 25.12.2018 № 2554-VIII «On the commemoration of memorable dates and anniversaries in 2019».

In addition, we consider the date of December 23, 1929, when at the meeting of the Council of People’s Commissars of the USSR it was decided to organize the Research Institute of Agricultural Land Reclamation under the People’s Commissariat as the beginning of the establishment of the Institute, and the date of May 01, 1930 as the date of completion of this procedure, when the first director Aranson Dina Abramivna started her work. That is why we have been celebrating the 90th anniversary of the Institute since December 2019 till the end of May 2020.

And the journal, you are holding in your hands, is one of the main activities on this list. That is why it contains a number of articles summarizing the results of the Institute's long-term scientific activities over the entire period of its existence, as well as outlining for the future the priorities and tasks of the scientific research of the Institute and other scientific institutions dealing with the problems of water resources and land reclamation.

Among other celebrations, we plan to hold an International Scientific Conference «The Current State and Basic Areas of Scientific Research on Sustainable Water Supply and Land Reclamation Development in Climate Change», devoted to the World Water Day and the 90th anniversary of the Institute of Water Problems and Land Reclamation. It would be our pleasure to invite all readers of the journal to participate in this conference, which will take place in March 19-20, 2020. Its level, as well as its priorities for research, should become a guide for scientists in the near future.

And finally, 2019 is coming to the end, the year, which was not easy in every sense, or rather, it is not an exaggeration to say, very difficult for the scientific community. It became a year of survival tests for the Institute. With great difficulties, but we have withstood. I thank all the staff of the Institute for their support and dedication to the profession. And in the new 2020, I wish everyone health, self-confidence, changes in the attitude of the state to the role of science and the status of scientists, new scientific achievements, which in the future will become a worthy contribution to the development of the Institute and will promote the prosperity of Ukraine.

Happy New Year 2020!

*Sincerely yours,
editor-in-chief of the journal*



Mykhaylo Romashchenko

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg201902-208>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/208>

UDC 504.4.06;504.53.06

DEVELOPMENT OF SCIENTIFIC BASIS FOR WATER MANAGEMENT IN AGROLANDSCAPES

Yu.O. Mikhailov¹, doctor of technical sciences, A.M. Shevchenko², Ph.D. in agricultural sciences, Iu.Yu. Danylenko³, Ph.D. in technical sciences, S.M. Liutnytskyi⁴, I.L. Goncharuk⁵, V.O. Bohaienko⁶, Ph.D. in technical sciences

¹ Institute of water problems and land reclamation NAAS, Kyiv, Ukraine;
e-mail: mihailov1333@gmail.com

² Institute of water problems and land reclamation NAAS, Kyiv, Ukraine;
<https://orcid.org/0000-0002-2637-6538>; e-mail: monitoring_protect@ukr.net

³ Institute of water problems and land reclamation NAAS, Kyiv, Ukraine;
<https://orcid.org/0000-0002-2004-5359>; e-mail: iuliia.danylenko@gmail.com

⁴ Institute of water problems and land reclamation NAAS, Kyiv, Ukraine;
<https://orcid.org/0000-0003-4343-0054>, e-mail: lutnizkii@ukr.net

⁵ Institute of water problems and land reclamation NAAS, Kyiv, Ukraine;
<https://orcid.org/0000-0001-5262-4438>, e-mail: gonch.irch@gmail.com

⁶ Institute of Cybernetics. n.a.V.M. Glushkov NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine;
<https://orcid.org/0000-0002-3317-9022>; e-mail: sevab@ukr.net

Abstract. *The paper presents the results of long term research aimed at resolving the problems of scientific support of integrated water resources management in Ukraine in the context of climate change. As one of the elements of scientific support, the integrated water resources management is considered in terms of water management plans development, both for the basin level and for territorial-administrative units. In particular, the hydrochemical spectrum is considered as an integral indicator of the chemical state of the object proved to have a close correlation between total water income and the elements of water balance. The results of the studies of surface and ground waters within the territories of Kherson and Rivne regions are presented. Based on the data on hydrochemical spectrum, correlation functions between its values and elements of water balance were obtained. A methodological approach to water balance calculations based on the obtained dependencies is described. The presented approach allows drafting balances, the observance of which will guarantee the rational use of water resources, based on their existing volume and additional limits. The results of the proposed approach testing are presented, in particular, when developing a plan for integrated water resources management in Kherson region. The results of testing show a significant influence of the structure of agrolandscapes on water balance, both on the regional scale and at the field level. A modification of the methodology for studying the influence of the structure of agrolandscapes on water balance is proposed taking into account the use of remote sensing data to assess the reliability of in-situ data and fill the gaps in field measurements. As a result of the analysis of spatial structure of agrolandscapes for the case of Rivne region, conclusions are drawn about the latitudinal change in the agrolandscapes, while for Kherson region the main indicator is the saturation of the territory with windbreak afforestation. The obtained maps of spatial distribution and correlation dependencies were used to assess and predict water resource potential of the territories, which characterizes the average level of natural and artificial moisture during growing season and determines the potential productivity of lands.*

Key words: *agrolandscape, water balance, hydrochemical spectrum, water resources management.*

Relevance of the topic. Ukraine is a European country with a quantitative and qualitative deficit of water resources. Climate change manifest itself in increasing aridity, so the problem of controlling the rational use of water resources and restoring their reserves and quality is becoming increasingly relevant. The scientific support for sustainable balanced water use is at the forefront.

This approach partially satisfies the scientific substantiation of the national water policy, which derives from the methods of water resources

control in the territories with different water resource potential. The latter can be characterized by the maximum possible flow of precipitation and water taken from all sources to a certain area to meet economic needs.

One of the methodological approaches under Water Framework Directive 2000/60/EC is integrated water resource management, which aims at coordinated management of water, land, energy and labor with sustainable economic and social well-being based on fairness and without harming the ecosystem. [1].

Integrated water management involves developing appropriate basin-level plans that justify the goals, methods and means of achieving them. Such plans are a strategy for the development of river basins aimed at achieving the required water status, sustainable water use, enhancing protection and improving the ecological status of water bodies and adjacent areas [2; 3].

The peculiarities of water management in Ukraine require the development of such plans not only for river basins, but also for territorial-administrative units, branches of economy and individual objects of water use. The territorial-administrative principle of integrated water management allows to optimize the structure of water consumption or the expenditure part of water management balances, the basin one – their resource part. Initially, the water policy of districts and oblasts is coordinated, taking into account the water management of all water consumers located in their territories, and as a result, the water need is assessed at the water delivery points. Subsequently, the capacity of the existing water resource potential of river basins to meet water needs of the required quality without environmental risk to aquatic ecosystems and populations is assessed.

The integrated water management from the authors' point of view can be based on the results of many years of theoretical and experimental research within the thematic plans of the Institute of Water Problems and Reclamation.

Hydrochemical parameters. Studies have shown that surface waters have a pronounced diversity of their chemical composition, due to various factors. The chemical spectrum, namely the chemical elements and their compounds, arranged in decreasing order of concentration, can be formalized by mathematical expression

$$C_i^j = a_j e^{-b_j k_i^j}, \quad (1)$$

where C_i^j – the concentration of the i -th element of the j -th spectral group;

a_j and b_j – empirical coefficients or spectrum parameters;

k_i^j – the order number of the i -th element of the j -th group of this spectrum.

The multiplier factor a_j is equal to the maximum possible concentration of the chemical element (compound). It leads its spectral group and is a basic element as well as practically a constant. The coefficient b_j characterizes the intensity the concentration of other elements of a given spectral group decreases.

The hydrochemical spectrum is an integral indicator of the chemical status of a water body. It characterizes the maximum possible concen-

tration of anions and cations in water and the nature of their change at different intensity of water exchange [4]. Integrated water management reliably promotes their quality, provided that there is sufficient (at least 1.2) coefficient of seasonal water exchange in the catchment area and in reservoirs. Such water exchange must be ensured by maintaining an appropriate water balance structure.

Our studies have also demonstrated the existence of close correlation relationships between total water abstraction, water balance elements and hydrochemical spectrum parameters. A certain total flow of water into a site or water body always corresponds to certain values of the expenditure elements of the balance and the parameters of the spectrum.

Formally, that can be described by empirical correlation functions

$$\begin{aligned} \Delta W &= F(X + P), \\ C_i^j &= \Omega(K_v), \end{aligned} \quad (2)$$

where ΔW – change in water reserves in the balance space;

$(X + P)$ – total water inflow into the balance space as a result of precipitation and water extraction for all economic needs;

K_v – coefficient of water exchange intensity.

Based on the results of chemical analysis of water samples using the methods of mathematical statistics it is determined hydrochemical spectra, namely empirical curves, which most accurately describe the distribution of chemical elements and compounds in the order of decreasing their concentration.

The data of geospatial analysis of the chemical composition of water samples taken in the territory of Kherson and Rivne regions in summer 2012 were summarized (Fig. 1).

According to the ratio of anions and cations, the territory of the Rivne region can be divided into two regions: northern – the Polissia and southern – the Forest-Steppe, which are different in sulfate content. In forest-steppe regions their content is on average 14.5 mg/dm³, in Polissia – 44.8 mg/dm³.

The surface waters of the Rivne region are saturated with significant iron content due to the swampiness of the territory of the region, and as a result of that there is a large amount of humus substances in the surface waters that have a weak acidic reaction and contribute to dissolving iron and its transition into a colloidal state.

A significant difference in the chemical composition of the surface and groundwater of the Kherson region was specified. So in surface

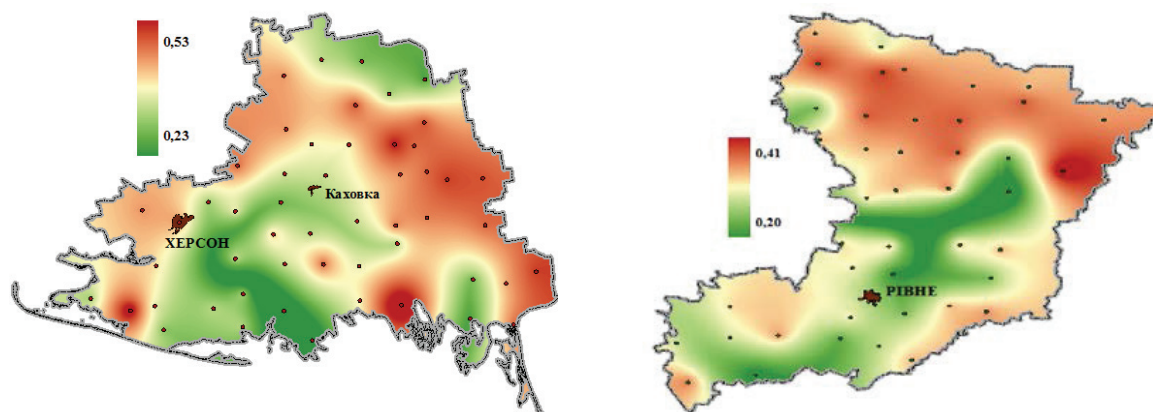


Fig. 1. Spatial distribution of anions and cations ratio in the water of Kherson and Rivne regions

waters calcium hydrocarbonate prevails, and in underground ones - chloride and sodium sulfate, which are more toxic salts to plants. In addition, the mineralization of surface water is much smaller than of groundwater.

Considering that natural waters are solutions with quasi-stationary chemical compositions due to the geochemical conditions of their formation, their azonality is observed. The ratio of cations and anions may indicate some local processes of artificial nature, in other words man-made pollution.

The chemical composition of the surface waters of both regions is almost the same. The slight spatial changes in the content of chemical elements in surface waters are explained by the natural chemical metamorphism of the natural waters of Ukraine from north to south.

Studies of hydrochemical spectra have shown that their baseline parameters are much higher for groundwater than for surface water (Table 1). That is, the maximum possible concentration of anions and cations in groundwater is much higher.

The results of the study of the spatial changes in the chemical composition of surface waters in the Dnieper basin testify to the distinct homogeneity of their hydrochemical spectra [4], which gives reason to limit in practice the observations

of the changes in the chemical composition of water by the results of the analysis of its samples taken in separate water bodies of the river basin.

Upon accumulating the experimental data and based on the results of the geospatial analysis of the hydrochemical spectra, the number of such points can be reduced tenfold without a significant negative impact on the reliability of the final result.

By means of correlation functions, for example, a water balance can be drawn up, the maintenance of which will guarantee the rational use of water resources, based on their available volume and restrictions on the total water flow, filtration losses, surface runoff (discharges).

The water balance in the graphical representation is a straight-line function that cuts the average over the observation period sum of the cost elements on the y-axis. The tangent of the slope graph is equal to the ratio of costs to the flow of water, that is, the coefficient of water supply. In the case of curvilinear function, the same conclusions can be drawn with respect to tangents.

The scope of this methodological approach is limited only by the ability to obtain the source data. At least, there is a need for precipitation data, abstraction of water from all sources in volumes

1. Parameters of hydrochemical water spectra

Region	Spectral groups and indicators	Determination factor					
		0,0-0,4		0,4-0,8		0,8-1,0	
		Values of hydrochemical spectra parameters by spectral groups					
		a	b	a	b	a	b
Rivne	Anions	-	-	780	1,49	1563	1,68
	Cations	106	0,70	56,5	0,70	142	0,95
	Heavy metals	-	-	0,76	0,76	3,83	1,16
Kherson (surface waters)	Anions	17,7	0,28	1671	1,61	7368	2,18
	Cations	28,25	0,01	103,21	0,89	134,5	0,93
Kherson (underground waters)	Anions	-	-	116984	3,13	1168113	3,08
	Cations	687	0,42	2084	1,07	1285	1,11

comparable to precipitation, and more. It is also desirable to have observations of groundwater level fluctuations and lack of moisture in the air.

The method of water balance calculations was more carefully described by us in [5]. It was tested in the preparation and implementation of the integrated water management plan of Kherson region and in most of the authors' studies, which yielded the following results.

Influence of agro-landscape structure on water balance elements. The structural elements of agro-landscapes significantly influence the formation of water resources. Modern agro-landscapes are a combination of typical elements of agro-ecosystems, so it is advisable to separate them.

Our experimental studies confirm the high positive impact of forests, forest strips and meadows on the formation of water resources. If in forests, forest strips and meadows (natural constituents of agro-landscapes) all precipitation of the cold period is absorbed by the soil, that is why the surface runoff is absent at this time, on arable lands and pastures (artificially transformed elements), the loss of winter precipitation due to the snow displacement and the evapotranspiration increase by 25-50 mm, the filtration decreases by about 100 mm, and the surface runoff increases by 30-85 mm [6; 7].

Within the landscapes, data layers can be identified for forest plantations, reclaimed lands, bogs and wetlands. The impact of rivers and their floodplains on adjacent farmland should be another point.

There is a need for some changes in the field research methodology for the influence of agrolandscapes structure on the water balance. The essence of this is to measure the moisture content of the soil to assess the reliability of the source information obtained from remote sensing, as well as to assess the close correlation between calculated and measured indicators.

In order to determine soil moisture, it is advisable to use a thermostatic-weight method with soil sampling every 10 cm up to a depth of 1.0 m in repetition, which can be increased when the study area and the mixed character of the agro-landscape structure within it increase.

Moisture soil sampling is performed for the areas covered with natural vegetation at the end of a long rainless period. The results of the analysis of soil moisture data and the decoding of remote sensing data show a sufficiently close correlation between moisture reserves in the meter layer of soil and the normalized difference vegetation index (Fig. 3). This approach enables evaluate the nature of the spatial distribution of the field soil moisture.

Evaluation of the results of field studies, in particular their representativeness, is carried out according to the data of remote sensing of the experimental area from the satellites.

The decrease in moisture reserves in the root soil layer indicates a deficit in the water balance and vice versa. The isolines of water reserves enable to identify agricultural landscapes with typical conditions for the formation of soil water balance.

To typify the territory the authors used two sets of thematic layers - structural elements and values of vegetation indices.

For example, in the territory of the Rivne region it is possible to distinguish the areas (Fig. 3) with a size of 10x10 km, where the same types of landscapes prevail. As a result, a typification map of agricultural landscaping was built. The following types can be distinguished:

- the first is the areas, in which natural landscapes dominate, where forests, swamps, floodplains occupy more than 60% of the total area;
- the second is the intermediate (transitional) areas, in the structure of which natural landscapes and agricultural landscapes are almost equal;

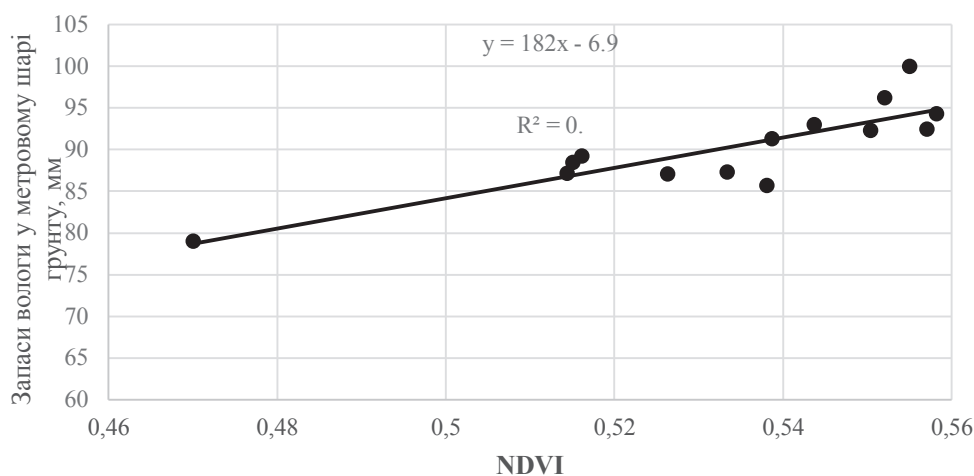


Fig. 2. Correlation of change in moisture reserves in soil meter layer and normalized difference vegetation index

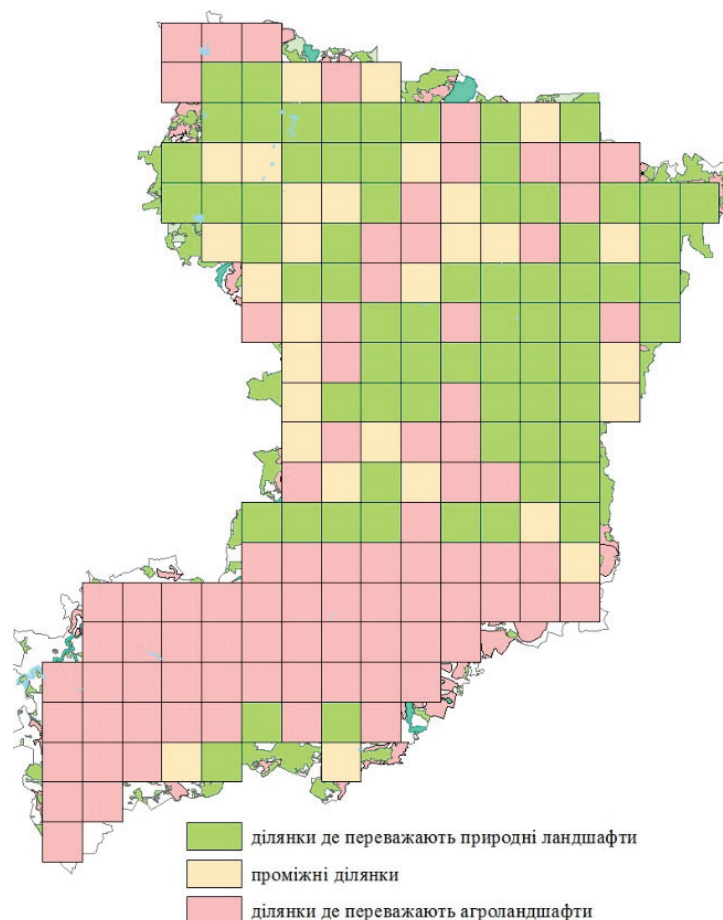


Fig. 3. Typification of agricultural landscapes in Rivne region

- the third is the areas, in which agricultural landscapes dominate, where agricultural fields and land reclamation systems occupy more than 60% of the total area.

This territory is typical for most areas of the Polissya zone of Ukraine, which makes it possible to fairly estimate the processes of formation of water resources in agrolandscapes of the humid zone, spatial patterns of formation and regulation processes of water balance.

For the conditions of the pilot territory of the Kherson region, given the natural and economic specificity of the steppe zone, forest strips are the main structural element of agrolandscapes. Therefore, the classification of such territories by the structural elements of agrolandscapes is advisable to make according to their forest saturation index.

Agrolandscapes are complex natural-technical systems. In most cases, when studying, and especially when investigating their influence on the processes of water formation and use, it is possible to operate a finite number of interconnected parts (subsystems). The purpose of identifying such subsystems is obtaining typical areas for which the spatial structure of agricultural landscapes can be experimentally evaluated and

the nature of its relationship with the factors of qualitative and quantitative formation of surface water resources can be determined.

The basis for identifying larger spatial structures is the unification of plots on the principle of existing repetition of such structural elements as forests, swamps, fields, reclamation systems, forest strips, etc.

The example of the result of such an analysis of the spatial structure of agro-landscapes in the pilot territory of the Rivne region is the conclusion about the latitudinal change of agro-landscapes.

Thus, in the northern part of the region agricultural landscapes of natural origin dominate; in the eastern part – natural agro-landscapes of forests and swamps. Their total area exceeds 70%. Forests also dominate in the western part, but about 40% of this territory belongs to artificial elements of agricultural landscapes.

In the central part of the region artificial agricultural landscapes with land reclamation systems, which occupy almost 60% of the territory, dominate. In the south of the region the artificial agrolandscapes also dominate, but field agro-landscapes (more than 65% of the territory) predominate in this territory.

Similar studies in the territory of the Kherson region show that the spatial structure of agricultural landscapes under irrigation conditions has two main types: 1) with systematic irrigation, but lack of forests and forest strips; 2) with developed irrigation in the midst of the developed timber component of irrigated landscapes.

The agro-resource potential of the rural territories of Ukraine is closely related to their water-resource potential. The latter characterizes the average level of natural and artificial moistening of rural areas during the growing season, which determines their potential productivity.

Water balance of agricultural landscapes. Sustainable agriculture in many regions of Ukraine requires measures for artificial regulating soil water regime. The success of water reclamation, in turn, depends on the availability of reliable information about the geospatial distribution of water resources, which allows with sufficient accuracy to calculate the soil moisture deficit or its excess and, accordingly, to control the water resources of a certain area, redistribute irrigation water or regulate drainage systems operation.

Based on the results of the researches of 2011-2015 it was identified the patterns of spatial change in water resource potential of rural territories, established the basic patterns of their spatial and temporal variation along with their visualization on maps until 2030. The research was based on state water monitoring data, space imagery and meteorological data.

According to the estimation of the water balance of rural territories, the water resource potential is equal to the sum of precipitation

and water volumes entering the balance space due to its collection for economic needs from surface and underground (soil) sources [8]. This addresses the issue of assessing and forecasting the water resource potential of agricultural areas and changing it to develop measures for the rational use and protection of water resources. The example of such estimation is given in Fig. 4.

For rural areas, the boundaries of which usually do not coincide with the catchments (basins) of rivers, and when calculating for the periods shorter than the hydrological year, it is necessary to add precipitation to the water reserves. The total flow of water along with the precipitation (except for the transit runoff in rivers and canals) is a water resource potential of the territory.

When drawing up the water balance for a hydrological year, water resources should not include precipitation, which is almost completely converted to river runoff.

Water amount should be considered to be available for use, the removal of which from natural or artificial circulation will not lead to negative environmental impacts or increase the economic cost and the restoration of fresh water reserves. Water reserves available for use are also limited by its quality, which in turn is determined by its chemical composition.

Water reserves and volumes of its use vary greatly in time and space, so the following operations should be supplemented to the water integrated management:

- in the first stage, it is planned to fulfill a differentiated by the territories and time intervals,

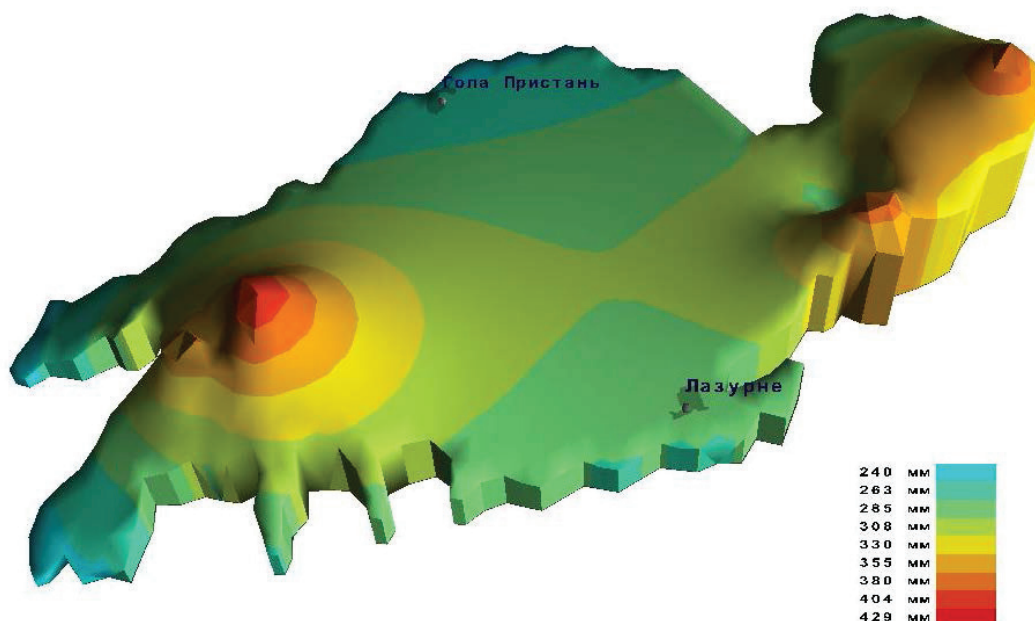


Fig. 4. Water resource potential of the Krasnoznamyansky irrigated land area in 2010

as well as by individual groups of consumers, assessment of water resource potential, its retrospective and prospective changes in conditions of different anthropogenic load, development of necessary measures for its optimization and stabilization at an environmentally safe level;

- in the second stage the tasks of integrating the results of the above estimates within the river basin or a specific territorial or territorial-administrative unit are solved.

The essence of integrated water management is to develop and implement the measures aimed at achieving “good” water status for specific water objects, improving the quantitative characteristics of water use by approximating the components of the current water balance of the territory in accordance with their objectives, when the followings are minimized: technologically unreasonable losses of water for irreversible water consumption, filtration and discharges; volumes of insufficiently treated return water; total water abstraction for the needs of the industries in the region etc.

Conclusion. The authors consider it advisable to continue scientific research on the assessment of the impact of the spatial structure of agrolandscapes on the quantity and quality of water resources in different farming systems that is related to the need for geospatial analysis of complex processes of formation and use of water resources.

Anthropogenic changes in the landscapes within river catchments without taking into account the structure of such formations adversely affect the restoration and self-regulatory capacity of river basin ecosystems, and as a consequence of virtually all ecosystems and transformed agro- and urban landscapes. Along with climate change, this causes deterioration of territories and intense aridization.

A necessary area of research is to develop the basic principles of streamlining the spatial structure of agricultural landscapes within river catchment areas, to assess the impact of landscape components on the formation and distribution of water resources, depending on the area of their economic use.

References

1. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and the Council. Retrieved from https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5c835afb-2ec6-4577-bdf8-756d3d694eeb.0004.02/DOC_1&format=PDF.
2. Metodichni rekomendatsiyi z pytan intehrovanoho upravlinnya vodnymi resursamy, zberezhennya vodno-bolotnoho riznomanitya, stvorennya ekomerezhi ta orhanichnoho zemlerobstva [Methodological recommendations for integrated management of water resources, saving wetlands diversity, creating ecological network, and organic agriculture]. (2011). Kyiv: Chornomorska programa Vetlands Interneshnl. [in Ukrainian]. Retrieved from <http://archive.wetlands.org/Portals/0/Methodical%20Recommendations.pdf>
3. Romashchenko, M.I., Mykhailov, Yu.O., Lutnitsky, S.M. & Danylenko, Iu.Yu. (2011). Udoskonalennya intehrovanoho upravlinnya vodnymi resursamy Ukrayiny za baseynovym pryntsyptom [Improvement of integrated water management on basin principle]. *Melioratsiya i vodne hospodarstvo*, 99, 169-179. [in Ukrainian].
4. Romashchenko, M.I., Mykhailov, Yu.O., Stashuk, V.A., Lutnitsky, S.M. & Mavliutdinova, I.A. (2008). Formuvannya hidrokhimichnoho spektru r. Dnipra pid vplyvom sil's'kohospodars'kykh stokiv [Formation of hydrochemical spectrum of Dnipro river under the influence of waste water runoff]. *Melioratsiya i vodne hospodarstvo*, 96, 14-24. [in Ukrainian].
5. Mykhailov, Yu.O., Shevchenko, A.M., Danylenko, Iu.Yu., Lutnitsky, S.M. & Bohaienko, V.O. (2016). Vodnyy balans yak forma stsenariyu upravlinnya vykorystanniam vodnykh resursiv v umovakh zroshennya [Water balance as the form of water use management under irrigation]. *Melioratsiya i vodne hospodarstvo*, 104, 10-15. [in Ukrainian].
6. Mykhailov, Yu.O. & Vradin, S.O. (1999). Optyimizatsiya vodnoho rezhymu ahrolandshaftiv v umovakh zroshennya. [Optimization of water regime in agrolandscapes under irrigation] *Melioratsiya i vodne hospodarstvo*, 86, 53 – 58. [in Ukrainian].
7. Mykhailov, Yu.O., Danylenko, Iu.Yu. & Lutnitsky, S.M. (2010) Melioratyvni vlastyvoli ahrolandshaftiv Ukrayiny [Reclamative properties of agrolandscapes in Ukraine] *Melioratsiya i vodne hospodarstvo*, 98, 9-19. [in Ukrainian].
8. Mykhailov, Yu.O., Danylenko, Iu.Yu. & Lutnitsky, S.M. (2013). Otsinyuvannya vodoresurnoho potentsialu sil's'kykh terytoriy [Assessment of water potential on rural areas]. *Melioratsiya i vodne hospodarstvo*, 100, 163-170. [in Ukrainian].

Ю.А. Михайлов, А.Н. Шевченко, Ю.Ю. Даниленко,
С.Н. Лютницький, І.Л. Гончарук, В.А. Богаєнко

Развитие научных основ управления водными ресурсами в агроландшафтах

Аннотация. В работе представлены результаты многолетних исследований связанных с решением проблем научного обеспечения интегрированного управления водными ресурсами в Украине в условиях изменений климата. Среди элементов научного обеспечения интегрированное управление водными ресурсами рассматривается в части разработки планов управления, как на уровне бассейнов, так и территориально-административных единиц. В частности, в качестве интегрального показателя химического состояния объекта рассматривается гидрохимический спектр, который, как доказано, имеет тесную корреляционную связь с суммарным водопоступлением и элементами водного баланса. Приводятся результаты исследований поверхностных и подземных вод для территорий Херсонской и Ровенской областей. На основе данных о гидрохимических спектрах построены корреляционные функции между их значениями и элементами водного баланса. Описан методический подход к водобалансовым расчетам на основе полученных зависимостей, который позволяет составлять балансы, соблюдение которых будет гарантировать рациональное использование водных ресурсов, исходя из их существующего объема и дополнительных ограничений. Представлены результаты апробации предложенного подхода, в частности при разработке плана интегрированного управления водными ресурсами Херсонской области, которые показывают существенное влияние структуры агроландшафтов на водный баланс, как в региональном масштабе, так и на уровне поля. Предложена модификация методики исследования влияния структуры агроландшафтов на водный баланс с учетом использования данных дистанционного зондирования для оценки достоверности измеренных данных и восполнения пробелов в ряде измерений. Приведены построенные карты типизации агроландшафтов, которые были использованы для выявления отличий корреляционных функций между данными дистанционного зондирования и элементами водного баланса для разных территорий. В результате анализа пространственной структуры агроландшафтов Ровенской области сделано выводы о широтном изменении агроландшафтов, при том, что для Херсонской области принципиальным является показатель насыщенности территории лесными насаждениями. Полученные карты пространственного распределения и корреляционные зависимости были использованы для оценки и прогнозирования водоресурсного потенциала территорий, который характеризует средний за период вегетации уровень естественного и искусственного увлажнения и обуславливает потенциальную продуктивность угодий.

Ключевые слова: агроландшафт, водный баланс, гидрохимический спектр, управление водными ресурсами.

Ю.О. Михайлов, А.М. Шевченко, Ю.Ю. Даниленко,
С.Н. Лютницький, І.Л. Гончарук, В.А. Богаєнко

Розвиток наукових основ управління водними ресурсами в агроландшафтах

Анотація. В роботі представлені результати багаторічних досліджень пов'язаних з вирішенням проблем наукового забезпечення інтегрованого управління водними ресурсами в Україні в умовах змін клімату. Серед елементів наукового забезпечення інтегроване управління водними ресурсами розглядається в частині розробки планів управління, як на рівні басейнів, так і на рівні територіально-адміністративних одиниць. Зокрема, як інтегральний показник хімічного стану об'єкта розглядається гідрохімічний спектр, який, як доведено, має тісний кореляційний зв'язок з сумарним водонадходженням і елементами водного балансу. Наводяться результати досліджень поверхневих і підземних вод для територій Херсонської та Рівненської областей. На основі даних про гідрохімічні спектри побудовані кореляційні функції між їх значеннями і елементами водного балансу. Описано методичний підхід до водобалансових розрахунків на основі отриманих залежностей, який дозволяє складати баланси, дотримання яких гарантуватиме раціональне використання водних ресурсів, виходячи з їхнього існуючого обсягу і додаткових обмежень. Представлені результати апробації запропонованого підходу, зокрема при розробці плану інтегрованого управління водними ресурсами Херсонської області, які показують істотний вплив структури агроландшафтів на водний баланс, як в регіональному масштабі, так і на рівні поля. Запропоновано модифікацію методики дослідження впливу структури агроландшафтів на водний баланс з урахуванням використання даних дистанційного зондування для оцінки достовірності даних вимірювань і заповнення прогалів у ряді вимірювань. Наведено побудовані карти типизації агроландшафтів, які були використані для виявлення відмінностей кореляційних функцій між даними дистанційного зондування та елементами водного балансу для різних територій. На основі аналізу просторової структури агроландшафтів Рівненській області зроблено висновки про широтну зміну агроландшафтів, тоді, як для Херсонської області принциповим є показник насиченості території лісовими насадженнями. Отримані карти просторового розподілу і кореляційні залежності були використані для оцінки і прогнозування водоресурсного потенціалу територій, який характеризує середній за період вегетації рівень природного та штучного зволоження і обумовлює потенційну продуктивність угідь.

Ключові слова: агроландшафт, водний баланс, гідрохімічний спектр, управління водними ресурсами.

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg201902-207>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/207>

UDC 631.675

ДОСВІД РОЗРОБКИ ТА ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ЗРОШЕННЯМ

М.І. Ромащенко¹, докт. техн. наук, Т.В. Матяш², канд. техн. наук, В.О. Богаєнко³, канд. техн. наук, В.П. Ковальчук⁴, докт. техн. наук, О.П. Войтович⁵, А.В. Крученюк⁶, В.В. Книш⁷, В.В. Шліхта⁸

¹ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна; <https://orcid.org/0000-0002-9997-1346>; e-mail: mi.romashchenko@gmail.com

² Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна; <https://orcid.org/0000-0003-1225-086X>; e-mail: t.v.matiash@gmail.com

³ Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН, Київ, Україна; <https://orcid.org/0000-0002-3317-9022>; e-mail: sevab@ukr.net

⁴ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна; <https://orcid.org/0000-0001-7570-1264>; e-mail: volokovalchuk@gmail.com

⁵ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна; <https://orcid.org/0000-0002-1513-4744>; e-mail: aleksvoitovych@gmail.com

⁶ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна; <https://orcid.org/0000-0002-5850-2404>; e-mail: anatolkru@gmail.com

⁷ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна; <https://orcid.org/0000-0003-1225-086X>; e-mail: iwpim27@gmail.com

⁸ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна; <https://orcid.org/0000-0001-7447-1540>; e-mail: sh.vova@outlook.com

Анотація. У роботі наведено огляд моделей та програмних засобів, що застосовуються у системах підтримки прийняття рішень при зрошенні. В основі систем підтримки прийняття рішень у зрошенні лежать моделі накопичення біомаси або моделі евапотранспірації. У статті дано огляд цих моделей, найвідоміших систем, а також презентується інноваційна система управління зрошенням «Полив онлайн». Система складається з апаратної та програмної частини. Частина технічного апарату оснащення системи розміщена в полі, складається з метеостанції iMetos чи Davis, а також обладнання власної розробки. Програмна частина, що призначена для зберігання, обробки та надання рекомендацій, розміщується і виконується на сервері, надсилає користувачеві рекомендації про початок поливу і поливну норму на комп'ютер або на мобільний пристрій. Система базується на моделюванні вологоперенесення, автоматизованих вимірюваннях вологозабезпечення ґрунту і метеорологічних показників на полі та погодних даних з автоматизованих прогнозних сайтів. Основна гідрофізична характеристика (ОГХ) ґрунту та залежність коефіцієнта вологоперенесення від напору, які є вихідними параметрами моделі, задаються у пошаровій формі згідно з моделлю ван Генухтена-Муалема. Впровадження системи відбувалось у 2019 р. в ДП ДГ «Асканійське» Херсонської області та ТОВ «АПК «Маїс» Черкаської області. За допомогою системи надавались рекомендації про полив озимого ріпака, пшениці, кукурудзи, сої, люцерни та картоплі. Встановлено, що використання системи «Полив онлайн» дає можливість формувати режими зрошення, реалізація яких вимагає проведення поливів меншими (на 15-25%) порівняно з існуючою практикою нормами, завдяки чому створюються сприятливіші для реалізації потенціалу сортів і гібридів сільськогосподарських культур умови вологозабезпечення за одночасного підвищення екологічної безпеки зрошення внаслідок мінімізації втрат поливної води на інфільтрацію.

Ключові слова: системи управління зрошенням, моделювання вологоперенесення, автоматизовані вимірювання, рекомендації про початок поливу, програмне забезпечення

Вступ. Зміни клімату, інтенсивність яких в Україні є найвищою серед країн Східної Європи, що проявляється насамперед через підвищення не тільки середньорічної температури, а й температури по окремих періодах року, за практично незмінної кількості опадів, що обумовлює постійне погіршення умов вологозабезпечення, а отже і умов вирощування

сільськогосподарських культур. Наявність прогресуючого процесу зневоднення ґрунтів формує зростання потреби у зрошенні як обов'язкової складової забезпечення сталого землеробства в умовах змін клімату.

Реалізація завдань схваленої КМ України «Стратегії зрошення і дренажу в Україні на період до 2030 року» [1] крім значного

нарощування площ поливу та водорегулювання передбачає істотне підвищення ефективності використання зрошуваних земель за одночасного зменшення негативного впливу зрошення на довкілля.

Шляхи вирішення цих завдань у зрошувальному землеробстві полягають в постійному удосконаленні існуючих технологій і систем управління зрошенням та розвитку нових технологій і способів поливу. Саме рівень управління зрошенням все частіше визначає ефективність та екологічну безпеку останнього.

Огляд існуючих рішень. Як свідчить вітчизняний та світовий досвід, сьогодні для управління зрошенням все частіше використовуються системи підтримки прийняття рішень (СППР).

СППР у зрошенні є інструментами, що застосовуються при управлінні технологічними процесами поливу на основі визначення строків та норм поливу, враховуючи дефіцит вологозабезпечення відповідно до основних фаз розвитку сільськогосподарських культур. На сучасному етапі розвитку СППР потребують використання ГІС технологій [2], які суттєво полегшують введення даних, інтерпретацію та розуміння результатів.

Будучи інструментами, мета яких сприяння отриманню найвищих врожаїв шляхом регулювання подачі води культурам, в основі СППР у зрошенні лежать моделі двох типів – моделі накопичення біомаси та моделі евапотранспірації.

Виділяють три типи моделей накопичення біомаси [3]: базовані на циклі вуглецю, на сонячній радіації та на циклі вологи. Моделі, базовані на циклі вуглецю, описують перш за все процес фотосинтезу. До них належать моделі, описані, зокрема, у [4; 5]. У моделях, що беруть за основу показник сонячної радіації, вважається, що біомаса зростає безпосередньо пропорційно перехопленому сонячному випромінюванню [6; 7]. Найпоширенішим є підхід, заснований на наявності взаємозв'язку між кумулятивною сезонною транспірацією культур при належному водопостачанні та їх біомасою [8]. Основною проблемою такого підходу є труднощі у визначенні фактичної транспірації. На моделях цього класу базується, зокрема, система AquaStor [9–11].

Просторове та часове кількісне визначення евапотранспірації є принципово важливим для управління водними ресурсами в сільському господарстві. Зазвичай евапотранспірація обчислюється як добуток еталонної евапотранспірації, яку можна оцінити за допомогою різних методів залежно від наяв-

ності кліматичних даних та коефіцієнта культури. Найбільш використовуваними в умовах України методами, що застосовуються при оцінці евапотранспірації, є методи Пенмана-Монтейта [12], А.М. Алпатьєва та С.М. Алпатьєва [13], Д.А. Штойка [14], М.І. Будико [15], М.М. Іванова [16], Блейні і Крідла [17]. Коефіцієнти культур можна оцінити як лабораторно, так і методами дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). Польові методи, зокрема системи eddy covariance, забезпечують прямі й точні вимірювання евапотранспірації [18], але вони отримуються лише у масштабі конкретної точки поля. Для отримання розподілених оцінок у більших масштабах використовуються алгоритми, базовані на обробці даних ДЗЗ [19–22], зокрема METRIC [22] та SEBAL [19; 20].

Поєднання гідрологічних моделей та ДЗЗ дозволяє подолати багато недоліків, пов'язаних із низькою просторовою розподільчою здатністю цих моделей та низькою часовою розподільчою здатністю ДЗЗ [23]. Таке комбінування полегшує детальний просторовий та часовий аналіз для оцінки ефективності зрошення [21; 24]. Окрім цього, ДЗЗ може використовуватись для ідентифікації ділянок у межах яких необхідне вдосконалення управління зрошенням [25].

У СППР у зрошенні термін та норма поливу можуть визначатись як функція від:

– вологозабезпечення ґрунту: у цьому випадку встановлюються пороги загального вмісту ґрунтової вологи, або вологи, доступної рослинам на певній глибині чи у певному шарі ґрунту;

– порогу евапотранспірації: призначення поливу, коли сукупна денна евапотранспірація за мінусом ефективної кількості опадів досягне цього порога;

СППР можуть також рекомендувати додатково призначати поливи в критичні фази розвитку культур.

Оскільки ефективно управління зрошенням потребує максимально повного врахування всіх процесів у системі «ґрунт-рослина-повітря», СППР у зрошенні часто моделюють також і такі процеси як управління живленням, зокрема цикли азоту [26; 27], забруднення підземних та поверхневих вод [28], включають у себе модулі оцінки ризиків та економічного моделювання [29].

Розглянемо детальніше деякі з відомих сучасних систем підтримки прийняття рішень у зрошенні.

CropWat [30] – це емпірична СППР, що враховує дані про клімат, ґрунт та посіви

й базується на документах FAO-56 [12] та FAO-33 [31]. Модель, що лежить в її основі, описана у [32] й пов'язує відносні втрати врожаю та відносне зменшення евапотранспірації, що розраховується у системі за рівнянням Пенмана – Монтейта. Розвитком системи CropWat є модель AquaCrop [10], що базується на документах FAO-33 [31] та FAO-66 [11]. В її основі лежить критерій ефективності використання біомаси.

Система IrtiSatSMS [33] використовує коефіцієнти культур, обчислені за даними ДЗЗ, при розрахунку щоденного водного балансу. Щоденні показання евапотранспірації у цій системі розраховуються з даних місцевих автоматичних метеостанцій.

Система DAISY [34] має у своїй основі моделювання вологоперенесення за рівнянням Річардса, використовуючи дані гідрофізичних властивостей ґрунту. При генерації рекомендацій вона враховує тип зрошення (дощування, поверхневе чи підґрунтове краплинне зрошення), моделює внесення мінеральних та органічних добрив. На основі змодельованого вмісту вологи в кореневій зоні, вмісту поживних речовин та фази розвитку культури система визначає скільки води слід подавати та чи потрібно додавати добрива. Модель також дозволяє оцінити концентрацію кишкової палички та важких металів, а також проводити розрахунки прибутку.

Система CropIrti [35] ґрунтується на оцінці водного балансу ґрунту, моделях фенології посівів, росту кореневої системи та прийняття рішень у зрошенні. Евапотранспірація розраховується згідно із FAO-56 [12].

APSIM [36] є модульною системою, заснованою на моделюванні біофізичних процесів, що протікають у сільськогосподарських культурах. Вона містить набори модулів для моделювання біологічних та фізичних процесів та модулів управління зрошенням. Моделювані фізичні процеси включають рух ґрунтової вологи та перенесення розчинних речовин, ерозію. Водний баланс ґрунту моделюється як за багаточисловою моделлю, так і за рівнянням Річардса, яке для опису перенесення розчинних речовин доповнюється рівнянням конвекції-дифузії.

Система CropSyst [37] базується як на моделі поглинання сонячної радіації, так і на моделі водного циклу. При призначенні поливів ця система використовує показник водного потенціалу у стовбурах рослин. Результати попередньо проведених моделювань за допомогою CropSyst використовувались також СППР, що може працювати неза-

лежно від складного вимірювання водного потенціалу у стовбурах [38].

Серед інших систем, що базуються на моделюванні та прогнозуванні водного балансу ґрунту, відмітимо SIMIS [39] та IWMS [40]. Остання вирізняється тим, що використовує методи нечіткої кластеризації та ланцюгів Маркова для прогнозування опадів.

В Інституті водних проблем і меліорації НААН із врахуванням попереднього багаторічного досвіду розробки та експлуатації систем оперативного планування зрошенням [41; 42], результатів аналізу наведених вище існуючих СППР розроблена система управління зрошенням «Полив онлайн» [43], що базується на моделюванні вологоперенесення у ґрунті для підтримання оптимального вологозабезпечення кореневої системи рослин та мінімізації втрат вологи через інфільтрацію у глибші шари ґрунту. Математичну основу системи складає одновимірне диференціальне рівняння вологоперенесення Річардса в термінах напорів у класичній та нелокальній дробово-диференціальній постановках. Апаратна частина системи складається з мікрометеостанцій з сенсорами, які надають вихідну інформацію для моделювання. Мінімальним необхідним набором сенсорів є сенсори температури та вологості повітря, опадів та всмоктуючого тиску ґрунтової вологи. Додаткові параметри нелокальної моделі надають можливість адаптувати її до конкретних умов та мінімізувати вплив неточностей вимірювання вихідних даних. Система «Полив онлайн» впроваджена в декількох господарствах різних ґрунтово-кліматичних зон.

Метою роботи є поділитися досвідом розробки та впровадження, окреслити шляхи вдосконалення систем управління зрошенням.

Система «Полив онлайн»

Загалом, система «Полив онлайн» складається з апаратної частини, розміщеної у полі, та програмної частини, що, своєю чергою, складається з бази даних, підсистеми моделювання та користувацького інтерфейсу (рис. 1).

Як апаратна частина в системі використовуються метеостанції iMetos чи Davis, а також обладнання власної розробки. Система моніторингу метеорологічних показників та стану вологозабезпечення ґрунту складається з базових станцій та віддалених вузлів із сенсорами. Для моніторингу стану вологозабезпечення і доступності ґрунтової вологи для рослин використовують сенсори Watermark [44] та тензіометри власної

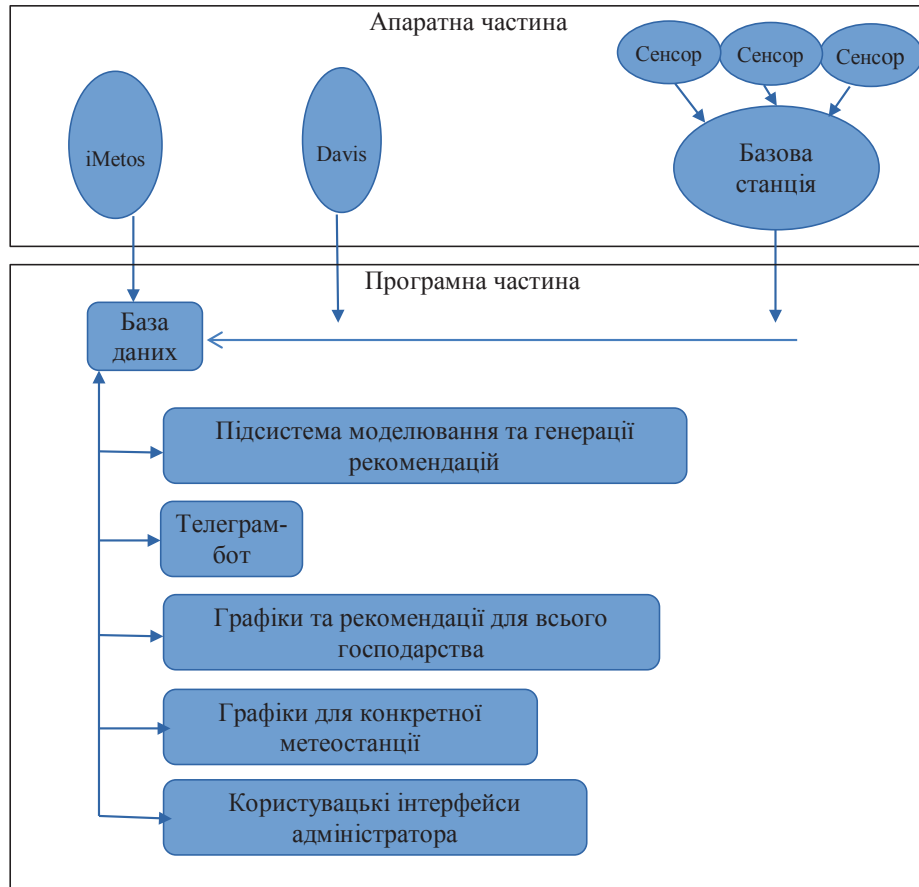


Рис. 1. Структура системи

розробки [45]. Кожен сенсор оснащений системою безпроводної передачі даних на базову станцію та незалежним живленням із сонячною батареєю. Базова станція, збираючи дані з сенсорів, відправляє їх GPRS-каналом на сервер, де вони проходять постобробку, зокрема в контексті автоматичного виявлення некоректностей й потенційної несправності сенсорів, та зберігаються у базі даних системи. Збереження даних відбувається на погодинній основі.

Прогнозування зміни стану вологозабезпечення ґрунту виконується на основі даних, зібраних апаратною частиною системи, та метеорологічних прогнозів, які автоматично отримуються з сервісів прогнозування погоди [46].

Прогнозування зміни стану вологозабезпечення кореневмісного шару ґрунту здійснюється через використання одновимірного дробово-диференціального за часовою та просторовою змінними рівняння вологоперенесення, що має вигляд:

$$D_t^{(\beta)} H = C^{-1}(H) \left[D_z^{(\alpha)} \left(k(H) \frac{\partial H}{\partial z} \right) - S \right], \quad (1)$$

$$0 \leq z \leq L, t \geq 0$$

$$C^{-1}(H) = \frac{\partial H}{\partial \theta},$$

де H – напір (m); θ – об’ємна вологість ґрунту (%); $k(H)$ – коефіцієнт вологоперенесення (m/c); S – функція екстракції, що моделює взаємодію кореневої системи рослин із ґрунтом; $D_t^{(\beta)}$ – дробова похідна Капуто-Герасимова по часовій змінній виду

$$D_t^{(\beta)} H(t, z) = \frac{1}{\Gamma(1-\beta)} \int_0^t H'(t, z) (t-\tau)^{-\beta} d\tau;$$

$D_z^{(\alpha)}$ – аналогічна похідна по просторовій змінній, $0 < \alpha, \beta \leq 1$. Зауважимо, що рівняння (1) є узагальненнями класичного рівняння Річардса для функцій напору. Приклад застосування рівняння (1) для прогнозування строку проведення поливу для поля, де вирощувалась соя, наведено на рис. 2, де показана динаміка середніх фактичних та змодельованих напорів у шарі ґрунту 0–20 см. Попередній полив був проведений 3 липня 2019 р. о 10.00, після чого на основі прогнозних метеоданих було проведено моделювання зміни вологості ґрунту на 5 днів вперед. При передполивному

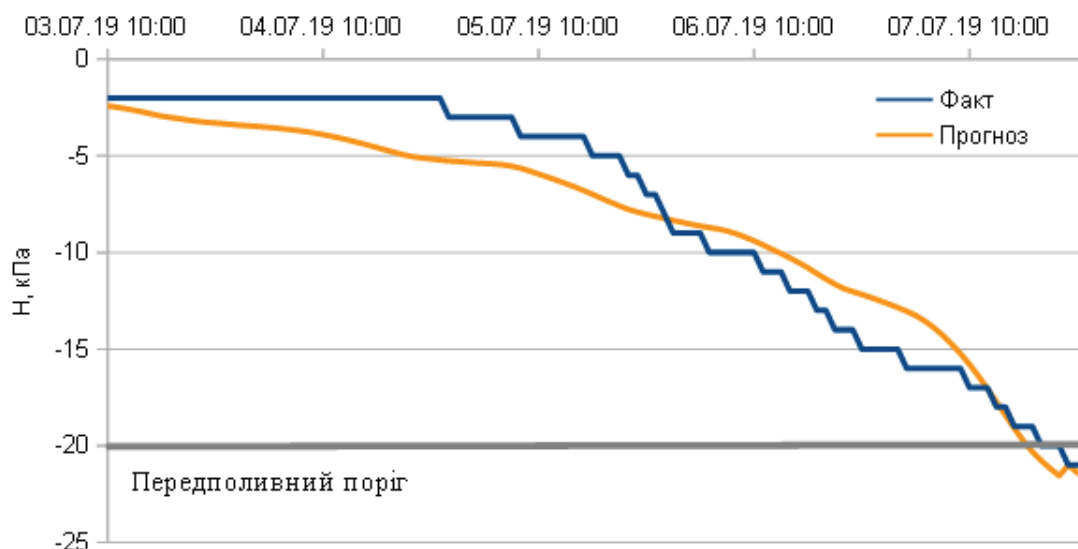


Рис. 2. Динаміка середніх фактичних та змодельованих напорів в шарі ґрунту 0–20 см при прогнозуванні строку проведення поливу

порозі на рівні -20 кПа модель визначила, що наступний полив має відбутись 7 липня 2019 р. о 20.00. Різниця у часі, коли вологість опустилась нижче передполивного порога, за фактичними показаннями датчиків та згідно змодельованих значень склала 2 години. Полив був фактично проведений 8 липня 2019 о 10.00.

Використання для прогнозування рівняння Річардса в термінах напорів дає ряд переваг, порівняно з рівнянням у термінах вологості, а саме:

- дозволяє розглядати в межах однієї крайової задачі зону аерації разом із горизонтом ґрунтових вод, використовуючи як граничну умову на нижній границі відсутність перетоку через водотрив. За такої схеми при близькому заляганні ґрунтових вод автоматично враховується їх участь у формуванні сумарного випаровування;

- дає можливість прогнозувати початок поливу за пороговою величиною всмоктуючого тиску ґрунтової вологи, а не за вологістю ґрунту, що істотно підвищує точність визначення строків і норм поливу.

Евапотранспірація, яка є одним із найважливіших факторів, що впливають на точність прогнозування в умовах України [47], оцінюється за формулами Іванова [16] та Штойко [14]. Коефіцієнти культури визначаються [47] так, щоб мінімізувати похибку моделювання динаміки вологості ґрунту. Це дозволяє за мінімального набору вихідних даних (температури та вологості повітря у приземному шарі) використовувати оціночні формули, зокрема Іванова. При наявності додаткових сенсорів,

перш за все сенсора сонячної радіації, також можуть використовуватись оцінки, що розраховуються за методом Пенмана-Монтейта метеостанціями iMetos чи Davis.

Основна гідрофізична характеристика (ОГХ) ґрунту та залежність коефіцієнта вологоперенесення від напору, які є вихідними параметрами моделі, задаються у пошаровій формі згідно з моделлю ван Генухтена-Муалема [48]. Коефіцієнти моделі визначаються на основі експериментальних даних дослідження ґрунтів. За відсутності останніх для визначення коефіцієнтів моделі Генухтена-Муалема використовуються відомі наближені методи, що реалізовані у програмі Rosetta [49], та результати визначень гранулометричного складу і щільності ґрунту. Для максимально точного моделювання мають також бути оцінені параметри розвитку кореневої системи рослин – її глибина та функція щільності розподілу коріння. При моделюванні крок дискретизації за глибиною складає 1 см, а за часом – 5 хв. Прогнозування здійснюється як за диференціальною моделлю, так і за одношаровою балансовою моделлю, використання якої дозволяє прогнозувати динаміку вологості ґрунту за мінімальної кількості вихідних даних.

Калібрування диференціальних моделей відбувається шляхом підбору значень їх параметрів, зокрема значення коефіцієнта культури, таким чином, щоб модель якнайкраще описувала динаміку напорів у ґрунті за 5 днів, що передують часу, коли відбувається калібрування. Калібруються як класична, так і нелокальна моделі, після чого для подальшого

прогнозування вибирається модель, найкраща за точністю. Перекалібрування моделі виконується один раз на тиждень за умови, що динаміка напорів, змодельована за останні 5 днів, відрізняється від фактичної не більше ніж на заданий відсоток.

Програмна частина системи реалізована у клієнт-серверному веб-середовищі й розміщена на сервері Інституту. Один раз на день виконується прогнозування динаміки напорів на наступний період у 5 днів, після чого генеруються рекомендації щодо поливів відповідних полів господарства, які містять час та норму поливу. Оскільки точне калібрування диференціальних моделей вимагає великої кількості фактичних даних, суттєві похибки вимірювання можуть призвести до некоректного визначення значень параметрів. Тому, окрім прогнозування за однією з диференціальних моделей, відбуваються розрахунки й за балансовою. При генерації рекомендацій використовується та з моделей, яка за останню добу найкраще описувала динаміку напорів. Для кожного поля система генерує рекомендації трьох типів – «полив необхідний терміново», «полив не потрібний у найближчі 5 днів» та «полив має бути виконаний через

певний час» з відповідною нормою вилу (рис. 2). Рекомендація «полив необхідний терміново» надається у випадках протермінованого користувачем з різних причин поливу або коли полив потрібно здійснити сьогодні з відповідною нормою.

Система «Полив онлайн» надає користувачеві можливість отримувати інформацію про стан та прогноз стану вологості ґрунту на декількох рівнях деталізації у вигляді:

- телеграм-боту з актуальними рекомендаціями на поточну добу;
- списку графіків зміни напорів та поточних рекомендацій для кожного поля господарства (рис. 3);
- графіків фактичних значень найважливіших показників (напорів, температури та вологості повітря, опадів) для конкретного поля та метеостанції;
- графіків фактичних та прогнозних значень усіх показників, що зберігаються в межах системи, включаючи розрахункові значення евапотранспірації, метеопрогнози та прогнози динаміки напорів за різними моделями.

Окрім цього система містить засоби її адміністрування, зокрема внесення гідрофізичних

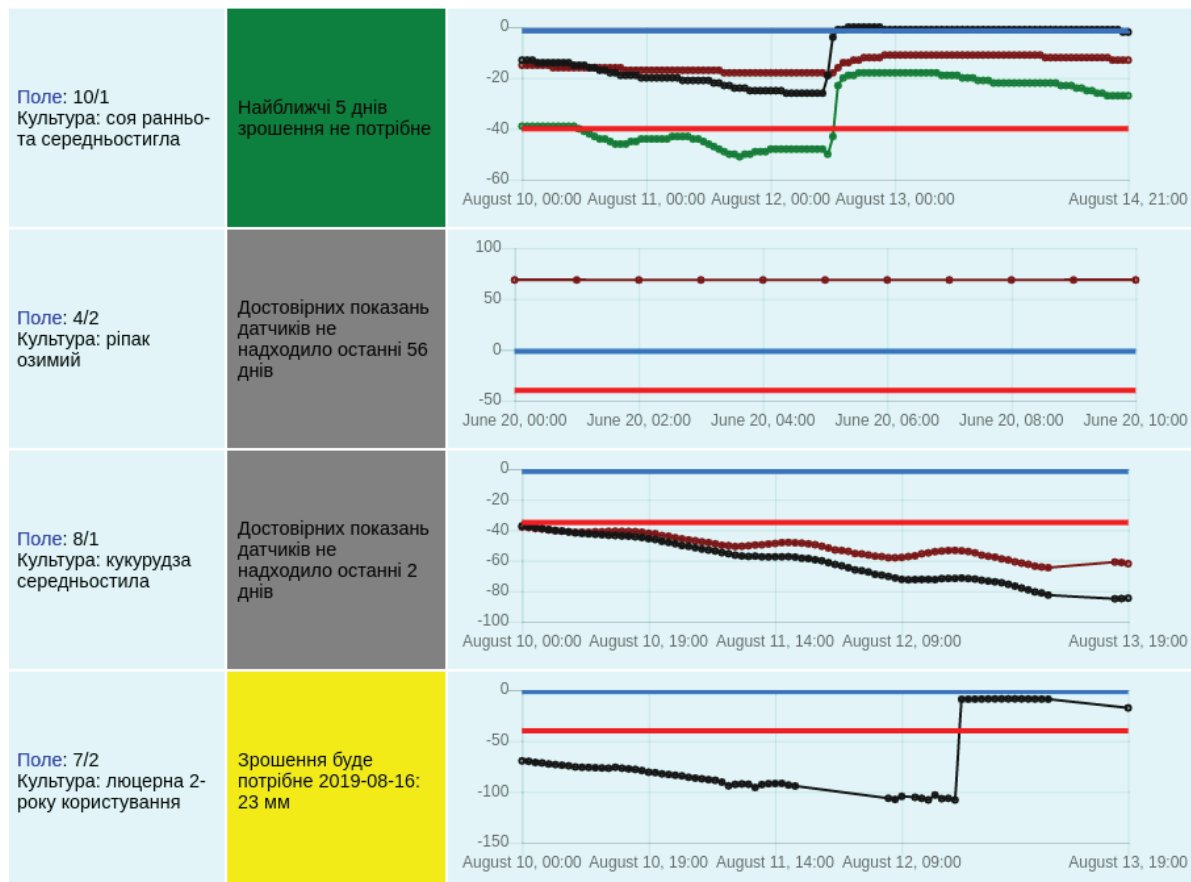


Рис. 3. Користувачський інтерфейс системи: інформація про стан вологості ґрунту в розрізі полів

параметрів ґрунтів та параметрів проведення поливів у розрізі фаз розвитку культур.

Усі засоби системи поєднуються в межах інтерактивної карти (рис. 4), до якої інтегровані засоби супутникового моніторингу стану полів: карти індексу біомаси NDVI на основі даних супутників Sentinel-2 (рис. 5) та визначення вологості у верхньому шарі ґрунту на основі нейромережевої моделі та даних пасивного та активного дистанційного зондування супутниками Sentinel-1 та 2.

Результати впровадження системи «Полив онлайн»

Система «Полив онлайн» у 2019 р. впроваджена у 2-х господарствах – ДПДГ «Асканійське»

Херсонської області і в ТОВ «АПК «Маїс» Черкаської області.

Впровадження у ДП ДГ «Асканійське» проводилось на важкосуглинистих чорноземах південних і темно-каштанових ґрунтах.

Полив проводили ДМ «Фрегат». Автоматичним моніторингом було охоплено сім полів сівозміни, на яких вирощувались соя, озимий ріпак і озима пшениця, кукурудза на зерно, люцерна і соняшник. Датчики всмоктуючого тиску встановлювались на 2-х або 3-х глибинах (через 20 см), залежно від сільськогосподарської культури.

Впровадження системи «Полив онлайн» у ТОВ «АПК»Маїс» проводилось на середньо- та легкосуглинкових чорноземних

ДПДГ Асканійське

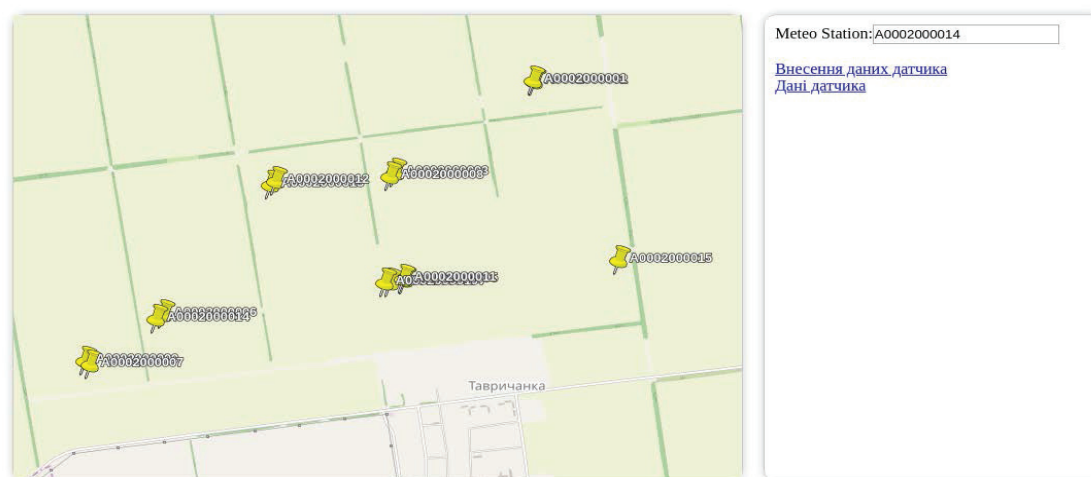


Рис. 4. Інтерактивна карта з розміщенням інструментальної частини системи у дослідному господарстві Асканійське

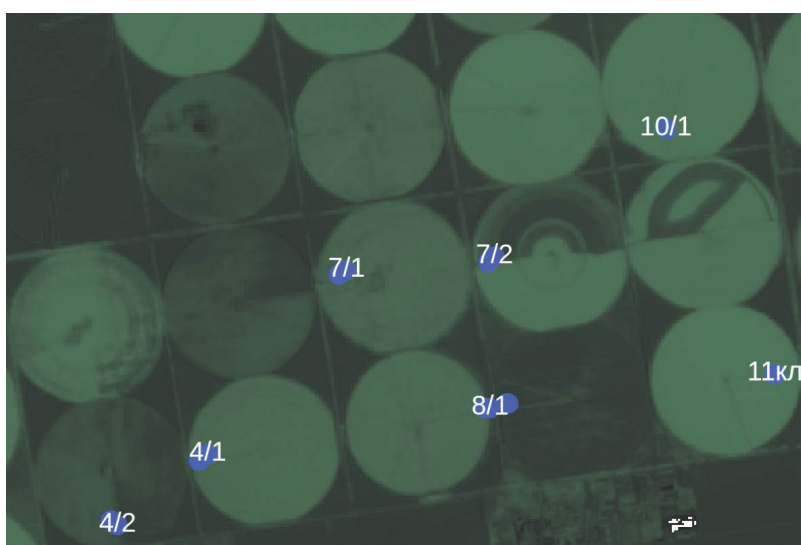


Рис. 5. Інтерактивна карта з зображенням індексу біомаси NDVI

грунтах за вирощування кукурудзи на насіння та картоплі. Полив проводили дощувальними машинами ДМ «Otech». І поле кукурудзи, і поле картоплі були охоплені автоматичним моніторингом, причому на полі кукурудзи через його велику протяжність було обладнано дві точки спостережень з установкою датчиків на 2-х глибинах – 20 і 40 см.

В обох господарствах поливи призначались при зниженні всмоктуючого тиску до передполивного порога, величина якого встановлювалась залежно від фази розвитку кожної сільськогосподарської культури.

Всмоктуючий тиск переводився у вологість і навпаки за моделлю ван Генухтена-Муалема.

Приклад даних моніторингу динаміки всмоктуючого тиску наведено на рис. 6.

Результати впровадження підтвердили робочу гіпотезу щодо доцільності використання в якості показника доступності ґрунтової вологи для рослин і відповідно передполивного порога величини всмоктуючого тиску замість вологості ґрунту. Завдяки цьому значно підвищується чутливість (точність системи) до визначення строку поливу, знижується ризик формування умов водного стресу через недостатню вологоємність ґрунтів кореневмісного шару і, відповідно, неспроможність підтримання водоспоживання рослин на оптимальному рівні.

Використання системою в якості верхньої межі оптимального діапазону величини всмоктувального тиску, що відповідає значенню НВ, отриманою з ОГХ за методикою

С.С. Коломійця [50] у поєднанні з описаним вище підходом до визначення передполивного порога зумовлює звуження діапазону оптимального вологозабезпечення рослин і потребує проведення поливів меншими, порівняно з існуючою практикою, нормами.

Унаслідок використання системою «Полив онлайн» описаних інновацій рекомендовані величини норм для обох господарств становили 250–300 м³/га замість раніше використовуваних 350–400 м³/га за однієї й тієї ж потужності розрахункового шару ґрунту.

Проведення поливів меншими нормами за такого визначення передполивного порога всмоктуючого тиску і НВ дозволяє підтримувати вологозабезпечення ґрунту в діапазоні високої, близької до НВ вологості, і створює передумови для формування більших урожаїв за умов дотримання інших складових технологій вирощування сільськогосподарських культур.

Одночасно створюються передумови для зменшення втрат води на інфільтрацію за межі кореневмісного шару, що своєю чергою, мінімізує ризики розвитку процесів підтоплення і вторинного засолення.

Висновки. Система управління зрошенням «Полив онлайн» є системою підтримки прийняття рішень у зрошенні нового покоління, в якій завдання визначення строків і норм поливу вирішується на новій методичній основі, а саме:

– в якості діапазону оптимального вологозабезпечення рослин використовується не

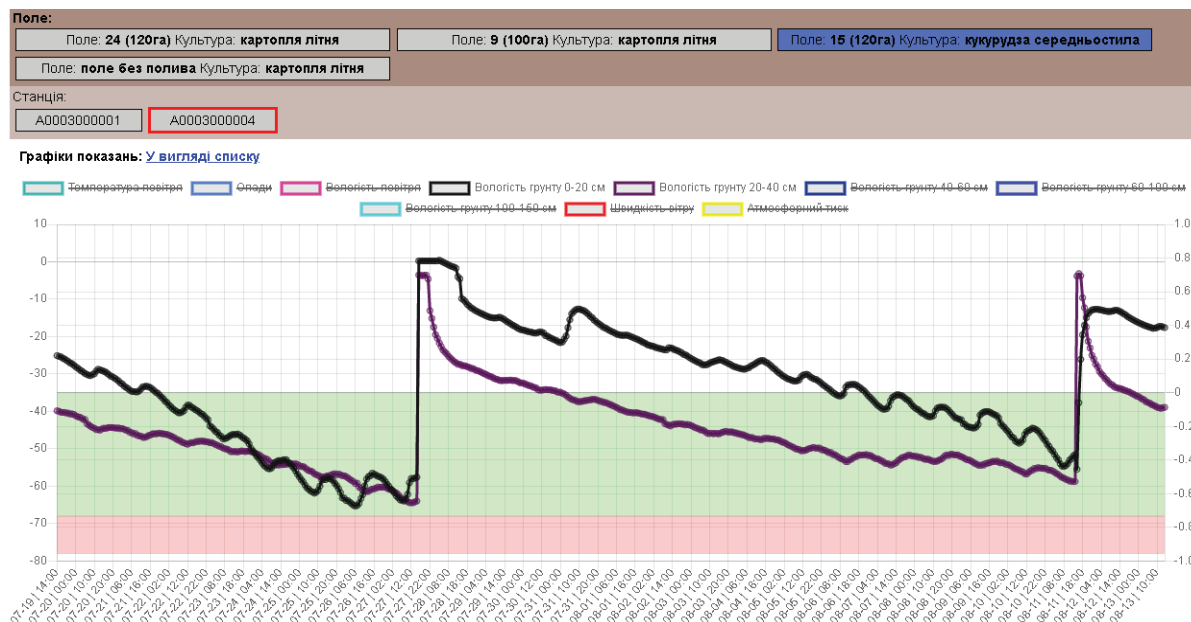


Рис. 6. Динаміка вологості ґрунту в шарі 0–20 см та 20–40 см при управлінні зрошенням кукурудзи за допомогою системи «Полив онлайн»

діапазон вологості ґрунту, а діапазон всмоктуючого тиску ґрунтової вологи. Одночасно в якості предположного порога всмоктуючого тиску приймається така його величина, за якої не проведення поливу протягом однієї доби не створить умови водного стресу для рослин;

– в якості верхньої межі оптимального діапазону вологозабезпечення рослин приймається величина всмоктуючого тиску, що відповідає НВ за її визначення по ОГХ за методикою, яка враховує структуру порового простору і більш повно відповідає фізичному визначенню – вологості, при якій припиняється стікання гравітаційної вологи.

Перехід на використання всмоктуючого тиску, як критерію регулювання вологозабезпечення рослин, дозволив використовувати для прогнозування строків і норм поливу рівняння Річардса в термінах напору, що своєю чергою дало можливість в одній крайовій задачі розглядати зону аерації разом

із горизонтом ґрунтових вод і автоматично враховувати наявність чи відсутність їх участі у забезпеченні водоспоживання зрошуваних сільськогосподарських культур.

Використання системи «Полив онлайн» дає можливість формувати режими зрошення, реалізація яких вимагає проведення поливів меншими (на 15–25%) порівняно з існуючою практикою нормами, завдяки чому створюються сприятливіші для реалізації потенціалу сортів і гібридів сільськогосподарських культур умови вологозабезпечення за одночасного підвищення екологічної безпеки зрошення внаслідок мінімізації втрат поливної води на інфільтрацію.

Наявність у складі системи «Полив онлайн» підсистеми інструментального автоматичного моніторингу стану метеопараметрів та рівня вологозабезпечення ґрунтів дозволяє щоденно коригувати прогнозні, розраховані на 5 днів вперед, строки і норми поливу і суттєво покращити точність їх прогнозування.

Бібліографія

1. Стратегія зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року. Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 14.08.2019 р. № 688-р URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/688-2019-%D1%80> (дата звернення: 25.10.2019).
2. Mainaa M.M., Amina M.S.M. and Yazidb M.A. Web geographic information system decision support system for irrigation water management: a review // *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science*, Vol. 64, 2014. № 4. P.283–293, <http://dx.doi.org/10.1080/09064710.2014.896935>.
3. Michele Rinaldi, Zhenli He Decision Support Systems to Manage Irrigation in Agriculture // *Advances in Agronomy Volume 123*, 2014, Pp. 229-279.
4. Bouman, B.A.M., van Keulen, H., van Laar, H.H., Rabbinge, R. 1996. The “school of de Wit” crop growth simulation models: a pedigree and historical overview. *Agric. Syst.* 52, p.171–198.
5. Van Ittersum, M.K., Ewert, F., Heckeley, T., Wery, J., Alkan Olsson, J., Andersen, E., Bezlepkin, I., Brouwer, F., Donatelli, M., Flichman, G., Olsson, L., Rizzoli, A.E., van der Wal, T., Wien, J.E., Wolf, J., 2008. Integrated assessment of agricultural systems – a component-based framework for the European Union (SEAMLESS). *Agric. Syst.* 96 (1–3), p. 150–165.
6. Monteith, J.L., 1977. Climate and the efficiency of crop production in Britain. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.* 281, P. 277–294.
7. Sinclair, T.R., Muchow, R.C., 1999. Radiation use efficiency. *Adv. Agron.* 65, P. 215–265.
8. De Wit, C.T., 1958. Transpiration and crop yields. *Versl. Landbouwk. Onderz.* 64.6 Institute of Biological Chemistry Research on Field Crops and Forage, Wageningen, The Netherlands.
9. Steduto, P., Hsiao, T.C., Fereres, E., 2007. On the conservative behaviour of biomass water productivity. *Irrig. Sci.* 25, P. 189–207.
10. Steduto, P., Hsiao, T.C., Raes, D., Fereres, E., 2009. AquaCrop – the FAO crop model to simulate yield response to water: I. Concepts and underlying principles. *Agron. J.* 101, P. 426–437.
11. Steduto, P., Raes, D., Hsiao, T.C., Fereres, E., 2012. AquaCrop: concepts, rationale and operation. In: Steduto, P., Hsiao, T.C., Fereres, E., Raes, D. (Eds.), *Crop Yield Response to Water*. FAO irrigation and drainage paper no. 66. FAO, Rome, P. 17–49.
12. Allen, R.G., Pereira, L.S., Smith, M., Raes, D., Wright, J.L., 2005. FAO-56 dual crop coefficient method for estimating evaporation from soil and application extensions. *J. Irrig. Drain. Eng. ASCE* 131 (1), 2–13.
13. Алпатъев А.М. О методах расчёта потребностей в воде культурных фитоценозов в связи с развитием орошения в СССР // *Биологические основы орошаемого земледелия*. Москва: Наука, 1974. С. 85–89.

14. Штойко Д.А., Писаренко В.А., Бичко О.С., Єлаженко Л.І. Розрахункові методи визначення сумарного випаровування і строків поливу с.-г. культур // Зрошувальне землеробство. 1977. С. 3–8.
15. Budyko, M.I. *Climate and Life*; Academic Press: New York, NY, USA, 1974.
16. Иванов, Н.Н. Об определении величин испаряемости. Москва: Изв. ГГО, 1954. С. 189–196.
17. Blaney, H.F. and Criddle, W.D. (1950) Determining Requirements Water in Irrigated Areas from Climatological and Irrigation Data. Washington Soil Conservation Service, 48 p.
18. Dugas, W.A., Fritschen, L.J., Gay, L.W., Held, A.A., Mathias, A.D., 1991. Bowen ratio, eddy correlation, and portable chamber measurements of sensible and latent heat flux over irrigated spring wheat. *Agric. Forest Meteorol.* 56 (1/2), 1–20.
19. Bastiaanssen, W., Noordman, E., Pelgrum, H., Davids, G., Thoreson, B., Allen, R., 2005. SEBAL model with remotely sensed data to improve water-resources management under actual field conditions. *J. Irrig. Drain. Eng.* 131 (1), 85–93.
20. Bastiaanssen, W.G.M., Menenti, M., Feddes, R.A., Holtslag, A.A.M., 1998. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 1. Formulation. *J. Hydrol.* 212–213, 198–212.
21. Kite, G.W., Droogers, P., 2000. Comparing evapotranspiration estimates from satellites, hydrological models and field data. *J. Hydrol.* 229 (1–2), 3–18.
22. Allen, R.G., Tasumi, M., Trezza, R., 2007a. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC)—model. *J. Irrig. Drain. Eng.* 133 (4), P. 380–394.
23. Droogers, P., Bastiaanssen, W., 2002. Irrigation performance using hydrological and remote sensing modeling. *J. Irrig. Drain. Eng.* 128 (1), 11–18.
24. Kite, G.W., 2000. Using a basin-scale hydrological model to estimate crop transpiration and soil evaporation. *J. Hydrol.* 229 (1–2), 59–69.
25. Santos, C., Lorite, I.J., Tasumi, M., Allen, R.G., Fereres, E., 2008. Integrating satellite-based evapotranspiration with simulation models for irrigation management at the scheme level. *Irrig. Sci.* 26 (3), P. 277–288.
26. Williams, J.R., Izaurralde, R.C., 2005. The APEX Model BRC report 2005-02. Blackland.
27. Borah, D.K., Yagow, G., Saleh, A., Barnes, P.L., Rosenthal, W., Krug, E.C., Hauck, L.M., 2006. Sediment and nutrient modeling for TMDL development and implementation. *Trans. ASABE* 49 (4), P. 967–986.
28. Panagopoulos, Y., Makropoulos, C., Mimikou, M., 2012. Decision support for diffuse pollution management. *Environ. Model Softw.* 30, P. 57–70.
29. Styczen, M., Poulsen, R.N., Falk, A.K., Jørgensen, G.H., 2010. Management model for decision support when applying low quality water in irrigation. *Agric. Water Manage.* 98, P. 472–781.
30. Smith, M., 1992. CROPWAT, A computer program for irrigation planning and management. FAO Irrigation and Drainage Paper № 46.
31. Doorenbos, J., Kassam, A.H., 1979. Yield Response to Water: FAO Irrigation and Drainage Papers No. 33. FAO, Rome.
32. Jensen, M.E., 1968. Water consumption by agricultural plants. In: Kozlowski, T.T. (Ed.), *Water Deficits in Plant Growth*, vol. 1. Academic Press, New York, P. 1–22.
33. Car, N.J., Christen, E.W., Hornbuckle, J.W., Moore, G.A., 2012. Using a mobile phone short messaging service (SMS) for irrigation scheduling in Australia—farmers' participation and utility evaluation. *Comput. Electron. Agric.* 84, P. 132–143.
34. Abrahamsen, P., Hansen, S., 2000. Daisy: an open soil-crop-atmosphere model. *Environ. Model Softw.* 15, P. 313–330.
35. Zhang, Y., Feng, L., 2010. CropIrr: a decision support system for crop irrigation. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, vol. 317 Springer, Berlin, Heidelberg, P. 90–97.
36. Keating, B.A., Carberry, P.S., Hammer, G.L., Probert, M.E., Robertson, M.J., Holzworth, D., Huth, N.I., Hargreaves, J.N.G., Meinke, H., Hochman, Z., McLean, G., Verbug, K., Snow, V., Dimes, J.P., Silburn, M., Wang, E., Brown, S., Bristow, K.L., Asseng, S., Chapman, S., McCown, R.L., Freebairn, D.M., Smith, J.C., 2003. An overview of APSIM, a model designed for farming system simulation. *Eur. J. Agron.* 18 (3), P. 267–288.
37. Stockle, C.O., Donatelli, M., Nelson, R., 2003. CropSyst, a cropping systems simulation model. *Eur. J. Agron.* 18, P. 289–307.
38. Marsal, J., Stockle, C.O., 2010. Use of CropSyst as a decision support system for scheduling regulated deficit irrigation in a pear orchard. *Irrig. Sci.* 30, 139–147.
39. Mateos, L., Lopez-Cortijo, I., Sagardoy, J.A., 2002. SIMIS, the FAO decision support system for irrigation scheme management. *Agric. Water Manage.* 56, 193–206.

40. Cheng-cai Z, Mao Z, Xi-mei S. 2012. Henan Zhaokou irrigation management system design based on flex viewer. *Procedia Eng.* 28: P. 723–728.
41. Жовтоног О.І., Філіпенко Л.А., Деменкова Т.Ф., Бабич В.А., Поліщук В.В. Комп'ютерна програма «Інформаційна система оперативного планування зрошення ІС «ГІС Полив («ІС «ГІС Полив»)). Свідоцтво про реєстрацію авторських прав на твір № 5450 від 07.05.2014.
42. Zhovtonog O., Hoffmann M., Polishchuk V. and Dubel A. New planning technique to master the future of water on local and regional level in Ukraine// *Journal of Water and Climate Change* Vol. 2 № 2-3. 2011. P. 189–200.
43. Gadzalo, Ya., Romashchenko, M., Kovalchuk, V., Matiash, T., & Voitovich O. (2019, September). Using smart technologies in irrigation management. In *International Commission on Irrigation and Drainage, 3rd World Irrigation Forum (WIF3)* (pp. 1-6). Id: W.1.3.02.
44. IRRMETER Company Inc. <https://www.irrometer.com/sensors.html>. Accessed 10 Sep 2016.
45. Автоматичний тензіометр з передачею даних через Інтернет і дозаправкою водою вручну: патент на корисну модель №132271 Україна. Опубл. 25.02.2019, Бюл. № 4.
46. Kovalchuk, V., Demchuk, O., Demchuk, D., & Voitovich, O. (2018, January). Data mining for a model of irrigation control using weather web-services. In *International Conference on Computer Science, Engineering and Education Applications* (P. 133–143). Springer, Cham.
47. Mykhailo I. Romashchenko, Vsevolod O. Bohaienko, Tetiana V. Matiash, Volodymyr P. Kovalchuk and Iuliia Iu. Danylenko. (2019). Influence of evapotranspiration assessment on the accuracy of moisture transport modeling under the conditions of sprinkling irrigation in the south of Ukraine *Archives of Agronomy and Soil Science*. Article ID: GAGS 1674445. DOI: 10.1080/03650340.2019.1674445.
48. Van Genuchten, M.T. (1980). A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils 1. *Soil science society of America journal*, 44(5), P. 892–898.
49. Rosetta Version 1.0 (Free downloaded program). U.S.Salinity Laboratory ARSUSDA; <http://www.ussl.ars.usda.gov>. Accessed 10 Sep 2019.
50. Спосіб визначення структур порового простору ґрунтів дисперсних середовищ для визначення найменшої вологоємності ґрунтів (НВ): патент на корисну модель № 45287 Україна. Опубл. 10.11.2009, Бюл. № 21.

References

1. Stratehiia zroshennia ta drenazhu v Ukraini na period do 2030 roku [Irrigation and drainage strategy in Ukraine until 2030.]: Skhvaleno rozporiadzhenniam Kabinetu Ministriv Ukrainy № 688-p. (2019, August 14). *Uriadovyi kurier*, 170. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/688-2019-%D1%80>. [in Ukrainian]
2. Mainaa, M.M., Amina, M.S.M., & Yazidb, M.A. (2014). Web geographic information system decision support system for irrigation water management: a review. *Acta Agriculturae Scandinavica (Section B. Soil & Plant Science)*, Vol. 64, No. 4, 283–293. <http://dx.doi.org/10.1080/09064710.2014.896935>.
3. Rinaldi, M., & He, Z. (2014). Decision Support Systems to Manage Irrigation in Agriculture. In: *Advances in Agronomy*, Vol. 123, 229–279
4. Bouman, B.A.M., van Keulen, H., van Laar, H.H., & Rabbinge, R. (1996). The “school of de Wit” crop growth simulation models: a pedigree and historical overview. *Agric. Syst.* 52, 171–198.
5. Van Ittersum, M.K., Ewert, F., Heckeley, T., Wery, J., Alkan Olsson, J., Andersen, E., et al. (2008). Integrated assessment of agricultural systems – a component-based framework for the European Union (SEAMLESS). *Agric. Syst.*, 96 (1–3), 150–165.
6. Monteith, J.L. (1977). Climate and the efficiency of crop production in Britain. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.*, 281, 277–294.
7. Sinclair, T.R., & Muchow, R.C. (1999). Radiation use efficiency. *Adv. Agron.*, 65, 215–265.
8. de Wit, C.T. (1958). Transpiration and crop yields. *Versl. Landbouwk. Onderz.* 64.6 Institute of Biological Chemistry Research on Field Crops and Herbage, Wageningen, The Netherlands.
9. Steduto, P., Hsiao, T.C., & Fereres, E. (2007). On the conservative behaviour of biomass water productivity. *Irrig. Sci.*, 25, 189–207.
10. Steduto, P., Hsiao, T.C., Raes, D., & Fereres, E. (2009). AquaCrop – the FAO crop model to simulate yield response to water: I. Concepts and underlying principles. *Agron. J.*, 101, 426–437.
11. Steduto, P., Raes, D., Hsiao, T.C., & Fereres, E. (2012). AquaCrop: concepts, rationale and operation. In: Steduto, P., Hsiao, T.C., Fereres, E., Raes, D. (Eds.), *Crop Yield Response to Water*. FAO irrigation and drainage paper no. 66, 17–49.

12. Allen, R.G., Pereira, L.S., Smith, M., Raes, D., & Wright, J.L. (2005). FAO-56 dual crop coefficient method for estimating evaporation from soil and application extensions. *J. Irrig. Drain. Eng. ASCE*, 131 (1), 2–13.
13. Alpatov, A.M. (1974). O metodakh rascheta potrebnosti v vode kulturnykh fytotsenozov v svyazy s razvytyem orosheniya v SSSR [On methods for calculating the water requirements of cultivated phytocenoses in connection with the development of irrigation in the USSR]. M.: Nauka. *Byolohycheskye osnovy oroshayemogo zemledelia*, 85-89. [in Russian]
14. Shtoiko, D.A., Pysarenko, V.A., Bychko, O.S., & Yelazhenko, L.I. (1977). Rozrakhunkovi metody vyznachennia sumarnoho vyparovuvannia i strokiv polyvu s.-h. kultur [Estimated methods for determining total evaporation and irrigation time of crops]. *Zroshuvalne zemlerobstvo*, 3-8. [in Ukrainian]
15. Budyko, M.I. (1974) *Climate and Life*; New York: Academic Press, NY, USA.
16. Ivanov, N.N. (1954). Ob opredelenii velychyn yspariaemosti. [On the determination of evaporation values] Moscow: *Yzv. HHO*, 189–196. [in Russian]
17. Blaney, H.F. & Criddle, W.D. (1950). *Determining Requirements Water in Irrigated Areas from Climatological and Irrigation Data*. Washington Soil Conservation Service, 48.
18. Dugas, W.A., Fritschen, L.J., Gay, L.W., Held, A.A., & Mathias, A.D. (1991). Bowen ratio, eddy correlation, and portable chamber measurements of sensible and latent heat flux over irrigated spring wheat. *Agric. Forest Meteorol.*, 56 (1/2), 1–20.
19. Bastiaanssen, W., Noordman, E., Pelgrum, H., Davids, G., Thoreson, B., & Allen, R. (2005). SEBAL model with remotely sensed data to improve water-resources management under actual field conditions. *J. Irrig. Drain. Eng.*, 131 (1), 85–93.
20. Bastiaanssen, W.G.M., Menenti, M., Feddes, R.A., & Holtslag, A.A.M. (1998). A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 1. Formulation. *J. Hydrol.*, 212–213, 198–212.
21. Kite, G.W., & Droogers, P. (2000). Comparing evapotranspiration estimates from satellites, hydrological models and field data. *J. Hydrol.*, 229 (1–2), 3–18.
22. Allen, R.G., Tasumi, M., & Trezza, R. (2007a). Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) – model. *J. Irrig. Drain. Eng.*, 133(4), 380–394.
23. Droogers, P., & Bastiaanssen, W., (2002). Irrigation performance using hydrological and remote sensing modeling. *J. Irrig. Drain. Eng.*, 128 (1), 11–18.
24. Kite, G.W. (2000). Using a basin-scale hydrological model to estimate crop transpiration and soil evaporation. *J. Hydrol.*, 229(1–2), 59–69.
25. Santos, C., Lorite, I.J., Tasumi, M., Allen, R.G., & Fereres, E., (2008). Integrating satellite-based evapotranspiration with simulation models for irrigation management at the scheme level. *Irrig. Sci.*, 26(3), 277–288.
26. Williams, J.R., & Izaurralde, R.C. (2005). *The APEX model*. BRC Report 2005-02. Blackland Research and Extension Center, Blackland.
27. Borah, D.K., Yagow, G., Saleh, A., Barnes, P.L., Rosenthal, W., Krug, E.C., & Hauck, L.M. (2006). Sediment and nutrient modeling for TMDL development and implementation. *Trans. ASABE*, 49(4), 967–986.
28. Panagopoulos, Y., Makropoulos, C., & Mimikou, M. (2012). Decision support for diffuse pollution management. *Environ. Model Softw.*, 30, 57–70.
29. Styczen, M., Poulsen, R.N., Falk, A.K., & Jørgensen, G.H. (2010). Management model for decision support when applying low quality water in irrigation. *Agric. Water Manage.*, 98, 472–781.
30. Smith, M., (1992). *CROPWAT*, A computer program for irrigation planning and management. FAO Irrigation and Drainage Paper. No. 46.
31. Doorenbos, J., & Kassam, A.H. (1979). *Yield Response to Water*: FAO Irrigation and Drainage Papers. No. 33. FAO, Rome.
32. Jensen, M.E. (1968). Water consumption by agricultural plants. In: In: Kozłowski, T.T. (Ed.), *Water Deficits in Plant Growth*, vol. 1. Academic Press, 1–22.
33. Car, N.J., Christen, E.W., Hornbuckle, J.W., & Moore, G.A. (2012). Using a mobile phone short messaging service (SMS) for irrigation scheduling in Australia—farmers’ participation and utility evaluation. *Comput. Electron. Agric.*, 84, 132–143.
34. Abrahamsen, P., & Hansen, S. (2000). Daisy: an open soil-crop-atmosphere model. *Environ. Model Softw.*, 15, 313–330.

35. Zhang, Y., & Feng, L. (2010). CropIrr: a decision support system for crop irrigation. IFIP Advances in Information and Communication Technology, vol. 317, 90–97.
36. Keating, B.A., Carberry, P.S., Hammer, G.L., Probert, M.E., Robertson, M.J., & Holzworth, D., et al. (2003). An overview of APSIM, a model designed for farming system simulation. Eur. J. Agron., 18(3), 267–288.
37. Stockle, C.O., Donatelli, M., & Nelson, R. (2003). CropSyst, a cropping systems simulation model. Eur. J. Agron., 18, 289–307.
38. Marsal, J., & Stockle, C.O. (2010). Use of CropSyst as a decision support system for scheduling regulated deficit irrigation in a pear orchard. Irrig. Sci., 30, 139–147.
39. Mateos, L., Lopez-Cortijo, I., Sagardoy, J.A. (2002). SIMIS, the FAO decision support system for irrigation scheme management. Agric. Water Manage., 56, 193–206.
40. Cheng-cai, Z, Mao, Z, & Xi-mei, S. (2012). Henan Zhaokou irrigation management system design based on flex viewer. Procedia Eng., 28, 723–728.
41. Zhovtonoh, O.I., Filipenko, L.A., Demenkova, T.F., Babych, V.A., & Polishchuk, V.V. (2014). Komp'uterna prohrama «Informatsiina systema operatyvnoho planuvannia zroshennia IS «HIS Poliv («IS «HIS Poliv»)». [Computer Program «Information System for Operational Irrigation Planning of IS» GIS Poliv («IS» GIS Poliv «)]. Svidotstvo pro reiestratsiiu avtorskykh prav na tvir № 5450 vid 07.05.2014.
42. Zhovtonog, O., Hoffmann, M., Polishchuk, V. & Dubel A. (2011). New planning technique to master the future of water on local and regional level in Ukraine. Journal of Water and Climate Change, 2(2-3), 189–200.
43. Gadzalo, Ya., Romashchenko, M., Kovalchuk, V., Matiash, T., & Voitovich O. (2019). Using smart technologies in irrigation management. International Commission on Irrigation and Drainage: 3rd World Irrigation Forum (WIF3). Bali, Indonesia: WIF3, 178. Retrieved from: https://www.icid.org/wif3_bali_2019/wif3_abst_vol.pdf.
44. IRROMETER Company Inc. irrometer.com. Retrieved from: <https://www.irrometer.com/sensors.html>
45. Kovalchuk, V.P, Voitovich, O.P, & Demchuk, D.O. (2019). Automatic tensiometer with data transmission over the Internet and refueling with water manually. Patent of Ukraine №132271. [in Ukrainian].
46. Kovalchuk, V., Demchuk, O., Demchuk, D., & Voitovich, O. (2018). Data mining for a model of irrigation control using weather web-services. Advances in Computer Science for Engineering and Education. International Conference on Computer Science, Engineering and Education Applications: Springer International Publishing, 133-143. https://doi.org/10.1007/978-3-319-91008-6_14.
47. Romashchenko, M.I., Bohaienko, V.O., Matiash, T.V., Kovalchuk, V.P., & Danylenko, Iu.Iu. (2019). Influence of evapotranspiration assessment on the accuracy of moisture transport modeling under the conditions of sprinkling irrigation in the south of Ukraine Archives of Agronomy and Soil Science. <https://doi.org/10.1080/036503402019.1674445>.
48. Van Genuchten, M. T. (1980). A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils I. Soil science society of America journal, 44(5), 892–898.
49. Rosetta Version 1.0 (Free downloaded program). U.S.Salinity Laboratory ARSUSDA; Retrieved from: <http://www.ussl.ars.usda.gov>. Accessed 10 Sep 2019.
50. Kolomiets S.S., & Yatsyk M.V. (2009). Method of determining the pore space structures of soils of dispersed media to determine the lowest soil moisture (HB). Patent of Ukraine № 45287. [in Ukrainian].

**М.И. Ромашченко, Т.В. Матяш, В.А. Богаенко, В.П. Ковальчук,
А.П. Войтович, А.В. Крученко, В.В.Кныш, В.В. Шлихта**

Опыт разработки и пути совершенствования систем управления орошением

Аннотация. В работе приведен обзор моделей и программных средств, применяемых в системах поддержки принятия решений при орошении. В основе СППР в орошении лежат модели накопления биомассы или модели эвапотранспирации, дан обзор самых известных систем, а также презентуется инновационная система управления орошением «Полив онлайн». Система состоит из аппаратной и программной части. Часть технического аппаратного оснащения системы размещена в поле, состоит из метеостанций iMetos или Davis, а также оборудование собственной разработки. Программная часть, предназначенная для хранения, обработки и предоставления рекомендаций размещается и выполняется на сервере, направляет пользователю рекомендации о начале полива и поливную норму на компьютер или на мобильное устройство.

Система базується на моделюванні вологоперенесення, автоматизованих вимірюваннях вологообеспеченості ґрунту та метеорологічних показувачів на полі та погодних даних із автоматизованих прогнозних сайтів. Основна гідрофізическа характеристика (ОГХ) ґрунту та залежність коефіцієнта вологоперенесення від напора, які є вихідними параметрами моделі, задаються в послойній формі згідно моделі ван Генухтена-Муалема.

Внедрення системи відбулося в 2019 році в ГП ОХ «Асканійське» Херсонської області та ООО «АПК «Маїс» Черкаської області. З допомогою системи надавалися рекомендації щодо поливу озимого рапса, пшениці, кукурудзи, сої, люцерни та картоплі. Встановлено, що використання системи «Полив онлайн» дає можливість формувати режими зрошення, реалізація яких потребує проведення поливів менше (на 15–25%) порівняно з існуючою практикою нормами, завдяки чому створюються сприятливі умови реалізації потенціалу сортів та гібридів сільськогосподарських культур при одночасному підвищенні екологічної безпеки зрошення завдяки мінімізації втрат поливної води на інфільтрацію.

Ключові слова: системи управління зрошенням, моделювання вологоперенесення, автоматизовані вимірювання, рекомендації щодо початку поливу, програмне забезпечення.

**M.I. Romashchenko, T.V. Matiash, V.O. Bohaienko, V.P. Kovalchuk,
O.P. Voitovich, A.V. Krucheniuk, V.V. Knysh, V.V. Shlikhta**

Development experience and ways of improvement of irrigation management systems

Abstract. The paper provides an overview of models and software used in decision support systems in irrigation. The models of biomass accumulation or evapotranspiration are the base of the decision support systems in irrigation. The overview of the most famous systems is given, as well as an innovative irrigation control system “Irrigation online” is presented. The system consists of hardware and software. The part of the system’s hardware is located in the field consisting of iMetos or Davis weather stations, as well as of own-developed equipment. The software part, intended for storing, processing and providing recommendations, is hosted and run on a server. It sends the recommendations about starting watering and necessary irrigation rates to a user’s computer or mobile device. The system is based on modelling of moisture transfer, automated measurements of soil moisture and meteorological indicators in the field and weather data from automated forecast web-sites. Water retention curve of soil and the dependence of the moisture transfer coefficient on the water head, which are the input parameters of the model, are given for every layer according to the van Genuchten-Mualem Model.

The application of the system took place in 2019 in SE EF “Askaniiske” Kherson region and LLC “APC “Mais” in Cherkasy region. The system “Irrigation Online” provided the recommendations on watering winter rape, wheat, corn, soybeans, alfalfa and potatoes.

It was specified that the use of the system “Irrigation Online” enables to schedule irrigation regimes, the implementation of which requires watering with less rates (by 15–25%) in comparison with the current irrigation rates, due to which more favorable conditions for the maximum realization of crop varieties and hybrids potential are created. It is accompanied by enhancing the environmental safety of irrigation as a result of minimization of irrigation water losses for infiltration.

Key words: irrigation management systems, moisture transfer’s modelling, automated measurements, recommendations for irrigation timing, software

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg201902-180>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/180>

УДК 631.6; 626.8

СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ОСУШУВАЛЬНИХ МЕЛІОРАЦІЙ В УМОВАХ ЗМІН КЛІМАТУ

Г.В. Воропай¹, канд. техн. наук, М.В. Яцик², канд. техн. наук, Н.В.Мозоль³

¹ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-5004-0727>; e-mail: voropaig@ukr.net

² Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-6674-5369>; e-mail: nikomage@ukr.net

³ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0001-7495-4702>; e-mail: moznaz@ukr.net

Анотація. Наведено результати аналізу сучасного стану осушувальних меліорацій в умовах змін клімату, які відбуваються останніми десятиліттями і супроводжуються нестабільністю забезпечення водою меліорованих територій та формують нові умови вирощування сільськогосподарських культур. Визначено особливості функціонування меліоративних систем. Основними чинниками, які впливають на функціонування систем і ефективність використання осушуваних земель, є недостатня водозабезпеченість меліоративних систем; розпаювання земель без врахування технологічної цілісності осушуваних масивів; незадовільний технічний стан інженерної інфраструктури внутрішньогосподарської мережі. Пріоритетними напрямками розвитку осушувальних меліорацій в сучасних умовах та шляхами відновлення ефективного функціонування меліоративних систем з урахуванням трансформаційних процесів, які виникли в результаті реформування аграрного сектора та сучасних агротехнічних і екологічних вимог, є підвищення водозабезпеченості осушувальних систем; їх реконструкція та модернізація; розроблення та впровадження новітніх конструктивно-технологічних рішень з урахуванням сучасних вимог (соціальних, еколого-економічних, агротехнічних та вимог землекористувачів). Встановлено, що в сучасних умовах одним з найбільш ефективних та економічних технологічних прийомів регулювання водного режиму на осушуваних землях є акумуляція місцевого дренажного стоку. Наведено розроблені конструктивно-технологічні рішення з підвищення водозабезпеченості меліорованих територій, впровадження яких дозволять забезпечити оперативне та ефективне управління процесами водорегулювання, створити гарантовані об'єми води для проведення зволоження та забезпечення оптимального водного режиму в кореновому шарі ґрунту. Визначено, що отримання гарантованих обсягів сільськогосподарської продукції в умовах змін клімату можливе лише завдяки дотриманню науково обґрунтованих технологічних процесів меліорації земель та забезпеченню регулювання водного режиму на осушуваних землях. Тому максимальне використання потенціалу сортів і гібридів сільськогосподарських культур (кукурудза, соя, ріпак, соняшник), непритаманних регіону гумідної зони України, можливе лише завдяки забезпеченню регулювання водного режиму ґрунтів.

Ключові слова: гумідна зона, осушувальні меліорації, меліоративна система, водозабезпеченість меліорованих територій, технічний стан меліоративних систем.

Актуальність. Осушувальні меліорації в зоні надмірного зволоження України є важливою складовою забезпечення сталого виробництва сільськогосподарської продукції, створення надійної кормової бази для розвитку тваринництва, а також сировинної бази для харчової промисловості, особливо в роки з несприятливими кліматичними умовами.

Досвід передових господарств свідчить, що при застосуванні сучасних моделей та технологій меліоративного землеробства на осушуваних землях, ефективному управлінні водним режимом можна отримувати високі і стабільні врожаї сільськогосподарських культур: кормових коренеплодів – 45–55 т/га; зеленої маси кукурудзи – 55–60 т/га; зерна –

2,5–3,5 т/га; картоплі – 20–23 т/га; багаторічних трав на сіно – 9–12 т/га; зеленої маси багаторічних трав – 30–35 т/га. На осушуваних землях вирощується майже 70% кормових культур [1].

Того ж часу, зміни клімату, які спостерігаються останніми роками, супроводжуються нестабільністю забезпечення водою меліорованих територій та формують нові умови вирощування сільськогосподарських культур. Територія України з надмірним та достатнім атмосферним зволоженням за останні 25 років зменшилась на 10% і займає лише 22,5% або 7,6 млн. га ріллі [1; 2].

Враховуючи наявність чіткої тенденції до подальшого зростання посушливості

клімату в Україні і, відповідно, погіршення умов природного вологозабезпечення на все більшій частині її території, а також формування в Поліській зоні не тільки умов перезволоження ґрунтів, а і дефіциту в них вологи в другій половині періоду вегетації, зростає потреба та роль меліоративних систем у сталому веденні землеробства на осушуваних землях. До того ж, меліоративні системи також розглядаються не тільки як засіб формування сприятливого водно-повітряного режиму ґрунтів для вирощування сільськогосподарських культур, але і як обов'язковий елемент створення сприятливих умов для проживання населення завдяки мінімізації негативного впливу процесів підтоплення ґрунтовими та затоплення поверхневими водами під час повеней та паводків.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Меліоративні системи, які запроєктовано та побудовано у 60–80 рр. минулого століття, є технологічно цілісними інженерними комплексами, які мають суттєвий вплив не тільки на рівень сільськогосподарського виробництва, але і на економічну, екологічну та соціальну стабільність регіону. На Поліссі меліорація здійснювалася, насамперед, з метою вирішення соціальних проблем, оскільки на одного жителя в цьому регіоні припадає 0,2 га орної землі [3].

Найбільш інтенсивний розвиток осушувальних меліорацій спостерігався в період з 1965 по 1990 рр., коли велося масштабне будівництво осушувальних систем і щорічно вводилося в експлуатацію в середньому до 90–110 тис. га осушуваних земель нового будівництва та 38–42 тис. га – земель з реконструйованими водорегулюючими системами. Після 1985 р. нове будівництво осушувальних систем істотно знизилось. На даний час будівництво нових меліоративних систем практично припинено, а роботи по комплексній реконструкції та технічній модернізації існуючих систем зведені до мінімуму.

Меліоративний фонд гумідної зони України складає 5,4 млн. га. Загалом землі цього фонду представлені постійно або тимчасово перезволожуваними мінеральними та заболоченими торфовими ґрунтами з шаром торфу потужністю менше 0,5 м та болотами, де шар торфу перевищує 0,5 м. Верхові та перехідні торф'яні перезволожені землі становлять лише 5% від усіх перезволожених земель і зосереджені в Рівненській, Житомирській і Волинській областях. Незначні площі перезволожених земель знаходяться в Київській, Чернігівській, Закарпатській

та Івано-Франківській областях. Найбільші площі заболочених і перезволожених земель знаходяться у Волинській, Житомирській, Львівській і Чернігівській областях. У Закарпатській області осушено майже 99% меліоративного фонду, Чернівецькій – 76%, Рівненській – 84%. Загалом по гумідній зоні на більшій частині земель меліоративного фонду (60,5%) проведено меліоративні заходи [4]. Завдяки цьому показник меліорованості земель цієї зони досить високий і відповідає рівню таких країн як США (60%), Німеччина (66%), Нідерланди (81%) [5].

Осушувальні системи знаходяться переважно в зоні Полісся України на загальній площі 3,2 млн. га і включають 1671 дренажну меліоративну систему, у тому числі: 835 осушувальних систем однієї дії на площі 1,5 млн. га (50%), 585 осушувально-зволожувальних систем двох дії на площі 1,3 млн. га (35%) та 251 польдерну систему на площі 0,4 млн. га (15%) [1; 6].

На сьогодні після реформування аграрного сектора, розпаювання земель, а також у зв'язку з фінансовою кризою, якою охоплені практично всі галузі суспільного виробництва, суттєво знизилася ефективність використання осушуваних земель та їх роль у продовольчому і ресурсному забезпеченні держави. Особливо різке зниження економічної віддачі результатів господарювання на меліорованих землях, наслідки яких вкрай негативно позначилися на подальшому їх використанні, відбулося в кінці 80-х – початку 90-х рр. минулого століття.

Метою досліджень є встановлення сучасного стану та перспектив розвитку осушувальних меліорацій в умовах змін клімату та визначення пріоритетних напрямів відновлення ефективного використання осушуваних земель.

Матеріали і методи досліджень. Методи досліджень базуються на системному аналізі та узагальненні знань щодо сучасного стану та особливостей функціонування меліоративних систем гумідної зони України.

Результати дослідження та їх обговорення. Дослідженнями, проведеними вченими ІВПіМ НААН, встановлено, що через значне скорочення бюджетного фінансування в галузі меліорації земель, моральне і фізичне старіння водогосподарських систем, передачу внутрішньогосподарських меліоративних систем на баланс сільських рад (у комунальну власність) з'явилися загрозові тенденції погіршення їх технічного стану та екологічної ситуації на меліорованих землях.

Визначено, що основними чинниками, які впливають на ефективність використання осушуваних земель, є погіршення водозабезпеченості меліорованих територій, моральне та фізичне старіння водогосподарської мережі, передача фондів внутрішньогосподарських меліоративних систем на баланс сільських рад, погіршення технічного та екологічного стану меліоративних систем (рис. 1).

Одним із основних чинників ефективності використання осушуваних земель є недостатня їх водозабезпеченість. Зменшення водності меліорованих територій виникає внаслідок досить частого повторення посушливих періодів, скорочення об'ємів річного стоку, погіршення технічного стану та недосконалості конструктивно-технологічних рішень щодо акумуляції, перерозподілу та повторного використання води для зволоження осушуваних ґрунтів в посушливі періоди.

Зміни клімату, які спостерігаються останніми десятиліттями, супроводжуються нестабільністю забезпечення водою меліорованих територій та формують нові умови вирощування сільськогосподарських культур. Оскільки прогнози свідчать, що у перспективі найбільш імовірним є збільшення повторюваності посушливих явищ, в т. ч. з екстремально високими температурами, та зливого характеру опадів, то і надалі погіршуватимуться умови вологозабезпечення вирощуваних культур [1; 7].

Оцінюючи річковий стік, як основне джерело водних ресурсів, слід відзначити значну мінливість стоку в часі, що ускладнює забезпечення водою меліорованих територій. Більше 60%

річного стоку припадає на весняний сезон, а в період найбільшого літнього водоспоживання його величина знижується практично до мінімуму. У майбутньому прогнозують подальші зміни внутрішньорічного розподілу стоку річок, а саме: підвищення стоку зимової межени, зміщення початку весняної повені на більш ранні строки [8].

Збереження існуючих тенденцій подальшого зростання посушливості клімату, а отже і подальшого збільшення дефіциту кліматичного водного балансу, є підставою стверджувати про збереження і посилення тенденції щодо зменшення величини річкового стоку не тільки малих та середніх, а і великих річок України [9].

Розрахунками встановлено, що загалом по гумідній зоні кількість атмосферних опадів на території осушуваних земель у вегетаційний період складає в середньому 20,5 км³ (в рік 50% забезпеченості), а в роки з 10 та 90% забезпеченістю – 24,3 та 16,3 км³ відповідно. Водночас, величина водоспоживання сільськогосподарських культур на осушуваних землях у середньому складає 14,9 км³, що не перевищує об'єму атмосферних опадів у вегетаційний період.

Однак, оскільки більшість меліоративних систем функціонують у режимі водовідведення, то спостерігається тенденція аридизації меліорованих територій. Як свідчить практика, конструктивно-технологічні можливості існуючих меліоративних систем у різних природно-кліматичних умовах гумідної зони, у більшості випадків, не дозволяють акумулювати та використовувати дренажно-скидні



Рис. 1. Основні чинники, які впливають на функціонування меліоративних систем

води для проведення зволожувальних заходів та підтримання оптимального водного режиму на осушуваних землях упродовж вегетаційного періоду. Тому на більшості меліорованих територій впродовж вегетаційного періоду спостерігається дефіцит вологи в ґрунті, що призводить до зниження врожайності сільськогосподарських культур.

У таких умовах дефіциту місцевого дренажного та поверхневого стоку для проведення підґрунтового зволоження на осушуваних землях виникла нагальна необхідність підвищення водності та водозабезпеченості меліорованих територій за рахунок забору та подачі до меліоративних систем додаткових об'ємів води з існуючих водосховищ, річок, ставків, озер, розташованих як у межах, так і за межами систем.

Блок-схему основних конструктивно-технологічних рішень із підвищення водозабезпеченості меліорованих територій, розроблених в ІВПіМ НААН, представлено на рис. 2. Впровадження розроблених рішень дозволяє забезпечити оперативне та ефективне управління технологічними процесами водорегулювання, створити гарантовані об'єми води для проведення підґрунтового зволоження та забезпечення оптимального водного режиму в кореновому шарі ґрунту.

Дослідженнями встановлено, що в сучасних умовах найбільш ефективним та економічним технологічним прийомом регулювання водного режиму на осушуваних землях є акумуляція місцевого дренажного стоку. Як показали результати досліджень, дренажний стік у витратній статті водного балансу має значну питому вагу і за об'ємом складає більше ніж 50% від сумарного водоспоживання сільськогосподарських культур. Тому визначення його

величини має велике практичне значення не тільки для проектування дренажу, але і для вирішення питань двостороннього регулювання водного режиму меліорованих ґрунтів та розрахунку об'ємів води для проведення зволожувальних заходів [10].

В ІВПіМ НААН розроблена технологія накопичення об'ємів води та дренажного стоку, яка апробована на пілотних об'єктах осушувальних систем у Чернігівській і Рівненській (2011–2013 рр.) та в Сумській (2014–2015 рр.) областях. Застосування цієї технології на пілотних об'єктах Чернігівської та Рівненської областей забезпечило акумуляцію води в ґрунті у вегетаційний період в об'ємах від 780 до 1600 м³/га та оптимальний водний режим осушуваних ґрунтів в межах 0,70–1,20 м [1; 10].

Тому для ефективного функціонування меліоративних систем, гарантованого водозабезпечення їх за умов мінімізації експлуатаційних витрат та забруднення поверхневих вод необхідно передбачати максимальне використання атмосферних опадів; з урахуванням нерівномірності їх випадання в часі необхідне проведення реконструкції та модернізації меліоративних систем, забезпечення двостороннього регулювання водного режиму, акумулювання води в вологі періоди та використання її в посушливі періоди, запровадження замкнених водооборотних систем.

Практична реалізація напрямків із підвищення водозабезпеченості меліоративних систем потребує розробки ресурсо- та енергозберігаючих технологій та гідротехнічних споруд різного функціонального призначення.

З урахуванням конструктивних особливостей різних типів меліоративних систем у гумідній зоні, існуючих технологій управління водним режимом, характеристик



Рис. 2. Структурна блок-схема основних конструктивно-технологічних рішень із підвищення водозабезпеченості меліорованих територій

водних джерел та місця їх розташування по відношенню до систем розроблені технологічні схеми забору води з річок та водосховищ та її подачі для зволоження осушуваних ґрунтів. Ці схеми базуються на врахуванні сучасних вимог землекористувачів, створенні водооборотних систем з акумуляційними ємкостями та їх каскадом із використанням дренажного та поверхневого стоку, а також додатковим забором води з існуючих водосховищ у поєднанні з паводковими періодами за умови мінімізації забруднення річок-водоприймачів [11; 12].

Застосування систем польдерного типу є важливим способом ефективного використання заплавної землі. Однак, на сьогодні, як показує практика, існуючі технологічні схеми водорегулювання на польдерних системах не завжди є ефективними, часто призводять до непродуктивних витрат електроенергії, надмірного зносу насосно-силового обладнання. Через надлишкові об'єми відкачуваної води впродовж вегетаційного періоду нерідко формується несприятливий водний режим для вирощуваних культур. А в посушливі періоди необхідність подачі води для зволоження призводить до збільшення експлуатаційних витрат і собівартості сільськогосподарської продукції.

З метою підвищення ефективності використання осушуваних земель в Інституті розроблено енергоощадну технологію водорегулювання на системах польдерного типу. Розроблену технологію апробовано та впроваджено на меліорованих землях польдерної системи «Іква», що в Рівненській області. Результати впровадження показали, що застосування цієї технології сприяє суттєвому (учетверо) зниженню інфільтрації вологи до рівня ґрунтових вод порівняно з традиційною схемою водорегулювання та на 15–20% підвищенню вологозабезпеченості вирощуваних сільськогосподарських культур [13].

Важливим чинником, який має вплив на функціонування меліоративних систем, є трансформаційні зміни, які виникли внаслідок розпаювання та приватизації осушуваних земель, передачі внутрішньогосподарської мережі на баланс місцевим органам самоврядування. Докорінна зміна категорій та чисельності землевласників і землекористувачів призвела до порушення усталених технологій землекористування та управління системами, порушилися виробничі та економічні зв'язки між учасниками сільськогосподарського виробництва.

Сформувалось понад 950 тис. землекористувачів меліорованих земель. Це державні

сільськогосподарські колективні підприємства (на їх долю припадає близько 3% від загальної площі осушуваних земель); недержавні сільськогосподарські товариства (27%); селянські (фермерські) господарства (4%); наділи громадян, які надані їм у користування (49%); акціонерні товариства та господарства інших форм (17%).

Середній розмір земельної частки (паю) в різних регіонах складає від 2,4 до 4,8 га. Понад 75–80% паїв на меліорованих землях передані землевласниками в оренду до агроформувань різних форм власності і господарювання.

Розмір осушуваних площ, які використовують недержавні підприємства, становить від 500 до 3000 га, фермерські господарства – 10–150 га. Розміри земельних ділянок у більшості землекористувачів не дають можливості вести рентабельне та високоприбуткове виробництво товарної продукції [1; 6].

Одночасно відбулися суттєві організаційно-господарчі зміни, в результаті яких була порушена цілісність меліоративних систем. Особливо це стосується передачі внутрішньогосподарської мережі в комунальну власність, що вкрай негативно вплинуло на їх технологічну цілісність та технічний стан.

На даний час значна кількість меліоративних систем знаходяться в незадовільному технічному стані, що проявляється у фізичному та моральному старінні основних меліоративних фондів, низькому рівні експлуатації осушувальної мережі, виході з ладу, а в багатьох випадках, відсутності гідромеханічного обладнання. Загальна зношеність елементів інженерної інфраструктури внаслідок їх довготривалої експлуатації є задовільною та складає 60%, з них: на міжгосподарській мережі – 55%, на внутрішньогосподарській – 65%.

Канали, гідротехнічні споруди (ГТС), насосні станції (НС) на міжгосподарській мережі, які обслуговуються водогосподарськими організаціями Держводагентства України, на 90% всієї площі меліорованих земель знаходяться у задовільному стані. Одночасно, потребують ремонту 38% каналів відкритої мережі, 39% ГТС та 45% НС. Технічний стан внутрішньогосподарської мережі дренажних систем лише на 50% всієї площі меліорованих земель є задовільним. До того ж потребують ремонту 65% існуючих каналів відкритої мережі, 62% ГТС та 29% НС.

Технічний стан більшої частини міжгосподарської інфраструктури дренажних систем дозволяє відновити її використання для проведення водорегулювання шляхом здійснення заходів із модернізації та реконструкції.

Очевидно, що витрати на ці заходи будуть значно меншими порівняно з новим будівництвом.

В останні 12–15 років через низьку платоспроможність землекористувачів та відсутність належної державної фінансової підтримки не проводять ремонтно-відновлювальні та експлуатаційні роботи на дренажно-колекторній мережі, відсутні обов'язкові агротехнічні та агро меліоративні заходи, хімічна меліорація осушуваних ґрунтів.

Замулення та заростання мережі відкритих каналів негативно впливає на ефективність захисту від підтоплення населених пунктів, об'єктів соціального призначення (доріг, газопроводів, об'єктів енергетики), лісових масивів, розташованих на меліорованих територіях.

Вищенаведені чинники сприяють формуванню незадовільного екологічного стану на меліорованих територіях, який проявляється у зниженні родючості та деградації осушуваних ґрунтів внаслідок їх довготривалого сільськогосподарського використання, забрудненні річок-водоприймачів скидними водами та радіаційному забрудненні.

Унаслідок проведення земельної реформи в Україні на осушуваних землях відбулися також зміни в структурі їх площ: підвищилася питома вага посівів зернових і кормових культур, проте значно зменшилось технічних, картоплі та овочевих. На осушуваних землях України посіви займають 64%, сіножаті і пасовища – 32%, багаторічні насадження – 2%. В Івано-Франківській, Львівській і Закарпатській областях половина всіх посівів зернових, технічних і кормових культур розміщуються на осушуваних землях [4].

До того ж, на сучасному етапі за помітних змін кліматичних умов в гумідній зоні зростає цінність та значення земель сільськогосподарського призначення цього регіону. У процесі змін клімату з'явився додатковий ресурсний потенціал – потепління, завдяки якому ареал вирощування теплолюбивих культур (соняшник, кукурудза на зерно, соя) зміщується в зону стійкого вологозабезпечення, тобто спостерігається перехід із традиційних зон вирощування у північні і західні. Це підтверджується динамікою структури посівних площ періоду 2000–2014 рр. порівняно з 1990 р.: площі посівів соняшнику зросли у 24 рази, кукурудзи на зерно – у 6,2 рази, ріпаку – у 4,7 рази. Натомість за цей період у гумідній зоні площі під пшеницею озимую та ярою зменшилися у 1,3 рази, плодів і ягід – у 2,7 разів. Поряд з цим, зменшилися також посіви льону-довгунцю, кормових сіяних трав, цукрових буряків, зернобобових культур. Унаслідок вирощу-

вання останніми роками більш продуктивних нових сортів та гібридів сільськогосподарських культур спостерігається збільшення їх урожайності. При цьому підвищення урожайності є більшим, ніж у цілому по Україні, що пов'язане з достатнім вологозабезпеченням. Зокрема, середня врожайність зернових і зернобобових культур у гумідній зоні порівняно з 1990 р. підвищилася в 1,7 рази, а по Україні – 1,2 рази; для кукурудзи на зерно відповідно в 1,9, і в 1,6 рази, для ріпаку – в 2,1 і 1,7 раз. Така тенденція відмічена практично для всіх сільськогосподарських культур [14].

Загалом у гумідній зоні спостерігаються як позитивні, так і негативні зміни. До негативних змін належать такі: невелика частка у структурі посівних площ належить кормовим культурам (13%); значне збільшення площ під соняшником, кукурудзою на зерно та ріпаком і зменшення – під пшеницею, плодами та ягодами, льоном-довгунцем, кормовими культурами. Позитивні зміни стосуються зменшення площ сільськогосподарських угідь (порівняно з 1990 р. зменшення на 13%, а ріллі – на 11%) та суттєвого приросту врожаїв сільськогосподарських культур, в тому числі і завдяки селекції більш продуктивних сортів і гібридів [14].

Однак є очевидним, про що свідчить існуючий виробничий досвід ведення сільськогосподарського виробництва на осушуваних землях, що максимальне використання потенціалу сортів і гібридів та отримання гарантованих обсягів сільськогосподарської продукції можливе лише завдяки дотриманню науково обґрунтованих технологічних процесів меліорації земель та забезпечення регулювання водного режиму на осушуваних землях.

Висновки. В Україні існує потужна водогосподарсько-меліоративна осушувальна інфраструктура, яка використовується вкрай незадовільно. Відновлення ефективного використання осушувальних систем у режимі активного водорегулювання належить до числа пріоритетних завдань, що вимагає проведення заходів із модернізації та реконструкції систем. До того ж корінної реконструкції потребують системи односторонньої дії, оскільки в сучасних кліматичних умовах ці системи мають бути реконструйовані з розширенням їх функцій зі здатністю зволожувати ґрунт [15].

Основними чинниками, які впливають на функціонування меліоративних систем, та причинами неефективного використання осушуваних земель, в умовах змін клімату є недостатня водозабезпеченість меліоративних систем; розпаювання земель без врахування

технологічної цілісності осушуваних масивів; незадовільний технічний стан інженерної інфраструктури внутрішньогосподарської мережі.

З урахуванням трансформаційних процесів, які виникли в результаті реформування аграрного сектора, сучасних агротехнічних і екологічних вимог землекористувачів осушуваних земель пріоритетними напрямками відновлення ефективного функціонування меліоративних систем гумідної зони є підвищення їх водозабезпеченості; реконструкція та модернізація систем; розроблення

та впровадження новітніх конструктивно-технологічних рішень з урахуванням сучасних вимог: соціальних, еколого-економічних, агротехнічних та вимог землекористувачів.

У зв'язку зі змінами клімату в зоні Полісся сформувалися сприятливі умови для вирощування раніше непритаманних цьому регіону сільськогосподарських культур (кукурудза, соя, ріпак, соняшник), однак максимальне використання потенціалу сортів і гібридів можливе лише завдяки забезпеченню регулювання водного режиму ґрунтів.

Бібліографія

1. Меліорація ґрунтів (систематика, перспективи, інновації): колективна монографія. Херсон: Грін Д.С., 2015. 668 с.
2. Вплив кліматичних змін на вологозабезпечення території України та виробництво сільськогосподарської продукції / Ромащенко М.І. та ін. // «Вода для всіх»: присвячено Всесвітньому дню водних ресурсів: Міжнар. наук.-практ. конференція: тези доп. Київ, 2019. С. 179–180.
3. Механізм ринкового господарювання: галузеві особливості / Гуменюк В.Я. та ін. Рівне: НУВГП, 2005. 281 с.
4. Кожушко Л.Ф., Велесик Т.А. Формування ринку осушених земель сільськогосподарського призначення. Рівне: НУВГП, 2015. 188 с.
5. Сучасний стан, основні проблеми водних меліорацій та шляхи їх вирішення. Київ: Аграрна наука, 2001. 214 с.
6. Концепція ефективного використання осушуваних земель гумідної зони (наукові засади). Київ, 2013. 21 с.
7. Меліорація та облаштування Українського Полісся: [колективна монографія] / заг. ред. Я.М. Гадзало, В.А. Сташук, А.М. Рокочинський. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2017. Т. 2. 932 с.
8. Дегодюк С.Е., Дегодюк Е.Г. Спеціалізація землеробства в Україні залежно від змін клімату // Зб. наук. праць ННЦ «Інститут землеробства УААН». 2008. Спецвипуск. С. 69–77.
9. Ромащенко М.І. Вплив змін клімату на стан забезпечення України водними ресурсами // «Вода для всіх»: присвячено Всесвітньому дню водних ресурсів: Міжнар. наук.-практ. конференція: тези доп. Київ, 2019. С. 11–12.
10. Яцик М.В., Воропай Г.В., Молеца Н.Б. Підвищення водозабезпеченості меліоративних систем гумідної зони // Меліорація і водне господарство. 2016. Вип. 103. С. 63–68.
11. Чалий Б.І., Дробот О.В. Технологія регулювання водного режиму осушуваних земель з використанням дренажного стоку // Меліорація і водне господарство. 2011. Вип. 99. С. 91–97.
12. Тищенко О.І., Нагалюк С.І. Зволоження осушуваних земель Лівобережного Полісся України // Водне господарство України. 2012. № 2. С. 21–25.
13. Яцик М.В., Воропай Г.В., Топольник Т.І. Ресурсоощадна технологія регулювання водного режиму ґрунтів на меліоративних системах польдерного типу // Вісник аграрної науки. 2015. № 12. С. 47–51.
14. Дацько Л.В. Сучасне сільськогосподарське використання земель гумідної зони України // Меліорація і водне господарство. 2016. Вип. 103. С. 41–47.
15. Стратегія зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року. Схвалено Кабінетом Міністрів України, 2019. № 688-р.

References

1. Baljuk, S.A., Romashhenko, M.I., & Truskavetskyi, R.S. (2015). Melioratsiia gruntiv (systematika, perspektyvy, innovatsiyi): kolektyvna monografiia [Soil reclamation (systematics, perspectives, innovations): a collective monograph]. Kherson: Grin D.S. [in Ukrainian].
2. Romashhenko, M.I., Sajdak, R.V., Matiash, T.V., & Knysh, V.V. (2019). Vplyv klimatychnykh zmin na volohosabespechennia terytoriyi Ukrayiny ta vyrobnytstvo silskogospodarskoyi produktsiyi [Influence of climate change on the water supply of the territory of Ukraine and production of agricultural products]. Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia, prysviachena Vsesvitnomu dnyu vodnykh resursiv (voda dlia vsikh). Kyiv, 179-180. [in Ukrainian].

3. Humenjuk, V.Ia., Korol, B.O., Kostjukevych, R.M., Mishhuk, G.Ju., Masur, N.O., & Orlov, N.V. et. al. (2005). Mekhanizm rynkovoho hospodarjuvannia: galusevi osoblyvosti: monografia [Mechanism of market economy: sectoral features: monograph]. Rivne: NUVHP. [in Ukrainian].
4. Kozhushko, L.F., & Velesyk, T.A. (2015). Formuvannia rynku osushenykh semel silskohospodarskogo prysnachennia [Formation of the market for agricultural agricultural land: Monograph]. Rivne: NUVHP. [in Ukrainian].
5. Romashhenko, M.I., Sobko, O.O., & Kalantyrenko, I.I. (2001). Suchasnyi stan, osnovni problem vodnykh meliorstsiy ta shliakhy yikh vyrishennia [Current status, major problems of water reclamation and ways of solving them]. P.I. Kovalenko (Ed). Kyiv: Agrarna nauka. [in Ukrainian].
6. Tarariko, Ju.O., Kovalenko, P.I., Iatsyk, M.V., Chalyj, B.I., & Kruchenjuk, V.D. et. al. (2013). Kontsepsiia efektyvnoho vykorystannia osushuvanykh semel humidnoyi sony [The concept of effective use of dehumidified soil in the humid zone (scientific basis)]. M.I. Romashhenko (Ed.). Kyiv. [in Ukrainian].
7. Melioratsiia ta oblashtuvannia Ukrayinskoho Polissia [Reclamation and arrangement of the Ukrainian Polesie]. (2017). Ia.M. Hadsalo, V.A. Stashuk, A.M. Rokochynskiy (Ed.). (Vol. 1-2; Vol. 2). Kherson: OLDI-PLJUS.
8. Degodjuk, S.E., & Degodjuk, E.G. (2008). Spetsialisatsiia semlerobstva v Ukrayini salezhno vid smin klimaty [Specialization of agriculture in Ukraine depending on climate change]. Natsionalnyj naukovyj tsentr «Instytut semlerobstva UAAN». Kyiv: VD EKMO, Spetsvypusk, 69–77. [in Ukrainian].
9. Romashhenko, M.I. (2019). Vplyv smin klimatu na stan sabespechennia Ukrayiny vodnymy resursamy [Impact of climate change on the state of Ukraine's water supply]. Mizhnarodna nauko-vo-praktychna konferentsiia, prysviachena Vsesvitnomu dnju vodnykh resursiv (voda dlia vsikh). Kyiv, 11–12. [in Ukrainian].
10. Iatsyk, M.V., Voropaj, G.V., & Moleshha, N.B. (2016). Pidvyshhennia vodosabespechenosti melioratyvnykh system humidnoyi sony [Improvement of water supply of amelioration systems of humid zone]. Melioratsiia i vodne hospodarstvo, 103, 63–68. [in Ukrainian].
11. Chalyi, B.I., & Drobot, O.V. (2011). Tekhnolohiia reguluvannia vodnoho rezhymu osushuvanykh semel s vykorystanniam drenazhnogo stoku [Technology of regulation of the water regime of the drained lands using drainage runoff]. Melioratsiia i vodne hospodarstvo, 99, 23–27. [in Ukrainian].
12. Tyshenko, O.I., & Nahaljuk, S.I. (2012). Svolozhennia osushuvanykh semel Livoberezhnogo Polissia Ukrayiny [Moistening of the drained lands of the Left Bank Polesie of Ukraine]. Vodne hospodarstvo Ukrayiny, 2, 21–25. [in Ukrainian].
13. Iatsyk, M.V., Voropaj, G.V., & Topolnik, T.I. (2015). Resursooshhadna tekhnolohiia reguluvannia vodnoho rezhymu gruntiv na melioratyvnykh systemakh poldernoho typu [Resource-saving technology of regulation of water regime of soils on reclamation systems of polder type]. Visnyk agrarnoyi nauky, 12, 47–51. [in Ukrainian].
14. Datsko, L.V. (2016). Suchasne silskohospodarske vykorystannia semel humidnoyi sony Ukrayiny [Modern agricultural land use in the humid zone of Ukraine]. Melioratsiia i vodne hospodarstvo, 103, 41–47. [in Ukrainian].
15. Stratehiia zroshennia ta drenazhu v Ukraini na period do 2030 roku [Irrigation and drainage strategy in Ukraine until 2030.]: Skhvaleno rozporiadzhenniam Kabinetu Ministriv Ukrainy № 688-p. (2019, August 14). Uriadovi kurier, 170. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/688-2019-%D1%80>. [in Ukrainian].

Г.В. Воропай, Н.В. Яцык, Н.В. Мозоль

**Современное состояние и перспективы развития осушительных мелиораций
в условиях изменений климата**

***Аннотация.** Наведены результаты анализа современного состояния осушительных мелиораций в условиях изменений климата, которые имеют место в последние десятилетия, сопровождаются нестабильностью обеспечения водой мериорируемых территорий и формируют новые условия выращивания сельскохозяйственных культур. Определены особенности функционирования мелиоративных систем. Основными факторами, которые влияют на функционирование систем и эффективность использования осушаемых земель, являются недостаточная водообеспеченность мелиоративных систем; распаевание земель без учета технологической целостности осушаемых массивов; неудовлетворительное техническое состояние инженерной инфраструктуры внутрихозяйственной сети. Приоритетными направлениями развития осушительных мелиораций в современных условиях и путями возобновления эффективного*

функціонування меліоративних систем з урахування трансформаційних процесів, які виникли в результаті реформування аграрного сектора і сучасних агротехнічних і екологічних вимог, є підвищення вологообеспеченості осушувальних систем; їх реконструкція і модернізація; розробка і впровадження нових конструктивно-технологічних рішень з урахування сучасних вимог (соціальних, еколого-економічних, агротехнічних і вимог землекористувачів). Встановлено, що в сучасних умовах одним з найбільш ефективних і економічних технологічних прийомів регулювання водного режиму на осушуваних землях є накопичення місцевого дренажного стоку. Приведені розроблені конструктивно-технологічні рішення для підвищення вологообеспеченості меліоруваних територій, впровадження яких дозволяє забезпечити оперативне і ефективне управління процесами водорегулювання, створити гарантовані об'єми води для проведення зволоження і оптимальний водний режим в коренеобитаваному шарі ґрунту. Визначено, що отримання гарантованих об'ємів сільськогосподарської продукції в умовах змін клімату можливо тільки завдяки дотриманню науково обґрунтованих технологічних процесів меліорації земель і забезпеченню регулювання водного режиму на осушуваних землях. Тому максимальне використання потенціалу сортів і гібридів сільськогосподарських культур (кукурудза, соя, рапс, підсо́лнечник), нехарактерних для регіону вологої зони України, можливо тільки завдяки забезпеченню регулювання водного режиму ґрунту.

Ключові слова: волога зона, осушувальні меліорації, меліоративна система, вологообеспеченість меліоруваних територій, технічний стан меліоративних систем.

G.V. Voropay, M.V. Yatsyk, N.V. Mozol

Current state and the prospects of development of drainage reclamation in a changing climate

The results of the analysis of the current state of drainage reclamation in the conditions of a changing climate occurring in recent decades, which are accompanied by the instability of water supply in the reclaimed territories form new conditions for crop growing. The features of reclamation systems functioning were determined. The main factors affecting the systems functioning and the efficiency of the use of drained lands are insufficient water supply to the land reclamation systems; land parcelization without taking into account the technological integrity of drained arrays; poor technical state of the engineering infrastructure of the intra-farm network. The priority areas of drainage reclamation development in modern conditions and the ways of restoration of the effective functioning of reclamation systems, in view of the transformation processes arisen as a result of reform in the agrarian sector and modern agricultural, technical and ecological requirements, are to increase the water supply of drainage systems; their reconstruction and modernization; development and implementation of the newest structural and technological solutions taking into account modern requirements (social, ecological-economic, agricultural, technical and land users requirements).

It was established that in modern conditions one of the most effective and economical technological methods of water regime regulation on the drained lands is the accumulation of local drainage runoff. The developed structural and technological solutions for improving the water supply in the reclaimed territories are introduced. Their implementation enables to ensure the efficient and operative management of water regulation processes, to form guaranteed water volumes for moistening and ensuring optimal water regime in the soil root layer. It was proved that obtaining guaranteed volumes of agricultural products in the conditions of climate change is possible only due to observance of scientifically grounded technological processes of land reclamation and ensuring the regulation of water regime on the drained lands. Therefore, maximum utilization of the potential of crop varieties and hybrids (corn, soybeans, rapeseeds, sunflower), which are not specific to the region of the humid zone of Ukraine, is possible only by ensuring the regulation of soil water regime.

Key words: humid zone, drainage reclamation, reclamation system, water supply of reclaimed territories, technical condition of reclamation systems

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg201902-203>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/203>

УДК 626.8:631.6:691.342:631.3

ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ, ПЕРСПЕКТИВИ БУДІВНИЦТВА, РЕКОНСТРУКЦІЇ ТА ВІДНОВЛЕННЯ МЕЛІОРАТИВНИХ СИСТЕМ

О.О. Дехтяр¹, канд. техн. наук, І.В. Войтович², канд. техн. наук, Г.В. Воропай³, канд. техн. наук, С.В. Усатий⁴, Н.Д. Брюзгіна⁵, канд. техн. наук, Я.В. Шевчук⁶

¹ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-0011-7124>; e-mail: oksana.dehtiar@gmail.com

² Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-1543-3955>; e-mail: bondaro02@ukr.net

³ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-5004-0727>; e-mail: voropaig@ukr.net

⁴ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0001-8784-4078>; e-mail: s_usatyi@ukr.net

⁵ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-7659-2810>; e-mail: natalya-51@i.ua

⁶ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0001-6718-3874>; e-mail: yaroslav-shevchuk@ukr.net

Анотація. У статті проаналізовано сучасний стан сектора зрошення та дренажу в Україні в умовах кліматичних змін і підкреслено його вирішальну роль в одержанні стабільних та прогнозованих врожайів, підвищенні продуктивності земель та подальшому розвитку сільськогосподарського виробництва. Розглянуто історію розвитку та етапи становлення наукових підрозділів Українського науково-дослідного інституту гідротехніки і меліорації (зараз Інституту водних проблем і меліорації НААН), що займались вирішенням питань водогосподарського будівництва, експлуатації, обслуговування, ремонту та відновлення інженерної інфраструктури зрошувальних та дренажних систем, дощувальної техніки, гідротехнічних споруд та обладнання. Систематизовано результати багаторічних досліджень, головні напрями наукової діяльності, основні розробки та здобутки фахівців відділів зрошення та дренажу, експлуатації водогосподарсько-меліоративних систем, осушувально-зволожувальних меліорацій відділення меліорації Інституту в питаннях забезпечення надійного та ефективного функціонування водогосподарсько-меліоративного комплексу. Обґрунтовано техніко-технологічні засади удосконалення інфраструктури зрошувальних та дренажних систем та запропоновано шляхи розв'язання існуючих проблем. Відмічено, що нині, враховуючи зміни клімату та умови господарювання, підвищення продуктивності та сталості землеробства потребує пошуку нових науково-методологічних та техніко-технологічних підходів до відновлення та подальшого розвитку зрошення та дренажу. У сьогоденні складних економічних умовах в Україні покращення ситуації можна досягти тільки при залученні інвестицій у відновлення та модернізацію інженерної інфраструктури меліоративних систем. До того ж проведення реформування управління водогосподарською галуззю із створенням належної законодавчої бази та активним залученням водокористувачів у процеси управління є необхідною передумовою. Підкреслено необхідність реалізації положень та заходів, запропонованих у «Стратегії зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 р.», підготовленої за участю фахівців ІВПіМ НААН, що сприятиме ефективному використанню потенціалу зрошувальних та дренажних систем для нарощування обсягів виробництва сільськогосподарської продукції в умовах змін клімату.

Ключові слова: зрошувальні системи, дренажні системи, інженерна інфраструктура, відновлення, стратегія.

Постановка проблеми. У даний час глобальних кліматичних змін через недостатнє природне вологозабезпечення більшість сільськогосподарських культур в Україні неможливо вирощувати без зрошення не тільки на півдні, але і в інших регіонах країни, включаючи Полісся. Ефективність зрошувального землеробства значною мірою обумовлюється технічним станом існуючої меліоративної мережі. На жаль, більшість об'єктів

інженерної інфраструктури меліоративних систем унаслідок значного скорочення капіталовкладень у меліоративну галузь перебувають у незадовільному технічному стані. Одночасно загальнодержавні магістральні та міжгосподарські канали, насосні станції, трубопроводи, захисні дамби, водосховища та інші гідротехнічні споруди за рахунок бюджетного фінансування підтримуються у більш менш задовільному стані,

© О.О. Дехтяр, І.В., Войтович, Г.В. Воропай, С.В. Усатий, Н.Д. Брюзгіна, Я.В. Шевчук, 2019

а внутрішньогосподарська меліоративна мережа переважно є непрацездатною.

Електротехнічне обладнання та устаткування насосних станцій за роки експлуатації практично повністю вичерпало проектний ресурс, що призводить до частих зупинок на ремонті. Дефіцит коштів на ремонті обладнання та відновлення гідротехнічних споруд, облицювань відкритих каналів, водоприймальних басейнів, водоймищ, напірних трубопроводів призвів до зростання втрат води та електроенергії.

Покращення ситуації потребує розроблення та впровадження науково обґрунтованих заходів, інноваційних технологій, обладнання та ефективних матеріалів для відновлення та модернізації меліоративних систем, що забезпечить їх стале функціонування та економічну ефективність зрошуваного землеробства.

Мета досліджень. Проаналізувати основні тенденції та перспективи розвитку будівництва, реконструкції та відновлення систем зрошення та дренажу в Україні та окреслити головні напрями досліджень та здобутки відділення меліорації Інституту в питаннях забезпечення надійного та ефективного функціонування водогосподарсько-меліоративного комплексу.

Викладення основного матеріалу. На більшості території України умови природного вологозабезпечення неоптимальні і суттєво погіршуються внаслідок глобальних кліматичних змін. Близько 60% ріллі (18,65 млн. га) сьогодні належить до площ із дефіцитом вологозабезпечення, а близько 3 млн. га угідь степових регіонів – із критичним дефіцитом вологи. Згідно із статистичними даними у 2017 р. в Україні обліковувалось 5485,3 тис. га меліорованих, з яких 2178,3 тис. га зрошуваних і 3307,0 тис. га осушуваних земель, але використовувалось за цільовим призначенням менше – у 2019 р. поливи проводили лише на площі 507,2 тис. га, а водорегулювання здійснювалось на площі біля 350 тис. га. На сьогодні загальна зрошувана площа сільськогосподарських угідь скоротилась із 2,17 млн. га у 1990 р. до 500 тис. га. [1; 2].

Згідно з даними інвентаризації, проведеної Держводагентством України у 2013 р., до складу міжгосподарських зрошувальних систем входять 423 головні водозабірні споруди, 1730 насосних станцій (НС), 96 водосховищ із корисним об'ємом 463 млн. м³. Протяжність постійної зрошувальної мережі складає 7,3 тис. км, зокрема канали –

3,3 тис. км та трубопроводи – 3,9 тис. км. Крім цього до складу інженерної інфраструктури зрошувальних систем відноситься і колекторна дренажна мережа, що побудована у зоні впливу цих систем, протяжність якої становить 7,7 тис. км. Тут функціонує 3,2 тис. гідротехнічних споруд, а також 930 дренажних НС, у тому числі 815 свердловин вертикального дренажу.

Інфраструктура дренажних систем у гумідній зоні України охоплює площу 3,2 млн. га і включає 1671 дренажну меліоративну систему, зокрема 835 осушувальних систем однієї дії на площі 1,7 млн. га, 585 осушувально-зволожувальних систем двобічної дії на площі 1,1 млн. га та 251 польдерну систему на площі 0,4 млн. га.

Потенціал побудованої в минулому столітті інженерної інфраструктури меліоративних систем не використовується належним чином і не адаптований до сучасних умов господарювання та потреб сільського господарства. Основні фонди зношені і для надійної експлуатації вимагають відновлення та модернізації. Щорічна нехватка коштів на поточні ремонтно-відновлювальні роботи, заміну застарілого обладнання, запасні частини та матеріали створює постійну загрозу кризи водогосподарсько-меліоративного комплексу загалом.

Проведені дослідження свідчать, що через неефективну політику управління та багаторічне скорочення державного фінансування наявні потужності інфраструктури більшості зрошувальних та дренажних систем використовуються менше ніж на 30%. Забезпечення сталого та ефективного розвитку сільського господарства потребує відновлення існуючих систем зрошення та дренажу, розробки та реалізації нових техніко-технологічних та організаційних заходів, спрямованих на раціональне використання водних та земельних ресурсів.

Під час масштабного розвитку меліорації в Україні для вирішення проблем водогосподарського будівництва, експлуатації та обслуговування гідротехнічних споруд зрошувальних та дренажних систем, дощувальної техніки, гідротехнічного обладнання в Інституті під керівництвом С.М. Алпатьєва було проведено реорганізацію структури, створено наукові підрозділи для реалізації заходів із підсилення наукових результатів будівельно-технологічного напрямку.

Так у 1963 р. в Інституті було створено **відділ будівельних матеріалів** (керівник – к.т.н. І.М. Йолшин), фахівці якого займалися розробкою і впровадженням композиційних

матеріалів та технологій їх використання у меліоративному будівництві.

Фахівцями відділу було розроблено конструктивні та технологічні рішення плівкових екранів зрошувальних каналів та водоймищ, монолітні бетонно-плівкові облицювання та бетонно-плівкові покриття із збірних залізобетонних плит, метод безвольного догляду за монолітним бетонним облицюванням (І.М. Йолшин О.Р. Гвенітадзе, В.О. Власенко). Ці розробки успішно впроваджено при будівництві та реконструкції Північно-Кримського, Головного Каховського магістрального, Красногвардійського каналів, на Каховській, Татарбунарській, Білгородській зрошувальних системах, зрошувальних системах в Узбекистані та ін. [3; 4].

Для покращення фізико-механічних та експлуатаційних властивостей бетонного облицювання каналів меліоративних систем було розроблено полімерцементні бетони та розчини, модифіковані латексами, полімербетони на мономері ФА та ФАЕД та бетонополімери (В.Б. Резнік, І.І. Слободяник, В.О. Власенко, В.П. Корецький, Х.С. Абдужабаров, Р.М. Окопова, А.І. Левченко). Ці матеріали мають підвищену тріщино- та кавітаційну стійкість, адгезійну міцність та міцність під час вигину та розтягу та були використані при відновленні плит облицювань каналів та омонолічуванні збірних залізобетонних елементів гідротехнічних споруд на зрошувальних системах Півдня України, в Узбекистані та Азербайджані [5].

Особливу увагу було приділено питанням гідроізоляції та захисту бетону та металу від корозії з використанням бітумно-полімерних, епоксидних, поліуретанових композицій, композицій на основі відходів стиролу, полісульфідних каучуків (В.Я. Ващук, Е.І. Некрасова, В.П. Долюк, В.О. Власенко) [6].

Під керівництвом В.Б. Резніка науковці відділу (О.Р. Гвенітадзе, В.О. Власенко, Є.В. Чумаков, М.Г. Кисиленко, С.М. Дмитренко, І.І. Слободяник, Е.І. Некрасова, Л.М. Зголіч, Л.М. Бурцев, О.В. Коваленко, В.П. Долюк, А.Б. Шаршунов, О.О. Дехтяр, В.Т. Караєв, Д.Я. Строкон, Р.М. Окопова, Ю.А. Вітковський) займались дослідженнями та розробками полімерних композиційних матеріалів і конструкцій на їх основі та технологій виконання ремонтно-відновлювальних робіт: поверхневого просочування, напірної ін'єкції, омонолічування, конструкційного ремонту, герметизації та тампонажу. Було розроблено та впроваджено полімерні композиційні матеріали для усунення локальних структурних пошко-

джень та фільтраційних втрат на гідротехнічних спорудах меліоративних систем: тонкостінних конструкцій ГТС (облицювання магістральних та розподільчих каналів), масивних конструкцій ГТС (докових частин насосних станцій водопропускних споруд), земляних дамбах, укосах каналів. Співробітниками лабораторії відновлення гідротехнічних споруд Інституту О.В. Коваленком, О.О. Дехтяр, А.Б. Шаршуновим, Н.Д. Брюзгіною розроблено «Інструкцію з технології ремонтно-відновлювальних робіт на гідротехнічних спорудах меліоративних систем із застосуванням полімерних та полімерцементних композиційних матеріалів» [7; 8].

Для меліоративного будівництва було розроблено корозійностійкі гідротехнічні конструкції, а саме полімербетонні труби, армовані склоровингом бетонополімерні фільтри вертикального дренажу, фільтри для вертикальних дренажних свердловин із епоксидного базальтопластику.

Фахівці відділу плідно співпрацювали з Інститутом хімії високомолекулярних сполук НАН України при розробці нових композиційних матеріалів, з Одеською державною Академією будівництва і архітектури в галузі комп'ютерного матеріалознавства, Інститутом проблем матеріалознавства, НДІ бетону та залізобетону, із спеціалізованими підрозділами ПТБ «Водбудіндустрія» УкрНДІГІМ та ін.

Разом із фахівцями відділу діагностики та захисту від корозії було розроблено лабораторію для контролю стану ізоляції та визначення місць розвитку корозії підземних металевих трубопроводів систем зрошення та обстежено корозійний стан понад 500 км трубопроводів в Харківській, Донецькій Луганській, Запорізькій, Херсонській та Миколаївській областях України (А.І. Насушкін, Г.Ф. Гольдберг, П.Є. Литвиненко, Ю.В. Курикін, В.В. Шкут).

У 1968 р. в Інституті було засновано **відділ технології збірного залізобетону** (керівник – к.т.н. Г.М. Ремінець). Фахівці відділу займались розробкою та удосконаленням лоткових зрошувальних систем та уніфікацією збірних залізобетонних конструкцій для потреб меліоративного будівництва (В.М. Лемехов, В.В. Гончаров, В.П. Ільїн, А.Г. Шлаєн та ін.), дослідженням та розробкою систем комплексних домішок-пластифікаторів та прискорювачів тверднення цементу для покращення реологічних властивостей бетонних сумішей та фізико-механічних показників бетону (А.С. Загайчук, А.Г. Тер-Карапетян, А.Ф. Бабак, А.І. Дементьєва, З.П. Васильєва) [9].

Важливим науковим напрямом були дослідження, спрямовані на розробку нових конструкцій плит для облицювань зрошувальних каналів та нової технології виготовлення плит НПК, що дали змогу значно знизити енергоємність і металоемність процесу виготовлення залізобетонних плит (В.М. Лемехов, І.Я. Бялер, В.В. Гончаров, В.А. Олехнович, П.І. Коваленко, Є.А. Пшеничний, Г.М. Ремінець, П.П. Шандрюк, А.Б. Гонгалов, С.Я. Цареградська, А.Ф. Бабак, Ю.М. Клепов, М.М. Сайпудинов, А.Г. Логінов, М.О. Голишева, Є.А. Воленко, В.Я. Жукинський, М.М. Білик, В.Ф. Журин, В.Є. Богуславський та ін.) та знайшли широке впровадження у меліоративному будівництві [10].

Тоді ж у відділі займались проблемами утилізації золи та золошлакових сумішей теплових електростанцій при виробництві гідротехнічних споруд (В.Л. Герасимчук, Л.О. Вандаловська, О.М. Воропай), дослідженнями з розробки технології виробництва активованих багатокомпонентних в'язучих, використовуючи енергію струменя стисненого повітря для активації цементу та заповнювача з одночасним змішуванням компонентів суміші (В.М. Лемехов, В.П. Ільїн, А.М. Кадилаєв, О.М. Воропай) [11].

Слід згадати ще один важливий напрям – розробка та дослідження ефективності використання трубофільтрів із пористого бетону для вертикальних свердловин (М.А. Єрохін, В.М. Спіріна, А.І. Левченко, С.Є. Богорада та ін.), для горизонтального дренажу (В.П. Стеценко, В.Я. Шапран, В.П. Насіковський) та бетонополімерних фільтрів для свердловин вертикального дренажу (Д.П. Колесніков, В.О. Євтуховський). Зокрема проводили дослідження з розробки технології виготовлення пористобетонних трубофільтрів методом пошарового ротаційного пресування (О.Г. Вандаловський, Д.П. Колесніков, Ю.О. Тишкевич, О.О. Пидюк, В.В. Багинська).

У зв'язку із зростаючими потребами меліоративного будівництва виникла необхідність розробки напірних бетонних труб та кілець. Було розроблено технологію виготовлення та устаткування для труб \varnothing від 300 до 900 мм та бетонних кілець \varnothing від 500 до 1500 мм (О.Г. Вандаловський, Д.П. Колесніков, Ю.О. Тишкевич, В.П. Ільїн, В.М. Шкуротяний, В.Ф. Журин, В.Я. Жукинський, Є.А. Воленко).

Нові технологічні рішення були впроваджені і при розробці бетонних каналізаційних труб \varnothing 150, 200, 300 мм (А.І. Левченко, Ю.О. Тишкевич, В.Я. Жукинський, Н.А. Лобановська, О.Г. Давиденко), залізобе-

тонних напірних труб малих діаметрів та вібропресованих труб (В.О. Євтуховський, Л.С. Марченко, Ю.О. Тишкевич, А.І. Левченко, Е.Л. Леус, О.Г. Давиденко, В.Я. Жукинський, В.Ф. Журин, В.М. Шкуротяний, О.О. Пидюк, Ю.С. Пономаренко та ін.). Для збільшення довговічності труб було розроблено та досліджено спеціальну антикорозійну мастику «Бутарбіт» (В.П. Корецький, А.І. Левченко, В.Д. Маврин, О.Г. Давиденко) та спільно з Інститутом хімії високомолекулярних сполук НАН України – композицію на основі поліуретану (В.П. Корецький, А.І. Левченко, Р.А. Веселовський).

З точки зору екологічних проблем, для збереження непридатних для використання пестицидів та отрутохімікатів фахівцями Інституту (А.І. Левченко, В.П. Корецький, Ю.О. Тишкевич, І.В. Войтович, Г.Ф. Мартинюк, Г.Я. Бойко) проведено дослідження з розроблення різних конструкцій, технологій виготовлення та налагоджено виробництво бетонополімерних контейнерів для довготривалого зберігання непридатних отрутохімікатів. Впровадження розробок з контейнеризації виконано на об'єктах у Рівненській, Хмельницькій, Одеській, Харківській та Київській областях.

Для вирішення проблеми зменшення фільтраційних втрат води при транспортуванні з магістральних та розподільчих каналів меліоративних систем, що призводять до підйому ґрунтових вод, спричиняють підтоплення, заболочування, вторинне засолення та погіршення еколого-меліоративного стану зрошуваних земель, у відділі **гідротехнічних споруд** (к.т.н. В.Я. Шапран) було виконано великий обсяг досліджень.

Науковцями відділу було розроблено методи проектування і будівництва протифільтраційних екранів з ущільнених ґрунтів, науково обґрунтовано склад стабілізованої ґрунтосуміші для екранів каналів, дано якісну і кількісну оцінку ущільнення ґрунтів різних типів за глибиною, досліджено величини фільтраційних втрат із необлицьованих каналів та розроблено хімічні засоби боротьби з фільтраційними втратами (Б.І. Рутковський, В.В. Михальський, Н.О. Орлова, В.Є. Алексєєвський, В.П. Батюк та ін.) [12; 13].

На діючому каналі Р-1 Татарбунарської зрошувальної системи в 1968 р. (П.А. Сухоруков, Л.Ю. Чернишевська) було побудовано експериментальний полігон довжиною 300 м, де досліджували фільтраційні втрати з каналу, облицьованого двома видами обли-

цювання: монолітним бетонним і монолітним бетоноплівковим.

У 1971–1972 рр. П.А. Сухоруковим і Л.Ю. Чернишевською проведено дослідження фізико-механічних властивостей слабких вивітрілих вапняків, виконано дослідне ущільнення вапняків і їхньої суміші із суглинками різними типами ущільнювальних механізмів на спеціальних картах із різною щільністю, вологістю, товщиною шару ґрунту, який укладали в насип, та вперше у світі науково обґрунтовано можливість застосування вапняків для будівництва дамб зрошувальних каналів і розроблено технічні вимоги на будівництво зрошувальних каналів із слабких вивітрілих вапняків [14].

Фахівці інституту проводили дослідження протифільтраційного облицювання, побудованого комплексом «РАХКО» на Каховській зрошувальній системі (Л.Ю. Чернишевська, П.А. Сухоруков, О.Н. Кафтан, Я.В. Шевчук, І.І. Назаров). Разом із спеціалістами Бюро меліорації США проводили спільне проектування і будівництво дослідної ділянки для вивчення ефективності різних типів полімерних плівок у протифільтраційних конструкціях для меліоративного будівництва. Цими плівками у 1979–1980 рр. на каналі Р-5–1 Каховської зрошувальної системи було побудовано дослідну ділянку в збірно-монолітному варіанті (П.А. Сухоруков, Я.В. Шевчук).

Дослідження технічного стану різних типів облицювань магістральних і міжгосподарських каналів було проведено на Інгулецькій, Південно-Бугській, Білоусівській, Приазовській зрошувальних системах та визначено шляхи мінімізації фільтраційних втрат води (Я.В. Шевчук, Л.Ю. Чернишевська, О.С. Ігнатова) [15].

У Відділі технології, механізації і організації будівництва меліоративних систем (к.т.н. М.Ф. Хоменко) особливу увагу було зосереджено на розробці та дослідженні технології, машин та устаткування для будівництва закритого й відкритого дренажу, каналів з різними типами протифільтраційного покриття, трубопроводів з різних труб, дамб, водосховищ, різних об'єктів інфраструктури водного господарства, регулювання русел малих річок. Результатом наукових та експериментально-виробничих досліджень стали методичні рекомендації з технології розробки важких ґрунтів плаваючими землесосними снарядами (А.І. Харін, О.Г. Лутовінов, В.І. Котовський, В.Г. Терентьев [16].

У період розгортання широкомасштабних робіт з будівництва Північно-Кримського,

Каховського каналів розробка та модернізація технічних засобів гідромеханізації набула першочергового значення. Науковцями Інституту (А.І. Харін, В.І. Котовський, В.М. Бойко) розроблено конструкції фрез землесосного обладнання та відпрацьовано технології їх використання при очищенні річок Іква (Рівненська область) та Молочна (Запорізька область). Розроблені способи наміву впроваджувались на об'єктах тресту «Укргідромеханізація», а обсяг їхнього використання значно підвищився при наміві заплачних територій забудови житлових масивів на лівобережжі м. Києва.

Фахівцями відділу було розроблено технології наміву гідротехнічних споруд на слабких ґрунтах, що дало можливість більш широко застосувати засоби гідромеханізації при виконанні будівельних та експлуатаційних робіт. Методику оптимізації параметрів намівних споруд з урахуванням рекультивації було впроваджено на гідровідвалах Роздільного і Яворівського виробничих об'єднань «Сірка», а також в смт. Глобине Полтавської області, поблизу м. Миргорода для рекультивації поймених територій для забудови житлових масивів.

У 1968 р. у відділі почалась розробка конструкцій бетоноукладачів комбінованих бетоноплівкових облицювань каналів УКО-0,6, УКО-0,8, УКО-1,1, УКО-1,5, виготовлено промислові партії бетоноукладачів, відпрацьовано і впроваджено технологію будівництва каналів глибиною 0,6–1,5 м на в Україні та на об'єктах Азербайджану, Киргизії, Таджикистану (Г.М. Куделя, А.М. Погорелий, П.Б. Айзман, М.І. Лисенко). За результатами робіт А.І. Харін, Г.М. Куделя були удостоєні премії Ради Міністрів СРСР.

Пізніше було розроблено конструкції машин та технології організації робіт для будівництва каналів глибиною 3, 5 і 7 м (Є.О. Богатов, М.Ф. Хоменко, А.С. Загайчук, В.М. Бойко, М.А. Лях, П.Б. Айзман); дослідні зразки і серійні машини виготовлялись на Брянському заводі «Ірмаш». Бетоноукладальний комплекс машин для каналів глибиною до 3 м з автоматизованою системою управління параметрами облицювання було впроваджено при будівництві магістрального каналу Приазовської зрошувальної системи.

Значний обсяг науково-дослідних робіт виконано за тематикою будівництва трубопроводів (М.Ф. Хоменко, І.В. Войтович, І.О. Гресь, Г.Ф. Мартинюк, А.В. Мандрика, А.М. Погорелий, Є.О. Богатов) [17–19].

Розроблено технологічні процеси, комплекси машин і устаткування для будівництва зрошувальних трубопроводів із азбестоцементних труб діаметром від 200 до 500 мм, залізобетонних труб діаметром від 500 до 1200 мм, залізобетонних труб діаметром від 1400 до 2000 мм. Випуск машин і устаткування здійснено на машинобудівних заводах у містах Брянську, Ленінграді, Дмитрові, Ірпіні.

У ці роки розроблено цілу низку змінного робочого обладнання (косарка меліоративна, профільний ківш, грейфер, маніпулятор, бульдозерне обладнання) на навантажувач ПЕА-1,0 виробничого об'єднання «Коломиясьмаш», яке пройшло перевірку на об'єктах Держводгоспу України і було рекомендовано до серійного виробництва.

У зв'язку з проблемою перезволоження земель на меліоративних системах з матеріальним дренажем було розроблено конструкції розпушувачів пасивної та активної дії (РПГ-0,6, РВШ-0,8, Р-1,2) (Є.О. Богатов, В.І. Петроченко, О.М. Танклевський, Є.В. Івченко, О.С. Барчук, В.В. Савченко) і упродовж 1980–1985 рр. практично усі експлуатаційні організації Держводгоспу України були забезпечені меліоративними розпушувачами конструкції УкрНДПГІМ.

Для розв'язання проблеми скиду поверхневих вод із замкнених понижень колективом авторів (Є.О. Богатов, І.В. Войтович, Г.Ф. Мартинюк, О.С. Звеків) розроблено конструкції дренажних і стічних колодязів відкритого та закритого типів, які пройшли дослідно-виробничу перевірку на Ірпінській осушувальній системі.

Для ліквідації поривів на трубопроводах зрошувальних систем і підвищення їх експлуатаційної надійності було розроблено конструкції муфтових з'єднань і фасонних частин трубопроводів із азбестоцементних, чавунних та пластмасових труб (В.С. Бодун, М.Ф. Хоменко, І.В. Войтович, Г.Ф. Мартинюк).

До важливих розробок цього періоду слід віднести нові конструкції грейферних ковшів із монорельсовою дорогою для очищення аванкамер насосних станцій, ковшово-тросове обладнання для механізації виконання робіт з очищення облицьованих каналів, мобільне обладнання сміттєзатримувальних решіток, водострумине та землесосне обладнання для очищення аванкамер насосних станцій, тощо (В.М. Ткач, І.В. Войтович, О.П. Музика, О.С. Барчук, Г.Ф. Мартинюк, В.М. Бойко). Напрацьовано значний перелік технологічних комплексів машин та обладнання для підтримання водних об'єктів у належному

стані (екскаватор плаваючий ЕП-0,4, землеробка ЗЛК-200, бульдозерно-скреперне обладнання, конвеєр плаваючий та інші) (В.М. Ткач, М.Ф. Хоменко, І.В. Войтович, В.І. Юрій, О.С. Барчук, В.М. Бойко, Г.Я. Бойко, Г.Ф. Мартинюк, А.М. Назаренко). На базі проекту Системи машин розроблено Національну програму виробництва технологічних комплексів машин і устаткування для сільського господарства, харчової та переробної промисловості України на 1995–2000 рр., в яку увійшли машини для механізації меліоративних робіт.

Колективом авторів (М.Ф. Хоменко, Г.С. Фінін, Л. Пасинок та ін.) розроблена і впроваджувалась у базових організаціях автоматизована система інженерно-економічної підготовки, виробничого планування, техніко-економічного аналізу й управління для низових будівельних організацій і підприємств на базі ПЕОМ.

У 2012 р. у зв'язку зі зміною структури Інституту було створено **Відділення меліорації**, яке очолив к.т.н. В.Д. Крученюк. До відділення увійшли відділи: **осушувально – зволожувальних меліорацій, зрошення та експлуатації водогосподарсько-меліоративних систем**. Це дало змогу поєднати різні аспекти науки про меліорацію в один науковий підрозділ та розширити використання накопиченого наукового та практичного досвіду в подальших дослідженнях.

Сьогоднішні реалії потребують перегляду існуючих та розроблення нових підходів до подальшого розвитку меліоративних систем. Суттєве погіршення технічного стану існуючих зрошувальних та дренажних систем зі значним фізичним зносом об'єктів інженерної інфраструктури та насосно-силового обладнання на тлі глобальних змін клімату, економічної, енергетичної та політичної кризи в країні потребує перегляду старих підходів та розробки нових напрямків проведення наукових досліджень.

За результатами теоретичних та експериментальних досліджень було впроваджено багато наукових розробок. У **відділі експлуатації водогосподарсько-меліоративних систем** розроблена ціла низка полімерцементних ремонтних матеріалів. Напрацьовано технології забезпечення гідроізоляційної стійкості гідротехнічних споруд, докових частин насосних станцій, водопропускних споруд і шахтних водоскидів шляхом ін'єктування полімерними смолами. Технології ремонтно-відновлювальних, гідроізоляційних робіт із застосуванням сучасних композиційних

матеріалів перевірені при відновленні докових частин насосних станцій Управління каналу Дніпро-Інгулець, залізобетонних конструкцій водоскидної споруди Альмінського водосховища у Бахчисарайському районі, аварійного полігонального водоскиду на каналі Р-9 Каховської зрошувальної системи, ДНС-1 Новотроїцького МУВГ, насосних станціях Мелітопольського, Якимівського, Кілійського МУВГ, Ірпінського МУВГ, Генічеського УВГ та ін. (В.Д. Крученюк, О.В. Коваленко, О.О. Дехтяр, Н.Д. Брюзгіна, А.В. Агеєв, Є.Б. Мандрик) [20–23].

Розроблено робочі проекти капітального ремонту насосної станції № 3/3а Латорицької польдерної системи в Мукачівському районі Закарпатській області (В.Д. Крученюк, О.О. Дехтяр, Н.Д. Брюзгіна, О.В. Коваленко В.В. Жбанов, С.Р. Стасюк); плит перекриття головної насосної станції Каховської зрошувальної системи, ін'єкційної гідроізоляції насосних станцій Дніпровського басейнового управління водних ресурсів (В.Д. Крученюк, О.В. Коваленко, О.О. Дехтяр, Н.Д. Брюзгіна), капітального ремонту берегоукріплювальних споруд городища Херсонес (М.І. Ромашенко, А.І. Левченко, І.В. Войтович, О.М. Козицький, Я.В. Шевчук, Г.Ф. Мартинюк) та ін.

З метою подальшого поліпшення ефективності роботи каналів зрошувальних систем протягом 2012–2018 рр. досліджували технічний стан облицювань каналів із збірного залізобетону та монолітного бетону на Інгулецькій, Каховській, Південно-Бугській, Явкінській, Приазовській, Білоуській зрошувальних системах. Було визначено величини фільтраційних втрат води на цих каналах після багаторічної експлуатації та розроблено ефективні заходи щодо мінімізації фільтраційних втрат (Я.В. Шевчук, О.С. Ігнатова, Л.Ю. Чернишевська).

Для відновлення протифільтраційного захисту зрошувальних каналів, басейнів-накопичувачів, водосховищ, облицьованих монолітним бетоном або залізобетонними плитами, фахівцями відділу розроблено технологію облаштування гідроізоляційного захисту із полімерного матеріалу – геомембрани, що має високі міцнісні та еластичні характеристики. У 2013 р. на Інгулецькому магістральному каналі було побудовано дослідно-експериментальну ділянку, де відпрацьовано технологію відновлення облицювання каналів, яка практично повністю виключає втрати на фільтрацію води на шляху її транспортування (І.В. Войтович, Я.В. Шевчук, Г.Ф. Мартинюк, Г.Я. Бойко).

Для очищення води від водоростей на насосних станціях підкачки обґрунтовано нові конструктивні рішення, розроблено конструкції плоских сітчастих фільтрів водозабірних споруд із застосуванням полімерних матеріалів та удосконалено конструкції полімерно-каркасних решіток, які стійкі до корозії, високотехнологічні в експлуатації. Дані конструкції апробовано в Каховському та Мелітопольському МУВГ (В.Д. Крученюк, Г.Ф. Мартинюк, Г.Я. Бойко) та ін.

Протягом останніх років в Інституті формуються нові напрямки досліджень з реалізації наукових розробок. Це перш за все науково-вишуквальні та проектно-технологічні роботи з інженерної підготовки території забудови в містах та селах України. Комплекс цих робіт включає захист територій від підтоплення та затоплення. Це насамперед консультативні послуги з наукового обґрунтування технічних рішень та проектно-вишуквальні роботи по об'єктах: відведення зливової каналізації в м. Бровари Київської області; відведення дощових стічних вод із території м. Тернополя; заходи із захисту від підтоплення с. Заріччя, с. Погреби Васильківського району Київської області (І.В. Войтович, О.М. Козицький, Г.Я. Бойко).

Особливо слід відмітити розширення робіт по оцінюванню технічного стану та обґрунтуванню технічних рішень щодо реконструкції та відновлення зрошувальних та осушувальних систем. До них слід віднести такі об'єкти: реконструкція комплексу гідротехнічних споруд осушувально-зволожувальної системи площею 840 га; реконструкція комплексу гідротехнічних споруд осушувально-зволожувальної системи площею 600 га пойми р. Когильник Татарбунарського району Одеської області та ін.

Значно підсилюється напрямок робіт із наукового обґрунтування, реконструкції та відновлення гідротехнічних споруд водогосподарського комплексу, а саме: реконструкція комплексу гідротехнічних споруд (насосна станція, аванкамера, підвідний канал, напірний трубопровід с. Велетенське Білозерського району Херсонської області; реконструкція комплексу гідротехнічних споруд осушувально-зволожувальної системи «Придунайська»; оцінювання технічного стану греблі та гідротехнічної споруди руслового ставку р. Нивка с. Петропавлівська Борщагівка; капітальні ремонти будівель Трубізької, Ірпінської, Бортницької насосних станцій в Київській області (І.В. Войтович, О.М. Козицький, Г.Я. Бойко, О.В. Коваленко, О.О. Дехтяр, Н.Д. Брюзгіна, Я.В. Шевчук).

Важливим є напрямок робіт з науково-технічного та екологічного обґрунтування заходів з екологічно-безпечного функціонування водних об'єктів (ставки, малі річки, водосховища), а саме: поліпшення технічного стану водойми з метою захисту від підтоплення сільськогосподарських угідь с. Княжичі Броварського району; покращення гідрологічного режиму та забезпечення водності річки Гніздна в межах с. Заворичі, річки Мокриця в межах с. Мокрець, річки Калита в межах с. Калита та річки Пилявка в межах с. Семиполки Броварського району Київської області (І.В. Войтович, О.М. Козицький, Г.Я. Бойко, Г.Ф. Мартинюк, В.В. Савоченко).

Особлива увага останнім часом приділяється виконанням днопоглиблювальних робіт для забезпечення судового ходу на таких річках України, як Дунай та Південний Буг за участі в тендерних закупівлях системи ПРОЗОРО.

В частині розвитку малої енергетики фахівцями Інституту виконуються роботи з науково-технічного обґрунтування та консультативних послуг у частині гідротехнічних рішень, що є одним із перспективних напрямків робіт. До таких об'єктів слід віднести: обстеження та розробку заходів із ліквідації фільтраційних процесів дамби ставку Уманського тепличного комбінату; визначення впливу розміщення ЛЕП на стійкість греблі Косівського водосховища; консультативні послуги з обґрунтування технічних рішень по проекту: «Будівництво малої ГЕС на р. Стрий; експертиза проектних рішень розділу меліорація будівельного проекту: «Будівництво сонячної електростанції в районі льнозаводу м. Сморгонь» Білорусь (І.В. Войтович, О.О. Дехтяр, Я.В. Шевчук, О.М. Козицький, О.С. Ігнатова).

Розширення робіт цього напрямку пов'язано зі створенням в Інституті проектно-технологічного бюро, що дало можливість поєднати науково-технічні розробки з реалізацією їх у проектно-вишукувальних роботах.

Основними напрямками наукової діяльності **відділу зрошення та дренажу** є встановлення закономірності водного обміну, водоспоживання та формування продуктивності сільськогосподарських культур в умовах зрошення і водорегулювання (А.П. Шатковський, В.В. Васюта, О.В. Журавльов, Ю.О. Черевичний). У відділі проводять дослідження процесів підготовки води з метою нормування її якості для зрошення (С.В. Усатий, Л.Г. Усата), процесів формування продуктивних і еколо-

гічних функцій ґрунтів в умовах краплинного зрошення та розроблено методологію прогнозування ґрунтових процесів (С.В. Рябков, Л.Г. Усата) [25; 26].

На основі теоретичних та експериментальних досліджень розробляються інтенсивні технології вирощування сільськогосподарських культур за різних способів зрошення з урахуванням агресурсного потенціалу території, метеорологічних умов регіону, впливу розроблюваних заходів на покращання соціально-економічних умов життєдіяльності місцевого населення та стану навколишнього середовища. Було удосконалено технологію вирощування просапних і багаторічних культур за краплинного зрошення, визначено технічні та технологічні параметри систем підґрунтового краплинного зрошення та розроблено технологію підґрунтового краплинного зрошення для різних сільськогосподарських культур (А.П. Шатковський) [27–28].

Фахівцями відділу розроблено науково-методичні засади створення систем протипаводкового захисту та підвищено енергозabezпечення сільських територій у басейнах малих річок (Д.П. Савчук, О.А. Бабіцька, І.В. Котикович, О.Ю. Харламов), розроблено краплинний водовипуск імпульсної дії для систем зрошення (В.В. Безрук, С.В. Усатий), технічні засоби для переробки поливних трубопроводів систем краплинного зрошення (О.А. Марченко, Р.А. Купедінова) та технологію застосування пестицидів в інтегрованих системах захисту просапних культур за краплинного зрошення (Ф.С. Мельнічук, О.А. Марченко, М.С. Ретьман) [27–31].

Результати комплексних досліджень стали науково-методологічною та техніко-технологічною основою забезпечення експлуатації зрошувальних систем. Протягом останніх років було запроєктовано системи краплинного зрошення: багаторічних насаджень на площі 191,57 га з водонакопичувальним басейном та водозабірною спорудою № 2 у Вінницькій області; винограднику на площі 22,0 га у Біляївському районі Одеської області; чорниці канадської на площі 30,0 га на землях Шацького району Волинської області; яблуневого саду на площі 40,93 га у Дніпропетровській області; суниці садової на площі 6,31 га у Могилів-Подільському районі; лохини високорослої на площі 50,0 га та малини на площі 30,0 га у Закарпатській області та ін.

Розроблено систему інженерного захисту від підтоплення та затоплення на площі 40 га у с. Чемер Козелецького району Чернігівської

області, систему інженерного захисту території від підтоплення та затоплення на площі 67 га у Козелецькому районі Чернігівської області.

Слід відмітити такі розробки відділу: «Тимчасові норми водопотреби для краплинного зрошення сільськогосподарських культур в умовах Степу України (рекомендації)»; технології вирощування буряку цукрового за краплинного зрошення та технології краплинного зрошення рису; комп'ютерна програма «Інформаційно-дорадча система з планування та управління режимами краплинного зрошення сільськогосподарських культур»; випробування поливних краплинних трубопроводів (Lin, UltraLin, NanoLin) виробництва ТОВ «Іригатор Україна», легких та компресійних фітінгів виробництва «Elysee» Республіка Кіпр»; проведення науково-дослідних робіт по вивченню біологічної ефективності препаратів Замовника та по екологічній оцінці їх впливу на екосистеми; адаптований метод визначення сумарного водоспоживання та призначення строків поливу томату за методом «Penman-Monteith» та ін.

Налагоджено співпрацю науковців відділу з Фондом цивільних досліджень та розвитку США (ФЦДР США, CRDF Global) – грантова угода FSA3-18-63886-0 «Вплив сталого управління сільським господарством на якість ґрунту та продуктивність сільськогосподарських культур (Impact of sustainable agricultural management practices on soil quality and crop productivity) (Н.О. Діденко), тісну співпрацю з провідними сільськогосподарськими товаровиробниками України.

Основними напрямками наукової діяльності **відділу осушувально-зволожувальних меліорацій** є обґрунтування напрямків розвитку меліорації земель гумідної зони в сучасних умовах господарювання; дослідження закономірностей та аналіз процесів трансформації функцій осушувальних систем гумідної зони за сучасних умов використання меліорованих земель; розробка конструктивно-технологічних підходів щодо забезпечення ефективного функціонування осушувально-зволожувальних систем в умовах зміни водоресурсного потенціалу території Полісся та соціально-економічних умов ведення сільського господарства; розробка методичних основ створення екологічно-безпечних та адаптованих до конкретних природно-кліматичних умов новітніх конструкцій водорегулюючих систем; обґрунтування та удосконалення існуючих технологій управління процесами водорегулювання в каналах та колекторній мережі, технологій управління

водним режимом ґрунтів відповідно до потреб сільськогосподарських культур; обґрунтування основних підходів та розроблення заходів щодо підвищення водозабезпеченості окремих територій меліорованих земель.

Однією з важливих розробок відділу є видання «Методичних рекомендацій з проектування ресурсозберігаючих осушувально-зволожувальних систем модульного типу, адаптованих до умов рельєфу та вимог землекористувачів», в яких деталізовано підходи до обґрунтування проектів меліоративних систем з урахуванням типу водного живлення, існуючої конструкції системи та її технічного стану, особливостей рельєфу, ґрунтів, та господарських умов (Б.І. Чалий, М.В. Яцик).

Для обґрунтування проведення меліоративних заходів по регулюванню водного режиму заплавних земель розроблено рекомендації «Енергозберігаючі технології управління процесами водорегулювання на системах польдерного типу», в основу яких покладено запропоновані ресурсоощадливі режими зволоження. Це дозволило забезпечити підвищення вологозабезпеченості вирощуваних культур на 15–20% та економію спожитої електроенергії на меліоративних системах польдерного типу до 6% за рік. Впровадження розробленої технології регулювання водного режиму проводили на виробничих ділянках польдерної системи «Іква» на модулі ділянки площею 245 га; економія води 48,7 тис. м³ на рік, спожитої електроенергії – 45,7 квт/год на 1 га площі осушення (М.В. Яцик, Г.В. Воропай) [32].

Фахівцями відділу розроблено «Рекомендації з підвищення водозабезпеченості меліоративних систем гумідної зони на засадах створення акумуляційних ємкостей», які містять методику розрахунку параметрів басейнів-накопичувачів води з урахуванням ступеня дренажності меліорованих територій, характеристики рельєфу та конструктивно-технологічних особливостей МС; принципів схеми акумулювання води з використанням басейнів-накопичувачів та можливістю додаткової подачі води з водних джерел (М.В. Яцик, Г.В. Воропай).

Науковцями розроблено «Концепцію відновлення ефективного використання меліорованих земель гумідної зони», яка визначає напрями відновлення меліоративних систем та використання осушуваних земель гумідної зони України (під керівництвом М.І. Ромашенка) [33].

Розроблена технологія накопичення об'ємів води та дренажного стоку, яка апробована

на пілотних об'єктах осушувальних систем у Чернігівській і Рівненській (2011–2013 рр.) та в Сумській (2014–2015 рр.) областях. Застосування цієї технології на пілотних об'єктах Чернігівської та Рівненської областей забезпечило акумуляцію води в ґрунті у вегетаційний період в об'ємах від 780 до 1600 м³/га та оптимальний водний режим осушуваних ґрунтів в межах 0,70–1,20 м [34; 35].

За результатами комплексних досліджень визначено, що з урахуванням трансформаційних процесів, які виникли в результаті реформування аграрного сектора, сучасних агротехнічних і екологічних вимог на осушуваних землях пріоритетними напрямками відновлення ефективного функціонування меліоративних систем гумідної зони в сучасних умовах змін клімату є підвищення їх водозабезпеченості; реконструкція та модернізація систем; розроблення та впровадження новітніх конструктивно-технологічних рішень з урахуванням сучасних вимог: соціальних, еколого-економічних, агротехнічних та вимог землекористувачів.

Одним із важливих напрямів досліджень колективу Відділення під керівництвом академіка М.І. Ромащенко є встановлення закономірностей функціонування меліоративних систем та розроблення науково-методологічних засад їх сталого використання та розвитку. Останнім часом проводиться значна робота по вивченню сучасного світового досвіду з управління зрошувальними та дренажними системами, аспектами реформування водогосподарської галузі шляхом комплексного вирішення інституційних та організаційних питань управління меліоративними системами на шляху інноваційно-інвестиційного розвитку країни, що є необхідною передумовою сталого розвитку аграрного сектора економіки [36–37].

На сьогодні відновлення і розвиток зрошення та дренажу є обов'язковою умовою для зменшення негативного впливу кліматичних змін та адаптації аграрного сектора економіки до нових ринкових умов. Науковці Відділення під керівництвом М.І. Ромащенко спільно з експертами Світового банку та ФАО розробили Стратегію розвитку зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 р., в основу якої покладено наукові та концептуальні засади, розроблені експертами Інституту водних проблем і меліорації НААН та основні рамкові принципи, що використовуються в міжнародній практиці. У Стратегії сформульовано програму реформування галузі, механізми фінансового забезпечення

на проведення модернізаційних заходів для відновлення потенціалу систем зрошення та дренажу та запропоновано орієнтовний план дій та поетапний графік реформ впровадження Стратегії, що дозволить забезпечити стале функціонування систем зрошення та дренажу та адаптувати їх до змін клімату та створити ефективну систему управління водними ресурсами із залученням всіх зацікавлених сторін. Реалізація положень Стратегії знайде своє відображення у нових напрямках наукових досліджень Відділення.

У рамках пілотного проекту з Європейським банком реконструкції і розвитку «Реконструкція систем зрошення в Україні» фахівці Інституту у складі консорціуму «Ramboll Danmark», енергетичної компанії «ЕкоСис» та ІВПіМ НААН на Нижньодністровській зрошувальній системі в Одеській області виконали базовий технічний, енергетичний та фінансовий аудити (М.І. Ромащенко, М.В. Яцюк, І.В. Войтович, О.О. Дехтяр, Т.В. Матяш, В.М. Попов, Р.В. Сайдак). На базі досліджень було встановлено основні перспективні заходи з модернізації інженерної інфраструктури, відновлення основних фондів та сформульовано пропозиції щодо покращення функціонування та розширення площ зрошення на Нижньодністровській зрошувальній системі.

Важливим є питання удосконалення законодавства в галузі водного господарства і меліорації. Саме тому протягом останніх років у Відділенні займалися експертною оцінкою законопроектів, які стосуються меліорації та водного господарства, зокрема розробкою проекту закону «Про організації водокористувачів», та було надано низку пропозицій та зауважень до проектів Законів та внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо використання меліорованих земель та меліоративних систем.

Висновки. Підвищення продуктивності та сталості землеробства потребує пошуку нових науково-методологічних та техніко-технологічних підходів до відновлення та подальшого розвитку зрошення та дренажу. У складних економічних умовах в Україні покращення ситуації можна досягти тільки при залученні інвестицій у відновлення та модернізацію інженерної інфраструктури меліоративних систем. До того ж проведення реформування управління водогосподарською галуззю зі створенням належної законодавчої бази та активним залученням водокористувачів у процеси управління є необхідною передумовою.

Подальші дослідження пов'язані з аналізом економічних та фінансових аспектів функціонування меліоративних систем, проведенням повного технічного та енергоаудиту водогосподарських систем з визначенням заходів із підвищення енергоефективності та першочерговості для їх відновлення та реконструкції, розробкою пілотних проектів із реконструкції та модернізації меліоративних систем, визначенням інвестиційної привабливості проектів

відновлення зрошення та шляхів залучення інвестицій для розвитку, відновлення та модернізації об'єктів інженерної інфраструктури, впровадженням сучасних технологій поливу, водорегулювання та вирощування сільськогосподарських культур на зрошуваних і осушених землях, питаннями законодавчого врегулювання інституційних змін та удосконалення існуючої нормативно-правової та нормативно-методичної бази.

Бібліографія

1. Стратегія відновлення та розвитку зрошення та дренажу в південному регіоні. Ромащенко М.І. та ін. Наукове видання НААН «Наукові засади розвитку аграрного сектора економіки південного регіону України», Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС. 2017. С. 182–278.
2. Ромащенко М.І. Концепція відновлення та розвитку зрошення у південному регіоні України. Київ. ЦК Компрінт. 2014. 28 с.
3. Рекомендации по технологии приготовления, укладки бетонной смеси и ухода за бетоном при строительстве монолитных облицовок каналов комплексом машины РАХКА. РТН 33.04.01.77. Киев, 1977.
4. Руководство по устройству бетонопленочных облицовок оросительных каналов. ВТР-С-4-76. – Киев. 1976.
5. Резник В.Б. Новые материалы и конструкции на основе полимеров в водохозяйственном строительстве. Київ: Будівельник. 1987. 172 с.
6. Антикоррозійна мастика «Стікам». ТУУ01018947-058-95. Київ. 1995.
7. Karaev V., Kisilenko M., Sharshunov A., Strokon D. Polymer injection composition for renovation of concrete structures. 12 International Baustofftagung. 1994 Weimar/Bundesrepublik Deutschland. P. 346–357.
8. Інструкція з технології ремонтно-відновлювальних робіт на гідротехнічних спорудах меліоративних систем із застосуванням полімерних та полімерцементних композиційних матеріалів. НД-33 2010. Наказ Держводгоспу України № 259 від 30.11.2010. – 98 с.
9. Руководство по применению химических добавок в бетоне. НИИЖБ Госстроя СССР. Москва. 1981.
10. ГОСТ 22930-87. Плиты железобетонные предварительно напряженные для облицовки оросительных каналов мелиоративных систем. Технические условия. Москва. 1987.
11. Руководство по применению золы ТЭС в бетонах для изделий и конструкций гідротехнических сооружений в меліоративном строительстве. / РД 33-1018946-001-89. Минводхоз УССР. Київ. 1989.
12. Михальський В.В. Комплекс нових протифільтраційних заходів для зрошувальних каналів // Вісник с.-г. науки. Київ. 1963. № 12. С. 15–18.
13. Алексеевский В.Е. Фильтрация из магистрального канала Ингулецкой оросительной системы // Вісник с.-г. науки. 1962. № 2. С. 23–27.
14. Сухоруков П.А., Чернышевская Л.Е., Топчий С.Л. О возможности строительства дамб оросительных каналов из переработанного выветрелого известняка. Технология и организация строительства гидромелиоративных систем. Киев.: УкрНИИГиМ. 1973. С. 105–113.
15. Шевчук Я.В. Определение фильтрационных потерь в натуральных условиях через бетонопленочную облицовку с различными полимерными материалами. Киев: УкрНИИГиМ. 1983. С. 64–68.
16. Проектування протифільтраційних облицювань і кріплень каналів зрошувальних систем. Посібник до ДБН В.2.4-1-99 «Меліоративні системи та споруди» / Укр.акад.аграр.наук, Ін-т гідротехніки і меліорації, Київ: Інформ.-видавничий центр Держкомстату України, 2006. 79 с.
17. Рекомендации по технологии разработки тяжелых грунтов плавающими землесосными снарядами. Київ. 1977. 46 с.
18. Руководство по проектированию и эксплуатации водопроводящих сооружений под магистральными каналами / РТМ. 33.63.062.89. Укргипроводхоз. УкрНИИГиМ. Київ. 1989.
19. Система машин для меліорації земель в Україні на період до 2005 року. Розділ III «Меліорація». Київ. 2000. 147 с.

20. Система машин для комплексной механизации сельскохозяйственного производства на 1986–1995 годы. Ч. III: Мелиорация. Москва. 1988. 387 с.
21. Крученко В.Д. Ефективні технології усунення активних протічок води через бетонні споруди водогосподарсько-меліоративного комплексу. SWorld-17-29 March 2015. <http://www.sworld.education/index.php/ru/conference/the-content-of-conferences/archives-of-idual-conferences/march-2015>.
22. Коваленко О.В., Агєєв А.О. Сухі будівельні суміші для ремонту та відновлення залізобетонних гідротехнічних споруд водогосподарсько-меліоративного комплексу. // Будівельні матеріали, виробни та санітарна техніка. 2014. № 52. С. 93–97.
23. Брюзгіна Н.Д., Дехтяр О.О. Герметик для деформационных швов мелиоративных каналов. SWorld. Том. 1. Вип. 45. 2016. С. 96–101.
24. Коваленко О.В., Дехтяр О.О. Напрями реконструкції зрошувальних систем водогосподарсько-меліоративного комплексу. Міжнародна науково-практична конференція Київ, 2014. С. 105–106.
25. Концепція розвитку мікрозрошення в Україні до 2020 року / М.І. Ромащенко та ін. Київ: ТОВ ДІА, 2012. 20 с.
26. Організація системи режимних спостережень для оцінки еколого-меліоративного стану земель в умовах мікрозрошення (методичний посібник) За ред. М.І. Ромащенко. Київ. ТОВ «ДІА», 2014. 42 с.
27. Методика випробувань технічних засобів мікрозрошення / М.І. Ромащенко. – ІВПіМ НААН, 2014. – 46 с.
28. Методичні рекомендації з удобрення багаторічних насаджень за краплинного зрошення / С.В. Рябков та ін. Київ: «ЦП «КОМПРИНТ», 2015. 79 с.
29. Методичні рекомендації з проведення польових досліджень за краплинного зрошення / За науковою редакцією М.І. Ромащенко. ІВПіМ. 2014. 46 с.
30. Технології вирощування сільськогосподарських культур за краплинного зрошення (рекомендації) / за ред. М.І. Ромащенко. – Київ: «ЦП «КОМПРИНТ», 2015. – 379 с.
31. Системи краплинного зрошення. Загальні технічні вимоги та методи визначення технологічних параметрів: Посібник до ДБН В. 2.4-1-99 «Меліоративні системи і споруди». Київ: ДІА, 2015. 200 с.
32. Яцик М.В., Воропай Г.В., Молеца Н.Б. Підвищення водозабезпеченості меліоративних систем гумідної зони // Меліорация і водне господарство. 2016. Вип. 103. С. 63–68.
33. Концепція ефективного використання осушуваних земель гумідної зони (наукові засади). Під науковим керівництвом академіка НААН Ромащенко М.І. Київ, 2013. 21 с.
34. Меліорация ґрунтів (систематика, перспективи, інновації): колективна монографія (за ред. С.А. Балюка, М.І. Ромащенко, Р.С. Трускавецького). Херсон: Грінь Д.С. 2015. 668 с.
35. Концептуальні засади інтегрованого реформування галузевої структури управління водними ресурсами України (бачення ГВП України) Ромащенко М.І. та ін. ГВП-Україна та ВЕГО «МАМА-86». Київ: 2017. 12 с.
36. Romashchenko M.I., Dekhtiar O.A. 2016. Irrigation Reform in Ukraine: Organizational and Legal Aspects. 2nd World Irrigation Forum. “Water management in a changing World: Role of Irrigation in Sustainable Food Production”. 6-12.11 Chiang Mai, Thailand. W. 1.3.01. – 11 p.
37. Ромащенко М.І., Яцюк М.В., Дехтяр О.О. Концептуальні засади реформування водогосподарської галузі України // Вісник аграрної науки. 2018. № 12. С. 9–18.

References

1. Romashchenko, M.I. (2017). Strategiya vidnovlennya ta rozvitku zroshennya ta drenazhu v pivdenomu regionі [Strategy of renovation and development of interrogation and drainage in the region]. Kherson: OLDI-PLUS, 182–278. [in Ukrainian].
2. Romashchenko, M.I. (2014). Kontseptsiya vidnovlennya ta rozvitku zroshennya u pivdenomu regionі Ukrayini [The concept of renewal and the development of irrigation in the region of Ukraine]. Kyiv. Central Committee Komprint. [in Ukrainian], 28.
3. Rekomendatsii po tehnologii prigotovleniya, ukladki betonnoy smesi i uhodu za betonom pri stroitelstve monolitnyih oblitsovok kanalov kompleksom mashini RAKHKA [Recommendations on the technology of preparation, laying of concrete mixture and concrete care during the construction of monolithic canal lining by the RAKHKA machine complex]. (1977). RTN 33.04.01.77. Kyiv [in Russian].

4. Rukovodstvo po ustroystvu betonoplenochnykh oblitsovok orositelnykh kanalov [Guide to the installation of concrete-film lining of irrigation canals]. (1976). VTR-S-4-76.-Ktev. [in Russian].
5. Reznik, V.B. (1987). Novyye materialy i konstruktsii na osnove polimerov v vodohozyaystvennom stroitelstve [New materials and structures based on polymers in water construction]. Kyiv: Budivelnik. [in Russian].
6. Antikorozivna mastika StIkam [Anticorrosion mastic Stykam]. (1995). TUU01018947-058-95. Kyiv. [in Ukrainian].
7. Karaev, V., Kisilenko, M., Sharshunov, A., & Strokon, D. (1994). Polymer injection composition for renovation of concrete structures. 12 International Baustofftagung. Weimar. Bundesrepublik Deutschland. [in English].
8. Instruktsiya z tehnologiyi remontno-vidnovlyvalnih robIt na gidrotehnykh sporudakh meliorativnykh sistem iz zastosovannykh polimernykh ta polimertsementnykh kompozitsiy nykh materialiv [Instructions for repair and maintenance work on hydraulic engineering spores of the melioration systems of polymeric and polymeric cement compositions]. (2010). ND-33 2010. The order of the Derzhvodgospu of Ukraine No. 259 of 30.11.2010. [in Ukrainian].
9. Rukovodstvo po primeneniyu khimicheskikh dobavok v betone [Guidelines for the use of chemical additives in concrete]. (1981). Research, Design and Technological Institute of Concrete and Reinforced Concrete of the USSR. Moscow. [in Russian].
10. Plity zhelezobetonnyye predvritel'no napryazhennyye dlya oblitovki orositel'nykh kanalov meliorativnykh sistem. Tekhnicheskyye usloviya [Pre-stressed reinforced concrete slabs for facing irrigation canals of drainage systems. Technical conditions]. (1987). GOST 22930-87. Moscow: USSR State Building Committee. [in Russian].
11. Guidelines for the use of TPS ash in concretes for products and structures of hydraulic structures in melitory construction. (1989). RD 33-1018946-001-89. Ministry of Water Economy of the Ukrainian SSR. Kyiv. [in Russian].
12. Mikhalsky, V.V. (1963). The complex of new antifiltration eventses for the adult channels. Bulletin of Agricultural Science, 12. [in Ukrainian].
13. Alekseevsky, V.E. (1962). Fil'tratsiya iz magistral'nogo kanala Inguletskoy orositel'noy sistemy [Filtration from the main canal of the Ingulets irrigation system]. Bulletin of Agricultural Science, 12, 23–27. [in Russian].
14. Sukhorukov, P.A., Chernyshevskaya, L.E., & Topchy, S.L. (1973). O vozmozhnosti stroitel'stva damb orositel'nykh kanalov iz pererabotannogo v'shetrelogo izvestnyaka. Tekhnologiya i organizatsiya stroitel'stva gidromeliorativnykh system [About the possibility of building dams of irrigation canals from recycled high-ripe limestone. Technology and organization of construction of irrigation and drainage systems]. Kyiv: Ukr. research institute of hydraulic engineering and land reclamation, 105–113. [in Russian].
15. Shevchuk, Ya.V. (1983). Opredeleniye fil'tratsionnykh poter' v naturnykh usloviyakh cherez betono-plenochnuyu oblitovku s razlichnyimi polimernymi materialami [Determination of filtration losses in natural conditions through a concrete-film cladding with various polymeric materials]. Ukr. research institute of hydraulic engineering and land reclamation, 64–68. [in Russian].
16. Proektuvannya protyfil'tratsiy nykh oblytsyuvan' i kriplen' kanaliv zroshuv'al'nykh system [The project of protivil'tratsiy ny faces and the channel of the adult systems]. Postnik to DBN V. 2.4-1-99 "Meliorant systems and equipment". Ukrainian Acad. Agrarian Science, Institute of Hydraulic Engineering and Melioration, (2006). Kyiv: Inform. – Vidavnychy Center, State Statistics Committee of Ukraine. [in Ukrainian].
17. Rekomendatsii po tekhnologii razrabotki tyazhelykh gruntov plavayushchimi zemlesosnyimi snaryadami [Recommendations on the technology for the development of heavy soils by floating dredging projectiles]. (1977). Ukrainian State Design and Research and Research Institute for Water Management. Ukr. research institute of hydraulic engineering and land reclamation. Kyiv. [in Russian].
18. Rukovodstvo po proyektirovaniyu i ekspluatatsii vodoprovodyashchikh sooruzheniy pod magistral'nyimi kanalami [Guidance on the design and operation of water supply facilities under the main canals]. (1989). RTM. 33.63.062.89. Ukrainian State Design and Research Institute for Water Management. Ukr. research institute of hydraulic engineering and land reclamation. Kyiv. [in Russian].
19. Systema mashyn dlya melioratsiyi zemel' v Ukrayini na period do 2005 roku [A system of machines for small lands in Ukraine for period to 2005. (2000). (Part III Melioratsiya). Kyiv. [in Ukrainian].
20. Sistema mashin dlya kompleksnoy mekhanizatsiy sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva na 1986–1995 gody [A system of machines for the comprehensive mechanization of agricultural production for 1986-1995]. (1988). (Part III: Reclamation). Moscow. [in Russian].

21. Kruchenyuk, V.D. (2015). Efektyvni tekhnolohiyi usunennya aktyvnykh protichok vody cherez betonni sporudy vodohospodars'ko-melioratyvnoho kompleksu [Effective technology of the active driving of water through concrete equipment to the water-melodious complex]. SWorld. Retrieved from: <http://www.sworld.education/index.php/en/conference/the-content-of-conferences/archives-of-idual-conferences/march-2015>. [in Ukrainian].
22. Kovalenko, O.V., & Ageev, A.O. (2014). Sukhi budivel'ni sumishi dlya remontu ta vidnovlennya zalizobetonnykh hidrotekhnichnykh sporud vodohospodars'ko-melioratyvnoho kompleksu [Dry life sums for repair and renovation of concrete and concrete hydrotechnical equipment for water-melodious complex]. Building materials, products and sanitary equipment, 52, 93–97. [in Ukrainian].
23. Briuzghina, N.D., & Dekhtyar, O.O. Germetik dlya deformatsionnykh shvov meliorativnykh kanalov [Sealant for expansion joints of drainage channels]. (2016). SWorld, 1, 45, 96–101. [in Russian].
24. Kovalenko, O.V., & Dekhtyar, O.O. Napryamy rekonstruktsiyi zroshual'nykh system vodohospodars'ko-melioratyvnoho kompleksu [Directly, reconstruction of the adult systems of the water-melodious complex]. (2014). International Scientific-Practical Conference. Kyiv, 105–106. [in Ukrainian].
25. Romashchenko, M.I., Ryabkov, S.V., & Shatkovskii, A.P. (2012). Kontseptsiya rozvytku mikrozhennya v Ukrayini do 2020 roku [The concept of development of microcroirrigation in Ukraine until 2020]. Kyiv: DIA. [in Ukrainian].
26. Orhanizatsiya systemy rezhymnykh sposterezhen' dlya otsinky ekoloho-melioratyvnoho stanu zemel' v umovakh mikrozhennya (metodychnyy posibnyk) [The organization of the system of regimes for the assessment of the ecologic and meliorative camp of lands in the minds of microcrosis (methodical postnik)]. (2014). M.I. Romashchenko (Ed.), Kyiv. [in Ukrainian].
27. Instytut wodnyh problem i melioracii. (2014). Metodyka vyprobuvan' tekhnichnykh zasobiv mikrozhennya [Technique vyprobuvan technical osobiv mikrozhennya]. Kyiv. [in Ukrainian].
28. Ryabkov, S.V., Usata, L.G., Shatkovsky, A.P., Usatii, S.V., & Semenko, L.O. (2015). Metodychni rekomendatsiyi z udobrennya bahatorichnykh nasadzhen' za kraplynnoho zroshennya [Methodical recommendations for fertilizing bagatory nasadzhen for spotted zroschennya]. Kyiv: IWPIM NAAN. [in Ukrainian].
29. Romashchenko, M.I. (2014). Metodychni rekomendatsiyi z provedennya pol'ovykh doslidzhen' za kraplynnoho zroshennya [Methodical recommendations for polovych performance for speckled beetroot]. Kyiv: IWPIM NAAN. [in Ukrainian].
30. Romashchenko, M.I. (2015). Tekhnolohiyi vyroshchuvannya sil's'kohospodars'kykh kul'tur za kraplynnoho zroshennya (rekomendatsiyi) [Technology viroshuvannya sylskogospodarskih cultures for speckled zroshchennya (recommendations)]. Kyiv; IWPIM NAAN. [in Ukrainian].
31. Systemy kraplynnoho zroshennya. Zahal'ni tekhnichni vymohy ta metody vyznachennya tekhnolohichnykh parametriv [The system of speckled crumpling. Foreign technical certificates and methods for identifying technological parameters]. (2015). Posibnik to State building codes B. 2.4-1-99. Meliorated system and equipment. Kyiv: DIA. [in Ukrainian].
32. Yatsik, M.V. (2016). Pidvyshchennya vodozabezpechenosti melioratyvnykh system humidnoyi zony [Improvement of water supply of amelioration systems of humid zone.]. Land reclamation and water management, 103, 63–68. [in Ukrainian].
33. Instytut wodnyh problem i melioracii. (2013). Kontseptsiya efektyvnoho vykorystannya osushuvanykh zemel' humidnoyi zony (naukovi zasady) [The concept of efficient use of dehumidified land in the humid zone (scientific basis)]. Kyiv. [in Ukrainian].
34. Melioratsiya hruntiv (systematyka, perspektyvy, innovatsiyi) [Soil reclamation (systematics, perspectives, innovations): a collective monograph]. (2015). (Ed. by Balyuk, S.A., Romashchenko, M.I., & Truskavetsky, R.S.). Kherson: Grin D.S. [in Ukrainian].
35. Romashchenko, M.I., Yatsiuk, M.V., Demydenko, A.O., Tsvietkova, H.M., Dekhtiar, O.O., & Matiash, T.V. (2017). Kontseptual'ni zasady intehrovanoho reformuvannya haluzevoyi struktury upravlinnya vodnymy resursamy Ukrayiny (bachennya HVP Ukrayiny) [Management of Ukraine (VVP of Ukraine vision)]. Kyiv: GVP-Ukraine. Retrieved from: https://mama-86.org/images/publications/gwp/GWP_Zasady_ukr_web.pdf [in Ukrainian].
36. Romashchenko, M.I., & Dekhtiar, O.A. (2016). Irrigation Reform in Ukraine: Organizational and Legal Aspects. 2nd World Irrigation Forum. Water Management in a Changing World: The Role of Irrigation in Sustainable Food Production. Chiang Mai, Thailand. W. 1.3.01. – 11. [in English].
37. Romashchenko, M.I., Yatsyuk, M.V., & Dehtyar, O.O. (2018). Kontseptual'ni zasady reformuvannya vodohospodars'koyi haluzi Ukrayiny [Conceptual bases for reforming the Ukrainian water industry]. Bulletin of agrarian science, 12, 9–18. [in Ukrainian].

О.А. Дехтяр, И.В. Войтович, С.В. Усатый, Г.В. Воропай, Н.Д. Брюзгина, Я. В. Шевчук
История развития, перспективы строительства,
реконструкции и восстановления мелиоративных систем

Аннотация. В статье проанализировано современное состояние сектора орошения и дренажа в Украине в условиях климатических изменений и подчеркнуто его решающую роль в получении стабильных и прогнозируемых урожаев, повышении продуктивности земель и дальнейшему развитию сельскохозяйственного производства. Рассмотрена история развития и этапы становления научных подразделений Института гидротехники и мелиорации (сейчас Института водных проблем и мелиорации НААН), которые занимались решением вопросов водохозяйственного строительства, эксплуатации, обслуживания, ремонта и восстановления инженерной инфраструктуры оросительных и дренажных систем, дождевальной техники, гидротехнических сооружений и оборудования. Систематизированы результаты многолетних исследований, главные направления научной деятельности, основные разработки и достижения специалистов отделов орошения и дренажа, эксплуатации водохозяйственно-мелиоративных систем, осушительно-увлажнительных мелиораций отделения мелиорации Института по вопросам обеспечения надежного и эффективного функционирования водохозяйственно-мелиоративного комплекса. Аргументированы технико-технологические основы совершенствования инфраструктуры оросительных и дренажных систем и предложены пути решения существующих проблем. Отмечено, что в настоящее время, учитывая изменения климата и условия хозяйствования, повышение производительности и устойчивости земледелия требует поиска новых научно-методологических и технико-технологических подходов к восстановлению и дальнейшему развитию орошения и дренажа. В современных сложных экономических условиях в Украине улучшения ситуации можно достичь только при привлечении инвестиций в обновление и модернизацию инженерной инфраструктуры мелиоративных систем. При этом проведение реформирования управления водохозяйственной отраслью с созданием надлежащей законодательной базы и активным привлечением водопользователей в процессы управления является необходимым условием. Подчеркнута необходимость реализации положений и мер, предложенных в «Стратегии орошения и дренажа в Украине на период до 2030 гг.», подготовленной при участии специалистов ИВПиМ НААН, что будет способствовать эффективному использованию потенциала оросительных и дренажных систем для наращивания объемов производства сельскохозяйственной продукции в условиях изменений климата.

Ключевые слова: оросительные системы, дренажные системы, инженерная инфраструктура, восстановление, стратегия.

O.A. Dekhtyar, I.V. Voitovich, S.V. Usatyi, G.V. Voropai, N.D. Briuzghina, Y. V. Shevchuk
History of development, prospects of construction,
reconstruction and rehabilitation of reclamation systems

Abstract. The article analyzes the current state of the irrigation and drainage sector in Ukraine in the context of climate change and emphasizes its decisive role in obtaining stable and predictable crop yields, increasing land productivity and further developing agricultural production. The history of development and the nascent stages of the scientific departments of the Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation (now the Institute of Water Problems and Land Reclamation of the National Academy of Sciences of Ukraine) dealt with the issues of water management construction, operation, maintenance, repair and restoration of the engineering infrastructure of irrigation and drainage systems, sprinkling equipment, hydraulic structures and equipment were considered. The results of multi-year researches, main areas of scientific activity, developments and achievements of the specialists of the departments of irrigation and drainages, operation of water management and drainage systems, drainage and irrigation reclamation of the Institute on the issues of reliable and efficient functioning of water and land reclamation complex were systematized. Technical and technological basis for improving the infrastructure of irrigation and drainage systems were justified and the ways of solving the existing problems were proposed. It was noted that at present, given climate change and management conditions, increasing productivity and sustainability of agriculture requires searching for new scientific, methodological, technical and technological approaches to the restoration and further development of irrigation and drainage. At the same time, reforming the management of the water sector supported by an appropriate legislative framework and the active involvement of water users in management processes is a prerequisite. The necessity of implementing the provisions and measures proposed in the "Irrigation and Drainage Strategy of Ukraine for the Period until 2030", prepared with the participation of the specialists from IWPLR NAAS, was emphasized, which will contribute to the effective use of irrigation and drainage systems potential to increase the agricultural production in the conditions of climate change.

Key words: irrigation systems, drainage systems, engineering infrastructure, restoration, strategy.

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg201902-185>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/185>

УДК 631.67:63.001.05;63.001.57

ОПЕРАТИВНЕ ПЛАНУВАННЯ ЗРОШЕННЯ: СУЧАСНІ ВИКЛИКИ, РЕАЛІЇ ТА БАЧЕННЯ

О.І. Жовтоног¹, докт. с.-г. наук, В.В. Поліщук², канд. с.-г. наук, Л.А. Філіпенко³, канд. географ. наук, А.Ф. Салюк⁴, Я.О. Бутенко⁵, М.В. Гофман⁶

¹ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0001-5966-9081>; e-mail: olgazhovtonog10@gmail.com

² Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0003-0429-7406>; e-mail: vitaliyopolishchuk@ukr.net

³ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0001-6558-0462>; e-mail: filipenkolaris@gmail.com

⁴ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0003-3968-1125>; e-mail: allasaluk@ukr.net

⁵ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-1743-7175>; e-mail: iarynabulba@gmail.com

⁶ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0001-9212-9722>; e-mail: mi-hoffmann@gmx.net

Анотація. Наведено аналіз сучасних політичних та кліматичних викликів, а також практики використання зрошення у великих господарствах Півдня України, що формують вимоги до методів управління зрошенням. Представлено результати експериментальних досліджень з удосконалення методів оперативного управління зрошенням та підтримки прийняття відповідних стратегічних рішень для досягнення ресурсоефективності у зрошуваному землеробстві в умовах реального виробництва. Обґрунтовано та продемонстровано роль наземного та космічного агромоніторингу для коригування біокліматичних коефіцієнтів водоспоживання сільськогосподарських культур із врахуванням просторово-часової мінливості фактичного стану їх біомаси. Для адаптації управління зрошенням до умов повітряної посухи запропоновано використання додаткового критерію при прийнятті рішень щодо проведення освіжаючих поливів, що визначається за максимально допустимію тривалістю перебування вегетаційної поверхні рослин при температурі вище фізіологічно допустимого рівня. Встановлено, що за умов повітряної посухи, крім уповільнення приросту біомаси відбуваються фізіологічні процеси у листках та репродуктивних органах рослин, внаслідок збільшення температури вегетаційної поверхні. За даними досліджень процесів енергопереносу у посівах у періоди атмосферної посухи встановлено зростання використання частки теплової енергії на турбулентний обмін порівняно з обсягами енергії, що йдуть на випаровування. Означено бачення майбутнього розвитку методів оперативного планування зрошення на базі створення сучасних інформаційних платформ, що дозволяють обирати той чи інший метод оперативного управління зрошенням, виходячи з можливостей кожного конкретного господарства, а також забезпечувати «on-line» консультування організацій водокористувачів та фахівців господарств.

Ключові слова: зрошувальна система, інформаційна система, ДЗЗ, агромоніторинг, база даних, оперативне планування зрошення, геоінформаційні технології, алгоритми, модельний комплекс.

Постановка проблеми. Оперативне планування зрошення сільськогосподарських культур при поливі дощуванням на великих зрошувальних системах в Україні завжди розглядалось як засіб забезпечення ефективного використання водних та енергетичних ресурсів, підвищення врожаю сільськогосподарських культур та відповідно збільшення прибутковості господарств. Сучасні методи планування поливів також враховують екологічні вимоги щодо збереження родючості ґрунтів, запобігання погіршенню еколого-меліоративного стану земель. Лідером даного наукового напрямку планування зрошення в Україні є Інститут водних проблем і мелі-

орації НААН. Тут уперше в Україні та колишньому СРСР за керівництвом проф. Остапчика В.П. було розроблено та впроваджено на площі понад 1 млн. га інформаційно-дорадчу систему оперативного планування зрошення ІДС ОПЗ «Полив», що базувалась на удосконаленому біокліматичному методі визначення сумарного випаровування. Поступово розвивалась нормативна база планування режимів зрошення для різних типів ґрунтів та сільськогосподарських культур, розроблено та постійно поновлюються районвані норми водопотреби у зрошенні, розроблено та масово впроваджувались на великих площах декілька поколінь інформаційно-

© О.І.Жовтоног, В.В.Поліщук, Л.А.Філіпенко, А.Ф.Салюк, Я.О.Бутенко, М.В.Гофман, 2019

дорадчих та інформаційно-обчислювальних систем оперативного планування зрошення. Над розвитком цього наукового напрямку працювала та працює ціла плеяда відомих в Україні вчених: А.М. та С.М. Алпатьєви, В.П. Остапчик, Л.А. Філіпенко, О.І. Жовтоног, М.І. Ромащенко, П.І. Ковальчук [1–5]. Автори цієї статті, спираючись на попередні надбання, результати власних досліджень та досвід розробки та впровадження у виробництві інформаційних систем оперативного планування зрошення, пропонують основні пріоритети подальшого розвитку цього наукового напрямку, виходячи з сучасних викликів та практики ведення зрошувального землеробства.

Актуальність дослідження. Ситуація у зрошувальному землеробстві в останні десятиріччя та його подальший розвиток залежать від існуючих викликів, що формуються у водному та сільському господарстві України, відіграючи значну роль у розвитку меліоративної науки та практики. Ці виклики обумовлені змінами оточуючого соціально-економічного та природного середовища: реформами державного управління та окремих секторів економіки; зміною клімату; науковим та інноваційним розвитком; змінами умов водоземлекористування.

Сучасні виклики, що впливають на розвиток методів оперативного планування зрошення.

Політичні зміни. У сільському та водному господарстві склалась ситуація, що вимагає термінового прийняття важливих політичних рішень, які готувались у попередні роки. Ці політичні рішення пов'язані з відкриттям ринку земель сільськогосподарського використання та реформами в управлінні водними ресурсами, що передбачає передачу повноважень з експлуатації зрошувальної інфраструктури (за виключенням головних каналів та головних насосних станцій) та управління водокористуванням організаціям водокористувачів (ОВК). Реалізація цих реформ відкриває можливості для інвестицій в модернізацію систем зрошення та управління водокористуванням як з боку приватного сектора, так і держави, міжнародних організацій та компаній. За позитивними оцінками це може статись вже протягом наступних двох років. Основним документом державного рівня, що визначає напрямки реформування сектора зрошення, є Стратегія відновлення та розвитку зрошення та дренажу, що розроблена у рамках співпраці Світового банку, ФАО та Інституту водних проблем і меліорації та затверджена наказом Кабінету Міністрів України [6].

Зміна клімату. Кліматичний вплив характеризується, перш за все, зростанням дії екстремальних погодних явищ, таких як зливові опади, заморозки, а влітку посухи, які супроводжуються тривалими періодами високих денних температур повітря. Ці явища обумовлюють актуальність запровадження комплексу заходів із пом'якшення та упередження їх негативної дії на сільське господарство та адаптації технологій зрошувального землеробства до таких умов. З цією метою установами НААН виконуються фундаментальні та прикладні дослідження в різних природно-кліматичних умовах, проводяться навчання фахівців сільськогосподарських підприємств, розвивається міжнародне співробітництво.

Інноваційний розвиток. Розповсюдження інновацій в останні роки набуває експоненціального розвитку як у частині появи нових приладів, обладнання, машин, так і в частині цифрових технологій та технологій точного землеробства, а також нового покоління інформаційних систем підтримки прийняття управлінських рішень [7–9]. Стрімкий інноваційний розвиток та цифрові технології обумовлюють зміну підходів до планування зрошення.

Практика ведення зрошувального землеробства. У зоні інтенсивного широкомасштабного зрошення на півдні України переважною практикою є полив дощувальними машинами кругової дії, а саме переоснащеними на низьконапірні ДМ «Фрегат», або новими сучасними дощувальними машинами закордонного виробництва. До того ж управлінські рішення щодо проведення поливів у більшості випадках відбуваються за технологічними картами, вимірюваннями вологості ґрунту та розрахунками сумарного випаровування за даними автоматизованих метеостанцій. Але впровадження інформаційних систем залишається дуже обмеженим. Це обумовлено неможливістю виконання рекомендацій щодо оптимальних строків та норм поливу на сівозмінах, де залишається стара поливна техніка та не проведена модернізація зрошувальної мережі і насосних станцій.

Зазначені виклики та реалії виробництва вимагають перегляду традиційних методів та критеріїв прийняття рішень для забезпечення ресурсоефективного управління зрошенням.

На цій підставі нами було проведено аналітичні та експериментальні дослідження з оцінки існуючої практики використання зрошення, розробки бачення його розвитку на наступні 20–30 років та оцінки перспектив використання тих чи інших інноваційних продуктів, що можуть бути впроваджені для

управління зрошенням в існуючих умовах господарювання та у майбутньому.

Мета досліджень. Удосконалення методів оперативного управління зрошенням та підтримки прийняття відповідних стратегічних рішень для досягнення ресурсоефективності у зрошуваному землеробстві.

Для досягнення поставленої мети вирішувались такі завдання:

- дослідження часової та просторової мінливості природних та господарських умов використання зрошення;

- визначення основних напрямків удосконалення моделей та алгоритмів оперативного планування зрошення з врахуванням просторової та часової мінливості природних та господарських умов реального виробництва;

- оцінка перспективних напрямків розвитку методів планування зрошення для забезпечення ресурсоефективності управління в умовах сучасного аграрного виробництва.

Постановка завдань досліджень спрямована на формування нових методологічних підходів ресурсоефективного управління зрошенням, що враховують існуючу та перспективну практику використання зрошення, сучасні виклики, пов'язані зі зміною клімату та інноваційним розвитком в аграрному секторі економіки, перспективи модернізації зрошувальної інфраструктури та інституційної реформи в організації управління зрошенням.

Об'єкти та методи досліджень. Дослідження проводили протягом 2012–2019 рр. у господарствах Херсонської та Запорізької областей. У період 2012–2015 рр. у ДП «ДГ «Асканійське» АДСДС» ІЗЗ НААН на площі 2000 га була проведена апробація та виконано дослідне впровадження інформаційної системи оперативного планування зрошення ІС «ГІС Полив», що була розроблена в ІВПіМ авторами статті [9]. У наступні роки (2015–2019) інформаційна система впроваджувалась в умовах реального виробництва у чотирьох господарствах Херсонської та Запорізької областей, де досліджувались також природні та господарські умови використання зрошення та виконано оцінку якості управління поливами. Дослідження проводили на 306 полях, загальна площа яких склала 9266,09 га, основні культури – соя, соняшник, озима пшениця, люцерна та озимий ріпак.

У ході виконання досліджень сформовано базу даних, що містить інформацію по кожному полю, окремих зрошуваних масивах, що обслуговуються однією насосною станцією, та загалом по кожному окремому господарству. Методика досліджень базувалась на

результатах системного аналізу функціонування системи зрошувального землеробства, що є відкритою складною природно-технічною та соціально-економічною системою [10]. У наших дослідженнях увага приділялась факторам, що безпосередньо впливали на систему зрошувального землеробства у господарствах, які досягли високого рівня землеробства: працює сучасна сільськогосподарська техніка та застосовуються широкозахватні дощувальні машини як старої модифікації (ДМ «Фрегат»), так і нова сучасна низьконапірна техніка поливу (ДМ «Zimmatik», ДМ «Bauer» та ін.).

Оцінку стану посівів та якості управління зрошенням проводили на основі використання модельного комплексу інформаційної системи оперативного планування зрошення (ІС «ГІС Полив»), даних наземного моніторингу (автоматизовані метеостанції, контрольні вимірювання вологості ґрунту, фенологічні спостереження) та космічного агромоніторингу (визначення індикаторів стану вегетаційної поверхні та водного стресу за допомогою обробки космічних знімків Landsat 8 OLI/TIRS, Landsat 7 ETM+, Sentinel 2a). Протягом досліджень від фахівців господарств отримували оперативну інформацію про проведення фактичних поливів та інших технологій зрошувального землеробства, фактичну урожайність сільськогосподарських культур по кожному полю. У статті наводяться окремі найбільш значущі результати даних досліджень, що визначають напрямки подальшого розвитку методів оперативного планування зрошення.

Результати досліджень та їх обговорення. *Дослідження часової та просторової мінливості природних і господарських умов використання зрошення в реаліях виробництва.*

Повітряна посуха та високі денні температури повітря.

На об'єктах досліджень щороку спостерігалась атмосферна посуха різної інтенсивності та тривалості. У таблиці 1 наведено характеристики прояву атмосферної посухи у 2012–2014 рр. в ДП «ДГ «Асканійське» АДСДС» ІЗЗ НААН при вирощуванні сої. Атмосферна посуха характеризувалась кількістю днів із максимальною температурою повітря вище 30°C ($T_{\max} \geq 30^\circ\text{C}$), відносною вологістю повітря нижче 30% ($R_{\min} \leq 30\%$) та відсутністю опадів, а також тривалістю періодів безперервної дії цих умов.

Як видно з таблиці 1, найбільше днів з максимальною температурою вище 30°C спостерігалось у 2012 р. У середньому тільки 20% від усіх днів з $T_{\max} \geq 30^\circ\text{C}$ припадає на

1. Характеристика прояву атмосферної посухи у ДП «ДГ «Асканійське» АДСДС» ІЗЗ НААН по періодах розвитку сої в 2012–2014 рр.

Період	Дата	Кількість днів з температурою повітря $T_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$ і відсутністю опадів	Тривалість безперервного періоду з температурою повітря $T_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$	Кількість днів з вологістю повітря $R_{\min} \leq 30\%$	Тривалість безперервного періоду з вологістю повітря $R_{\min} \leq 30\%$
Початковий	07.05–18.06.12	11	5	12	5
Критичний	19.06–12.07.12	19	11	13	7
Дозрівання	13.07–31.08.12	34	24	32	23
Всього за 2012 р.		64		57	
Початковий	05.05–30.06.13	21	8	31	7
Критичний	01.07–26.07.13	13	11	9	7
Дозрівання	27.07–31.08.13	26	20	23	8
Всього за 2013 р.		60		63	
Початковий	11.04–18.06.14	11	5	33	6
Критичний	19.06–11.07.14	8	4	5	3
Дозрівання	12.07–31.08.14	40	40	38	24
Всього за 2014 р.		59		76	

початковий та критичний періоди розвитку сої, найбільш довготривалими є посухи у період дозрівання (середина липня – серпень). У 2014 р. протягом майже всього періоду дозрівання спостерігались високі температури та низький рівень відносної вологості повітря. Днів із мінімальною відносною вологістю повітря нижче 30% було найбільше у 2014 р. На початку вегетації в 2013 та 2014 рр. вологість повітря також часто знижувалась до 30% й нижче. За умов екстремальної повітряної посухи, особливо у критичні періоди росту сільськогосподарських культур, термінові освіжаючі поливи сприяли істотному зниженню денних температур повітря.

Як видно з графіку (рис 1.), після проведення поливу температура повітря протягом світлого періоду часу знижувалась на 3°C в денний час та підвищувалась на 4°C в нічний час. Мікрокліматичний ефект зрошення добре відомий [11], але в сучасних умовах він потребує особливої уваги саме у зв'язку з більш тривалими періодами високих температур повітря протягом доби. Така тривала спека обумовлює зміну процесів енергомасообміну у посівах, що впливає на продукційний процес сільськогосподарських культур. Проведені дослідження свідчать, що під час періодів повітряної посухи за температури вище 30°C , яка спостерігалась протягом доби понад

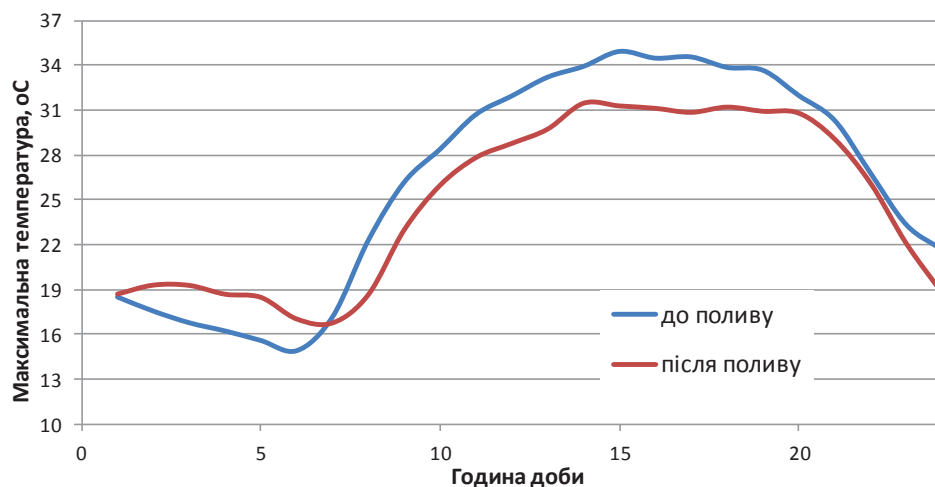


Рис. 1. Динаміка денних температур повітря на полі сої у період атмосферної посухи (до поливу-14.06.2018 та після поливу-18.06.2018)

8 годин, температура вегетаційної поверхні підвищувалась до 28°C та більше.

Вплив рельєфу та стан родючості ґрунту на нерівномірність поливу та стан посівів.

На рисунку 2 наведено приклад полів зі складним рельєфом у господарстві «Господарство 1».

У результаті поверхневого стоку підвищені ділянки втрачають частину вологи, а ґрунти у пониженних зонах одержують її додатково. З перерозподілом вологи по елементах рельєфу пов'язана міграція твердих і водорозчинних продуктів вивітрювання і ґрунтоутворення, унаслідок чого сільськогосподарські культури, що знаходяться у верхній, середній чи нижній частині балки опиняються не тільки в різних умовах зволоження та наявності елементів живлення, а й у різних мікрокліматичних умовах. Нерівномірність рельєфу впливає на стан розвитку сільськогосподарських культур. Залежно від зміни висот над рівнем моря, в межах поля відбуваються зміни показника

вегетаційного індексу NDVI, що отриманий за даними космічних знімків. На основі обробки даних наших досліджень отримано залежність між вегетаційним індексом та різницею висот у межах поля (рис. 3).

Вплив відповідності потужності насосних станцій водопотребі у зрошенні сільськогосподарських культур.

При існуючому технічному стані зрошувальних систем часто спостерігаються недополиви культур унаслідок недостатньої потужності насосних станцій при існуючій структурі посівних площ (рисунком 4). За даними наших досліджень обсяги недополивів за сезон можуть складати 400 м³/га. У таблиці 2 наведено приклади недополивів та зниження вологості активного шару ґрунту нижче оптимального рівня в таких умовах.

Для вирішення цієї проблеми господарства намагаються акумулювати кошти та провести модернізацію насосних станцій, але цей процес не може бути реалізований по



Рис. 2. Рельєф у межах господарства «Господарство 1»

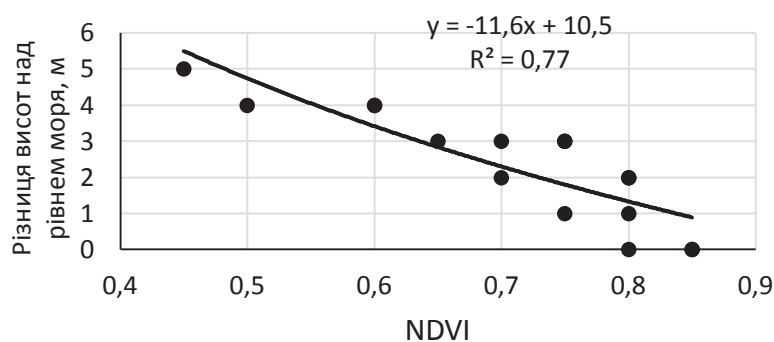


Рис. 3. Залежність вегетаційного індексу від ступеню складності рельєфу

2. Зниження вологості ґрунту нижче оптимального рівня на полях сівозміни, де потужність НС не дозволяла здійснювати одночасний полив (НС 46, Господарство 1)

НС	Поле	Культура	Кількість днів з вологістю менше оптимального рівня у критичний період /всього, діб	Обсяги недополиву, мм	Урожай, ц/га
46	27а	Соя середня	7/63	37,3	34,9
	25а	Соя середня	8/64	45,6	34,9
	24	Соняшник	20/58	126,8	31,15
	27	Соя середня	20/54	82,4	30,72
	25	Соя середня	20/52	122,0	29,7
	4	Соя середня	49/48	174,2	24,7

всіх насосних станціях одночасно внаслідок необхідності значних капітальних вкладень. Крім того, поки насосні станції не передані у довгострокове використання організаціям водокористувачів, господарства мають ризики для своїх інвестицій у їх модернізацію.

Просторова нерівномірність внесення засобів захисту рослин та добрив

Просторова нерівномірність стану посівів між окремими полями та у межах окремих полів також суттєво впливає на урожай сільськогосподарських культур та продуктивність використання поливної води при зрошенні. Цю нерівномірність, як правило, обумовлено нерівномірністю внесення засобів захисту рослин чи добрив. У таблиці 3 наведено приклад нерівномірності стану посівів сої по полях сівозміни одного з господарств протягом вегетаційного сезону 2017 р. В окремі дати діапазон зміни значень вегетаційного індексу складає 10–15%.

На рисунку 4 наведено приклад просторової нерівномірності стану посівів у межах окремих полів, що може бути обумовлений нерівномірністю поливу, різницею у густоті посіву, нерівномірністю внесення засобів захисту рослин чи добрив. Нерівномірність стану розвитку

посів внаслідок порушень у проведенні технологічних операцій зрошувального землеробства обумовлює різні умови водоспоживання сільськогосподарських культур, що потрібно враховувати при оперативному плануванні поливів.

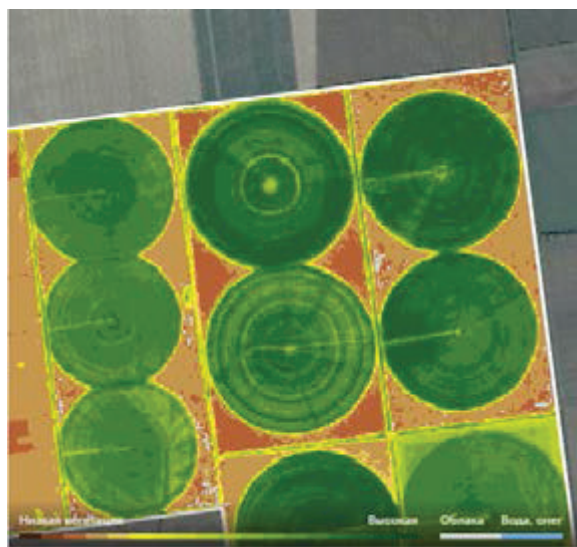


Рис. 4. Приклад нерівномірності стану посівів у межах окремих полів за даними космічного моніторингу

3. Просторова нерівномірність значень NDVI по полях сої у межах однієї сівозміни протягом 2017 р.

		Культура	Площа, га	02.06.17	16.06.17	26.06.17	03.07.17	06.07.17	11.07.17	26.07.17	27.07.17	05.08.17	12.08.17	13.08.17	20.08.17	25.08.17
2	1	Соя	41,12	0,56	0,84	0,76	0,77	0,91	0,92	0,87	0,91	0,89	0,83	0,68	0,54	
	2	Соя	38,84	0,57	0,85	0,88	0,78	0,91	0,92	0,88	0,9	0,88	0,79	0,63	0,47	
	3	Соя	39,61	0,55	0,84	0,88	0,75	0,91	0,92	0,87	0,89	0,84	0,76	0,59	0,46	
3	1	Соя	40,03	0,44	0,78	0,83	0,75	0,76	0,78	0,87	0,91	0,91	0,9	0,76	0,74	
	2	Соя	35,94	0,45	0,77	0,84	0,76	0,9	0,91	0,87	0,9	0,91	0,89	0,76	0,75	
	3	Соя	36,15	0,39	0,73	0,76	0,73	0,87	0,91	0,87	0,87	0,91	0,88	0,75	0,74	0,81
5	1	Соя	38,83		0,83	0,82	0,77	0,9	0,91	0,76	0,89	0,9	0,88	0,74	0,73	0,79
	2	Соя	37,9		0,83	0,87	0,77	0,9	0,91	0,87	0,89	0,9	0,88	0,73	0,73	0,8
7	1	Соя	36,91	0,44	0,74		0,75	0,77	0,91		0,89	0,9	0,87	0,74	0,68	0,72
	2	Соя	37,05				0,72		0,89	0,82	0,88	0,86	0,86	0,74	0,68	0,75
8	1	Соя	38,22	0,55	0,82	0,75	0,76	0,89	0,91		0,85	0,85	0,78	0,63	0,46	0,38

Удосконалення моделей та алгоритмів оперативного планування зрошення. Як показали результати наших досліджень, зростання частоти та інтенсивності повітряної посухи, а також наявність просторової нерівномірності дії природних та антропогенних факторів в умовах реального виробництва, обумовлює необхідність перегляду підходів до оперативного планування зрошення. Крім спостережень та розрахунків динаміки вологості у ґрунті, при оперативному плануванні поливів необхідне коригування параметрів існуючих моделей сумарного випаровування та алгоритмів призначення строків та норм поливу по фактичному стану розвитку біомаси сільськогосподарських культур. З цієї метою у дослідженнях використовували дані системи космічного моніторингу FieldLook [12], що дозволяє отримувати кожного тижня динаміку фактичного приросту біомаси по кожному полю сівозміни.

За даними системи FieldLook, результатами спостережень автоматизованих метеостанцій та вимірювань вологості ґрунту встановлено, що в умовах повітряної посухи незалежно від обсягів вологозапасів у ґрунті спостерігається редукція приросту біомаси, що збільшується залежно від тривалості днів з температурами вище 30°C та відсутності опадів. У таких умовах обмежується випаровуюча здатність рослин, що може бути враховано коригуванням біокліматичних коефіцієнтів водоспоживання рослин. З рис. 5 видно, що коригування параметрів моделі водоспоживання стає необхідним тоді, коли тривалість атмосферної посухи перевищує 8–10 діб.

У ці періоди прорости рослин закриваються та спостерігається редукція сумарного випаровування. Коригування можуть бути здійснені за рахунок введення поправочних коефіцієнтів або застосовування значень

водоспоживання, що отримані безпосередньо за допомогою інформаційної системи FieldLook за моделлю SEBAL або аналогічних технологій визначення водоспоживання по радіаційному балансу та фактичному стану вегетаційної поверхні [13]. Останнє потребує оперативного доступу до космічних знімків відповідної якості та розподільної здатності та є більш витратним з економічної точки зору. Однак, у будь-якому разі, навіть при застосуванні більш простих індексів стану вегетаційної поверхні, отриманих за даними ДЗЗ, є можливість встановити просторову варіацію приросту біомаси рослин та відокремити поля з незадовільним станом посівів. У цьому випадку коригування біологічних коефіцієнтів водоспоживання здійснюється за даними контрольних вимірювань вологості у розрахунковому шарі ґрунту на полях з незадовільним станом розвитку сільськогосподарських культур. У таблиці 4 наведено результати розрахунків динаміки вологозапасів ґрунту при визначенні сумарного водоспоживання сої по методу Пенмана-Монтейта з використанням нормативних біологічних коефіцієнтів водоспоживання та скоригованих за даними контрольних вимірювань вологості ґрунту на полях, де спостерігалось суттєве зниження показників вегетаційних індексів (NDVI), та за допомогою системи космічного агромоніторингу Fieldlook.

Визначення водоспоживання з врахуванням фактичного стану біомаси рослин дозволяє суттєво покращити точність визначення вологозапасів та відповідно якість управління зрошенням та його ресурсоефективність.

За умов повітряної посухи, крім уповільнення приросту біомаси, відбуваються фізіологічні процеси у листях та репродуктивних органах рослин, унаслідок збільшення температури вегетаційної поверхні. За даними

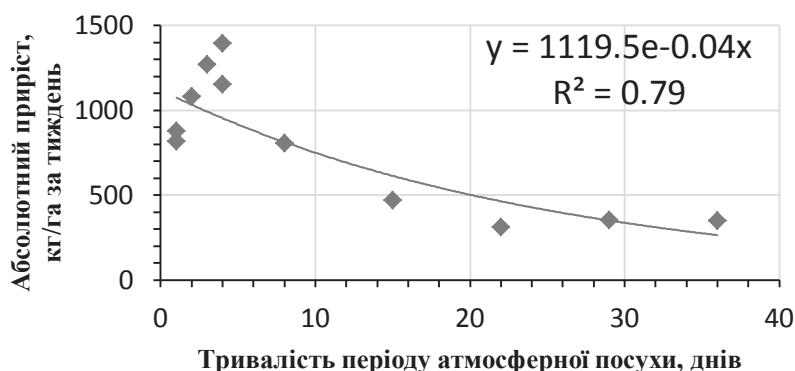


Рис. 5. Залежність між абсолютним приростом біомаси та тривалістю атмосферної посухи

4. Порівняння точності розрахунку вологозапасів у ґрунті (W, мм та %, розрахунковий шар 40 см) при визначенні водоспоживання сої з використанням нормативних біокліматичних коефіцієнтів та на основі даних ДЗЗ із врахуванням фактичного стану біомаси рослин

№ п/п	Фаза розвитку	Дата	За даними вимірювань вологості ґрунту, мм	З використанням нормативних біокліматичних коефіцієнтів, мм	На основі коригування нормативних біокліматичних коефіцієнтів водоспоживання за даними ДЗЗ	За даними фактичного стану розвитку біомаси та водоспоживання рослин по системі космічного моніторингу «FieldLook»
1	Бутонізація	11.06	118	119	119	118
2	Цвітіння	26.06	109	98	109	108
3	Налив бобів	22.07	106	83	108	96
4	Налив бобів	16.08	117	77	124	120

досліджень процесів енергопереносу в посівах у періоди атмосферної посухи встановлено зростання використання частки теплової енергії на турбулентний обмін порівняно з обсягами енергії, що йдуть на випаровування. Відношення цих складових теплового балансу, так зване число Боуена [14; 15; 16], добре корелює з індикатором температури вегетаційної поверхні (LST), що отримано за даними космічних знімків (рис. 6). Число Боуена – це математичний метод, який зазвичай використовується для обчислення тепла, втраченого (або отриманого) посівами; це відношення потоків енергії від одного стану до іншого за допомогою чутливого тепла та прихованого нагрівання відповідно.

Дослідження різних авторів свідчать, що гранична межа перебування рослин в умовах високих денних температур оцінюється тривалістю періоду (у хвилинах) протягом доби, коли температура вегетаційної поверхні рослин перевищує фізіологічно допустимий максимум. Після перевищення цього рівня нагрівання вегетаційної поверхні відбуваються незворотні фізіологічні процеси, що призводять до суттєвих втрат урожаю. Отже, виходячи з закономірностей теплового балансу веге-

таційної поверхні та фізіологічних процесів у рослинах, в умовах екстремальних денних температур повітря, необхідним стає управління мікрокліматичним ефектом зрошення, тобто планування, крім традиційних поливів, додаткових освіжаючих поливів. Терміни проведення освіжаючих поливів визначаються за критерієм тривалості перебування посівів в умовах, коли температура їх вегетаційної поверхні перевищує максимально допустимий фізіологічний рівень [17]. Для оптимального управління мікрокліматом посівів американські вчені з Техаського університету пропонують використовувати датчики температури вегетаційної поверхні, що встановлюються упродовж крила дощувальної техніки на спеціальній платформі.

Для обґрунтування зазначених критеріїв управління мікрокліматом посівів при зрошенні в умовах України необхідно продовження фундаментальних досліджень енергомасопереносу у середовище «ґрунт-рослина-атмосфера» [18].

Напрями розвитку методів оперативного планування зрошення для забезпечення ресурсоефективності управління в умовах реального виробництва. Результати тривалих

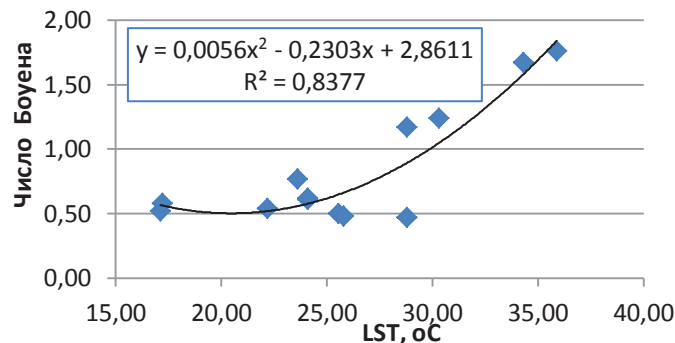


Рис. 6. Співвідношення продуктивної та непродуктивної частки теплової енергії (число Боуена) до індексу температури вегетаційної поверхні (LST), що отримано за даними ДЗЗ

фундаментальних та прикладних досліджень авторів, що виконувались на великій кількості полів у виробничих умовах, та дані інших українських та закордонних вчених свідчать, що настав час серйозного перегляду відомих традиційних методологічних підходів до оперативного планування зрошення. Більшість дослідників цієї проблеми наполягають на можливості вільного вибору того чи іншого методу оперативного планування зрошення, що залежить у конкретних умовах від багатьох факторів (технічного оснащення сучасними приладами наземного моніторингу, інформатизації та автоматизації процесу управління, застосування даних космічного зондування та удосконалення агрогідрологічних моделей, економічного стану господарств).

Усі відомі методи оперативного планування зрошення мають свої переваги та недоліки щодо досягнення високої продуктивності використання поливної води. Крім того, їх застосування суттєво залежить від технології та площ використання зрошення.

Однак більшість наукових розробок у цьому напрямку спрямовані на вирішення ключового завдання збільшення продуктивності використання зрошувальної води та зменшення виносу поживних речовин при інтенсивному веденні зрошуваного землеробства. До того ж, окрім традиційного технократичного погляду на цю проблему потрібні більш гнучкі системні підходи, що враховують умови реального виробництва, інноваційний розвиток у методах космічного та наземного агромоніторингу, а також найближчу перспективу створення організацій водокористувачів, які будуть визначати стратегію використання зрошення у межах площ їх діяльності, враховуючи інтереси кожного водокористувача. Загальним критерієм управління зрошенням стає критерій загальної ресурсоефективності, що забезпечує мінімізацію використання ресурсів за умов досягнення економічно та екологічно сталого рівня господарювання. У міжнародній практиці цей критерій базується на визначенні показника продуктивності використання ресурсів, що оцінюється відношенням обсягів отриманої продукції (прибутків) до обсягів води та інших матеріальних ресурсів, що використані при зрошенні [19].

Ланцюг ресурсоефективності при цьому включає такі складові: обґрунтування оптимальної довгострокової програми використання зрошення, включаючи визначення пріоритетів модернізації технічної інфраструктури; річне планування водокористування для визначення оплати послуг ОВК зі

зрошення водокористувачами; оперативне управління поливами, що враховує просторову мінливість природних та господарських умов використання зрошення (стан біомаси сільськогосподарських культур; динаміку вологості у кореневмісному шарі ґрунту та температуру вегетаційної поверхні у періоди екстремальних денних температур повітря).

Реалізація всіх названих складових ресурсоефективного планування зрошення на великих масивах зрошення при поливі дощуванням можлива лише за умов застосування сучасних засобів наземного та космічного агромоніторингу, удосконалених моделей розрахунку водоспоживання та вологопереносу у ґрунті, а також алгоритмів розрахунку строків та норм поливу.

На невеликих площах та на площах з однорідними у просторі природними та господарськими умовами перспективним є перехід до автоматизованого управління поливами за даними датчиків вологості, що встановлюють на кожному полі, та датчиками температури вегетаційної поверхні з використанням автоматизованих метеостанцій, встановлених безпосередньо у посівах сільськогосподарських культур. Такий підхід вже апробований на системах краплинного зрошення, що зазвичай розташовані на більш компактних невеликих масивах. Як свідчать дослідження, при використанні поверхневого краплинного зрошення за рахунок постійної подачі невеликих обсягів води можна також регулювати мікроклімат у посівах в умовах високих температур повітря [20].

Спостереження за вологопереносом у ґрунті та прогнозування цього процесу також є перспективним для підвищення ресурсоефективності в управлінні зрошенням. Апробацію та доопрацювання методів оперативного планування зрошення на основі прямого вимірювання параметрів вологопереносу у ґрунті сучасними тензометричними датчиками для умов зрошення дощуванням вже розпочато у 2019 р. фахівцями ІВПіМ на полях «ДПДГ Асканійське» [21]. Даний напрям вимагає більш ретельного врахування структури ґрунту, фактичного стану гідрофізичних його властивостей на кожному полі. Загалом слід відмітити, що всі наведені можливості щодо удосконалення оперативного планування зрошення можуть бути поєднані на спільній інформаційній платформі, а користувачі самі зможуть визначати той формат точності, який їм буде доступний і який буде економічно доцільним. У найближчі роки в меліоративній науці та практиці слід очікувати на подальший

стрімкий розвиток цифрових технологій та їх застосування на значних територіях (до 10 000 га та більше), що будуть обслуговуватись організаціями водокористувачів із застосуванням даних наземного та космічного моніторингу на базі потужних інтернет платформ.

Висновки. Сучасні процеси реформування та інноваційного розвитку в управлінні зрошенням формують нові вимоги та можливості для розвитку методів оперативного планування зрошення сільськогосподарських культур, що повинні враховувати просторову і часову мінливість природних та господарських факторів виробництва, а також процеси трансформації в управлінні зрошувальними системами.

В умовах змін клімату та зростання частоти та інтенсивності атмосферних посух ключовими факторами для прийняття управлінських рішень щодо планування поливів на великих площах стають дані оперативного моніторингу просторової нерівномірності стану розвитку біомаси рослин та температури вегетаційної поверхні. Оперативне коригування параметрів моделей водоспоживання

сільськогосподарських культур за даними прямих вимірювань вологості у ґрунті або за даними спостережень за фактичним станом біомаси рослин із використанням методів ДЗЗ дозволяє суттєво зменшити витрати на зрошення та запобігти втратам урожаю. Для регулювання мікроклімату посівів протягом періодів екстремальної атмосферної посухи для планування освіжаючих поливів пропонується використовувати дані наземних чи космічних спостережень за динамікою температури вегетаційної поверхні.

Різноманіття напрямків удосконалення приладів наземного агромоніторингу та спрощення доступу до даних космічної зйомки та інших методів ДЗЗ створює широкі можливості для досягнення ресурсоефективності в управлінні зрошенням. Однак для їх реалізації необхідне створення сучасних інформаційних платформ, що будуть надавати можливості для вибору того чи іншого методу оперативного управління зрошенням, виходячи з можливостей кожного господарства, а також забезпечувати «on-line» консультування організацій водокористувачів та фахівців господарств.

Бібліографія

1. Алпатьев С.М., Остапчик В.П. Опыт исследования биологического метода расчета испарения при формировании эксплуатационного режима орошения / Биологические основы орошаемого земледелия. Москва: Наука, 1974. С. 127–135.
2. Информационно-советующая система управления орошением / Остапчик В.П. и др. Киев: Урожай, 1989. 245 с.
3. Жовтоног О.І. Принципи та методи планування адаптивного зрошення: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. с.-г. наук: спец.06.01.02 «Сільськогосподарські меліорації». Київ, ІВПіМ, 2001. 35 с.
4. Інформаційне забезпечення зрошувального землеробства. Концепція, структура, методологія організації / М.І. Ромашенко та ін. Київ: Аграрна наука, 2005. 196 с.
5. Еколого-економічне обґрунтування поливних та зрошувальних норм на основі інформаційних технологій / Ковальчук П.І. та ін. // Меліорація і водне господарство. 1999. Вип. 86. С. 21–27.
6. Стратегія зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року. Кабінет Міністрів України. Розпорядження від 14 серпня 2019 р. № 688-р. Київ. – 13с.
7. Theory and application of Agricultural Innovation Platforms for improved irrigation scheme management in Southern Africa International // Journal of Water Resources Development, 2017 Vol. 33, No. 5, 804–823 <https://doi.org/10.1080/07900627.2017.1321530>.
8. Innovation and Water Management for Sustainable Development in Agriculture: Document to be presented by the General Directorate of IICA to the Inter-American Board of Agriculture (IABA). September 2015 / IICA -- San José: C.R.: IICA, 2015. 104 p. ISBN: 978-92-9248-583-2.
9. «Комп'ютерна програма «Інформаційна система оперативного планування зрошення ІС «ГІС Полив», автори: Жовтоног О.І., Філіпенко Л.А., Деменкова Т.Ф., Бабич В.А., Поліщук В.В. (Свідоцтво про реєстрацію авторських прав на твір № 54650 від 07.05.2014).
10. O. Zhovtonog, M. Hoffmann, V. Polishchuk and A. Dubel. New planning technique to master the future of water on local and regional level in Ukraine // Journal of Water and Climate Change Vol. 2 No. 2-3, 2011. 189–200.
11. J.L. Steiner, E.T. Kanemasu, D. Hasza (1983) Microclimatic and crop responses to center pivot sprinkler and to surface irrigation //, Irrigation Science, Vol. 4, issue 3, 201–214.
12. Fieldlook. eleaf.com. Retrieved from: https://eleaf.com/?page_id=3174.

13. Bastiaanssen, W.G.M.; Noordman, E.J.M.; Pelgrum, H.; David, G.; Thoreson, B.P.; Allen, R.G. (2005) SEBAL model with remotely sensed data to improve water resources management under actual field conditions. *ASCE J. Irrig. Drain. Eng.* 131, 85–93.
14. Tanner, B.D. (1988). Use requirement for Bowen ratio and eddy correlation determination of evaporation,” In: De Lynn, R Hay (editor), *Planning Now for Irrigation and Drainage in the 21 Century*. Irrig. And Drain. Div., Am. Soc. Civil Eng., NY, 605–616.
15. Todd R.W., Evett S.R., Howell T.A. (2000). The Bowen ratio-energy balance method for estimating latent heat flux of irrigated alfalfa evaluated in a semi-arid, advective environment. *Agricultural and Forest Meteorology*, 103, 335–348.
16. Levent Şaylan, Yunus Özkoca, Barış Çaldağ, Fatih Bakanoğulları (2018). Comparison of Micrometeorological Methods used for the Determination of Actual Evapotranspiration // *International Journal of Crop Science and Technology*. pp. 13–22. ISSN: 2458-7540
17. Begüm Tekelioğlu, Dursun Büyüktaş, Ruhi Baştuğ, Cihan Karacal, Köksal Aydınşakir and Nazmi Dinç. (2007). Use of Crop Water Stress Index for Irrigation Scheduling of Soybean in Mediterranean Conditions // *Journal of Experimental Agriculture International*, 1-8. ISSN: 2231-0606.
18. Закономірності енергомасообміну в середовищі «грунт-рослина-атмосфера» в сучасних кліматичних та господарських умовах використання зрошення // *Жовтоног О.І. та ін. // Меліорація і водне господарство*. 2018. Вип. 2(108). С. 19–28.
19. Irmak, Suat; Odhiambo, Lameck O.; Kranz, William L.; and Eisenhauer, Dean E., “Irrigation Efficiency and Uniformity, and Crop Water Use Efficiency” (2011). *Biological Systems Engineering: Papers and Publications*. <https://digitalcommons.unl.edu/biosysengfacpub/451>.
20. А.П. Шатковський Наукові основи інтенсивних технологій краплинного зрошення просапних культур в умовах Степу України: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. с.-г. наук: спец.06.01.02 «Сільськогосподарські меліорації». Київ: ІВПіМ, 2016. 35 с.
21. Ya. Gadzalo, M. Romashchenko, V. Kovalchuk, T. Matiash, O. Voitovich Using smart technologies in irrigation management 3th World Irrigation Forum (WIF3) 1-7 September 2019, Bali, Indonesia, Full Paper of WIF3 and International Workshop, Development for Water, Food and Nutrition Security in a Competitive Environment, pp. 954–960.

References

1. Alpatov, S.M., & Ostapchuk, V.P. (1974). Opyt yssledovaniya byolohycheskoho metoda rascheta usparennya pry formirovaniyu ekspluatatsyonnoho rezhyma orosheniya [The experience of the biological method for calculating evaporation in the formation of the irrigation operational regime]. *Byolohycheskiye osnovy oroshaemoho zemledelyia*. Moskva: Nauka, 127–135. [in Russian].
2. Ostapchuk, V.P., Kostromyn, V.A., & Koval, A.M. (1989). Ynformatsyonno-sovetuiushchaia systema upravleniya oroshenyem [Information Advisory Irrigation Management System]. Kiev: Urozhai. [in Ukrainian].
3. Zhovtonoh, O.I. (2001). Pryntsypy ta metody planuvannya adaptivnoho zroshennia [Adaptive irrigation planning principles and methods]. Extended abstract of Doctor’s thesis. Kyiv: IWPiM. [in Ukrainian].
4. Romashchenko, M.I., Drachynska, E.S., & Shevchenko, A.M. (2005). Informatsiine zabezpechennia zroshuvanoho zemlerobstva. Kontseptsiiia, struktura, metodolohiia orhanizatsii [Information support for irrigated agriculture. The concept, structure, methodology of the organization]. Kyiv: Ahrarna nauka. [in Ukrainian].
5. Kovalchuk, P.I., Mykhalska, T.O., Kovalchuk, V.P., & Pysarenko, P.V. (1999). Ekoloho-ekonomichne obhruntuvannya polyvnykh ta zroshuvalnykh norm na osnovi informatsiinykh tekhnolohii [Ecological and economic substantiation of irrigation norms on the basis of information technologies]. *Melioratsiia i vodne hospodarstvo*, 86, 21–27. [in Ukrainian].
6. Stratehiia zroshennia ta drenazhu v Ukraini na period do 2030 roku. (2019). Kabinet Ministriv Ukrainy. *Rozporiadzhennia vid 14 serpnia 2019. № 688-r*. Kyiv. [in Ukrainian].
7. Theory and application of Agricultural Innovation Platforms for improved irrigation scheme management in Southern Africa International. (2017). *Journal of Water Resources Development*, Vol. 33, N. 5, 804–823. Retrieved from: <https://doi.org/10.1080/07900627.2017.1321530>.
8. Innovation and Water Management for Sustainable Development in Agriculture. (2015). General Directorate of IICA. ISBN: 978-92-9248-583-2.

9. Zhovtonoh, O.I., Filipenko, L.A., Demenkova, T.F., Babych, V.A., & Polishchuk, V.V. (2014). Komp'yuterna prohrama. Informatsiyna systema operatyvnoho planuvannya zroshennya IS GIS Polyv [Computer program Informational system of irrigation planning] Svidotstvo pro reyestratsiyu avtors'kykh prav na tvir № 54650 vid 07.05.2014. [in Ukrainian].
10. Zhovtonog, O., Hoffmann, M., Polishchuk, V., & Dubel, A. (2011). New planning technique to master the future of water on local and regional level in Ukraine. *Journal of Water and Climate Change*, 2, 2-3, 189–200.
11. Steiner, J.L., Kanemasu, E.T., & Hasza D. (1983). Microclimatic and crop responses to center pivot sprinkler and to surface irrigation. *Irrigation Science*, 4, 3, 201–214.
12. Fieldlook (n.d.). eleaf.com. Retrieved from: https://eleaf.com/?page_id=3174.
13. Bastiaanssen, W.G.M., Noordman, E.J.M., Pelgrum, H., David, G., Thoreson, B.P., & Allen, R.G. (2005). SEBAL model with remotely sensed data to improve water resources management under actual field conditions, *Irrig. Drain. Eng.*, 131, 85–93.
14. Tanner, B.D. (1988). Use requirement for Bowen ratio and eddy correlation determination of evaporation, *Planning Now for Irrigation and Drainage in the 21 Century*, *Irrig. And Drain. Div., Am. Soc. Civil Eng., NY*, 605–616.
15. Todd R.W., Evett S.R., & Howell, T.A. (2000). The Bowen ratio-energy balance method for estimating latent heat flux of irrigated alfalfa evaluated in a semi-arid, advective environment, *Agricultural and Forest Meteorology*, 103, 335–348.
16. Levent Şaylan, Yunus Özkoca, Barış Çaldağ, Fatih Bakanoğulları (2018). Comparison of Micrometeorological Methods used for the Determination of Actual Evapotranspiration. *International Journal of Crop Science and Technology*, 13–22.
17. Tekelioğlu, B., Büyüktaş, D., Baştuğ, R., Karaca, C., Aydınşakir, K., & Dinç, N. (2017). Use of Crop Water Stress Index for Irrigation Scheduling of Soybean in Mediterranean Conditions. *Journal of Experimental Agriculture International*, 18(6), 1-8. Retrieved from: <https://doi.org/10.9734/JEAI/2017/37058>.
18. Zhovtonoh, O.I., Filipenko, L.A., Polishchuk, V.V., Saliuk, A.F., & Khomenko, A.V. (2018). Zakonomirnosti enerhomassoobminu v seredovyshchi «hrunt-roslyna-atmosfera» v suchasnykh klimatychnykh ta hospodarskykh umovakh vykorystannia zroshennia. [Patterns of energy-mass exchange in soil-plant-atmosphere environment under current climatic and economic conditions for irrigation]. *Melioratsiia i vodne hospodarstvo*, 2, 19–28. [in Ukrainian].
19. Irmak, S., Odhiambo, L.O., Kranz, W.L., & Eisenhauer, D. E. (2011). Irrigation Efficiency and Uniformity, and Crop Water Use Efficiency. *Biological Systems Engineering*. Retrieved from <https://digitalcommons.unl.edu/biosysengfacpub/451>.
20. Shatkovskiy, A.P. (2016). Naukovi osnovy intensyvnykh tekhnolohii kraplynnoho zroshennia prosapnykh kultur v umovakh Stepu Ukrainy [Scientific bases of intensive technologies of drip irrigation of cultivated crops under the conditions of the Steppe of Ukraine]. Extended abstract of Doctor's thesis. Kyiv: IWPIМ. [in Ukrainian].
21. Gadzalo, Ya., Romashchenko, M., Kovalchuk, V., Matiash, T., & Voitovich O. (2019). Using smart technologies in irrigation management 3th World Irrigation Forum (WIF3) 1-7 September 2019, Bali, Indonesia, Full Paper of WIF3 and International Workshop, Development for Water, Food and Nutrition Security in a Competitive Environment, 954–960.

О.И. Жовтоног, В.В. Полищук, Л.А. Филиппенко, А.Ф. Салюк, Я.О. Бутенко, М.В. Гофман
Оперативное планирование орошения: современные вызовы, реалии и видение

Аннотация. Приведен анализ современных политических и климатических вызовов, а также практики использования орошения в крупных хозяйствах Юга Украины, которые формируют требования к методам управления орошением. Представлены результаты экспериментальных исследований по совершенствованию методов оперативного управления орошением и поддержки принятия соответствующих стратегических решений для достижения ресурсоэффективности в орошаемом земледелии в условиях реального производства. Обоснована и продемонстрирована роль наземного и космического агромониторинга для корректировки биоклиматических коэффициентов водопотребления сельскохозяйственных культур с учетом пространственно-временной изменчивости фактического состояния биомассы. Для адаптации управления орошением к условиям воздушной засухи предложено использование дополнительного критерия при принятии решений о проведении освежающих поливов, что определяется максимально допустимой продолжительностью пребывания вегетационной поверхности растений при температуре выше физиологически допустимого уровня. Установлено, что в условиях воздушной засухи, кроме замедления

прироста биомассы происходят физиологические процессы в листьях и репродуктивных органах растений, вследствие увеличения температуры вегетационной поверхности. По данным исследований процессов энергопереноса в посевах в периоды атмосферной засухи увеличивается использования доли тепловой энергии на турбулентный обмен по сравнению с объемами энергии, идущими на испарение. Отмечено видение будущего развития методов оперативного планирования орошения на базе создания современных информационных платформ, позволяющих выбирать тот или иной метод оперативного управления орошением, исходя из возможностей каждого конкретного хозяйства, а также обеспечивать «on-line» консультирование организаций водопользователей и специалистов хозяйств.

Ключевые слова: оросительная система, информационная система, ДЗЗ, агромониторинг, база данных, оперативное планирование орошения, геоинформационные технологии, алгоритмы, модельный комплекс.

O.I. Zhovtonog, V.V. Polishchuk, L.A. Filipenko, A.F. Saliuk, Ya.O. Butenko, M.W. Hoffmann
Operational irrigation management: modern challenges, realities and visions

Abstract. The analysis of current political and climatic challenges, as well as the practice of irrigation performance on large farms of Southern Ukraine, which are the cause of requirements for irrigation management methods, is presented. The results of experimental studies on improving the methods of operational irrigation management and supporting appropriate strategic decisions to achieve resource efficiency in irrigated agriculture are presented under the conditions of real production. The role of on-site and space agro-monitoring for the correction of bioclimatic coefficients of crop water consumption taking into account the space-time variability of the actual biomass has been substantiated and demonstrated. For adaptation of irrigation management to the conditions of air drought, it is proposed to use an additional criterion for making decisions on crop cooling, which is determined by the maximally permissible temperature duration at the vegetation surface above the physiologically acceptable level. It is established that under conditions of air drought, in addition to slowing the growth of biomass, physiological processes occur in the leaves and reproductive organs of plants, due to the increase in the temperature of the vegetation surface. According to studies of energy transfer processes in crops during periods of atmospheric drought, an increase in the use of a share of thermal energy for turbulent exchange has been found compared to the volumes of energy that is evaporated. The vision of the future development of methods of operational irrigation planning based on the modern agricultural information platforms has been presented. It will allow to choose a method of operational irrigation management, based on the capabilities of each farm economy and to provide “on-line” consulting for water user organizations or farm personnel.

Key words: irrigation system, information system, remote sensing, agromonitoring, database, operational planning of irrigation, GIS technologies, algorithms, model complex.

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg201902-199>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/199>

УДК 631.674.6

НАУКОВА ШКОЛА МІКРОЗРОШЕННЯ: ДОСЯГНЕННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

М.І. Ромащенко¹, докт. техн. наук, А.П. Шатковський², докт. с.-г. наук, В.В. Васюта³, докт.с.-г.наук, С.В. Усатий⁴, Л.Г. Усата⁵, С.В. Рябков⁶, канд. с.-г. наук, О.В. Журавльов⁷, канд. с.-г. наук, Р.А. Купедінова⁸, канд. техн. наук, В.В. Безрук⁹, Ю.О. Черевичний¹⁰

¹ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-9997-1346>; e-mail: mi.romashchenko@gmail.com

² Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-4366-0397>; e-mail: andriy-1804@ukr.net

³ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0001-7786-1843>; e-mail: v.vladvir1@gmail.com

⁴ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0001-8784-4078>; e-mail: s_usatiy@ukr.net

⁵ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-3265-9024>; e-mail: usataya_l@ukr.net

⁶ ДП «Проектно-технологічне бюро» ІВПіМ НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0001-8219-9065>; e-mail: srabkov@gmail.com

⁷ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0001-7035-219X>; e-mail: zhuravlov_olexandr@ukr.net

⁸ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-6264-0586>; e-mail: kupedinova@gmail.com

⁹ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0001-9683-4218>; e-mail: start18@gmail.com

¹⁰ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-9959-8297>; e-mail: yurecgp@gmail.com

Анотація. У статті розглянуто основні етапи становлення та розвитку досліджень із питань мікрозрошення сільськогосподарських культур, виконано всебічний аналіз основних фундаментальних і прикладних результатів досліджень наукової школи з мікрозрошення в Інституті водних проблем і меліорації НААН України (ІВПіМ НААН) на початку ХХІ ст. Із застосуванням теоретичних методів наукового дослідження (аналіз і синтез, порівняння, класифікація та узагальнення) авторами систематизовано найбільш значимі наукові результати за нормативною, методичною, технічною та технологічною складовими. Наведено перелік підготовлених ІВПіМ НААН нормативних та методичних документів за напрямом мікрозрошення. Результати розробок за технологічною складовою деталізовано за об'єктами дослідження: водний режим і процеси водоспоживання сільськогосподарських культур, фертигація, пестигація, вплив локального зволоження, удобрення та води різної якості на систему «грунт-рослина-технічні засоби мікрозрошення», формування зон зволоження ґрунтів, методи призначення строків вегетаційних поливів та системи керування поливами. Висвітлено ключові наукові результати діяльності лабораторії випробування засобів зрошення. Наведено перелік розроблених і впроваджених ІВПіМ НААН технічних засобів систем мікрозрошення. Обґрунтовано стратегічні напрями подальших наукових досліджень, які мають відповідати загальносвітовому тренду щодо екологічно безпечної зрошення, а також ресурсо- та енергозбереження. Визначено потребу України в системах мікрозрошення сільськогосподарських культур на період до 2030 року, роль нинішніх і майбутніх напрацювань наукової школи мікрозрошення ІВПіМ НААН з їх впровадження.

Ключові слова: системи і способи мікрозрошення, нормативно-методична база, режими зрошення і водоспоживання, системи керування поливами, технічні засоби мікрозрошення, стратегічні напрями досліджень.

Актуальність дослідження. Відомо, що способи мікрозрошення (від грецького *μικρος* – малий) є на сьогодні найбільш високотехнологічними, екологічно безпечними, ресурсо- та енергоощадними способами поливу, ефективність яких досягає

92–98% [1]. У цьому аспекті згадана ефективність обумовлюється отриманням високих рівнів урожайності за рахунок підтримання оптимальних водного, поживного і повітряного режимів ґрунту за одночасної економії витрат води на формування одиниці врожаю

та мінімізації непродуктивних втрат вологи. Зважаючи на це закономірно, що світові площі сільськогосподарських угідь, які зрошують за допомогою систем мікрозрошення, постійно зростають та згідно з даними Міжнародної комісії з іригації і дренажу становлять на сьогодні понад 20 млн. га [2] (рисунок 1).

Подальший розвиток способів мікрозрошення визначено як один із стратегічних напрямів державної політики галузі схваленою Урядом України «Стратегією зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року» [3].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Україна історично належить до держав, де дослідження і розробки з питань мікрозрошення було розпочато ще в кінці 60-х на початку 70-х років минулого століття, а однією із перших наукових установ з цього напрямку досліджень був Український науково-дослідний інститут гідротехніки і меліорації – УкрНДІГІМ (нині – Інститут водних проблем і меліорації НААН, ІВПіМ) [4].

Історичний аспект розвитку досліджень за напрямом «мікрозрошення сільськогосподарських культур» як в Україні [5], так і безпосередньо ІВПіМ та установами його мережі [5–9] ґрунтовно висвітлено у попередніх наукових роботах.

Отже, **мета дослідження** – всебічний аналіз основних фундаментальних і прикладних результатів досліджень наукової школи з мікрозрошення ІВПіМ на початку XXI ст. та обґрунтування перспективних напрямів їх розвитку.

Матеріали і методи дослідження. Використано теоретичні методи наукового

дослідження: аналіз і синтез, порівняння, класифікація та узагальнення.

Результати дослідження та їх обговорення. Базовим документом, яким було визначено концептуальні засади розвитку локальних способів поливу в Україні, основні проблеми та шляхи їхнього вирішення, стала «Концепція розвитку мікрозрошення в Україні до 2020 року» [6], підготовлена науковцями ІВПіМ за участю профільних наукових установ НААН, працівників міністерств та відомств.

Відповідно до положень «Концепції...» результати і розробки за напрямом мікрозрошення розділено на чотири складові: нормативну, методичну, технічну та технологічну.

У частині нормативного забезпечення напрямку науковцями ІВПіМ розроблено весь комплекс національних стандартів, яким унормовано термінологію та класифікацію систем мікрозрошення, проектування систем, визначено вимоги до якості поливної води, процесів фільтрації, фертигації і пестигації, режимів зрошення, технологій вирощування, а також усіх технічних засобів і вузлів систем мікрозрошення тощо. За станом на сьогодні в Україні чинними є 14 ДСТУ з мікрозрошення [10] та «Посібник до ДБН В.2.4–1–99 «Меліоративні системи і споруди» «Системи краплинного зрошення. Загальні технічні вимоги та методи визначення технологічних параметрів» [11].

Щодо другої – методичної складової, вченими ІВПіМ на основі експериментальних досліджень удосконалено методику проведення польових дослідів в умовах краплинного

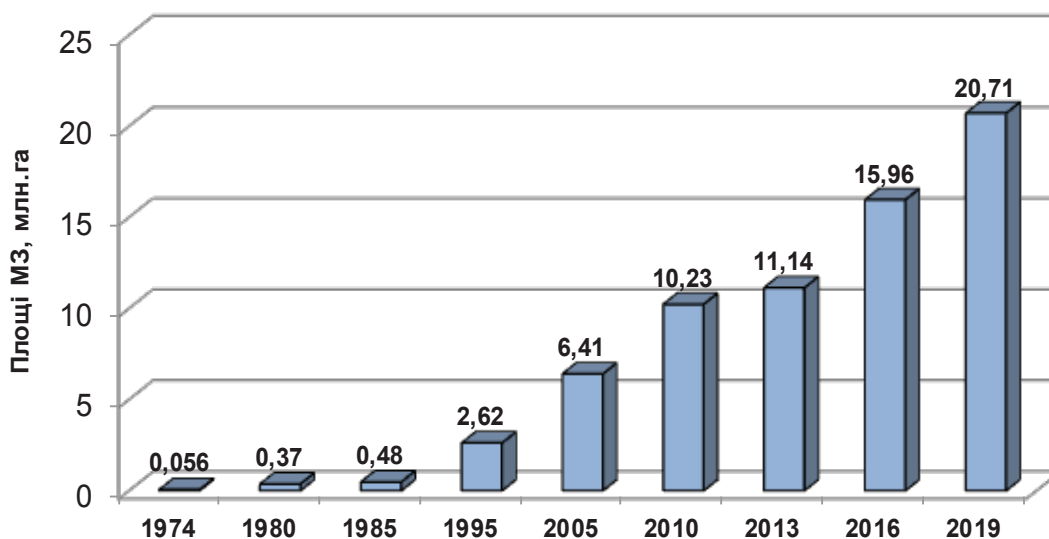


Рис. 1. Динаміка площ сільськогосподарських угідь у світі, які поливають способами мікрозрошення, млн. га

зрошення та розроблено принципово нові методичні підходи до побудови схем дослідів з вивчення режимів краплинного зрошення та процесів водоспоживання культур, рекомендовано площі облікових ділянок для різних сільськогосподарських культур в умовах краплинного способу поливу [12]. З метою унормування моніторингових досліджень науковцями ІВПіМ та ННЦ «ІГА» розроблено відповідний методичний посібник з організації системи режимних спостережень [13]. Документом визначено об'єкти режимних спостережень, розроблено систему основних і спеціальних параметрів контролю, методику проведення моніторингу стану ґрунтів в умовах мікрозрошення. З метою уніфікації досліджень з розроблення і вдосконалення технічних засобів науковцями розроблено «Методику випробувань технічних засобів мікрозрошення» як допоміжний документ, який узагальнив вимоги чинних міжнародних і вітчизняних стандартів [14].

Дослідницькою базою ІВПіМ для розробки технологій мікрозрошення є науково-дослідні полігони, оснащені сучасним інструментарієм – цифровими інтернет-метеостанціями, автоматичними вологомірами різних типів і конструкцій, необхідним лабораторним обладнанням тощо.

За технологічним напрямом основними об'єктами дослідження є режими краплинного зрошення та процеси водоспоживання культур, процеси внесення добрив, пестицидів, регуляторів росту та хімічних реагентів з поливною

водою, вплив локального зволоження, удобрення та води різної якості на систему «ґрунт-рослина-технічні засоби мікрозрошення», формування зон зволоження ґрунтів, методи призначення строків вегетаційних поливів та системи управління поливами тощо.

З метою оптимізації водного режиму вченими експериментально встановлено статистичні залежності «Водоспоживання-Врожайність» за умов краплинного зрошення (рисунки 2).

Новим фундаментальним результатом цієї роботи є висновок про те, що оптимальним діапазоном зволоження ґрунтів за мікрозрошення є досить вузький інтервал від 85 до 90–95% від НВ, підтримання вологості ґрунту в межах якого вимагає проведення поливів відносно невеликими нормами за одночасного скорочення міжполивних періодів. За аналітичними розрахунками саме за такого вузького діапазону вологості співвідношення фактичної транспірації (T) до потенційно можливої (T_0) наближається до 1 ($\approx 0,83-0,87$), що характеризує вологозабезпечення рослин як близьке до оптимального [15]. Цей результат формує практично нові вимоги до самих систем мікрозрошення, згідно з якими ці системи технічно мають забезпечувати водоподачу синхронно водоспоживанню культур у добовому циклі, а також до методів управління водним режимом загалом. У цьому аспекті ІВПіМ має вагомий науково-практичний напрацювання щодо методів управління поливами за краплинного зрошення. Зокрема,

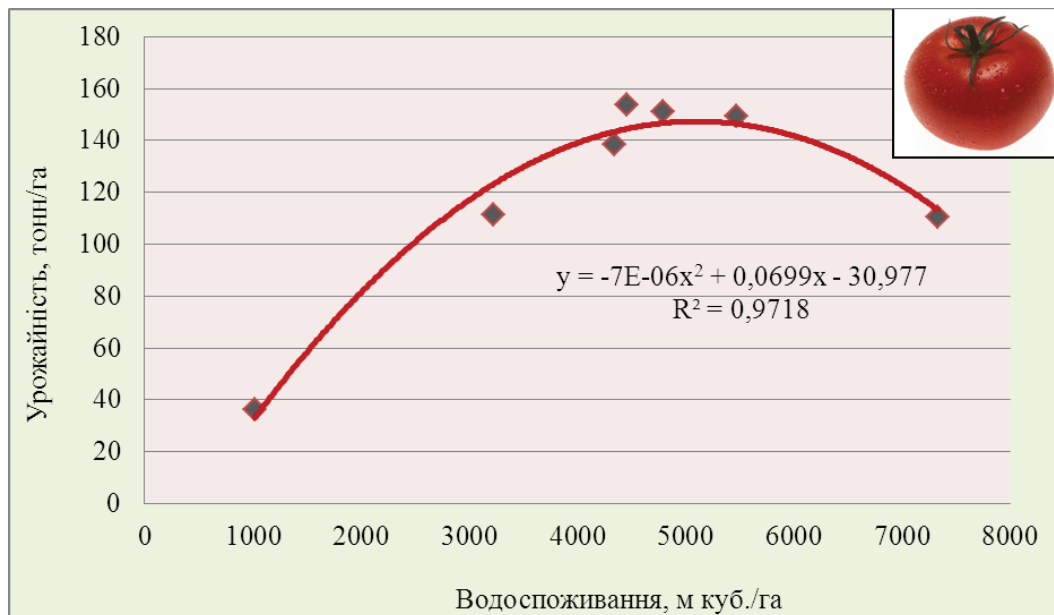


Рис. 2. Залежність «Водоспоживання – Врожайність» за краплинного зрошення томата розсадного

нами науково обґрунтовано методики призначення поливів інструментальними методами з використанням різних датчиків, у т.ч. і конструкції ІВПіМ, інтернет-станції вологості ґрунту [16], розрахунковим методом Penman-Monteith [17], а також діагностування поливів методами фітомоніторингу [18].

Підсумковим нормативним документом досліджень із водоспоживання сільськогосподарських культур є *«Тимчасові норми водопотреби для краплинного зрошення»*, які використовують при розрахунках річного та довгострокового планування зрошення, а також проектні організації для обґрунтування параметрів систем мікрозрошення [19].

У частині вивчення формування зон зволоження ґрунту встановлено їх параметри залежно від гранулометричного складу ґрунту та норми поливу, експериментально для легкого, середнього суглинків та супіщаного ґрунтів встановлено співвідношення глибини до ширини (h/d) зон зволоження, лінійні залежності h і d від тривалості поливу, обраховано фактичні площі зон зволоження ґрунтів залежно від норми поливу. Розроблено математичну модель плоско-вертикального профільного вологоперенесення за краплинного зрошення просапних культур в умовах неповного насичення. Модель використано для чисельного моделювання процесу вологоперенесення у випадку трьох заглиблених точкових джерел [20].

Дослідження змін у ґрунтах під впливом зрошення залишаються одними з пріоритетних та найбільш затребуваних при впровадженні способів мікрозрошення. Безпечність способів зрошення розглядається через «призму» ґрунтових процесів, які в умовах додаткового зволоження починають розвиватися по-іншому, а в деяких випадках супроводжуються набуттям у ґрунтах нових ознак та властивостей, що стають визначальними у виконанні технологічного процесу зрошення, у тому числі й в управлінні водним режимом ґрунтів [21; 22]. Краплинне зрошення кваліфіковано як найбільш екологічнобезпечний спосіб мікрозрошення з точки зору впливу на стан та властивості ґрунтів, що дозволило рекомендувати його для поливу ґрунтів різних кваліфікаційних одиниць.

На основі оцінки засолення ґрунтів із використанням ґрунтових порових розчинів за методом вакуумних витяжок розроблено та апробовано інноваційну технологію застосування прямого вилуговування солей, яка дозволяє залучати до зрошення засолені ґрунти і покращувати їхні екологічні і продук-

тивні функції [23–25]. Цю технологію визнано однією з найпростіших і найефективніших у практиці управління сольовим режимом ґрунтів, що має перспективу використання для різних умов зрошення, особливо за дефіциту якісних водних ресурсів, яка у комплексі з технологіями ГС може бути використана для цілей моніторингу і прогнозування вторинного засолення.

Багаторічними дослідженнями встановлено закономірності змін властивостей ґрунтів під впливом краплинного зрошення та визначено його роль у формуванні просторової неоднорідності ґрунтів [26; 27], пов'язаної з технологічною особливістю локального зволоження, яку рекомендовано враховувати під час прийняття рішень на проведення меліоративних, удобрювальних та ґрунтозахисних заходів. Суттєві зміни у властивостях ґрунтів різних типів науковцям вдалося помітити через 15–20 років використання краплинного зрошення у промислових насадженнях плодкових культур [28], що дозволило створити і наповнити базу даних довгими рядами, які стали основою для розроблення аналітично-інформаційної системи управління ґрунтовими процесами [29]. Шляхом просторового моделювання стала можливою побудова розподілу будь-яких показників ґрунту у часі і просторі та створення концептуальної моделі, яка визначить небезпеку краплинного зрошення залежно від кількісного сполучення факторів впливу (рис. 3). Це дозволить більш детально аналізувати та встановлювати тісні взаємозв'язки з характеристиками ґрунтів в умовах зрошення, які утворилися за участі сучасних процесів засолення – розсолоння, підлуження – підкислення, ущільнення – розущільнення і т.д.

Одним із напрямів, пов'язаним із забезпечення систем мікрозрошення водою високої якості та якісними технічними засобами, є нормування якості води, розроблення й удосконалення технологій і технічних засобів водопідготовки, розроблення та випробування технічних засобів зрошення [30–33]. Дослідження одночасно виконуються в польових і лабораторних умовах на основі методичних підходів, що дозволяють дослідити якість поливної води, пропускну здатність поливних трубопроводів, засобів водопідготовки і стабільність витрат водовипусків в ланцюзі «джерело зрошення – засіб водопідготовки – поливна мережа». Це у 2–3 рази пришвидшує роботу і забезпечує комплексність робіт з оцінки роботоздатності елементів систем краплинного зрошення, встановлення причини порушення їх стабільності

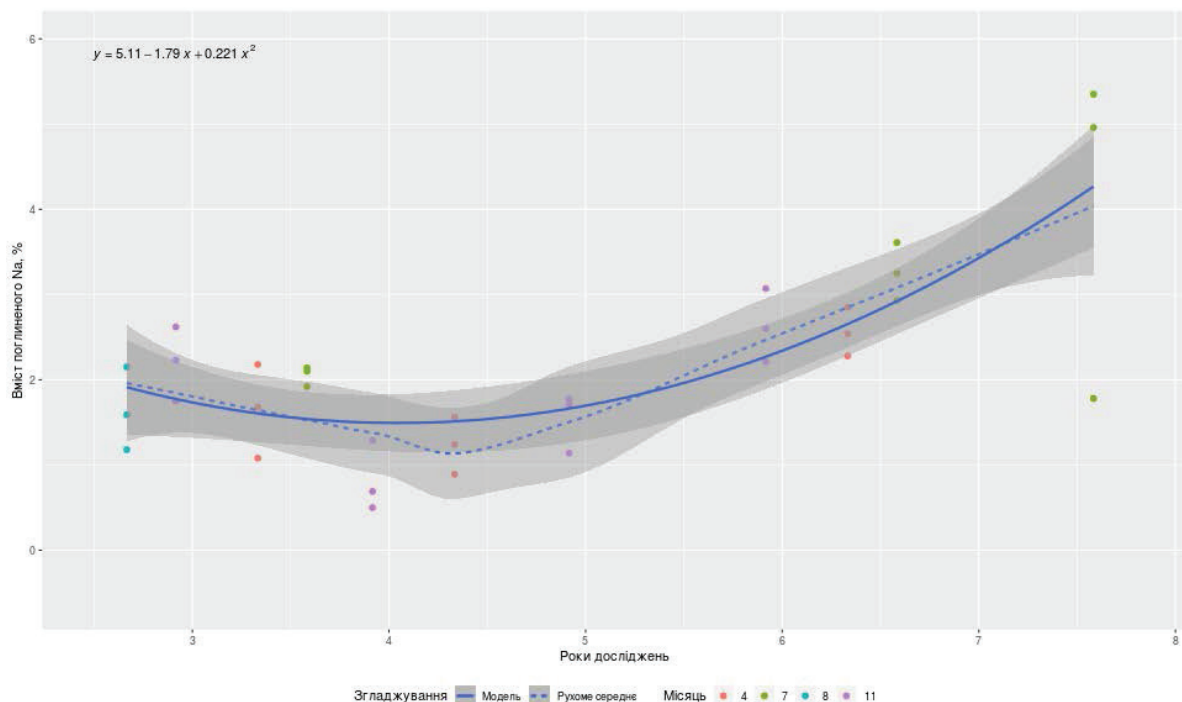


Рис. 3. Фактична і прогнозна модель поглинання натрію ГПК чорнозему південного важкосуглинкового у шарі 0–60 см в умовах використання краплинного зрошення, мінеральної системи удобрення та води II класу якості

та своєчасного впровадження заходів з їх відновлення. Дослідження за цим напрямом виконують науковці лабораторії випробувань, яку було створено в ІВПіМ у 2007 р. та агестовано ДП «Укрметртестстандарт» (свідоцтво № ПТ-405/10) на проведення випробувань, експертизу та перевірку технічних засобів зрошення на відповідність національним і міжнародним стандартам. Лабораторія надає послуги з перевірки конструкцій та якості виготовлення мікродощувачів, краплинних водовипусків, поливних трубопроводів за розмірами прохідного каналу, товщиною стінки, внутрішнім діаметром, інтервалом між водовипусками. Також виконує механічні випробування на міцність технічних засобів зрошення на розтяг, міцність під час гідростатичного тиску, міцність на розтяг за підвищеної температури, міцність на розрив з'єднань фітінгів та трубопроводів. Випробування функційних характеристик мікродощувачів, поливних трубопроводів і краплинних водовипусків проводяться з визначенням рівномірності витрат води, витратно-напірної характеристики, витрати води як функції вхідного тиску, стабільності витрат води. Наданими лабораторією послугами вже скористалися компанії ПрАТ «Пайплайф Україна», ПСП «Агрофірма «Роднічок», ПП «Органік Системс», ТОВ «Ірригатор Україна», ТОВ НВП «Ірригаційні системи».

Також є вагомим напрацюванням наукової школи ІВПіМ і в частині розробки **технічних засобів мікрозрошення**. Серед найбільш відомих можна згадати: краплинний водовипуск імпульсної дії (патент України на винахід № 118726) [34], автоматичний датчик вологості ґрунту, програматор автоматизованого управління процесом поливу, контролер промивання фільтрів, метод передачі інформації по лінії зв'язку із застосуванням частоти мережі 50 Гц/24В, піщано-гравійні фільтри типу ФНГ, комплект з'єднувальних деталей, укладач поливних трубопроводів (ПТ), пристрій для збирання ПТ та ін.

Результати досліджень із мікрозрошення стали основою для підготовки і захисту 3 докторських та понад 20 кандидатських дисертацій, монографій, навчальних посібників, науково-практичних рекомендацій, фахових статей у виданнях Scopus і Web of Science, проведення міжнародних тематичних конференцій, семінарів, днів поля тощо.

Перспективи подальших досліджень мають відповідати загальносвітовому тренду щодо екологічно безпечного зрошення, а також ресурсо- та енергозбереження. Пріоритетними будуть розробки:

– технологій підґрунтового краплинного зрошення у системі землеробства no-till та системі органічного землеробства;

– нових методів управління поливом та фертигацією в абсолютно синхронних системах краплинного зрошення, у тому числі – з імпульсним режимом водоподачі;

– екологобезпечних технологій пестицидів;

– із впровадження відновлювальних джерел енергії для функціонування систем мікрозрошення тощо.

Висновки. Глобальні зміни клімату, продовольча криза на фоні зростаючого дефіциту водних ресурсів є передумовами для

значного розширення використання способів мікрозрошення для поливу всіх сільськогосподарських культур. Згідно з положеннями «Стратегії...» [3] потенційна потреба України в системах мікрозрошення становить не менше 250 тис. га до 2030 року. У цьому аспекті нинішні та майбутні напрацювання наукової школи мікрозрошення ІВПіМ є своєрідним «фундаментом», ключовою ланкою в частині наукового обґрунтування реалізації державної політики з цих питань.

Бібліографія

1. Ayare B.L., Mane M.S., Magar S.S. Principles of Drip Irrigation System. New Delhi: Jain Brothers, 2014. 224 p.
2. Agricultural Water Management for Sustainable Rural Development: Annual Report 2016–2017. New Delhi: ICID. 2018. 92 p.
3. Стратегія зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року. Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 14.08.2019 р. № 688-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/688-2019-%D1%80> (дата звернення: 21.09.2019).
4. Исследование основных параметров капельного орошения: отчет о НИР (промежуточный, 1973): инв. № А-120 / УкрНИИГиМ. Киев, 1973. 88 с.
5. Мікрозрошення сільськогосподарських культур / Ромащенко М.І. та ін. // Меліорація і водне господарство. 2004. Вип. 90. С. 63–86.
6. Концепція розвитку мікрозрошення в Україні до 2020 року / Ромащенко М.І. та ін. Київ: ДІА, 2012. 20 с.
7. Гоголев А.І. Крапельне зрошення як ключовий елемент технологій в овочівництві // Агроогляд. 2004. № 12 (39). С. 24–25.
8. Щоткін В.М. Крапельні системи – найбільш прогресивний спосіб поливу // Пропозиція. 2001. № 6. С. 48–50.
9. Кисляченко М.Ф. Ефективність крапельного зрошення картоплі та овочевих культур в Україні // Продуктивність агропромислового виробництва. Економічні науки. 2014. № 25. С. 102–107.
10. Перелік Національних стандартів України, які розроблено ТК 145 «Меліорація і водне господарство». Київ: ІВПіМ НААН, 2017. 18 с.
11. Системи краплинного зрошення. Загальні технічні вимоги та методи визначення технологічних параметрів: Посібник до ДБН В.2.4-1-99 «Меліоративні системи і споруди». Каленіков А.Т. та ін. Київ: ДІА, 2015. 200 с.
12. Методичні рекомендації з проведення польових досліджень за краплинного зрошення. Ромащенко М.І. та ін. Київ: ДІА, 2014. 46 с.
13. Організація системи режимних спостережень для оцінки стану земель в умовах мікрозрошення: методичний посібник. Ромащенко М.І. та ін. Київ: ДІА, 2014. 42 с.
14. Методика випробувань технічних засобів мікрозрошення. Ромащенко М.І. та ін. Київ: ДІА, 2014. 46 с.
15. Особливості режимів краплинного зрошення просапних культур / Ромащенко М.І. та ін. // Вісник аграрної науки. 2015. № 2. С. 51–56.
16. Шатковський А.П., Журавльов О.В. Управління краплинним зрошенням на основі використання інтернет-метеостанцій iMetos® // Наукові доповіді НУБіП України: електронне наукове фахове видання – Електронні дані. – Київ: НУБіП, 2016. № 2(59). Режим доступу: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/article/view/6489/6373> (дата звернення: 23.09.2019).
17. Romashchenko M., Shatkowski A., Zhuravlev O. Features of application of the «Penman–Monteith» method for conditions of a drip irrigation of the Steppe of Ukraine (on example of grain corn) // Journal of Water and Land Development, Raszyn, Poland, Wydawnictwo ITP. 2016. № 31. P. 123–127.
18. Measurement of the cell sap concentration of plant's leaves for irrigation's scheduling / Shatkovskiy A. et al. // Modern Phytomorphology. 2019. № 13. P. 54–57. <https://zenodo.org/record/3518881#.XbrdHdSLT4Y> (дата звернення: 21.09.2019)
19. Тимчасові норми водопотреби для краплинного зрошення сільськогосподарських культур в умовах Степу України / Ромащенко М.І. та ін. Київ: Компринт, 2015. 20 с.

20. Romashchenko M.I., Shatkovsky A.P., Onotsky V.V. Mathematical model of flat-vertical moisture transfer in soil profil from drip irrigation in the conditions of partial saturation // *Agricultural Science and Practice*. – The National Academy Agrarian Sciences of Ukraine. 2016. № 3. p. 35–40. <https://doi.org/10.15407/agrisp3.03.035>.
21. Рябков С.В., Усата Л.Г. Засолення і вторинна солонцюватість локально зволжених ґрунтів // *Меліорація і водне господарство*. 2013. Вип. 100. Том I. С. 33–44.
22. Ромащенко М.І. Вплив краплинного зрошення на сольовий режим і властивості ґрунтів // *Вісник аграрної науки*. 1997. № 9. С. 68–72.
23. Ромащенко М.І. Исследование влагопереноса с целью регулирования режима капельного орошения садов: дис. ... кандидата техн. наук: 06.01.02. Киев: УкрНИИГиМ, 1981. 226 с.
24. Муромцев Н.Н., Ромащенко М.И., Корж А.М. Изучение химического состава поровых растворов в условиях капельного орошения // *Мелиорация и водное хозяйство*. 1982. № 12. С. 23–28.
25. Рябков С.В. Обґрунтування технології мікрозрошення розсадника та саду мінералізованими водами в умовах півдня Одеської області: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. с.-г. наук: спец. 06.01.02 «Сільськогосподарські меліорації». Київ, 2005. 18 с.
26. Усата Л.Г., Рябков С.В. Просторова неоднорідність властивостей ґрунтів у насадженнях плодкових культур за краплинного зрошення // *Агрохімія і ґрунтознавство. Спецвипуск – книга 2. Меліорація, рекультивация, охорона ґрунтів, агрохімія, гумусовий стан, біологія ґрунтів, органічне землеробство*. 2018. С. 60–63.
27. Usata L.G., Ryabkov S.V. Effect of water quality on the formation of spatial variability of soil under drip irrigation // *Modernizing Irrigation and Drainage for a new Green Revolution. transactions of the 23rd ICID Congress on Irrigation and Drainage – Abstract Volume, Question 60 and 61: Mexico City: ICID, 2017. p. 303–304.*
28. Зміни ґрунтових показників під впливом краплинного зрошення плодкових насаджень водою різної якості / Рябков С.В. та ін. // *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування*. 2011. Вип. 1(53). С. 67–77.
29. Аналітично-інформаційна система управління ґрунтовими режимами за краплинного зрошення / Рябков С.В. та ін. Київ: КОМПРИНТ, 2015. 48 с.
30. Усатий С.В., Усата Л.Г. Біологічне забруднення води в системах краплинного зрошення // *Меліорація і водне господарство*. 2016. Вип. 104. С. 57–66.
31. Усатий С.В. Купедінова Р.А. Випробування технічних засобів мікрозрошення в Україні // *Меліорація і водне господарство*. 2011. Вип. 99. С. 44–53.
32. Усатий С.В., Усата Л.Г. Дослідження трубопроводів з інтегрованими водовипусками вітчизняного та закордонного виробництва // *Меліорація і водне господарство*. 2013. Вип. 100. С. 147–156.
33. Usaty S.V., Usata L.G. Assessment of water quality for drip irrigation in Ukraine // *Modernizing Irrigation and Drainage for a new Green Revolution. transactions of the 23rd ICID Congress on Irrigation and Drainage – Abstract Volume, Question 60 and 61: Mexico City: ICID, 2017. P. 299–300.*
34. Краплинний водовипуск: пат. 118726 Україна. № a201707077; заявл. 05.07.2017; опубл. 25.02.2019, Бюл. № 4.

References

1. Ayare, B.L., Mane, M.S., & Magar, S.S. (2014). *Principles of Drip Irrigation System*. New Delhi: Jain Brothers.
2. *Agricultural Water Management for Sustainable Rural Development: Annual Report 2016–2017*. (2018). New Delhi: ICID.
3. *Stratehiia zroshennia ta drenazhu v Ukraini na period do 2030 roku [Irrigation and drainage strategy in Ukraine until 2030]: Skhvaleno rozporiadzhenniam Kabinetu Ministriv Ukrainy № 688-p.* (2019, August 14). *Uriadovyi kurier*, 170. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/688-2019-%D1%80> [In Ukrainian].
4. УкрНИИГиМ. (1973). *Issledovanie osnovnykh parametrov kapelnoho orosheniya [The study of the main parameters of drip irrigation]. Otchet o NIR (promezhutochnyi, 1973): inv. № A-120*. Kiev. [in Russian].
5. Romashchenko, M.I., Koriunencko, V.M., Kalenikov, A.T., & Storchous, V.M. (2004). *Mikrozroshennia silskohospodarskykh kultur [Microirrigation of crops]. Melioratsiia i vodne hospodarstvo*, 90, 63–86. [in Ukrainian].

6. Romashchenko, M.I., Shatkovskiy, A.P., Ryabkov, S.V., Koriunenko, V.M., Kalenikov, A.T., & Usaty, S.V. et al. (2012). Kontsepsiia rozvytku mikrozroshennia v Ukraini do 2020 roku [The concept of development of microirrigation in Ukraine until 2020]. M.I. Romashchenko (Ed.). Kyiv. [in Ukrainian].
7. Hoholiev, A.I. (2004). Krapelne zroshennia yak kliuchovyi element tekhnologii v ovochivnytstvi [Drip irrigation as a key element of technology in vegetable growing]. *Ahroohliad*, 12(39), 24–25. [in Ukrainian].
8. Shchotkin, V.M. (2001). Krapelni systemy – naibilsh prohresyvnyi sposib polyvu [Drip irrigation systems are the most advanced way of watering]. *Propozytsiia*, 6, 48–50. [in Ukrainian].
9. Kysliachenko, M.F. (2014) Efektyvnist krapelnogo zroshennia kartopli ta ovochevykh kultur v Ukraini [Efficiency of drip irrigation of potatoes and vegetables in Ukraine]. *Produktyvnist ahroprymysloвого vyrobnytstva. Ekonomichni nauky*, 25, 102–107. [in Ukrainian].
10. Perelik Natsionalnykh standartiv Ukrainy, yaki rozrobleno TK 145 «Melioratsiia i vodne hospodarstvo» [List of National Standards of Ukraine developed by TC 145 “Reclamation and Water Management”]. (2017). Kyiv: IWPLR. [in Ukrainian].
11. Kalenikov, A.T., Zhanov, V.V., Koriunenko, V.M., Kupiedinova, R.A., Maidanovych, V.S., & Melnychuk, F.S. et al. (2015). Systemy kraplynnoho zroshennia. Zahalni tekhnichni vymohy ta metody vyznachennia tekhnolohichnykh parametriv: Posibnyk do DBN V.2.4-1-99 «Melioratyvni systemy i sporudy» [Drip irrigation systems. General technical requirements and methods for determining technological parameters: Guide to SBC B.2.4-1-99 “Reclamation systems and structures”]. A.T. Kalenikov (Ed.). Kyiv. [in Ukrainian].
12. Romashchenko, M.I., Shatkovskiy, A.P., Usata, L.G., Ryabkov, S.V., Koriunenko, V.M., & Cherevychnyi, Yu.O. et al. (2014). Metodychni rekomendatsii z provedennia pol’ovyykh doslidzhen za kraplynnoho zroshennia [Methodical recommendations for field studies on drip irrigation]. M.I. Romashchenko (Ed.). Kyiv. [in Ukrainian].
13. Romashchenko, M.I., Ryabkov, S.V., Usata, L.G., Shatkovskiy, A.P., Usaty, S.V., & Koriunenko, V.M. et al. (2014). Orhanizatsiia systemy rezhymnykh sposterezhen dla otsinky stanu zemel v umovakh mikrozroshennia: metodychnyi posibnyk [Organization of a regime of regime observations for the assessment of the state of land in microirrigation conditions: a manual]. M.I. Romashchenko (Ed.). Kyiv. [in Ukrainian].
14. Romashchenko, M.I., Usaty, S.V., Usata, L.G., Kalenikov, A.T., Prysiazhniuk, V.V., & Kupiedinova, R.A. et al. (2014). Metodyka vyprobuvan tekhnichnykh zasobiv mikrozroshennia [Testing technique of micro irrigation equipment]. M.I. Romashchenko (Ed.). Kyiv. [in Ukrainian].
15. Romashchenko, M.I., Shatkovskiy, A.P., Zhuravlov, O.V., & Cherevychnyi, Yu.O. (2015). Osoblyvosti rezhymiv kraplynnoho zroshennia prosapnykh kultur [Features of tilled crops drip irrigation regimes]. *Kyiv: Visnyk ahrarnoi nauky*, 2, 51–56. [in Ukrainian].
16. Shatkovskiy, A.P., & Zhuravlov, O.V. (2016). Upravlinnia kraplynnyim zroshenniam na osnovi vykorystannia internet-meteostantsii iMetos® [Drip irrigation management on basis of the use of internet weather stations iMetos®]. Kyiv: NUBIP scientific reports. Retrieved from <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidy/article/view/6489/6373> [in Ukrainian].
17. Romashchenko, M., Shatkowski, A., & Zhuravlev, O. (2016). Features of application of the Penman–Monteith method for conditions of a drip irrigation of the steppe of Ukraine (on example of grain corn). *Journal of Water and Land Development*, 31, 123–127.
18. Shatkovskiy, A.P., Romashchenko, M.I., Vasyuta, V.V., Zhuravlov, O.V. Melnychuk, F.S., & Cherevychnyi, Yu.O. et al. (2019). Measurement of the cell sap concentration of plant’s leaves for irrigation’s scheduling. *Modern Phytomorphology*, 13, 54–57. Retrieved from: <https://zenodo.org/record/3518881#.XbrdHdSLT4Y>.
19. Romashchenko, M.I., Shatkovskiy, A.P., Ryabkov, S.V., Koriunenko, V.M., Kapeliukha, T.A., & Krucheniuk, V.D. et al. (2015). Tymchasovi normy vodopotreby dla kraplynnoho zroshennia silskohospodarskykh kultur v umovakh Stepu Ukrainy [Temporary water requirements for drip irrigation of crops in the conditions of the Steppe of Ukraine]. M.I. Romashchenko (Ed.). Kyiv. [in Ukrainian].
20. Romashchenko, M.I., Shatkovskiy, A.P., & Onotsky, V.V. (2016) Mathematical model of flat-vertical moisture transfer in soil profil from drip irrigation in the conditions of partial saturation. *Agricultural Science and Practice. – The National Academy Agrarian Sciences of Ukraine*, 3, 35–40. <https://doi.org/10.15407/agrisp3.03.035> [in Ukrainian].
21. Ryabkov, S.V., & Usata, L.G. (2013). Zasolennia i vtorynna solontsiuvatist lokalno zvolozhenykh gruntiv [Salinization and secondary salinity of locally moistened soils]. *Melioratsiia i vodne hospodarstvo*, 100 (I), 33–44. [in Ukrainian].

22. Romashchenko, M.I. (1997). Vplyv kraplynnoho zroshennia na solovyi rezhym i vlastyvoli gruntiv [Influence of drip irrigation on salt regime and soil properties]. Kyiv: Visnyk aharnoї nauky, 9, 68–72. [in Ukrainian].
23. Romashchenko, M.I. (1981). Issledovanie vlahoperenosa s tseliu rehulyrovaniya rezhyma kapelnogo orosheniya sadov [Moisture transfer study to regulate drip irrigation of gardens]. Extended abstract of candidate's thesis. Kiev: UkrNIIGiM [in Russian].
24. Muromtsev, N.N., Romashchenko, M.I., & Korzh, A.M. (1982). Izuchenie khymycheskoho sostava porovykh rastvorov v usloviyakh kapelnogo orosheniya [Study of the chemical composition of pore solutions under drip irrigation]. Melioratsiia i vodnoe khoziaistvo, 12, 23–28. [in Russian].
25. Ryabkov, S.V. (2005). Obgruntuvannia tekhnolohii mikrozhroshennia rozsadnyka ta sadu mineralizovanykh vodamy v umovakh pivdnia Odeskoi oblasti [Substantiation of technology of micro irrigation of nursery and garden with mineralized waters in the conditions of the south of Odessa region]. Extended abstract of candidate's thesis. Kiev: IGiM [in Ukrainian].
26. Usata, L.G., & Ryabkov, S.V. (2018). Prostorova neodnorodnist vlastyvolei gruntiv u nasadzheniakh plodovykh kultur za kraplynnoho zroshennia [Spatial heterogeneity of soil properties in fruit plantations with drip irrigation]. Ahrokhimiia i gruntoznavstvo. Spetsvypusk knyha 2. Melioratsiia, rekultyvatsiia, okhorona gruntiv, ahrokhimiia, humusovi stan, biolohiia gruntiv, orhanichne zemlerobstvo, 60–63. [in Ukrainian].
27. Usata, L.G., & Ryabkov, S.V. (2017). Effect of water quality on the formation of spatial variability of soil under drip irrigation. Modernizing Irrigation and Drainage for a new Green Revolution. transactions of the 23rd ICID Congress on Irrigation and Drainage – Abstract Volume, Question 60 and 61: Mexico City: ICID, 303–304.
28. Ryabkov, S.V., Usata, L.G., Usaty, S.V., Tetorkina, O.Ye., & Pavelkivskiy, O.V. (2011). Zminy gruntovykh pokaznykiv pid vplyvom kraplynnoho zroshennia plodovykh nasadzen vodoiu riznoi yakosti [Changes of soil indicators under the influence of drip irrigation of fruit plantations with water of different quality]. Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia, 1(53), 67–77. [in Ukrainian].
29. Ryabkov, S.V., Usata, L.G., Novachok, O.M., Shyian, O.A. (2015). Analitichno-informatsiina systema upravlinnia gruntovymy rezhymamy za kraplynnoho zroshennia [Analytical and information system of soil management in drip irrigation]. Kyiv: KOMPRYNT. [in Ukrainian].
30. Usaty, S.V., & Usata, L.G. (2016). Biolohichne zabrudnennia vody v systemakh kraplynnoho zroshennia [Biological contamination of water in drip irrigation systems]. Melioratsiia i vodne hospodarstvo, 104, 57–66. [in Ukrainian].
31. Usaty, S.V., & Kupiedinova, R.A. (2011). Vyprobuvannia tekhnichnykh zasobiv mikrozhroshennia v Ukraini [Testing of microirrigation equipment in Ukraine]. Melioratsiia i vodne hospodarstvo, 99, 44–53. [in Ukrainian].
32. Usaty, S.V., & Usata, L.G. (2013). Doslidzhennia truboprovodiv z intehrovanykh vodovypuskamy vitchyznianoho ta zakordonnoho vyrobnytstva [Investigation of pipelines with integrated water outlets of domestic and foreign production]. Melioratsiia i vodne hospodarstvo, 100, 147–156. [in Ukrainian].
33. Usaty, S.V., & Usata, L.G. (2017). Assessment of water quality for drip irrigation in Ukraine. Modernizing Irrigation and Drainage for a new Green Revolution. transactions of the 23rd ICID Congress on Irrigation and Drainage. Mexico City: ICID, 299–300.
34. Romashchenko, M.I., & Bezruk, V.V. (2019). Kraplynnyi vodovypusk [Dropper]. Patent of Ukraine. № 118726. [in Ukrainian].

М.И. Ромашченко, А.П. Шатковский, В.В. Васюта, С.В. Усатый, Л.Г. Усатая, С.В. Рябков, А.В. Журавлев, Р.А. Купединова, В.В. Безрук, Ю.А. Черевичный

Научная школа микроорошения: достижения и перспективы развития

Аннотация. В статье рассмотрены основные этапы становления и развития исследований по вопросам микроорошения сельскохозяйственных культур, выполнен всесторонний анализ основных фундаментальных и прикладных результатов исследований научной школы по микроорошению в Институте водных проблем и мелиорации НААН Украины (ИВПиМ НААН) в начале XXI века. С применением теоретических методов научного исследования (анализ и синтез, сравнение, классификация и обобщение) авторами систематизированы наиболее значимые научные результаты по нормативной, методической, технической и технологической составляющим. Приведен перечень подготовленных ИВПиМ НААН нормативных и методических документов по направлению

микроорошения. Результаты разработок по технологической составляющей детализировано по объектам исследования: водный режим и процессы водопотребления сельскохозяйственных культур, фертигация, пестигация, влияние локального увлажнения, удобрения и воды разного качества на систему «почва-растение-технические средства микроорошения», формирование зон увлажнения почв, методы назначения сроков вегетационных поливов и системы управления поливами. Освещены ключевые научные результаты деятельности лаборатории испытания средств орошения. Приведен перечень разработанных и внедренных ИВПиМ НААН технических средств систем микроорошения. Обоснованы стратегические направления дальнейших научных исследований, которые должны отвечать общемировому тренду по экологически безопасному орошению, а также ресурсо- и энергосбережения. Определена потребность Украины в системах микроорошения сельскохозяйственных культур на период до 2030 года, роль нынешних и будущих наработок научной школы микроорошения ИВПиМ НААН по их внедрению.

Ключевые слова: системы и способы микроорошения, нормативно-методическая база, режимы орошения и водопотребление, системы управления поливами, технические средства микроорошения, стратегические направления исследований.

M.I. Romashchenko, A.P. Shatkovskiy, V.V. Vasiuta, S.V. Usatyi, L.G. Usata, S.V. Riabkov, O.V. Zhuravlov, R.A. Kupiedinova, V.V. Bezruk, Yu.O. Cherevychnyi

Scientific school of microirrigation: achievements and development prospects

Abstract. The article discusses the main stages of the formation and development of research on crop irrigation, carried out a comprehensive analysis of the basic fundamental and applied research results of a scientific school on microirrigation at the Institute of Water Problems and Land Reclamation of the National Academy of Sciences of Ukraine (IWPaLR NAAS) at the beginning of the 21st century. The most significant scientific results were systematized by the authors according to the normative, methodological, technical and technological components using theoretical methods of scientific research (analysis and synthesis, comparison, classification and generalization). The list of normative and methodological documents prepared by IWPLR NAAS in the direction of microirrigation is given. The results of developments in the technological component are detailed according to the research objects: water regime and processes of water consumption of crops, fertigation, pestigation, the influence of local moistening, fertilizers and water of different quality on the soil-plant-technical means of irrigation system, the formation of soil moisture zones, methods of appointment of vegetation irrigation timing and irrigation management systems. The key scientific results of the irrigation facilities' testing laboratory are highlighted. The list of developed and implemented by the IWPLR NAAS technical means of microirrigation systems is given. The strategic directions of further scientific research are substantiated, which should meet the global trend for environmentally friendly irrigation, as well as resource and energy conservation. The need of Ukraine in the systems of micro irrigation of agricultural crops for the period up to 2030, the role of current and future developments of the scientific school of micro irrigation IWPLR NAAS on their implementation are determined.

Key words: microirrigation systems and methods, regulatory framework, irrigation regimes and water consumption, irrigation management systems, micro irrigation equipment, strategic research areas.

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg201902-204>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/204>

УДК 631.6:626.8:528.88

РОЗВИТОК НАУКОВО-МЕТОДИЧНИХ ОСНОВ ОЦІНЮВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ МЕЛІОРОВАНИХ ЗЕМЕЛЬ І ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ

А.М. Шевченко¹, канд. с.-г. наук, О.В. Власова², канд. с.-г. наук, В.В. Удовенко³, канд. техн. наук, Р.П. Боженко⁴

¹ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-2637-6538>; e-mail: monitoring_protect@ukr.net

² Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-1911-4329>; e-mail: elena_vl2001@ukr.net

³ Кам'янсько-Дніпровська дослідна станція ІВПіМ НААН, м. Кам'янка-Дніпровська, Україна;
<https://orcid.org/0000-0001-9838-9496>; e-mail: kdds@meta.ua

⁴ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0003-3661-8120>; e-mail: ruslana_lp@ukr.net

Анотація. У статті висвітлено основні напрями та етапи розвитку науково-методичних основ оцінювання екологічного стану меліорованих земель і водних об'єктів. Результатом етапу становлення стала розробка єдиного комплексного підходу до оцінки гідрогеологічних, інженерно-геологічних та ґрунтово-меліоративних умов і їхніх змін під впливом зрошення. На етапі теоретичного обґрунтування та розробки наукових засад ведення еколого-меліоративного моніторингу опрацьовано методологію просторового оцінювання еколого-меліоративного стану зрошуваних земель та їхньої стійкості щодо проявів шкідливої дії вод і деградації ґрунтів. На етапі удосконалення розвинуто теоретично-методичні засади визначення і практичного застосування оцінювальних показників стану меліорованих земель і водних об'єктів на основі даних дистанційного зондування Землі. Для верифікації результатів досліджень організовано підсупутникові полігони, розроблено технології зберігання даних та аналізу різнопланових показників. Удосконалення науково-методичних основ оцінювання екологічного стану меліорованих земель і водних об'єктів ґрунтується на отриманні часових (рік, місяць, тиждень) та просторових (область, район, господарство, поле) значень на основі різнопланової супутникової інформації та часткової або повної заміни оцінювальних показників, що визначають наземними обстеженнями, на показники, що визначають за даними ДЗЗ. Розроблені методичні основи та екологічні показники на основі даних ДЗЗ є цінним науковим надбанням не тільки для еколого-меліоративного моніторингу, але і для системи моніторингу навколишнього середовища в цілому.

Ключові слова: водні об'єкти, зрошувані землі, екологічний стан, еколого-меліоративна стійкість земель, ефект компенсації, категорії супутникової інформації, підсупутникові полігони, просторове оцінювання.

Постановка питання. Широкомасштабна гідротехнічна меліорація земель у різних регіонах України в другій половині минулого століття та пов'язані з нею зміни природних умов, насамперед несприятливі, викликали необхідність проведення наукових досліджень впливу гідромеліоративних заходів на окремі складові навколишнього природного середовища. Це спонукало вчених до опрацювання методичних підходів з оцінювання та контролю трансформацій стану земель за умов їхнього меліоративного освоєння для обґрунтування заходів запобігання та мінімізації можливих його негативних наслідків або усунення останніх. У даному контексті провідну роль відіграли науковці Інституту водних проблем і меліорації (ІВПіМ) НААН, багаторічні дослідження яких стали науковим підґрунтям створення системи моніторингу зрошуваних та осушуваних земель для забезпечення інформаційно-аналітичної підтримки здійснення державного контролю за їхнім станом.

рення системи моніторингу зрошуваних та осушуваних земель для забезпечення інформаційно-аналітичної підтримки здійснення державного контролю за їхнім станом.

Метою досліджень є висвітлення розвитку фахівцями ІВПіМ НААН науково-методичних основ оцінювання екологічного стану зрошуваних земель і водних об'єктів з окресленням перспективи їх удосконалення на засадах широкого використання даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ).

Результати досліджень. Ретроспективний аналіз наукових здобутків фахівців Інституту з питань вивчення впливу зрошувальних меліорацій на природні умови територій, у тому числі екологічних наслідків зрошення, розроблення методичних підходів до визначення стану меліорованих земель і його контролювання дають

підстави для виокремлення кількох етапів розвитку науково-методичного забезпечення оцінювання стану зрошуваних земель.

Етап становлення або так званий «домоніторинговий» період пов'язаний з проведенням фахівцями відділу меліоративної гідрогеології (створено в 1964р.) досліджень з вивчення природно-меліоративних умов на масивах зрошення Одеської, Херсонської, Миколаївської областей і Криму, впливу зрошеного землеробства та меліоративного будівництва на окремі складові довілля, зокрема на гідрогеологічні та ґрунтово-меліоративні умови, встановлення закономірностей змін природного стану окремих регіонів і формування та трансформації меліоративного стану земель за умов функціонування меліоративних систем (В.Г. Ткачук, І.І. Молодих, Е.С. Драчинська, Г.М. Корж, І.Б. Корсунська, Д.П. Хімич, І.Т. Грудинська та ін.) [1].

Загальним підсумком першого етапу (кінець 80-х років минулого століття) стала розробка цілісного комплексного підходу до оцінювання гідрогеологічних, інженерно-геологічних і ґрунтово-меліоративних умов та їхніх змін під впливом зрошення (М.М. Муромцев, Н.М. Блохіна, Е.С. Драчинська, М.І. Ромащенко, Г.М. Корж, А.М. Шевченко та ін.). Запропонована методика комплексної оцінки гідрогеолого-меліоративного стану зрошуваних земель давала змогу кількісно характеризувати сучасний стан останніх, оцінювати спрямованість змін під дією зрошення та їхню інтенсивність за гідрогеологічними, інженерно-геологічними та ґрунтово-меліоративними показниками на основі загального та спеціального природно-меліоративного районування території [2; 3].

Напрацьовані принципи та методика комплексного кількісного оцінювання гідрогеолого-меліоративного стану були покладені в основу розроблення відомчого нормативного документа [4] для використання гідрогеолого-меліоративними експедиціями та управліннями зрошувальних систем при виконанні контролю та складанні щорічних кадастрів меліоративного стану зрошуваних земель, а також при обґрунтуванні реконструкції меліоративних систем.

Подальший розвиток досліджень з оцінювання стану меліорованих земель був пов'язаний із загостренням протиріччя між інтенсифікацією зрошеного землеробства й оптимізацією екологічних умов в регіонах його проведення. На так званому екологічному етапі робіт фахівцями підрозділу (М.М. Муромцев, Н.М. Блохіна, Е.С. Драчинська, А.М. Шевченко,

Л.П. Кроткевич, Г.Є. Міхеєва, Т.О. Ромащенко, Л.А. Друк, В.В. Кузьмінський та ін.) значна увага почала приділятися питанням опрацювання екологічного підходу до оцінювання змін довілля за умов зрошення й екологічному нормуванню дії останнього. Дослідження екологічного спрямування кінця ХХ – початку ХХІ ст. стали основою та складовою одного з найбільш важливих, за суттю стратегічного напрямку наукових робіт підрозділу – розробки теоретичних основ організації та ведення еколого-меліоративного моніторингу зрошуваних земель (ЕММЗЗ) і нормативно-методичних засад його практичної реалізації. Фундаторами даного напрямку досліджень стали М.М. Муромцев та Н.М. Блохіна за активного сприяння М.І. Ромащенко.

Згідно з розробленою концепцією ЕММЗЗ становить собою багатоцільову спостережно-інформаційну систему, призначенням якої є вивчення напрямів і швидкості розвитку процесів, що негативно впливають на еколого-меліоративний стан земель і родючість меліорованих ґрунтів, створення інформаційної продукції для обґрунтування раціонального використання водних і земельних ресурсів, протидеградаційних заходів, оптимізації екологічної ситуації на зрошуваних і прилеглих до них землях тощо. Оцінювання стану зрошуваних земель є важливим функціональним завданням ЕММЗЗ, а його просторова оцінка – вагомим результатом, що реалізується як методологічна та інформаційна підтримка прийняття управлінських рішень.

Дослідження еколого-меліоративних проблем, у тому числі на етапі обґрунтування та ведення ЕММ, а також необхідність управління станом земель потребували нових підходів до оцінювання та прогнозування впливу зрошеного землеробства на навколишнє природне середовище, зокрема на основі встановлення потенційних можливостей останнього, екологічно допустимих меж його змін та нормування меліоративних навантажень. З урахуванням екологічних аспектів введено поняття еколого-меліоративного стану (ЕМС), як інтегральної комплексної характеристики ступеня трансформації природних умов під впливом зрошення та придатності зрошуваних земель до сталого сільськогосподарського використання [5; 6]. Як прогнозу характеристику змін еколого-меліоративного стану земель науковцями підрозділу (А.М. Шевченко, Е.С. Драчинська) було запропоновано синтезований показник динаміки стану меліорованих геосистем – еколого-меліоративну стійкість земель –

здатність природно-агромеліоративної геосистеми до збереження її функцій в умовах зрошувальних меліорацій. За суттю еколого-меліоративна стійкість відображає стійкість зрошуваних земель до прояву шкідливої дії вод і деградації ґрунтів.

Еколого-меліоративну стійкість запропоновано розглядати у двох аспектах – як потенційну (генетичну) і як фактичну (техногенну). Під потенційною еколого-меліоративною стійкістю земель розуміють природно зумовлену здатність геологічного середовища протистояти деструктивній дії зрошення та супутніх йому чинників. Фактична еколого-меліоративна стійкість земель характеризує рівень трансформації геологічного середовища під впливом техногенних чинників на певний момент часу. Її визначають за показниками, що відображають ЕМС земель та його зміни у часі з врахуванням рівня антропогенного навантаження.

Опрацьована методологія оцінювальних робіт для зрошуваних земель базується на концепції еколого-меліоративної стійкості території, згідно з якою межа екологічно допустимих змін показників стану визначається порогами їхньої стійкості щодо проявів шкідливої дії вод і процесів деградації ґрунтів. Тому при розробці критеріальної бази оцінювання у складі ЕММ здійснено екологічне нормування трансформації стану земель в умовах зрошення за окремими показниками з виділенням допустимих і недопустимих змін відносно визначених порогів стійкості [6]. Систему критеріальних оцінок побудовано на формалізації вихідних даних із використанням методу експертних оцінок та бальних шкал.

ЕМС зрошуваних земель оцінюється за низкою показників, що становлять собою комплекс ознак щодо гідрогеологічних, інженерно-геологічних, ґрунтово-меліоративних характеристик та умов забруднення ґрунтів і вод. Основною особливістю методики оцінювання ЕМС є її комплексність, прогностична спрямованість оцінювальних показників та їхніх критеріїв, кількісне представлення результатів і картографічне відображення просторової мінливості кожного з них, що дає можливість широко використовувати для оброблення матеріалів ГІС-технології [7]. Так, на базі використання останніх для автоматизації просторового оцінювання та картографування стану зрошуваних земель створено (І.Д. Булаєвська) спеціальний програмний комплекс «ЕкоМОЗ».

Визначення умов еколого-меліоративної стійкості ґрунтується на інтегральній кількісній оцінці параметрів гідрогеологічного, інженерно-геологічного, ґрунтово-меліора-

тивного станів і стану забруднення ґрунтів і підземних вод [6; 8].

Зіставлення потенційної і фактичної еколого-меліоративної стійкості земель на різні періоди часу з врахуванням рівня антропогенного навантаження на територію дає можливість прогнозувати ЕМС земель в умовах зрошення. Крім того, результати визначення еколого-меліоративної стійкості є основою екологічного нормування агро-меліоративних навантажень, а також створення науково-інформаційної бази обґрунтування безпечного зрошення та раціонального використання земель, зокрема ведення екологічного аудиту зрошення, вибору протидеградаційних заходів.

Для вирішення завдань, пов'язаних із просторовим узагальненням даних, екологічним нормуванням змін параметрів стану і родючості ґрунтів тощо, розроблено методологію просторового оцінювання й прогнозування еколого-меліоративного стану і стійкості геосистем [6].

Для інтегральної просторової оцінки введено поняття сумарної регіональної еколого-меліоративної стійкості території щодо деградації, яку визначають шляхом співвідношення у межах таксона районування, типізації, певного ландшафту площ земель із різними категоріями потенційної або фактичної стійкості, стану земель чи ступеня їхньої деградації [8].

У розвиток методології просторового оцінювання запропоновано методіку спеціального еколого-меліоративного районування й типізації щодо різних рівнів деталізації інформації для прийняття практичних рішень [6].

Опрацьована методологічна база оцінювання еколого-меліоративного стану та стійкості зрошуваних земель (принципи, система показників і критеріїв) включена до складу нормативно-методичного забезпечення ЕММЗЗ [5, 6, 9] і впроваджена в діяльність гідрогеолого-меліоративної служби Держводагентства (раніше – Держводгосп) України при його веденні.

За результатами виконання науково-дослідної роботи «Дослідити процеси трансформації меліорованих територій, розробити системи їх комплексного захисту від деградації і підтоплення та моніторингу довкілля» (2006–2010рр., А.М. Шевченко, Е.С. Драчинська, Т.О. Ромащенко, Д.П. Савчук, К.Б. Шатковська, Р.П. Боженко та ін.) на підставі критичного аналізу існуючої системи моніторингу зрошуваних земель, досвіду та результатів ведення еколого-меліоративного моніторингу, сформованих вимог до інформаційного забезпечення

комплексного захисту меліорованих територій від шкідливої дії вод удосконалено критеріально-діагностичну базу оцінювання ЕМС та стійкості земель із диференціацією оцінювальних показників стану щодо регіонального та локального рівнів, коригування кількості категорій стану і стійкості та критеріальних значень окремих оцінювальних показників тощо, яку включено до складу розробленого під керівництвом М.І. Ромащенко у розвиток та на заміну ВБН 33–5.5–01–97 проекту галузевого нормативного документа «Організація та ведення моніторингу меліорованих земель і підтоплення територій».

Проте нинішня загальна тенденція до зменшення обсягів моніторингових робіт, довгострокових стаціонарних досліджень, чисельності спостережної мережі, фактичних площ підконтрольних земель зумовлює часткове зниження інформативності одержаних результатів, зокрема щодо ЕМС зрошуваних земель. Не менш гострим є питання неконтрольованого вилучення з меліоративного освоєння земель, що викликає непередбачувані зміни їх екологічного стану. Водночас своєчасне виявлення як негативної, так і позитивної реакції складових агроландшафтів на природні процеси та антропогенні тиски лишається актуальним завданням, зокрема й науковців.

Новітній етап удосконалення наукових засад і способів оцінювання стану меліорованих земель пов'язаний з швидким розвитком високих технологій останніх років, що дозволили науковцям безкоштовно у вільному доступі використовувати дані ДЗЗ у вигляді діапазонів хвиль електромагнітного випромінювання для спостереження за екологічним станом агроландшафтів на будь-якому просторово-часовому рівні. Такі можливості відкрили шлях до удосконалення чинного ЕММ, оскільки вміння оперувати даними ДЗЗ дало змогу проводити комплексні моніторингові обстеження екологічного стану ґрунтових, рослинних і водних поверхонь.

Методологічні напрацювання фахівців відділу водних ресурсів (О.В. Власова, А.М. Шевченко, Р.П. Боженко, К.Б. Шатковська) із застосування даних ДЗЗ для визначення екологічного стану меліорованих територій можна умовно диференціювати за двома напрямками просторового оцінювання: еколого-меліоративних (оцінювання стану земельних ресурсів, насамперед на меліорованих угіддях) та водно-екологічних (оцінювання стану водних об'єктів) ситуацій, кожен з яких спирається на певні методики, технології, категорії супутникової інформації тощо (рис. 1).

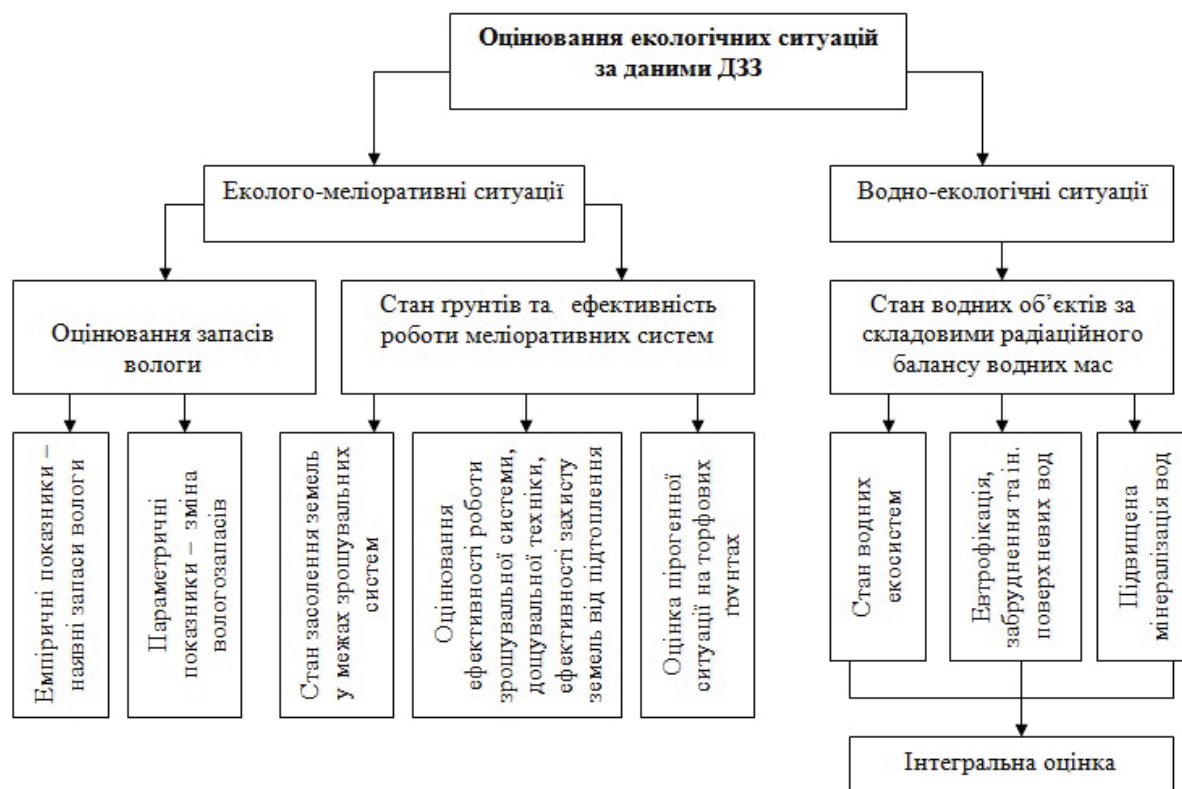


Рис. 1. Основні напрями та складники методологічних напрацювань з оцінювання екологічних ситуацій за даними ДЗЗ

Просторове оцінювання еколого-меліоративних ситуацій включає методичні підходи з оцінювання наявних вологозапасів та ґрунтово-екологічних ситуацій. Оцінювання наявних запасів вологи запропоновано здійснювати за спектральними індексами (емпіричні показники), а зміни вологозапасів – за спеціально розробленою методикою визначення зміни їх динаміки (параметричні показники).

За даним напрямом опрацьовано загальні підходи до оцінювання стану зрошуваних територій за наземною і супутниковою інформацією [10], визначення площ еродованих земель у межах річкового басейну [11], просторового оцінювання вологозабезпеченості агроландшафтів степової зони України [12], здійснено оцінювання стану зрошуваних земель за показником вмісту вологи в рослинному покриві [13], розроблено методичні засади ідентифікації засоленних ґрунтів у межах зрошувальних систем, виявлення просторово-часової динаміки їхнього стану, ступеня засолення ґрунтів, зокрема на основі встановлення та візуалізації взаємозв'язку між довжиною хвилі електромагнітного випромінювання і відбиттям поверхні (метод спектральних сигнатур) [14; 15]. Також було розроблено низку методичних засад з оцінювання ефективності роботи зрошувальних систем у часі за індексом-показником динаміки зрошення, ефективності роботи дощувальної техніки, ефективності захисту земель від підтоплення (результат ефективної роботи дренажної системи) [16]. У контексті моніторингу та оцінювання пірогенних ситуацій на торфових ґрунтах за даними ДЗЗ в Інституті запропоновано методику визначення місць торфових згарів за показниками вологи, температури поверхні та спектральним індексом композиту мінералів [17].

Просторове оцінювання водно-екологічних ситуацій ґрунтується на визначенні складових радіаційного балансу водних мас за даними знімків високого просторового розрізнення. Апробацію методичних основ ведення моніторингу небезпечних водно-екологічних ситуацій за даними ДЗЗ здійснено на прикладі Молочного [18] та Білозерського лиманів Запорізької області, водосховища Сасик Одеської області. Визначено, що інтегральна оцінка екологічного стану водного об'єкта є функцією складових радіаційного балансу водних мас у відповідних діапазонах хвиль електромагнітного випромінювання.

Для верифікації результатів досліджень організовано підсупутникові полігони на зрошуваних землях ДП «ДГ «Брилівське»

та в межах Каланчацького зрошувального масиву (Херсонська область), на меліорованих землях Ірпінської осушувально-зволожувальної системи (Київська область), на дослідних полях Кам'янсько-Дніпровської дослідної станції та зрошуваних територіях Запорізької області.

Для збору і збереження результатів опрацювання супутникової інформації сформовано базу даних спектральних сигнатур, яка містить спектральні характеристики поверхонь ґрунтів, води та рослинності. До розроблених інформаційних технологій належать програми «AnalistNOAA» для аналізу гідротермічних умов України та програма «Багатокритеріальне оцінювання територій зрошення», яка дає змогу приводити супутникові та наземні показники до єдиної теоретичної еталонної шкали, порівнювати та співставляти результати. Розроблення цієї інформаційної технології було викликано розбіжностями у визначенні оцінювальних показників. Оскільки дані наземних досліджень є незамінними, то було запропоновано методично обґрунтовану компенсацію їх нестачі даними ДЗЗ. Ефект компенсації діє при прийнятті управлінських рішень за попереднього визначення на якому просторово-часовому рівні буде вирішуватися поставлене завдання, що суттєво забезпечує оптимізацію моніторингових робіт [19].

Для досягнення оптимального ступеня упорядкування наземної та супутникової інформації загалом останнім часом було розроблено (О.В. Власова) теорію їх взаємозамінності [20]. Рівень взаємозамінності супутникової і наземної інформації визначає коефіцієнт, який має бути менше, або дорівнювати 1. Якщо коефіцієнт більше 1, то система є повністю взаємозамінною і становить собою вже зовсім іншу систему оцінювання.

Нині у рамках виконання НДР «Дослідити спектральні характеристики водних об'єктів і меліорованих земель, розробити науково-методологічні засади оцінювання їхнього екологічного стану за просторово розподіленими даними» (керівник завдання А.М. Шевченко, відповідальний виконавець О.В. Власова) опрацьовуються методичні питання оцінювання екологічного стану меліорованих територій і водних об'єктів за елементами радіаційного балансу. Розроблено метод визначення елементів радіаційного балансу водних поверхонь, який полягає в отриманні параметричних ($Вт/м^2$) показників стану останніх замість емпіричних (від -1 до $+1$) і визначенні просторово-часової динаміки їхніх змін, що дає змогу

оцінювати екологічний стан водойм. Також розроблено методи визначення елементів радіаційного балансу ґрунтових і вегетаційних поверхонь. Зрештою планується напрацювати методи оцінювання екологічного стану водних об'єктів і меліорованих земель за просторово розподіленими супутниковими даними. Застосування розроблених методів із використанням супутникових даних при веденні моніторингових робіт дає змогу компенсувати останніми наземні оцінювальні показники на будь-яких просторових і часових рівнях із високим ступенем оперативності, адекватності та доступності до об'єктів досліджень.

Перспективи запровадження удосконаленої системи оцінювання екологічного стану меліорованих земель і подальшого її розвитку пов'язуються значною мірою з реалізацією схваленої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 14.08.2019р. № 688-р «Стратегії зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року», якою передбачено відновлення та збільшення площ зрошуваних земель, а також удосконалення системи моніторингу їхнього стану. Крім того, цьому буде сприяти стрімкий розвиток технологій дистанційного зондування земної поверхні з супутників, дронів тощо, геоінформаційних технологій та ін. Вони дають змогу отримувати та виконувати більш деталізовану та достовірну інформацію як для оцінювання стану земель і, відповідно, вибору заходів з його поліпшення, так і для удосконалення

наукових засад та методології оцінювальних робіт на різних ієрархічних рівнях.

Висновки. Важливою складовою мінімізації негативного впливу зрошення на навколишнє природне середовище та забезпечення сталого використання меліорованих земель є моніторинг і контроль їхнього стану за адекватною агроіригаційно зумовленим змінам системою оцінювання. Розроблена в ІВПіМ НААН методологія оцінювальних робіт, яка базується на концепції еколого-меліоративної стійкості земель, дозволяє здійснювати комплексне просторове оцінювання та прогнозування еколого-меліоративного стану зрошуваних сільгоспугідь для його управління і є складовою нормативно-методичного забезпечення ведення моніторингу меліорованих земель у системі Держводагентства України.

Ефективним засобом підвищення рівня інформативності й оперативності наземних досліджень щодо просторового оцінювання екологічного стану, водно-екологічних та еколого-меліоративних ситуацій є застосування даних ДЗЗ. Удосконалення науково-методичних основ оцінювання екологічного стану меліорованих земель і водних об'єктів ґрунтується на отриманні часових (рік, місяць, тиждень) та просторових (область, район, господарство, поле) значень на основі різнопланової супутникової інформації та часткової або повній заміні оцінювальних показників, що визначають наземними обстеженнями, на показники, що визначають за даними ДЗЗ.

Бібліографія

1. Шевченко А.М., Драчинська Е.С. Дослідження еколого-меліоративних проблем зрошення // Меліорація і водне господарство. 2004. Вип. 90. С.101–115.
2. Муромцев Н.Н., Блохина Н.Н., Драчинская Э.С. Оценка гидрогеолого-мелиоративного состояния орошаемых земель. Киев: Урожай, 1991. 120 с.
3. Методика природно-мелиоративного районирования для целей контроля за состоянием орошаемых земель Украины и Молдавии / Н.Н. Муромцев, и др. Киев: УкрНИИГиМ, 1991.
4. Методические указания по оценке гидрогеолого-мелиоративного состояния орошаемых земель УССР. РД 33.АД.02.01-87. Киев: Наук.книга, 1988. 56 с.
5. ВБН 33-5.5-01-97 «Організація і ведення еколого-меліоративного моніторингу». Частина 1 – Зрошувані землі. Київ: Держводгосп України, 1997. 57 с.
6. Методика оцінки і прогнозу еколого-меліоративного стану меліорованих земель. Частина 1. Методика оцінки і прогнозу еколого-меліоративного стану і стійкості земель при зрошенні. Посібник 2 до ВБН 33-5.5-01-97 «Організація і ведення еколого-меліоративного моніторингу». Київ, 2002. 147 с.
7. Шевченко А.М., Булаєвська І.Д., Коваленко О.О. Оцінка еколого-меліоративного стану зрошуваних земель із застосуванням геоінформаційних технологій // Меліорація і водне господарство. 2006. Вип. 93–94 (Спецвипуск за матер. конференції). С. 272–278.
8. Шевченко А.М. Оцінка стійкості агроландшафтів в умовах зрошення // Меліорація і водне господарство. 2002. Вип. 88. С. 112–124.
9. Інформаційно-обчислювальне забезпечення моніторингу меліорованих земель. Частина 1. Методика організації системи інформаційного забезпечення моніторингових робіт на зрошуваних землях. Посібник 3 до ВБН 33-5.5-01-97 «Організація і ведення еколого-меліоративного моніторингу», частина 1 – Зрошувані землі. Київ, 2002. 65 с.

10. Власова О.В., Шевченко А.М. Використання даних непрямих вимірювань при оцінці стану зрошуваних територій // Меліорація і водне господарство. 2009. Вип. 98. С. 40–50.
11. Визначення площ еродованих земель у межах річкового басейну / І.В.Войтович та ін. // Меліорація і водне господарство. 2011. Вип. 99. С. 128–136.
12. Шевченко А.М., Власова О.В. Просторове оцінювання вологозабезпеченості агроландшафтів степової зони України // Агроекологічний журнал. 2012. С. 35–38.
13. Шевченко А.М., Власова О.В. Оцінювання стану зрошуваних земель за показником вмісту вологи у рослинному покриві // Стан та перспективи виробництва сільськогосподарської продукції на зрошуваних землях: Збірник матеріалів Всеукраїнської науково-практичної конференції (Херсон, 14–16 червня 2012 р.). Херсон: Айлант, 2012. С. 18.
14. Шевченко А.М., Власова О.В., Рябцев М.П. Розвиток методичних засад оцінювання стану засоленних земель у межах зрошувальних систем за супутниковими даними // Меліорація і водне господарство. 2015. Вип. 102. С. 59–61.
15. Власова О.В., Шевченко А.М. Методика виявлення змін у засоленних ґрунтах за супутниковими даними // Збірник наукових праць ННЦ «Інститут землеробства НААН». Вип. 2. 2015. С. 42–46.
16. Шевченко А.М., Власова О.В. Удосконалення системи просторового оцінювання водно-екологічних та еколого-меліоративних ситуацій з використанням супутникових даних // Меліорація і водне господарство. 2016. Вип. 103. С. 21–26.
17. Шевченко А.М., Власова О.В. Моніторинг небезпечних водно-екологічних ситуацій за супутниковими даними на прикладі Молочного лиману // Чисте місто. Чиста ріка. Чиста планета.: Збірник матеріалів форуму. Херсон: ХТПП, 2015. С. 185–190.
18. Шевченко А.М., Власова О.В. Методика оцінки екологічного стану водних об'єктів за елементами радіаційного балансу // Сучасний стан та перспективи розвитку управління водними ресурсами України [текст]: матеріали наук.-практ. конференції 10–11 жовтня 2012 р., м. Київ / ред.кол.: В.А. Сташук [та ін.] – К.: ДІУЕВР, 2012. – С.6-7.
19. Власова О.В., Шатковська К.Б. Методичні засади компенсації супутникової і наземної інформації в еколого-меліоративному моніторингу агроландшафтів // Науковий вісник. Серія «Агрономія». Київ, 2018. Вип. 286. С. 320–328.
20. Власова О.В. Основи теорії взаємозамінності супутникової та наземної інформації в еколого-меліоративному моніторингу // Біоресурси і природокористування. 2018. Том 10. № 3-4.

References

1. Shevchenko, A.M., & Drachynska, E.S. (2004) Doslidzhennia ekoloho-melioratyvnykh problem zroshennia [Investigation of ecological-reclamation problems of irrigation]. Melioratsiia i vodne hospodarstvo, 90, 101–115. [in Ukrainian].
2. Muromtsev, N.N., Blokhyna, N.N., & Drachynskaia, E.S. (1991). Otsenka hydroheoloho-melioratyvnoho sostoiannya oroshaemykh zemel [Assessment of the hydrogeological-reclamation status of irrigated lands]. Kyev: Urozhai, 120. [in Russian].
3. Muromtsev, N.N., Blokhyna, N.N., Drachynskaia, E.S., & Shevchenko, A.N. (1991). Metodyka pryrodno-melioratyvnoho raionirovaniia dlia tselei kontroliia za sostoianyem oroshaemykh zemel Ukrainy u Moldavyu [Methods of natural reclamation zoning for the purpose of control over the state of irrigated lands of Ukraine and Moldova]. Kyev: UkrNYYHyM, [in Russian].
4. Metodicheskye ukazaniia po otsenke hydroheoloho-melioratyvnoho sostoiannya oroshaemykh zemel USSR [Methodical instructions for the estimation of the hydrogeological-reclamation state of the USSR irrigated lands]. (1988). RD 33.AD.02.01-87. Kiev: Nauk.knyha. [in Russian].
5. Orhanizatsiia i vedennia ekoloho-melioratyvnoho monitorynhu [Organization and conduction of ecological and reclamation monitoring]. (1997). VBN 33-5.5-01-97. (Part1. Zroshuvani zemli). Kyiv: Derzhvodhosp Ukrainy, 57. [in Ukrainian].
6. Metodyka otsinky i prohnozu ekoloho-melioratyvnoho stanu meliorovanykh zemel. (2002). Posibnyk 2 do VBN 33-5.5-01-97. (Part 1. Metodyka otsinky i prohnozu ekoloho-melioratyvnoho stanu i stiikosti zemel pry zroshenni). Kyiv, 147. [in Ukrainian].
7. Shevchenko, A.M., Bulaievska, I.D., & Kovalenko, O.O. (2006). Otsinka ekoloho-melioratyvnoho stanu zroshuvanykh zemel iz zastosuvanniam heoinformatsiinykh tekhnolohii [Assessment of the ecological and amelioration status of irrigated lands using geoinformation technologies]. Melioratsiia i vodne hospodarstvo, 93–94, 272–278. [in Ukrainian].

8. Shevchenko, A.M. (2002). Otsinka stiikosti ahrolandshaftiv v umovakh zroshennia [Assessment of agro-landscape stability under irrigation conditions]. *Melioratsiia i vodne hospodarstvo*, 88, 112–124. [in Ukrainian].
9. Informatsiino-obchysliuvalne zabezpechennia monitorynhu meliorovanykh zemel [Information provision of reclaimed areas monitoring]. (2002). *Posibnyk 3 do VBN 33-5.5-01-97 (Part 1.)*. Kyiv, 65. [in Ukrainian].
10. Vlasova, O.V., & Shevchenko, A.M. (2009). Vykorystannia danykh nepriamykh vymiriuvan pry otsintsi stanu zroshuvanykh terytorii [Use of indirect measurement data in estimating the condition of irrigated areas]. *Melioratsiia i vodne hospodarstvo*, 98, 40–50. [in Ukrainian].
11. Voitovych, I.V., Shevchenko, A. M., Vlasova, O.V., & Topolnyk, T.I. (2011). Vyznachennia ploshch erodovanykh zemel u mezhakh richkovoho basynu [Determination of the area of eroded land within the river basin]. *Melioratsiia i vodne hospodarstvo*, 99, 128–136. [in Ukrainian].
12. Shevchenko, A.M., & Vlasova, O.V. (2012). Prostorove otsiniuvannia volohozabezpechenosti ahrolandshaftiv stepovoi zony Ukrainy [Spatial assessment of moisture content of agro-landscapes of the steppe zone of Ukraine]. *Ahroekolohichniy zhurnal*, 35–38. [in Ukrainian].
13. Shevchenko, A.M., & Vlasova, O.V. (2012). Otsiniuvannia stanu zroshuvanykh zemel za pokaznykom vmistu volohy u roslynnomu pokryvi [Estimation of the state of irrigated lands by the moisture content of the vegetation]. *Stan ta perspektyvy vyrobnytstva silskohospodarskoi produktsii na zroshuvanykh zemliakh: Zbirnyk materialiv Vseukrainskoi naukovy-praktychnoi konferentsii*. Kherson: Ailant, 18. [in Ukrainian].
14. Shevchenko, A.M., Vlasova, O.V., & Riabtsev, M.P. (2015). Rozvytok metodychnykh zasad otsiniuvannia stanu zasolenykh zemel u mezhakh zroshuvalnykh system za sputnykovymy danymy [Development of methodological bases for estimation of saline lands within the irrigation systems based on satellite data]. *Melioratsiia i vodne hospodarstvo*, 102, 59–61. [in Ukrainian].
15. Vlasova, O.V., & Shevchenko, A.M. (2015). Metodyka vyivlennia zmin u zasolenykh grun-takh za sputnykovymy danymy [Methods for detecting changes in saline soils from satellite data]. *Zbirnyk naukovykh prats NNTs «Instytut zemlerobstva NAAN»*, 2, 42–46. [in Ukrainian].
16. Shevchenko, A.M., & Vlasova, O.V. (2016). Udoskonalennia systemy prostorovoho otsiniuvannia vodno-ekolohichnykh ta ekoloho-melioratyvnykh sytuatsii z vykorystanniam sputnykovykh danykh [Improvement of the system of spatial assessment of water-ecological and ecological-reclamation situations using satellite data]. *Melioratsiia i vodne hospodarstvo*, 103, 21–26. [in Ukrainian].
17. Shevchenko, A.M., & Vlasova, O.V. (2015). Monitorynh nebezpechnykh vodno-ekolohichnykh sytuatsii za sputnykovymy danymy na prykladi Molochnoho lymanu [Monitoring of dangerous water-ecological situations by satellite data on the example of the Milk estuary]. *Zbirnyk materialiv forumu Chyste misto. Chysta rika. Chysta planeta*. Kherson: KhTPP. [in Ukrainian].
18. Shevchenko, A.M., & Vlasova, O.V. (2012). Metodyka otsinky ekolohichnoho stanu vodnykh ob'ektiv za elementy radiatsiinoho balansu [Methods of estimation of ecological status of water bodies by elements of radiation balance]. *Nauk.-prakt. Konferentsia suchasnyi stan ta perspektyvy rozvytku upravlinnia vodnymy resursamy Ukrainy*. Kivv: DIUEVR, 6-7. [in Ukrainian].
19. Vlasova, O.V., & Shatkovska, K.B. (2018). Metodychni zasady kompensatsii sputnykovoї i nazemnoi informatsii v ekoloho-melioratyvnomu monitorynhu ahrolandshaftiv [Methodological principles for compensation of satellite and terrestrial information in ecological land reclamation monitoring of agricultural landscapes]. *Naukovyi visnyk, Serii «Ahronomiia»*, 286, 320–328. [in Ukrainian].
20. Vlasova, O.V. 2018. Osnovy teorii vzaiemozaminnosti sputnykovoї ta nazemnoi informatsii v ekoloho-melioratyvnomu monitorynhu [Fundamentals of Theory of Interchangeability of Satellite and Terrestrial Information in Ecological and Reclamation Monitoring]. *Bioresursy i pryrodokorystuvannia*, 10, 3-4. [in Ukrainian].

А.Н. Шевченко, Е.В. Власова, В.В. Удовенко, Р.П. Боженко
Развитие научно-методических основ оценки экологического состояния
мелиорируемых земель и водных объектов

В статье освещены основные направления и этапы развития научно-методических основ оценки экологического состояния мелиорированных земель и водных объектов. Результатом этапа становления стала разработка единого комплексного подхода к оценке гидрогеологических, инженерно-геологических и почвенно-мелиоративных условий и их изменений под влиянием орошения. На этапе теоретического обоснования и разработки научных основ ведения эколого-мелиоративного мониторинга обработано методологию пространственного оценки эколого-мелиоративного

состояния орошаемых земель и их стойкости проявлений вредного воздействия вод и деградации почв. На этапе совершенствования развито теоретико-методические основы определения и практического применения оценочных показателей состояния мелиорированных земель и водных объектов на основе данных дистанционного зондирования Земли. Для верификации результатов исследований организовано подспутниковые полигоны, разработано технологии хранения данных и анализа разноплановых показателей. Совершенствование научно-методических основ оценки экологического состояния мелиорированных земель и водных объектов основывается на получении временных (год, месяц, неделя) и пространственных (область, район, хозяйство, поле) значений на основе разнообразной спутниковой информации и частичной или полной замене оценочных показателей, определяемых наземными исследованиями, на показатели, определяемые по данным ДЗЗ. Разработанные методические основы и экологические показатели на основе данных ДЗЗ являются ценным научным достоянием не только для эколого-мелиоративного мониторинга, но и для системы мониторинга окружающей среды в целом.

Ключевые слова: водные объекты, орошаемые земли, экологическое состояние, эколого-мелиоративная стойкость земель, эффект компенсации, категории спутниковой информации, подспутниковые полигоны, пространственное оценивания.

A.M. Shevchenko, O.V. Vlasova, V.V. Udovenko, R.P. Bozhenko
Development of scientifically-methodological frameworks
of the reclaimed lands and water bodies' ecological state's assessment

The article highlights the main directions and stages of development of scientifically-methodological foundations of reclaimed lands and water bodies' ecological state's assessment. The development of a unified integrated approach to the assessment of hydrogeological, engineering-geological and soil-reclamation conditions and their changes under the influence of irrigation was the result of the formation stage. At the stage of theoretical justification and development of the scientific foundations of environmental reclamation monitoring, the methodology of spatial assessment of the ecological reclamation state of irrigated lands and their persistence of manifestations of the harmful effects of water and soil degradation was processed. The theoretical and methodological foundations for the determination and practical application of estimated indicators of the state of reclaimed land and water bodies based on remote sensing data of the Earth were developed at the stage of improvement. Also, sub-satellite training plots were organized, and technologies for data storage and analysis of diverse indicators were developed for the research results' verification. Improvement of the scientifically- methodological foundations for the assessment of the reclaimed land and water bodies' ecological state is based on obtaining of temporal (year, month, week) and spatial (oblast, district, economy, field) values based on a variety of satellite information and partial or complete replacement of estimated indicators defined by the ground-based studies, on indicators determined by remote sensing data. Methodological foundations and environmental indicators developed on the basis of remote sensing data are a valuable scientific asset not only for ecological reclamation monitoring, but also for the environmental monitoring system as a whole.

Key words: water bodies, irrigated lands, ecological condition, ecological and reclamation persistence of lands, compensation effect, satellite information categories, satellite and landfills, spatial estimation.

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg201902-205>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/205>

УДК 631.67;626.86

ПІДСУМКИ НАТУРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЕФЕКТИВНОСТІ ІНЖЕНЕРНОГО ДРЕНАЖУ

Д.П. Савчук¹, канд. техн. наук, О.А. Бабіцька², канд. техн. наук, О.І. Харламов³,
І.В. Котикович⁴, Д.П. Землянська⁵, Р.П. Боженко⁶, О.М. Беліков⁷, О.О. Медведєва⁸

¹ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-7672-3251>; e-mail: savchuk.igim@gmail.com

² Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-9387-5943>; e-mail: helena-babitska@ukr.net

³ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-9019-3445>; e-mail: lharlam911@gmail.com

⁴ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-1492-3557>; e-mail: ikotykovych@gmail.com

⁵ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0001-6882-5090>; e-mail: darya.zemlanika@gmail.com

⁶ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0003-3661-8120>; e-mail: ruslana_lp@ukr.net

⁷ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-6725-5978>; e-mail: frankinstejn2018@gmail.com

⁸ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0003-3575-0592>; e-mail: mdvdv_olga@ukr.net

Анотація. Інженерний дренаж служить важливим елементом системи захисту територій від шкідливої дії вод, забезпечуючи ведення агропромислового виробництва, безпеку життєдіяльності населення, запобігання розвитку процесів затоплення, підтоплення, засолення тощо. Розглянуто результати натурних досліджень горизонтального та вертикального типів дренажу для подальшого їх використання при проектуванні. За результатами досліджень встановлено умови функціонування дренажних систем, генезис та причини розвитку процесів підтоплення, закономірності глибин залягання та динаміки коливання РГВ на ділянках дренажу та прилеглих територіях. Визначено ефективність дренажу у складних природних і водогосподарських умовах на основних зрошувальних системах та низці населених пунктів. Встановлено, що в умовах слабостічного та безстічного рельєфу місцевості з найбільшою ефективністю працювали системи закритого горизонтального дренажу із закладанням колекторів на глибину до 7,5 м та самопливним водовідведенням. Такі дренажні системи забезпечували стабілізацію ґрунтових вод на глибинах 3-4 м і більше за рахунок роботи колекторів глибокого закладання без задіяння менш глибоких польових дрен. За результатами розкопок встановлено, що високій ефективності горизонтального дренажу сприяло застосування геотекстильних дренажних фільтрів, які не допускали критичного замулення та проникнення кореневої системи у порожнину труб. Ефективність вертикального дренажу залежала від режиму його експлуатації та технічного стану водозабірних свердловин і насосно-силового устаткування. Вертикальний дренаж вимагає вжиття додаткових заходів захисту територій від затоплення і підтоплення – улаштування горизонтального дренажу, розвитку колекторної мережі, використання свердловин для відведення поверхневих і дренажних вод.

Ключові слова: натурні дослідження, горизонтальний і вертикальний дренаж, рівень ґрунтових вод, підтоплення, затоплення, замулення.

Постановка питання. У зоні ризикованого землеробства отримання стабільних високих врожаїв та сталий розвиток агропромислового комплексу практично неможливі без зрошення та дренажу [12; 17]. Відомо, що зрошення відноситься до одного з потужних антропогенних чинників, які сприяють розвитку процесів підтоплення. Найбільш ефективним засобом запобігання підтоплення на фоні зрошення є інженерний дренаж [6; 8; 10].

Істотне відновлення зрошення та дренажу, яке передбачається у південних областях «Стратегією зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року», забезпечить одночасне регулювання водного режиму ґрунтів без регіонального підйому рівнів ґрунтових вод (РГВ) та збільшення площ підтоплення.

Експлуатація дренажу протягом останніх 30 років довела його ефективну роботу, істотний потенціал і можливість подальшого

© Д.П. Савчук, О.А. Бабіцька, О.І. Харламов, І.В. Котикович,
Д.П. Землянська, Р.П. Боженко, О.М. Беліков, О.О. Медведєва, 2019

використання. До того ж, труднощі в роботі спостерігались переважно на системах електрифікованого дренажу. Так, наприклад, у Херсонській області при наявності 924 свердловин вертикального дренажу та 119 дренажних насосних станцій горизонтального дренажу продуктивно працює лише близько 10–15%. Крім того, проєктний термін експлуатації більшості дренажу вичерпується або перевищує норму.

При проєктуванні дренажу, обґрунтуванні його схем, типів та параметрів важлива роль належить результатам натурних досліджень, які набули значного розвитку і широко використовуються на об'єктах меліорації і водного господарства [6; 7; 10; 11].

Метою роботи є встановлення результатів натурних досліджень інженерного дренажу в зоні зрошуваного землеробства для подальшого їх використання при проєктуванні.

Методика та об'єкти досліджень. Натурні дослідження дренажу проводили на дослідно-виробничих ділянках (ДВД), які розташовані на сільськогосподарських угіддях та у населених пунктах на Північно-Кримській, Татарбунарській, Інгулецькій, Каховській та Північно-Рогачицькій зрошувальних системах (рис. 1).

Дослідження охоплюють період 1990–2019 років, який до 1995 р. характеризувався

стабільністю регулярного зрошення, а після 1995 р. – його недостатністю, коли водоподача на зрошуваних масивах зменшилась приблизно у 2,7 рази [13]. Для дослідження відібрано ділянки горизонтального та вертикального дренажу, основні показники і параметри якого представлені в таблиці 1.

На горизонтальному дренажі розглядалися системи з глибокими самопливними колекторами та дренажними насосними станціями, на вертикальному – із лінійною та систематичною схемами розміщення свердловин.

Дані багаторічних режимних спостережень за РГВ опрацьовували та аналізували за період тривалістю 5–45 років. Встановлювали фактичні глибини залягання, закономірності та динаміку коливання РГВ. Фактичні глибини залягання РГВ порівнювали з критичними глибинами, які приймали за нормативними документами: для сільських населених пунктів – 2,0 м, для масивів зрошення – 1,5–2,5 м [2; 10; 12]. Вважали, що горизонтальний дренаж включається в роботу при перевищенні РГВ глибини закладання колекторів та дрен. Стан замулення дренажу встановлювали шляхом розкопок дренажних трубопроводів на зрошуваних землях у гумідній зоні (Київська область).

Результати досліджень. Функціонування дренажу на ділянках дослідження

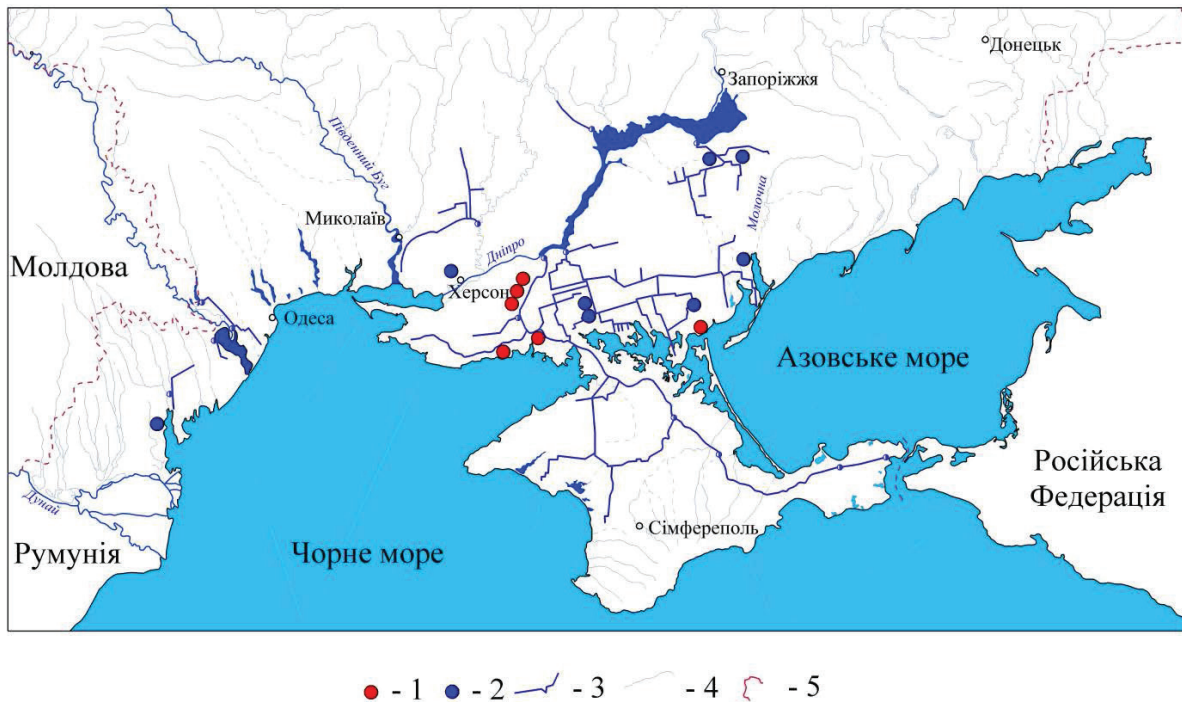


Рис. 1. Географічна концентрація ділянок дослідного дренажу в південних областях України:
1 – вертикальний дренаж; 2 – горизонтальний дренаж;
3 – магістральні та розподільчі зрошувальні канали; 4 – річки; 5 – межі держави

1. Основні характеристики і параметри дренажу

Район, населений пункт	Спосіб та техніка поливу	Площа дренажу, га	Площа безстічних знижень, га	Питома протяжність, м/га		Відстань між дренами (свердловинами), м	Глибина закладання, м	
				колекторів	дрен		колекторів	дрен
ВЕРТИКАЛЬНИЙ ДРЕНАЖ								
Зона зрошення Північно-Кримського каналу. Херсонська область								
смт Нова Маячка	бороздкове краплинне	1967	1967	-	-	500-1000	20-60*	
с. Подо-Калинівка	бороздкове краплинне	720	720	-	-	500-1000	65*	
с. Тарасівка	бороздкове краплинне	400	400	-	-	440-1500	60*	
смт Каланчак	бороздкове краплинне	683	0	-	-	500-1000	40-50*	
м. Скадовськ	бороздкове краплинне	725	725	-	-	300-500	48-52*	
м. Генічеськ	бороздкове краплинне	974	974	-	-	900-1250	46*	
ГОРИЗОНТАЛЬНИЙ ДРЕНАЖ								
Каховська зрошувальна система. Херсонська, Запорізька області								
с. Хрестівка	бороздкове краплинне	125	0	9,8	52,0	50-100	4,5	2,9
Чаплинський район	ДМ «Фрегат»	1840	322	12,6	43,0	200	5,1	2,9
Генічеський район	ДМ «Фрегат»	4260	2035	9,6	51,8	150-220	3,8	2,8
Якимівський район	ДМ «Фрегат»	550	550	15,8	82,0	90-220	5,3	3,0
Північно-Рогачицька зрошувальна система. Запорізька область								
Василівський район	ДДА-100МА	132	16	24,4	24,8	220-440	3,7	3,1
Михайлівський район	ДДА-100МА	2654	1050	15,0	29,3	300	6,0	3,25
Інгулецька зрошувальна система. Херсонська область								
Білозерський район	ДДА-100МА	193	100	19,0	55,0	150-180	4,0	2,0
Татарбунарська зрошувальна система. Одеська область								
Кілійський район	ДДА-100МА	300	0	15,0	38,2	200	4,0	3,5

* глибина свердловин вертикального дренажу

характеризується складними геоморфологічними та гідрогеологічними умовами. Рельєф місцевості рівнинний, поширені слабостічні та безстічні території, степові блюдця, поди, балки і малі річки. Геоморфологічні умови стали головною детермінантою глибокого закладання колекторів.

У районі дослідження дренаж працює в умовах зрошення сільськогосподарських угідь і присадибних ділянок. Поливна вода подається за допомогою розвиненої мережі магістральних і розподільчих каналів. Техніка поливу представлена дощувальними машинами фронтальної і кругової дії типу ДДА-100МА, ДФ «Дніпро», ДМ «Фрегат», ДМ «Reinke», ДМ «Valley», ДМ «Zimatic». У населених пунктах та на їх околицях на присадибних ділянках застосовується бороздковий полив, а останнім часом – краплинне зрошення.

Безстічність та слабка природна дренажність, тривале функціонування зрошувальних систем, регулярне зрошення земель та поливи присадибних ділянок зумовили регіональний підйом РГВ та формування осередків підтоплення на ділянках підвищеного водонадходження: приканальних зонах, районах гідрантів дощувальних машин та пониження місцевості. Після початку зрошення щорічна швидкість підйому рівнів ґрунтових вод складала 0,5–2,0 м, зокрема на Інгулецькому зрошуваному масиві з ДДА-100МА – 0,65–1,20 м, на Каховській зрошувальній системі з ДМ «Фрегат» – 0,8 м [4; 6; 18].

Причинами підтоплення територій став комплекс природних, антропогенних та природно-антропогенних факторів, основними з яких є аномальні опади, особливості рельєфу, слабка стічність територій, регулярне зрошення

земель, підпори води у ставках і водосховищах, втрати із водонесучих комунікацій, перекриття природних стоків штучними насипами, висока розораність земель, замулення малих річок, засипання ярів [10; 15].

За результатами досліджень встановлено, що закритий горизонтальний дренаж це високоефективний засіб стримування підйому і стабілізації РГВ та розвитку процесів підтоплення. При самопливному водовідведенні такий дренаж не потребує значного обслуговування і працює десятиріччями. Зменшення його ефективності зумовлювали нестійка робота дренажних насосних станцій, недостатня експлуатація, відсутність ефективних систем відведення поверхневого стоку.

Особливо ефективно працювали системи горизонтального дренажу із самопливним водовідведенням та глибиною закладання колекторів до 7,5 м. Такий дренаж забезпечував підтримання РГВ на глибинах 3–4 м і більше, що сприяло формуванню на масивах зрошення автоморфного режиму ґрунтоутворення (рис. 2) [4; 16]. На колекторах спостерігався інтенсивний та практично безперервний дренажний стік. До того ж більшість дренажів переважно не мали стоку, а працюючі дрени щорічно залишались сухими близько 80% часу, що свідчить про значні резерви і профілактичну роль дренажу [4]. Водночас, на фоні дренажу у період інтенсивних опадів і зрошення у місцях штучного перекриття природних стоків та на днищах безстічних знижень формувалися локальні зони затоплення.

Результати дослідження дренажу з глибокими колекторами засвідчили доцільність підвищення водоприймальної здатності

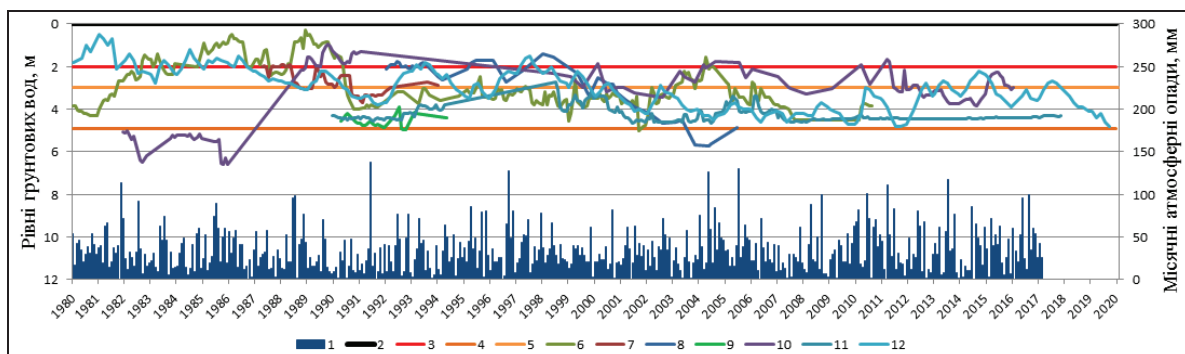


Рис. 2. Глибини залягання рівнів ґрунтових вод на ділянках з горизонтальним дренажем: 1 – атмосферні опади; 2 – поверхня землі; 3 – критична глибина РГВ; 4 – лінія глибини закладання колекторів; 5 – лінія глибини закладання дренажів; ділянки дренажу Херсонської області: 6 – Білозерський район; 7 – Чаплинський район с. Хрестівка; 8 – Чаплинський район; 9 – Новотроїцький район; 10 – Генічеський район; Запорізької області: 11 – Михайлівський район; Одеської області: 12 – Кілійський район

колекторів, улаштування вибіркового дренажу, обладнання шлюкерів (водопоглиначів) на дренах у зонах можливого затоплення, удосконалення технології будівництва глибокого дренажу, забезпечення самопливного водовідведення на існуючих і нових системах.

За результатами розкопок на осушувально-зрошувальних, а також на осушувально-зволожувальних системах у гумідній зоні встановлено задовільний стан гончарного та пластмасового дренажу з тонкими фільтрами з нетканих волокнистих матеріалів після тривалої експлуатації (таблиця 2) [9]. Міцність труб відповідала стандартним значенням. Висота замулення дренажних труб на сільськогосподарських угіддях не перевищувала 3-5 мм. У фруктовому саду при глибині закладання дрен 1,8 м спостерігались епізодичні проникнення тонких ниток кореневої системи дерев у пластмасові спіралезвиті ПВХ труби діаметром 100 мм із суцільним дренажним фільтром із скловолкна у 6 шарів. Проте цілком замулювались дренажні гирла, які розташовані на осушувальних каналах, що практично виключає дрени з роботи. Це вимагає очищення відкритих каналів від замулення та заростання їх днища, відновлення водоприймачів та забезпечення безперешкодного стоку.

Вертикальний дренаж в умовах добре проникних ґрунтів поверхневої товщі забезпе-

чував ефективний захист територій від підтоплення як з площадним, так і лінійним розміщенням свердловин. Ґрунтові води залягали переважно нижче критичних глибин (рис. 3). Водночас, у період недостатньої роботи дренажу під час інтенсивних опадів та сніготанення у межах безстічних знижень формувались стійкі зони підтоплення та затоплення. У цей період спостерігалась позитивна тенденція підйому РГВ зі швидкістю 2-4 см/рік.

Вертикальний дренаж в умовах менш водопроникних ґрунтів поверхневої товщі з лінійною схемою розташування свердловин виявився недостатньо ефективним, незважаючи на безперервний багаторічний період функціонування [14].

На фоні вертикального дренажу масштабні підтоплення і затоплення територій фіксувались у 1980–1981, 1984–1985, у червні 1986 р., у червні 1989, у січні 1998, у березні 2005, у березні і червні 2010, у червні-липні 2015, у липні 2018, у квітні та червні 2019 р. Надзвичайні підтоплення виникали у 1998, 2005, 2010, 2015, 2019 роках [15, 18]. Останнім часом ризики затоплення зросли до 3-4 разів на 10 років [18].

Результати натурних досліджень засвідчили доцільність доповнення вертикального дренажу горизонтальним, який дозволить акумулювати поверхневі води та знизити рівні ґрунтових вод у верхній товщі ґрунтів. При цьому для водовідведення доцільно задіяти

2. Результати розкопок дренажу різних конструкцій

Район розкопок	Рік розкопок	Термін експлуатації, років	Зовнішній стан та замулення дренажних труб і фільтрів		
Ірпінь	2014	40			
Гатне	2009	21			
Чабани, Новосілки	2011	25			
Небелиця	2015	25			

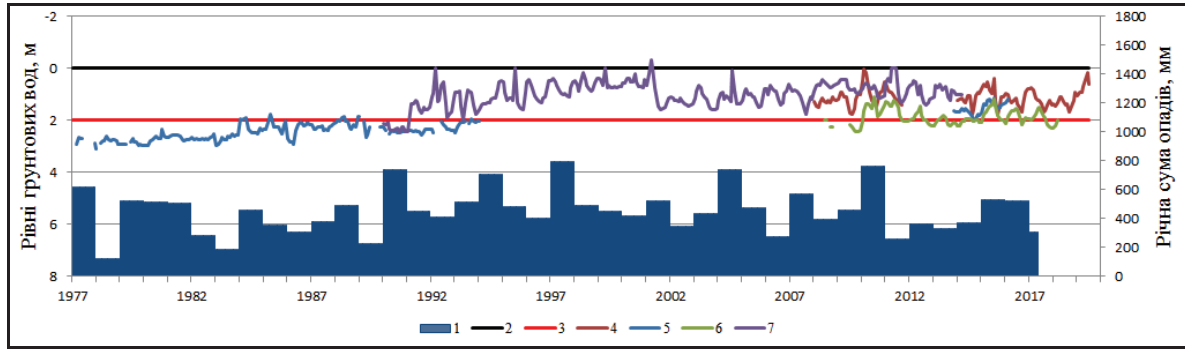


Рис. 3. Глибини залягання рівнів ґрунтових вод на ділянках вертикального дренажу: 1 – атмосферні опади; 2 – поверхня землі; 3 – критична глибина; 4 – смт Нова Маячка; 5 – с. Подо-Калинівка; 6 – с. Тарасівка; 7 – смт Каланчак

свердловини і напірні трубопроводи системи вертикального дренажу. В умовах неглибокого залягання напірного водоносного горизонту потрібне влаштування комбінованого дренажу із самовиливними свердловинами, які забезпечать розвантаження пліоценового водоносного горизонту. На масивах захисту з вертикальним дренажем необхідно влаштовувати мережу самопливних колекторів для забезпечення відведення поверхневого стоку та підвищення природної дренажності території.

Висновки. Натурні дослідження дренажу становлять цінний фактичний матеріал, який дозволяє узагальнити, систематизувати і накопичити досвід функціонування дренажних систем у складних природних і водогосподарських умовах, встановити оптимальні схеми, параметри і конструкції, підвищити рівень проєктних рішень, забезпечити надійність та обґрунтувати подовження експлуатації об'єктів, стати підґрунтям для апробації теоретичних розробок та пошуку нових рішень.

За результатом натурних досліджень встановлено високу ефективність закритого горизонтального дренажу з глибоким закладанням колекторів на слабостічних і безстічних територіях. Заглиблення колекторів до 7,5 м дозволяє збільшити природну дренажність території та зменшити питому протяжність польових дрен.

Вертикальний дренаж служить потужним засобом регулювання режиму ґрунтових вод та захисту територій від підтоплення за умови забезпечення стабільної його експлуатації, але залишається практично неспроможним впливати на процеси затоплення безстічних знижень, розташованих у зоні його впливу у періоди випадіння інтенсивних опадів та сніготанення. Для ліквідації осередків затоплення та підвищення дренажності територій в регіональному плані необхідне підсилення вертикального дренажу горизонтальним, використання водопонижуючих свердловин для водовідведення, розвиток колекторної мережі.

Бібліографія

1. Бахтіярова Л.І. Причини та наслідки меліорації в північному Причорномор'ї: дренажні системи // Вісник Одеського національного університету: Географічні та геологічні науки. 2014. Вип. 2. С. 80–100.
2. ВСН 33-2.2.03-86. Мелиоративные системы и сооружения. Дренаж на орошаемых землях. Нормы проектирования. Москва. 1987. 115 с.
3. Демченко О. [Бабіцька О.] Ефективність вертикального дренажу щодо захисту від підтоплення населених пунктів та сільськогосподарських угідь в Херсонській області // Водне господарство України. 2007. № 6. С. 32–37.
4. Демченко О. [Бабіцька О.] Ефективність систем самопливного закритого горизонтального дренажу в зоні зрошуваного землеробства // Водне господарство України. 2007. № 3. С. 43–49.
5. Дренаж с волокнистыми фильтрами для защиты территорий от подтопления / Пивовар Н.Г. и др. Киев: Институт гидромеханики НАНУ, 2000. 332 с.
6. Дренажные системы в зоне орошения / Бугай Н.Г. и др.; ред. А.Я. Олейника. Київ: Урожай, 1986. 192 с.
7. ДСТУ-Н Б В.1.1-38:2016. Національний стандарт України. Настанова щодо інженерного захисту територій, будівель і споруд від підтоплення та затоплення. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2017. 203 с.

8. Лисконов А.Т., Бредихин Н.Н., Савчук Д.П. Закрытый дренаж при орошении. Красноярск: Изд-во Красноярского ун-та, 1992. 288 с.
9. Малюга В.В. Подтопление и дренаж в лесостепной зоне Украины // Мелиорация. Минск. 2013. №2. С. 29–39.
10. Методические рекомендации по расчетам защиты территорий от подтопления в зоне орошения / Олейник А.Я. и др. Киев: Минводхоз УССР, Институт Гидромеханики АН УССР, Укргипроводхоз, 1986. 392 с.
11. Натурные исследования – основа технических решений и прогнозов в мелиорации / Л.Г. Балаев и др. // Гидротехника и мелиорация. 1978. № 1. С. 2-6.
12. Наукові основи агропромислового виробництва в зоні Степу України / Ред.кол: М.В. Зубець та ін. – Київ: Аграрна наука. 2004. 844 с.
13. Оцінка сучасного гідрогеолого-меліоративного стану земель Каховського зрошуваного масиву / Морозов О.В. та ін. // Вісник аграрної науки Причорномор'я. Вип. 2. 2014. С. 103–111.
14. Річка Каланчак і шляхи її екологічного оздоровлення / Ромащенко М.І. та ін. Київ. 2016. 92 с.
15. Ромащенко М.І., Савчук Д.П. Підтоплення Півдня України: причини та запобіжні заходи // Водне господарство України. 1998. № 5-6. С. 6–12.
16. Савчук Д.П., Харламов О.І., Котикович І.В. Ефективність закритого горизонтального дренажу на фоні зрошення ДМ «Фрегат» // Мелиорация і водне господарство. 2018. Вип. 1(107). С. 30–36.
17. Стратегія зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року від 14 серпня 2019 р. №688-р. // Урядовий кур'єр. 2019. № 170, 6 вересня. С. 13–14.
18. Харламов О.І. Ризики підтоплення та шляхи їх зменшення в зоні зрошення Північно-Кримського каналу // Мелиорация і водне господарство. 2018. Вип. 2(108). С. 47–51.

References

1. Bakhtiarova, L.I. (2014). Prychyny ta naslidky melioratsii v pivnichnomu Prychornomor'i: drenazhni systemy [Causes and effects of reclamation in the northern Black Sea: drainage systems]. Visnyk Odeskoho natsionalnoho universytetu: Heohrafichni ta heolohichni nauky, 2. [in Ukrainian].
2. Meliorativnyye sistemy i sooruzheniya. Drenazh na oroshayemykh zemlyakh. Normy proyektirovaniya. (1987). [Reclamation systems and facilities. Drainage on irrigated lands. Design Standards]. VSN 33-2.2.03-86. Moskva. [in Russian].
3. Demchenko, O. [Babitska, O.]. (2007). Efektyvnist' vertykal'noho drenazhu shchodo zakhystu vid pidtoplennya naselenykh punktiv ta sil's'kohospodars'kykh uhid' v Khersons'kiy oblasti [Efficiency of vertical drainage on protection against flooding of settlements and agricultural lands in Kherson region]. Kiyv. Vodne gospodarstvo Ukrainu, 6, 32–37. [in Ukrainian].
4. Demchenko, O. [Babitska, O.]. (2007). Efektyvnist' system samoplyvnoho zakrytoho horyzontal'noho drenazhu v zoni zroshuvanoho zemlerobstva. [Efficiency of self-flowing closed horizontal drainage systems in irrigated agriculture]. Kiyv. Vodne gospodarstvo Ukrainu, 3, 43–49. [in Ukrainian].
5. Pyvovar, N.H., Bugai, N.H., & Frydrykhson, V.L. (2000). Drenazh s voloknystumy fyl'tramy dlia zashchytu terrytorii ot podtopleniya [Drainage with fibrous filters to protect the territories from flooding]. Kiev: Instytut hydromekhaniky NANU. [in Russian].
6. Bygai, N.G., Vinogradov, S.G., & Vnychkov, V.V. et al. (1987). Drenazhnye sistemy v zone orosheniia. [Drainage systems in the irrigation zone]. Kyiv: Urozhay. [in Russian].
7. Nastanova shchodo inzhenerного zakhystu terytorii, budivel' i sporud vid pidtoplennia ta zatoplennia. (2017). [Guidelines engineering protection of the territory, building and structure from water logging and flooding]. DSTU-N B V.1.1-38:2016. Natsionalnyi standart Ukrainy. Kyiv: DP UkrNDNTS.
8. Lyskonov, A.T., Bredykhyn, N.N., & Savchuk, D.P. (1992). Zakrytyy drenazh pri oroshenii. [Closed drainage during irrigation]. Krasnodar. [in Russian].
9. Malyuga, V.V. (2013). Podtopleniye i drenazh v lesostepnoy zone Ukrainy. [Flooding and drainage in the forest-steppe zone of Ukraine]. Minsk. Melioracia, 29-39.[in Russian].
10. Oleunik, A.Ia. et al. (1986). Metodicheskie rekomendacii po raschetam zashchitu terrytorii ot podtopleniya v zone orosheniia. [Methodical recommendations on calculations of protection of territories from flooding in the irrigation zone]. Kyiv: Minvodhoz USSR, Instytut Gidromekhaniki AN USSR. Ukrigiprovodkhoz. [in Russian].
11. Balaev, L.G. et al. (1978). Naturnyye issledovaniya – osnova tekhnicheskikh resheniy i prognozov v melioratsii. [Field studies - the basis of technical solutions and forecasts in land reclamation]. Gidrotehnika i melioraciya, 1. [in Russian].

12. Zubets', M.V. et al. (2004). Naukovi osnovy ahropromysloвого виробnytstva v zoni Stepu Ukrayiny [Scientific bases of agro-industrial production in the steppe zone of Ukraine]. Kiyv: Agrarna nauka. [in Ukrainian].

13. Morozov O.V., Bidnuna I.O., Morozov V.V., Naydenov V.G. (2014). Otsinka sychasnogo gidrogeologo-meliorativnogo stany zemel' Kakhovs'kogo zroshyvanogo masivy. [Estimation of modern hydrogeological and reclamation state of the Kakhovskaya irrigated land]. Visnik agrarnoi nauky Pruchornomoria, 2, 103–111. [in Ukrainian].

14. Romashchenko, M.I., Savchuk, D.P. Shevchenko, A.M., Babitska, O.A., Danilenko, Yu.Yu., Bozhenko, R.P., Riabtsev, M.P., & Shevchuk, V.V. Richka Kalanchak i shlyahy yii ekologichnogo ozdorovlenya [River Kalanchak and its ecological recovery ways]. Kyiv. [in Ukrainian].

15. Romashchenko, M.I., & Savchuk, D.P. (1998). Pidtoplennia Pivdnia Ukrainy: prychny ta zapobizhni zakhody [Flooding of the South of Ukraine: Causes and Precautions]. Kiyv. Vodne gospodarstvo Ukrainu, 5-6. [in Ukrainian].

16. Savchuk, D.P., Kharlamov, O.I., & Kotykovych, I.V. (2018). Efektyvnist' zakrytoho horyzontal'noho drenazhu na foni zroshennya DM «Frehat». [Effectiveness of closed horizontal drainage on the background of irrigation by the SM «Fregat». Melioraciya i vodne gospodarstvo, 107. [in Ukrainian].

17. Stratehiia zroshennia ta drenazhu v Ukraini na period do 2030 roku [Irrigation and drainage strategy in Ukraine until 2030.]. Skhvaleno rozporiadzhenniam Kabinetu Ministriv Ukrainy № 688-p. (2019, August 14). Uriadovi kurier, 170. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/688-2019-%D1%80> [In Ukrainian].

18. Kharlamov, O.I. (2018). Ryzky pidtoplennya ta shlyakhy yikh zmenshennya v zoni zroshennya Pivnichno-Kryms'koho kanalu [Chance of flooding and way of their decrease in a zone of an irrigation of the North Crimean canal]. Melioraciia i vodne gospodarstvo, 108. [in Ukrainian].

Д.П. Савчук, Е.А. Бабицкая, А.И. Харламов, И.В. Котикович, Д.П. Землянская, Р.П. Боженко, А.Н.Беликов, О.О. Медведева

Итоги натурных исследований эффективности инженерного дренажа

Аннотация. Инженерный дренаж служит важным элементом системы защиты территорий от вредного воздействия воды, который обеспечивает ведение агропромышленного производства, безопасность жизнедеятельности населения, препятствует развитию процессов затопления, подтопления, засоления и прочее. Рассмотрены результаты натурных исследований горизонтального и вертикального типов дренажа для дальнейшего их использования при проектировании. По результатам исследований установлены условия функционирования дренажных систем, генезис и причины развития процессов подтопления, закономерности глубин залегания и динамики колебания уровней грунтовых вод на участках дренажа и прилегающих территориях. Определена эффективность дренажа в сложных природных и водохозяйственных условиях на основных орошаемых системах и в ряде населенных пунктов. Определено, что в условиях слабосточного и безсточного рельефа местности с наибольшей эффективностью работали системы закрытого горизонтального дренажа с заложением коллекторов на глубину до 7,5 м и самотечным водоотведением. Такие дренажные системы обеспечивали стабилизацию грунтовых вод на глубинах 3-4 м и более за счет работы коллекторов глубокого заложения без задействования менее глубоких полевых дрен. По результатам раскопок определено, что высокой эффективности горизонтального дренажа способствовало использование геотекстильных дренажных фильтров, которые не допускали критического заиления и проникновения корневой системы в полости труб. Эффективность вертикального дренажа зависела от режима его работы и технического состояния водозаборных скважин и насосно-силового оборудования. Вертикальный дренаж требует внедрения дополнительных мероприятий защиты территории от затопления и подтопления – устройства горизонтального дренажа, развития коллекторной сети, использования скважин для отведения поверхностных и дренажных вод.

Ключевые слова: натурные исследования, горизонтальный и вертикальный дренаж, уровень грунтовых вод, подтопление, затопление, заиление.

D.P. Savchuk, O.A. Babitska, O.I. Kharlamov, I.V. Kotikovych, D.P. Zemlyanska, R.P. Bozhenko, O.M. Belikov, O.O. Miedviedieva

Results of field observations of engineering drainage efficiency

Abstract. Engineering drainage is an important element of the system of territory protection against the harmful effects of water, ensuring agro-industrial production, population safety, prevention of the development of flooding, salinization, etc. The results of field observations on horizontal and vertical types of drainage in view of their further use when designing were studied. Based on the results of the research, the

conditions of the drainage systems functioning, the genesis and the reasons of flooding development, the features of the depth of and the dynamics of ground water table fluctuations in the drainage areas and the adjacent territories were specified. The efficiency of drainage in difficult natural and water management conditions on main irrigation systems and in a number of settlements was determined. It was found out that in the conditions of low drained and drainless land topography, closed horizontal drainage systems with the laying of the collector drains to a depth of 7.5 m and gravity drainage operated with the highest efficiency. Such drainage systems provided groundwater stabilization at depths of 3-4 m or more due to the operation of deep-laying collectors without the involvement of less deep field drains. The excavation revealed that high efficiency of horizontal drainage was facilitated by the use of geotextile drainage filters, which avoided critical siltation and penetration of root systems into the pipe cavity. The efficiency of vertical drainage was dependent on the mode of its operation and the technical condition of water wells and pumping power equipment. Vertical drainage requires the implementation of additional measures to protect the areas against flooding – laying of horizontal drainage, development of the collector network, use of water wells for collecting surface and drainage water.

Key words: *field observations, horizontal and vertical drainage, groundwater table, flooding, siltation.*

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg201902-186>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/186>

УДК 631.43:628.171:631.671

МЕТОД ВИВЧЕННЯ ВОДОСПОЖИВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР У ПОЛЬОВИХ ВЕГЕТАЦІЙНИХ ДОСЛІДАХ

С.С. Коломієць¹, канд. с.-г. наук, О.М. Нечай², канд. с.-г. наук, О.В. Турасва³, О.В. Гнелиця⁴

¹ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-4329-4382>; e-mail: kss2006@ukr.net

² Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0003-0365-1864>; e-mail: Daniva7@i.ua

³ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-3367-404X>; e-mail: turaieva.olga@gmail.com

⁴ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-3627-0163>; e-mail: npa21pkzb@ukr.net

Анотація. В умовах глобальних змін клімату вивчення водоспоживання нових сортів та гібридів сільськогосподарських культур стає актуальною проблемою через необхідність ощадливого використання наявних водних ресурсів у продукційному процесі та адаптації агротехнологій до кліматичних змін. Розроблений спосіб інструментального вимірювання складових сумарного водоспоживання базується на використанні керамічних мембран для автоматичного підтримання різних рівнів вологозабезпечення ґрунту у польовому вегетаційному досліді за впливу природних кліматичних чинників. Двофакторний вегетаційний дослід дозволяє проводити порівняльний аналіз структури водоспоживання культур за різних рівнів вологозабезпечення ґрунту та різних систем удобрення. Представлено конструктивні рішення та історію створення і становлення польових вегетаційних дослідів із керуванням рівнем вологозабезпечення ґрунту, їх переваги та недоліки. З 2017 р. полігон польових вегетаційних дослідів функціонує на постійній основі у с. Гора Бориспільського району Київської області. Перевагою цих дослідів є висока достовірність одержаних закономірностей, що забезпечує достатню кількість повторностей у кожному варіанті; інструментальне вимірювання складових водоспоживання – евапорації з ґрунту, сумарного водоспоживання і, за різницею, транспірації рослин, що доступно контролювати щоденно, і, навіть, погодинно у добовому циклі; подвійна дія пристрою вологозабезпечення дозволяє як подавати воду до ґрунту, так і відводити надлишок води після опадів до ємкостей живлення, що попереджає анаеробіозис у ґрунті.

За результатами проведених дослідів встановлено закономірності фундаментального характеру: кількісно оцінено співвідношення евапорації і транспірації протягом періоду вегетації культур; достовірно встановлено вплив різних систем удобрення на складові сумарного водоспоживання культур, зокрема доведено вплив мікробіологічних препаратів та участь ґрунтової біоти у витрачанні води; факторний аналіз довів рівнозначність факторів вологозабезпечення (38 %) та удобрення (36 %) на продуктивність зерна гречки; в умовах гарантованого вологозабезпечення ґрунтова біота покращує параметри родючості ґрунту.

Нині польовий вегетаційний дослід є незамінним інструментом одержання нових знань, первинних закономірностей, що стануть основою сценарного моделювання адаптації агротехнологій до кліматичних змін, має високий нереалізований потенціал можливостей, а також високий демонстраційний і освітній потенціал для навчання студентів і аспірантів.

Ключові слова: біопрепарати, вегетаційний дослід, евапорація, закономірності водоспоживання, польові культури, системи удобрення, транспірація.

Постановка проблеми. Сучасні досить швидкі глобальні зміни клімату у бік аридизації, особливо в Україні, вимагають адаптації агротехнологій землеробства до зростаючого дефіциту водних ресурсів. Проблема зниження водозабезпечення продукційного процесу сільськогосподарських культур загострюється практично для всіх ґрунтово-кліматичних зон України – від Степу до Полісся, адже, в умовах змін клімату, в Україні, окрім

Карпат, практично зникла гумідна (перезволожена) зона. Це вимагає активного регулювання водного режиму ґрунтів фактично для всієї території України, однак ліміт водних ресурсів обмежує масштаби гідротехнічних меліорацій. Важливим напрямком адаптації землеробства до змін клімату є пошук шляхів економного використання наявних водних ресурсів. Особливо гостро це питання стоїть у богарному землеробстві при виборі нових

сортів і культур, для яких необхідне порівняння структури та інтенсивності сумарного водоспоживання протягом періоду вегетації.

Норми водопотреби, що були встановлені ще за радянських часів, вже застаріли, адже з тих пір впроваджуються і нові культури, і нові сорти, і гібриди, для яких не визначена ця норма.

Актуальність дослідження. Встановлення закономірностей динаміки складових водоспоживання сільськогосподарських культур протягом вегетаційного періоду для обґрунтування інноваційних агротехнологій та вибору нових сортів і гібридів для ощадливого використання наявних водних ресурсів на богарних землях та оптимізації водного режиму меліорованих земель.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основними методами вивчення водоспоживання сільськогосподарських культур є польові балансові розрахункові методи, що базуються на дослідженнях вологості ґрунту, опадів і поливів та напруженості метеопараметрів [1; 2; 3], а також капіталоємкий лізиметричний метод [4; 5]. Ці методи мають певні недоліки, головним з яких є непряме (опосередковане) визначення складових водоспоживання.

Мета дослідження – вивчення закономірностей водоспоживання нових сортів культур на основі інструментального подового вимірювання динаміки складових сумарного водоспоживання сільськогосподарських культур – евапорації і транспірації за різних систем їх удобрення та різних рівнів вологозабезпечення ґрунту. Ідея інструментального вимірювання складових сумарного водоспоживання сільськогосподарських культур за регульованого рівня вологозабезпеченості ґрунту виникла в Інституті водних проблем і меліорації НААН у 2009 р. при виконанні бюджетної тематики по дослідженню впливу добрив та інокуляції біопрепаратами на продуктивність сільськогосподарських культур. Перший вегетаційний дослід із вирощування ячменю був організований на території Інституту фізіології рослин і генетики НАНУ. В його організації активну участь приймали к.с.-г.н Натальчук А.М., Коломієць С.С., Нацяк О.П., Лукашук В.П. Від Інституту фізіології рослин і генетики НАНУ куратором цих досліджень був заступник директора Коць С.Я. Схемою дослідження передбачалось чотири градації вологозабезпеченості ґрунту (Фактор А) та три варіанти удобрення (Фактор Б), зокрема контроль (без біопрепаратів), бактеризація насіння мікрогуміном та комплексним біопре-

паратом «Коктель» виробництва Інституту фізіології рослин і генетики НАНУ.

Матеріали і методи дослідження. Перший вегетаційний дослід із вирощування ярого ячменю проводився за канонами класичного вегетаційного дослідження [1] під накриттям на стелажах, для виключення попадання опадів до вегетаційних посудин для попередження загнивання коренів і анаеробіозису за суттєвого добового (атмосферного) коливання температури вегетаційних посудин.

Для технічного забезпечення автоматичного підтримання рівня вологозабезпечення ґрунту вегетаційних посудин був застосований спеціальний пристрій, основою якого були керамічна напівпроникна (проникна для вологи, але непроникна для атмосферного повітря) мембрана (рис. 1), що за рахунок всмоктуючого тиску ненасиченою вологою ґрунту забезпечувала подачу води до вегетаційної посудини в заданій кількості для підтримання в ґрунті заданого капілярного потенціалу, що імітувало подачу води з певної заданої глибини рівня ґрунтових вод (РГВ). Зокрема у цьому досліді задавали РГВ=0,4; 0,6; 0,8 та 1,0 м від поверхні ґрунту у вегетаційних посудинах. Принципова конструкція полігону вегетаційних дослідів наведена на рис. 2.

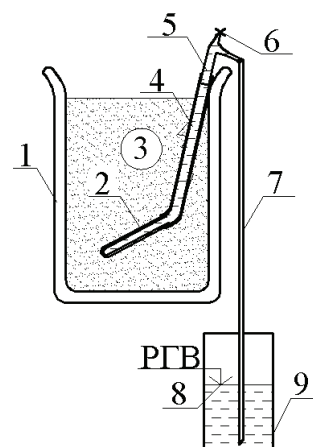


Рис. 1. Пристрій для автоматичного підтримання заданого рівня забезпеченості вологості у вегетаційних посудинах:
1 – вегетаційна посудина; 2 – керамічний зонд; 3 – ґрунт; 4 – з'єднувальна трубка ПЕ; 5 – прозорий газовловлювач; 6 – штуцер із запором; 7 – трубка для подачі води; 8 – позначка заданого рівня подачі води; 9 – ємкість живлення

Добутком цього вегетаційного дослідження була п'ятиразова повторність кожного варіанта та можливість щодобового контролю

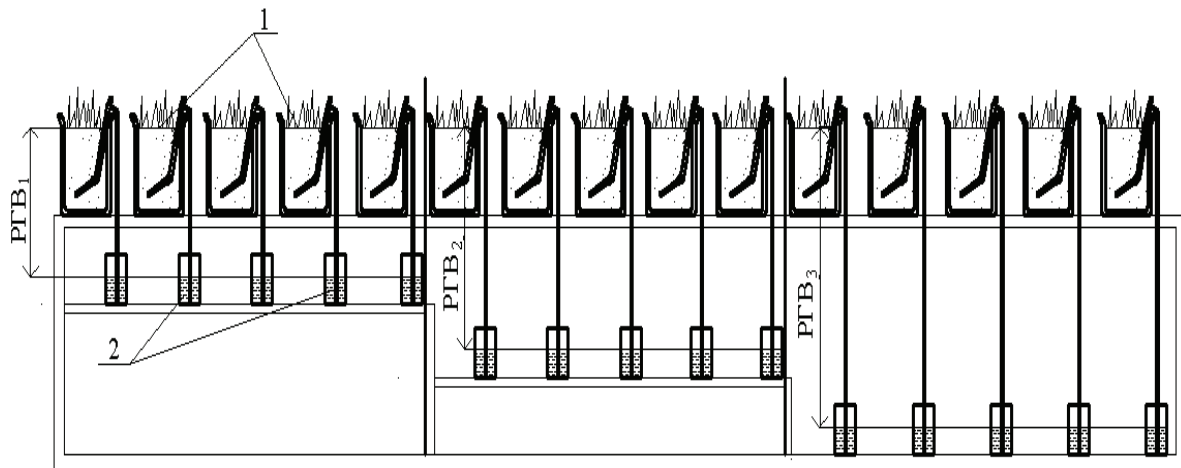


Рис. 2. Конструкція полігону для забезпечення заданих рівнів вологозабезпеченості ґрунту по варіантах досліду
1 – вегетаційні посудини з ґрунтом; 2 – ємкості живлення водою;
PГВ₁, PГВ₂, PГВ₃ – задані норми осушення (рівні ґрунтових вод)

складових водоспоживання, чого, зазвичай, невзможі забезпечити польові розрахункові методи визначення складових водоспоживання і капіталоємні лізиметричні досліди, що загалом підвищувало достовірність визначуваних параметрів водоспоживання.

Результати досліду були опубліковані [2], де продемонстровані можливості його щодо визначення інтенсивності сумарного водоспоживання, побудови кумулятивних графіків сумарного водоспоживання, визначення коефіцієнтів водоспоживання та параметрів біопродуктивності за різного рівня вологозабезпеченості ґрунту.

Головні висновки з проведеного досліду такі:

- було доведено працездатність системи технічного забезпечення рівня сталого зволоження ґрунту за заданими градаціями;

- підтверджено принципову можливість визначення динаміки сумарного водоспоживання не тільки щоденної, але й динаміки добового циклу;

- встановлено суттєвий вплив інокуляції насіння біопрепаратами на фізіологічну здатність рослин до споживання вологи з ґрунту, зокрема було сформульовано гіпотезу гідропротекторної дії біопрепаратів, що полягала у стабілізації водоспоживання за рівнів неоптимального зволоження;

- прямими вимірюваннями встановлено диференційовану азотфіксуючу активність ризосфери ячменю за інокуляції різними біопрепаратами, що визначалась за методом Харді [3];

- п'ятиразова повторність дозволила оцінювати статистичну достовірність основних зако-

номірностей впливу досліджуваних факторів на складові водоспоживання та біопродуктивність ячменю.

Недоліками досліду, на нашу думку, є:

- проведення вегетаційного досліду під накриттям без впливу природних опадів, адже пристрій автоматичного забезпечення заданого рівня вологозабезпечення ґрунту має подвійну дію: подачу води до ґрунту з певної глибини та скидання надлишку вологи після великих атмосферних опадів, що запобігало загниванню коренів і виникненню анаеробіозису у ґрунті;

- ґрунт вегетаційних посудин, перебуваючи під атмосферним впливом, відчував суттєві добові коливання температури, відмінні від їх коливань у ґрунтового профілі, що має важливе значення для життєдіяльності ґрунтової біоти;

- на ділянці подвір'я, де знаходились стелажі з вегетаційними ємкостями, був відсутній польовий режим циркуляції повітря і відчувалось затінення частини ємкостей у певні години доби тінню від високих дерев, що змінювало умови евапотранспірації з них.

З метою усунення цих недоліків, другий вегетаційний дослід з вирощування ярого ячменю (сорт Геліос) на дерново-підзолистому супіщаному осушуваному ґрунті проводили у 2012 р. спільно з лабораторією меліорації та агроєкології Волинського інституту АПВ на території Копачівської осушувальної системи, що у Рожищенському районі Волинської області. В організації цього досліду активну участь приймали кандидати сільськогосподарських наук Новосад І.М., Натальчук А.М.,

Коломієць С.С., аспірант Поліщук К.В. та інші. [4].

Другий вегетаційний дослід проводили в польових умовах з відтворенням природного термічного режиму ґрунту, коли вегетаційні ємності були по вінця засипані ґрунтом – створювався режим переважно вертикальних градієнтів енергомасообміну. Схемою дослідів було передбачено три градації вологозабезпеченості ґрунту РГВ= 0,5; 0,75 та 1,0 м (фактор А) та чотири варіанти удобрення (фактор Б): абсолютний контроль (без добрив); інокуляція зерна мікрогуміном; мінеральна система удобрення (СУ) $N_{60}P_{60}K_{60}$; мінеральна СУ ($N_{60}P_{60}K_{60}$ + мікрогумін). Окрім цього, для вивчення евапорації в кожному з 12 варіантів дослідів додано одну ємкість без посіву (4+1).

Результативність цього дослідів відбиває діаграма врожайності ячменю, зображена на рис. 3.

Надзвичайна контрастність врожаю зерна ячменю свідчить про низьку природну родючість осушуваних дерново-підзолистих супіщаних ґрунтів і високу ефективність застосування на них мінеральних добрив. Позитивного ефекту від застосування біопрепарату асоціативної азотфіксуючої дії мікрогумін не встановлено, навіть спостерігався негативний ефект – зниження врожайності зерна за відповідними варіантами.

За одержаними результатами і обґрунтованими висновками слід констатувати, що вегетаційний дослід з регульованими рівнями

ґрунтових вод є незамінним і ефективним інструментом оптимізації водного режиму осушуваних земель, а також перспективним методом управління якістю продукції меліорованого землеробства та оптимізації системи удобрення [4].

За розрахованими коефіцієнтами водоспоживання на одиницю зернової продукції ячменю у варіантах з мінеральною СУ підтверджено зниження сумарного водоспоживання, особливо в умовах перезволоження за РГВ = 0,5 м, що демонструє таблиця 1.

Однак мали місце і недоліки, зокрема за вегетаційний період з 04.05 по 17.07.2012 р. випало понад 135 мм опадів. У травні дощі проходили майже щодня, а у червні спостерігались потужні зливи нормою до 42 мм. Тож був порушений водний баланс ґрунту вегетаційних посудин через часте неконтрольоване переливання води з ємкостей живлення. Через віддаленість дослідів від лабораторії та стан доріг спостерігалась недостатня частота проведення вимірів водоспоживання – один раз на 3–4 дні. Тому результати даного дослідів були некондиційними, особливо щодо складових водоспоживання.

Переважно ініціативна форма проведення перших двох вегетаційних дослідів дозволила отримати незамінний досвід експериментального вивчення складових водоспоживання сільськогосподарських культур за умов різного рівня вологозабезпеченості ґрунту та різних систем удобрення, зокрема

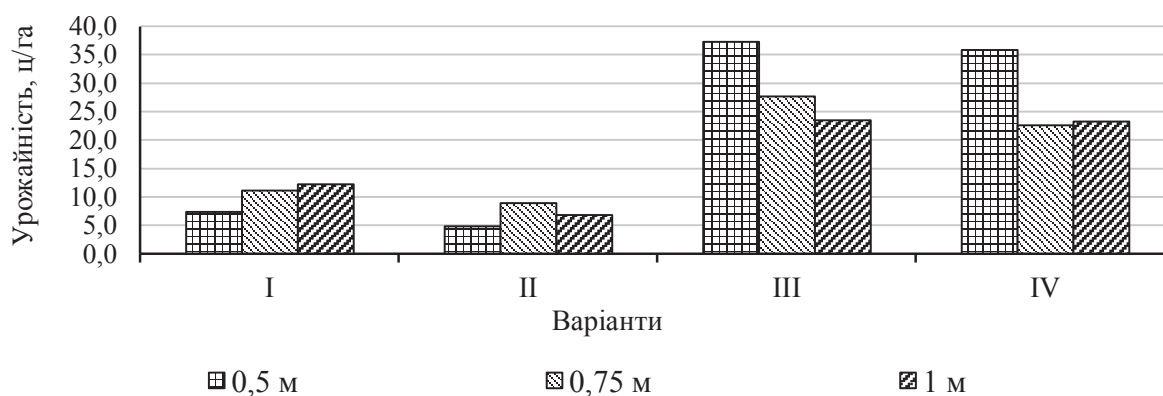


Рис. 3. Діаграми врожайності ярого ячменю за варіантами дослідів, 2012 р.

1. Коефіцієнти водоспоживання ячменю, м³/ц

№ з/п	Варіант	Градації РГВ, м		
		0,5	0,75	1,0
I	Абсолютний контроль (без добрив)	131,8	95,5	91,6
II	Без добрив + інокуляція біопрепаратом мікрогумін	228,8	125,0	175,8
III	Добрива $N_{60}P_{60}K_{60}$	13,5	25,9	36,7
IV	$N_{60}P_{60}K_{60}$ + інокуляція біопрепаратом мікрогумін	15,9	33,0	43,4

встановлено вплив мікробіологічних препаратів на процеси водоспоживання та отримано інші результати фундаментального характеру.

Результати дослідження і їх обговорення. З 2016 р. у тематичному плані ІВПіМ НААН започаткований фундаментальний проект 05.03.01.01 «Встановити закономірності водного обміну нових сортів культур суцільної сівби на меліорованих землях та обґрунтувати методологію формування інноваційних агротехнологій меліоративного землеробства» (2016–2020 рр.). Місцем проведення польових вегетаційних дослідів визначена територія ДП «Центральна лабораторія якості води та ґрунтів» ІВПіМ НААН в с. Гора Бориспільського району Київської області, де протягом 2017 та 2018 років вирощували гречку нових сортів Мальва (2015) та Ольга (2014), а у 2019 р. – сою (сорт Ніагара). З 2017 р. полігон польових вегетаційних дослідів працює на постійній основі.

Веgetаційні дослідів проводили на місцевому сірому опідзоленому супіщаному ґрунті. За схемою двофакторні веgetаційні дослідів з вирощування гречки у 2017 та 2018 роках були ідентичними: 3 градації вологозабезпечення ґрунту (Фактор А) та три системи удобрення (Фактор Б): абсолютний контроль (без добрив); мінеральна СУ; біологічна СУ. Веgetаційний дослід 2017 р. був результативним, однак недостатньо кондиційним через відсутність контролю метеопараметрів (почалися лише з 20.07), високу варіабельність водоспоживання у межах кожного варіанту, негативний ефект впливу біопрепаратів Хетомік та Діазобактерин, певне перезволоження ґрунту у варіанті з РГВ = 0,5 м, біоіндикація якого проведена по заростанню поверхні ґрунту мохом.

Отже, у веgetаційному досліді 2018 р були знижені рівні водоподачі синхронно на 10 см і становили – 0,6, 0,9 та 1,2 м, для зниження варіабельності площа керамічного зонду була збільшена у 3,5 рази, у біологічній СУ використаний біопрепарат азотофіт від виробника БТУ-центр. У результаті конденційно проведеного веgetаційного досліді 2018 р. одержано важливі фундаментальні результати.

Зокрема, у таблиці 2 за варіантами веgetаційного досліді наведено складові водного обміну, біопродуктивність гречки, коефіцієнти водоспоживання та транспіраційні коефіцієнти.

Наведена у таблиці інформація є унікальною за кількістю та якістю, що носить фундаментальний характер. Зокрема, на рис. 4 для прикладу наведено графічну інтерпретацію даних таблиці щодо співвідношення значень сумарного водоспоживання, випаровування з ґрунту та транспірації за різного рівня вологозабезпечення ґрунту.

Проведений факторний аналіз результатів цього двофакторного веgetаційного досліді засвідчив певне переважання впливу вологозабезпеченості ґрунту (Фактор А – 38%) над Фактором Б (систем удобрення – 36%) на продуктивність зерна гречки. Отриманий у досліді рівень врожайності майже вдвічі переважав паспортні дані гречки сорту Ольга (2014 р.), що свідчить про наближення умов веgetації до реалізації біологічного потенціалу сорту.

Висновки. Фундаментальним результатом веgetаційних дослідів є достовірне встановлення впливу різних систем удобрення на складові водоспоживання сільськогосподарських культур і зокрема мікробіологічних препаратів, встановлено також участь ґрунтової

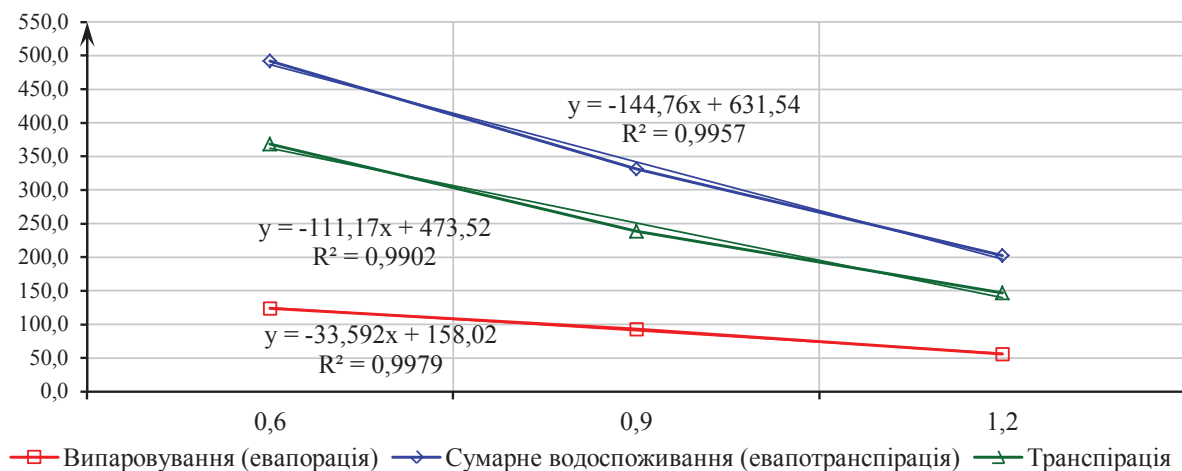


Рис. 4. Співвідношення сумарного водоспоживання, випаровування і транспірації (мм) гречки за різного рівня вологозабезпеченості ґрунту за результатами веgetаційного періоду

2. Складові водного обміну, біопродуктивність та коефіцієнти водоспоживання і транспірації гречки за варіантами вегетаційного досліду

Рівень вологозабезпеченості ґрунту РГВ, м (фактор А)	Система удобрення (фактор Б)	Варіанти	Випаровування (евапотранспірація), мм	Сумарне водоспоживання (евапотранспірація), мм	Інфільтрація, мм	Опади, мм	Врожайність, т/га	Біопродуктивність, т/га	Коефіцієнт водоспоживання, м ³ /т	Транспіраційний коефіцієнт
0,6 м	К	без посіву	144,51	474,27	-106,91	212,60	4,54	9,77	1399,23	651,73
	Б	з посівом			-51,62	212,60				
		без посіву	120,46		-101,94	212,60				
		з посівом		442,19	-57,67	212,60	4,29	9,48	1391,89	631,16
	М	без посіву	105,65		-111,81	212,60				
	з посівом			560,39	-47,10	212,60	7,09	15,68	1023,82	463,79
середнє		123,54	492,28	-106,89	212,60	5,31	11,64	1229,28	561,72	
0,9 м	К	без посіву	98,42	296,97	-96,77	212,60	3,62	8,35	1266,60	550,19
	з посівом									
	Б	без посіву	91,70	342,91	-92,05	212,60	4,17	9,13	1190,05	544,64
	з посівом									
	М	без посіву	87,75		-94,37	212,60				
	з посівом			353,23	-34,41	212,60	5,13	12,22	1035,91	435,73
1,2 м	середнє		92,62	331,04	-94,40	212,60	4,30	9,90	1152,09	501,44
	К	без посіву	54,50		-92,48	212,60				
	з посівом			182,47	-37,19	212,60	3,07	6,93	1165,73	517,15
	Б	без посіву	55,98		-89,80	212,60				
	з посівом			191,04	-35,31	212,60	3,11	7,06	1184,34	522,79
	М	без посіву	58,59		-81,29	212,60				
Системи удобрення (фактор Б)	середнє		56,36	202,77	-87,86	212,60	4,00	7,18	1052,48	587,69
	Ксер		90,84	342,03	-96,38	212,60	4,33	9,53	1178,24	536,26
	Бсер		99,15	317,90	-98,72	212,60	3,74	8,35	1293,80	580,63
	Мсер		89,38	325,38	-94,60	212,60	3,85	8,56	1265,53	570,63
	середнє по досліді		84,00	382,80	-95,82	212,60	5,41	11,69	1034,07	479,33
	Середнє по досліді		90,84	342,03	-96,38	212,60	4,33	9,53	1178,24	536,26

біоти у витрачанні ґрунтової вологи, а також її позитивний вплив на зростання параметрів родючості ґрунту після проведення досліду (рухомі форми NPK, органічна речовина), найвірогідніше, за рахунок розвитку мікрота мезобіоти (водорості, мохи тощо) в умовах гарантованого зволоження ґрунту.

У 2019 р. проводиться вегетаційний дослід із вирощування сої (сорт Ніагара), до схеми якого додано четверту органічну систему удобрення та чотири варіанти різних композицій біопрепаратів за рекомендаціями ТОВ «Торговий дім «БТУ-центр»». Первинні результати цього досліду загалом підтверджують закономірності водоспоживання, що були одержані у попередніх дослідях.

Розроблений в ІВПіМ НААН спосіб проведення польових вегетаційних дослідів з регулюванням рівня вологозабезпечення ґрунту є незамінним для інструментального вивчення

закономірностей евапорації і транспірації протягом вегетаційного періоду сільськогосподарських культур, які використовують у подальшому при сценарному моделюванні агротехнологій адаптивних до різного рівня вологозабезпеченості ґрунту меліорованих територій, а також богарного землеробства за довготермінованими прогнозами забезпеченості опадами вегетаційного періоду, які спрямовані на ощадливе використання вологи у продукційному процесі.

Нереалізованою залишається можливість прямої порівняльної оцінки водоспоживання різних нових сортів і гібридів сільськогосподарських культур за різних рівнів вологозабезпечення ґрунту у польовому вегетаційному досліді.

Польовий вегетаційний дослід має високий демонстраційний і освітній потенціал для навчання студентів і аспірантів.

Бібліографія

1. Алпатьев А.М. Влагообороты в природе и их преобразования. Ленинград: Гидрометеоздат, 1969. 322 с.
2. Алпатьев С.М. О поливных режимах сельскохозяйственных культур // Орошаемое земледелие в европейской части СССР. Москва, 1965. С. 185–190.
3. Алпатьев С.М. Зрошення і осушення земель. Київ: Урожай, 1971. 320 с.
4. Лизиметрические исследования в луговодстве / Н.А. Семенов и др. Ярославль, 2005. 498 с.
5. Муромцев Н.А. Мелиоративная гидрофизика почв. Ленинград: Гидрометеоздат, 1991. 272 с.
6. Журбицкий З.И. Теория и практика вегетационного метода. Москва, 1968. 250 с.
7. Методика проведення вегетаційних дослідів з регульованим водним режимом / Коломієць С.С. та ін. // Меліорація і водне господарство. Вип. 98. 2010. С. 128–137.
8. Hardij, R.W., Holsten, R.D., Jackson, E.K., & Burns, R.S. The acetylene – ethylene assay for N₂ fixation: laboratory and field evaluation // Plant Physiol. 1968. № 8. P. 1185–1207.
9. Розробити технології вирощування сільськогосподарських культур з елементами органічного та альтернативного землеробства з урахуванням агроресурсного потенціалу гумідної зони: звіт про НДР (проміжний, 2012 р.): № ДР 0111U006041/ІВПіМ НААН. Київ, 2012. 86 с.
10. Встановити закономірності водного обміну нових сортів культур суцільної сівби на меліорованих землях та обґрунтувати методологію формування інноваційних агротехнологій меліоративного землеробства: звіт про НДР (проміжний, 2018 р.): № ДР 0116U003970/ІВПіМ НААН. Київ, 2018. 70 с.

References

1. Alpat'yev, A.M. (1969). Vлагоoboroty v prirode i ikh preobrazovaniya [Moisture in nature and their transformation]. Leningrad: Gidrometeoizdat. [in Russian].
2. Alpat'yev, S.M. (1965). O polivnykh rezhimakh sel'skokhozyaystvennykh kul'tur. Oroshayemoye zemledeliye v yevropeyskoy chasti SSSR [On crop irrigation regimes. Irrigated agriculture in the European part of the USSR]. Moskva. [in Russian].
3. Alpat'yev, S.M. (1971). Zroshennya i osushennya zemel' [Irrigation and drainage of land]. Kyiv: Urozhay. [in Ukrainian].
4. Semenov, N.A., Muromtsev, N.A., Sabitov, G.A., & Korotkov, B.I. (2005). Lizimetricheskiye issledovaniya v lugovodstve [Lysimetric studies in meadow farming]. Yaroslavl'.
5. Muromtsev, N.A. (1991). Meliorativnaya gidrofizika pochv [Soil drainage hydrophysics]. Leningrad: Gidrometeoizdat. [in Russian].
6. Zhurbitskiy, Z.I. (1968). Teoriya i praktika vegetatsionnogo kharaktera [Theory and practice of the vegetative method]. Moskva. [in Russian].

7. Kolomiéts', S.S., Natal'chuk, A.M., Lukashuk, V.P., Polishchuk, K.V., & Zhemoyda, A.V. (2010). Metodika provedennya vegetatsiynikh doslidiv z regul'ovanim vodnim rezhimom [Method of conducting vegetation experiments with regulated water regime]. Melioratsiya i vodne gospodarstvo, 98, 128–137. [in Ukrainian].

8. Hardij, R.W., Holsten, R.D., Jackson, E.K., & Burns, R.S. (1968). The acetylene – ethylene assay for N₂ fixation: laboratory and field evaluation [The acetylene – ethylene assay for N₂ fixation: laboratory and field evaluation]. Plant Physiol, 8, 1185–1207.

9. IWPIМ NAAN. (2012). Rozrobyty tekhnolohiyi vyroshchuvannya sil'skohospodars'kykh kul'tur z elementamy organichnoho ta al'ternatyvnoho zemlerobstva z urakhuvanniam ahroresurnoho potentsialu humidnoyi zony [To develop technologies of cultivation of crops with elements of organic and alternative agriculture taking into account the agrosresource potential of the humid zone]: Zvit pro NDR (promizhniy, 2012 r.). № DR 0111U006041. Kyiv.

10. IWPIМ NAAN. (2018). Vstanovyty zakonornosti vodnoho obminu novykh sortiv kul'tur sutsil'noyi sivby na meliorovanykh zemlyakh ta obgruntuvaty metodolohiyu formuvannya innovatsiynikh ahrotekhnolohiy melioratyvnoho zemlerobstva [To establish regularities of water exchange of new varieties of crops of continuous sowing on the reclaimed lands and to substantiate the methodology of formation of innovative agro-technologies of reclamation agriculture]: Zvit pro NDR (promizhniy, 2018 r.). № DR 0116U003970. Kyiv.

С.С. Коломиец, О.Н. Нечай, О.В. Тураева, А.В. Гнелица
Метод изучения водопотребления сельскохозяйственных культур
в полевых вегетационных опытах

Аннотация. В условиях глобальных изменений климата изучение водопотребления новых сортов и гибридов сельскохозяйственных культур становится актуальной проблемой из-за необходимости экономного использования имеющихся водных ресурсов в производственном процессе и адаптации агротехнологий к климатическим изменениям. Разработанный способ инструментального измерения составляющих суммарного водопотребления базируется на использовании керамических мембран для автоматического поддержания различных уровней влагообеспеченности почвы в полевом вегетационном опыте при влиянии природных климатических факторов. Двухфакторный вегетационный опыт позволяет проводить сравнительный анализ структуры водопотребления культур при разных уровнях влагообеспеченности почвы и различных системах удобрения. Представлены конструктивные решения, история создания и становления полевых вегетационных опытов с управляемым уровнем влагообеспеченности почвы, их преимущества и недостатки. С 2017 г. полигон полевых вегетационных опытов функционирует на постоянной основе в с. Гора Бориспольского района Киевской области. Преимуществом этих опытов является высокая достоверность полученных закономерностей, обеспечивающая достаточное количество повторностей в каждом варианте; инструментальное измерение составляющих водопотребления – эвапорации из почвы, суммарного водопотребления и, по разнице, транспирации растений, которые доступно контролировать ежедневно и даже почасово в суточном цикле; двойное действие устройства влагообеспеченности позволяет как подавать воду в почву, так и отводить излишек воды после осадков к емкостям питания, что предупреждает анаэробизис в почве.

По результатам проведенных опытов установлены закономерности фундаментального характера: количественно оценено соотношение эвапорации и транспирации в течение периода вегетации культур; достоверно установлено влияние различных систем удобрения на составляющие суммарного водопотребления культур, в частности, доказано влияние микробиологических препаратов и участие почвенной биоты в расходовании воды; факторный анализ показал равнозначность факторов влагообеспеченности (38 %) и системы удобрений (36 %) на урожайность гречихи; в условиях гарантированной влагообеспеченности почвенная биота улучшает параметры плодородия почвы.

Сейчас полевой вегетационный опыт является незаменимым инструментом получения новых знаний, первичных закономерностей, которые станут основой сценарного моделирования адаптации агротехнологий к климатическим изменениям, имеет высокий нереализованный потенциал возможностей, а также высокий демонстрационный и образовательный потенциал для обучения студентов и аспирантов.

Ключевые слова: биопрепараты, вегетационный опыт, эвапорация, закономерности водопотребления, полевые культуры, системы удобрения, транспирация.

S.S. Kolomiets, O.M. Nechaj, O.V. Turaieva, O.V. Hnelytsia

The method of studying water consumption of crops in field vegetation experiments

Abstract. *In the context of global climate change, the study of water consumption of new varieties and hybrids of agricultural crops becomes an urgent problem because of the need for economical use of available water resources in the production process and the adaptation of agro-technologies to climate change. The developed method of instrumental measurement of the components of total water consumption is based on the use of ceramic membranes to automatically maintain different levels of soil moisture in the field vegetation experience under the influence of natural climatic factors. A two-factor vegetation experiment allows a comparative analysis of the structure of water consumption of crops at different levels of soil moisture and different fertilizer systems. The constructive decisions and the history of creation of field vegetation experiments with a controlled level of soil moisture supply, their advantages and disadvantages are presented. Since 2017, the field of vegetation field experiments has operated on a permanent basis in the village Mountain of Boryspil district of Kyiv region. The advantages of these experiments are the high reliability of the obtained patterns, which is ensured by a sufficient number of vascular replications in each variant; instrumental measurement of the components of water consumption - evaporation from the soil, total water consumption and, by difference, transpiration of plants, it is possible to control daily, and even hourly, in the daily cycle; the double action of the moisture supply device allows both to supply water to the soil, and to divert excess water after precipitation to the supply tanks, preventing anaerobiosis in the soil. Based on the results of the experiments, the mechanism of fundamental character were established: quantification of the ratio of evaporation and transpiration during the growing season of crops; the influence of different fertilizer systems on the components of total water consumption of crops has been reliably established, in particular the influence of microbiological preparations and the participation of soil biota in the water consumption have been proved; factor analysis proved the equivalence of moisture supply factors (38 %) and fertilizer (36 %) on buckwheat grain productivity; in conditions of guaranteed moisture supply, soil biota improves soil fertility parameters (organic matter, mobile NPK forms).*

For today the field vegetation experiment is an indispensable tool for obtaining new knowledge, primary a mechanisms enabling to form the basis of scenario modeling of the adaptation of agro-technologies to climate change and has high untapped potential, and high demonstration and educational potential for teaching students and postgraduate students.

Key words: *biological products, vegetative experience, evaporation, patterns of water consumption, field crops, fertilizer systems, transpiration.*

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg201902-182>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/182>

УДК 621.311.25:620.92

АЛЬТЕРНАТИВНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЗРОШУВАЛЬНИХ СИСТЕМ

О.О. Дехтяр, канд. техн. наук

Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна

<https://orcid.org/0000-0002-0011-7124>; e-mail: oksana.dehtiar@gmail.com

Анотація. У статті розглянуто сучасний рівень використання альтернативних джерел електроенергії у світі. Встановлено основні напрями розвитку світової енергетики, проаналізовано статистичні дані провідних енергетичних компаній, аналітичних міжнародних організацій, фінансових установ. На сьогодні всі цивілізовані країни успішно переходять на альтернативні джерела енергії: вітру, сонця, біопалива тощо. При цьому застосування енергії сонця є одним із найбільш перспективних невичерпних відновлювальних джерел енергії. Використання відновлювальної енергетики на заміну традиційної, заснованої на видобувних технологіях, що забруднюють атмосферу шкідливими викидами та сприяють збільшенню парникового ефекту, надає можливість зменшити навантаження на ресурсну базу та енергосистему країн та покращити екологію. Сталій розвиток аграрного сектора економіки України, зокрема зрошувального землеробства потребує зниження залежності від енергоносіїв. У структурі собівартості води для зрошення вагому частку становить вартість електроенергії. Саме тому для підвищення ефективності зрошувального землеробства, забезпечення високих та сталих врожайів сільськогосподарської продукції в умовах змін клімату обов'язковим є зниження витрат на споживання електроенергії. Зазначено необхідність використання альтернативних джерел енергії у водогосподарсько-меліоративному комплексі України в рамках імплементації енергетичної стратегії України, основною метою якої є перехід до енергоефективного та енергоощадного використання і споживання енергоресурсів. В Інституті водних проблем і меліорації досліджують і розробляють заходи та технології з підвищення енергоефективності для зменшення питомих витрат електроенергії на перекачування води насосними станціями та зменшення рівня втрат електроенергії на водозабір і транспортування води трактами подачі води. Одним із дієвих заходів зниження вартості електроенергії є впровадження альтернативних джерел енергії, зокрема сонячної енергетики. Проведено оцінку економічного потенціалу заходів з підвищення енергоефективності на зрошувальних системах. Розрахункова оцінка показала, що використання модулів сонячних електростанцій, встановлених над поверхнею відкритих зрошувальних каналів, дасть можливість знизити витрати на споживання електричної енергії в умовах постійного підвищення тарифів, тобто сприятиме підвищенню економічної ефективності зрошення, зменшенню частки водогосподарської галузі в загальнодержавному енергоспоживанні та позитивно вплине на навколишнє середовище. Збут надлишків електроенергії в енергосистему за «зеленими» тарифами може істотно зменшити терміни окупності модернізації інженерної інфраструктури зрошувальних систем.

Ключові слова: альтернативні джерела електроенергії, енергоефективність, сонячні електростанції, зрошувальні системи.

Постановка проблеми. В Україні вкрай незадовільно використовується потенціал наявних зрошувальних систем. Нарощування обсягів виробництва сільськогосподарської продукції потребує збільшення площ зрошуваних земель, що неможливо без модернізації та відновлення об'єктів інженерної інфраструктури зрошувальних систем.

Для підвищення ролі зрошення в аграрному секторі економіки країни, зменшення питомих витрат електроенергії на перекачування води насосними станціями, зменшення рівня втрат електроенергії на водозабір і транспортування води трактами водоподачі необхідно впроваджувати заходи та технології

з підвищення енергоефективності. Одним із дієвих заходів зниження вартості електроенергії є впровадження альтернативних джерел енергії, зокрема сонячної енергетики.

Мета досліджень. Аналіз основних світових тенденцій розвитку альтернативних видів електроенергії та обґрунтування використання сонячної енергетики для підвищення енергоефективності зрошувальних систем.

Методи дослідження. Дослідження базуються на систематизації статистичної та теоретичної інформаційної бази даних шляхом аналізу та оцінки їх складових. Було використано методичні підходи, які застосовуються у міжнародній практиці згідно з вимогами

міжнародних та європейських стандартів та чинних на сьогодні в Україні нормативних документів. Методологічною основою стали закони та законодавчі акти України, праці вітчизняних і зарубіжних учених із питань підвищення енергоефективності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Дослідженнями у сфері розвитку альтернативних джерел електроенергії, сонячної енергетики, впровадженням технологій енергозбереження займалися такі зарубіжні та вітчизняні вчені: Басок Б.І., Долінський А.А., Ільєсов В.А., Мисак Й.С., Возняк О.Т., Шаповал С.П., Войтюк С.Д., ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л.Л., Фризенко А.О., Діксон Д. Корбетта Дж., Шендлер Д., Мхітарян Н.М., Зінгер Ш., Pimentel D., Kumar S., Waqas A., Nirudh J, та інші. Проте в цій сфері залишилось ще багато питань, зокрема розробка та впровадження інноваційно-технічних рішень з підвищення енергоефективності водогосподарської галузі на шляху до сталого енергетичного розвитку країни.

Викладення основного матеріалу. У світі щорічно збільшується частка використання відновлюваної енергетики як обґрунтованої альтернативи традиційним видам палива та ефективного засобу декарбонізації економіки. Так, у період 2006–2016 рр. споживання енергії з використанням альтернативних джерел електроенергії у світі зросло з 93,2 млн. тонн нафтового еквівалента до 419,6 млн. тонн нафтового еквівалента, тобто у 4,5 рази.

Прогнози розвитку світової енергетики, оснований на аналізі статистичних даних провідних енергетичних компаній, аналітичних міжнародних організацій, фінансових установ, свідчать, що у період 2015–2035 рр. частка використання альтернативних джерел електроенергії в глобальній структурі енер-

госпоживання зростатиме з 3% до 14% [1-4]. У таких розвинених країнах як США, Німеччина, Англія, Іспанія, Італія, Японія планують довести частку альтернативних джерел енергії в загальному енергобалансі до 20–50%. Темпи росту використання альтернативних джерел електроенергії в різних країнах наведено на рис. 1. Станом на 2017 р. їх частка в загальному обсязі виробництва електроенергії у світі збільшилася з 7,4% до 8,4%, а в Європі з 16,5% до 18,3%. Серед країн світу найбільший приріст спостерігається у Китаї – з 6,4 млн. тонн нафтового еквівалента у 2008 р. до 106,7 млн. тонн нафтового еквівалента у 2017 р.

До того ж слід зазначити, що енергія вітру забезпечує більше половини зростання відновлюваної енергії, а сонячна енергія – більше третини від загальної кількості.

Експертами Міжнародного енергетичного агентства наголошено, що до 2050 р. сонячна енергія може стати найбільш використовуваним джерелом вироблення електроенергії в світі, обійшовши не тільки вітрову і гідроенергію, а й викопне паливо, а також атомну енергію. І саме завдяки застосуванню сонячної енергії щорічні викиди вуглекислого газу скоротяться на більш ніж 6 мільярдів тонн, що перевищує усі нинішні викиди CO₂ в США.

В Україні також наявна стійка тенденція до зростання частки альтернативних джерел електроенергії. Обмеженість традиційних викопних ресурсів, постійне зростання вартості електроенергії та необхідність охорони навколишнього середовища вимагають активного впровадження енергозберігаючих технологій та переходу до використання відновлюваних джерел енергії [5].

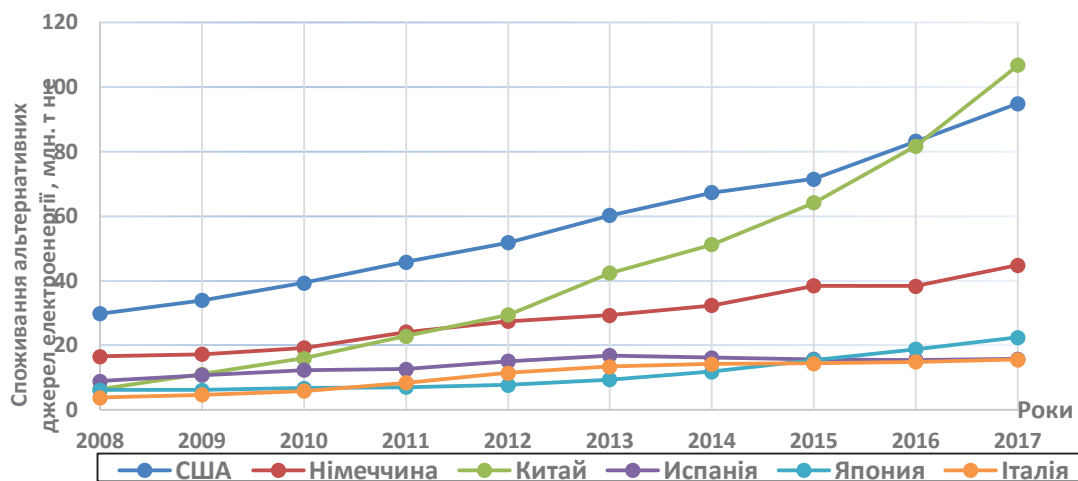


Рис. 1. Підвищення рівня використання альтернативних джерел енергії в різних країнах
Джерело: за даними BP Statistical Review of World Energy 2017

За аналізом статистичних метеорологічних даних середньорічна кількість сонячної енергії, що надходить на поверхню території України, на півночі складає 1070 кВт·год/м², а на півдні – 1400–1500 кВт·год/м² (рис. 2) [6]. Тобто в середньому по країні потенціал сонячної енергії досить високий, близько 1285 кВт год/м, і набагато вищий ніж у Німеччині – 1000 кВт·год/м, Польщі – 1080 кВт·год/м та в ряді інших країн. Це обумовлює перспективність ефективного використання сонячних електростанцій (СЕС) на території України.

Енергетичною стратегією України на період до 2035 р. «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність», схваленою розпорядженням Кабінету Міністрів України від 18.08.2017 р. № 605-р, визначено мету і цілі розбудови енергетичного сектора відповідно до потреб економічного і соціального розвитку країни на період до 2035 р. [7].

Головною метою є забезпечення енергетичної та екологічної безпеки і перехід до енергоефективного та енергоощадного використання і споживання енергоресурсів із впровадженням інноваційних технологій. Як зазначив Голова Держенергоефективності Сергій Савчук, нова мета України – досягти 25% енергії з відновлюваних джерел у загальному енергоспоживанні країни до 2035 р., як однієї з важливих складових досягнення енергетичної незалежності.

За період з 2006 по 2016 рр. темпи зростання відновлюваної енергетики в Україні стано-

вили 46,4% від 0,1 до 0,4 млн. тонн нафтового еквівалента, проте до рівня розвинених країн ще далеко. На сьогодні альтернативна енергетика задовольняє лише 1–2% потреб України в енергоресурсах (рис. 3).

В останні роки в Україні активно розвивається сонячна енергетика. Використання енергії сонячного випромінювання найбільш доцільно в умовах півдня України, де сонячна активність найвища і становить близько 1300 кВт·год/м². Так, у Херсонській області в середньому 240 сонячних днів на рік, що є високим показником для успішного розвитку сонячної енергетики. Першу СЕС у Скадовському районі Херсонської області потужністю 9,8 МВт побудували ще у 2013 р. На сьогодні в області вже збудовано 24 СЕС загальною потужністю 208,02 МВт, що працюють у Херсоні, Білозерці, Каховці, Генічеську, Новотроїцьку, Олешках та біля інших міст та селищ області. Активно розвивається альтернативна енергетика і в інших регіонах України: Черкаській, Львівській, Київській, Хмельницькій, Дніпропетровській, Закарпатській та інших областях України [8-9].

У Нікопольському районі Дніпропетровської області компанія «Солар-Фарм-1» у січні 2019 р. ввела в експлуатацію найбільшу в Україні СЕС потужністю 200 МВт, що входить до трійки найбільших у Європі.

Завдяки розвитку інноваційних технологій та обладнання сонячна енергетика з кожним роком стає все більш дешевою та ефективною. Однак для розміщення СЕС потрібні

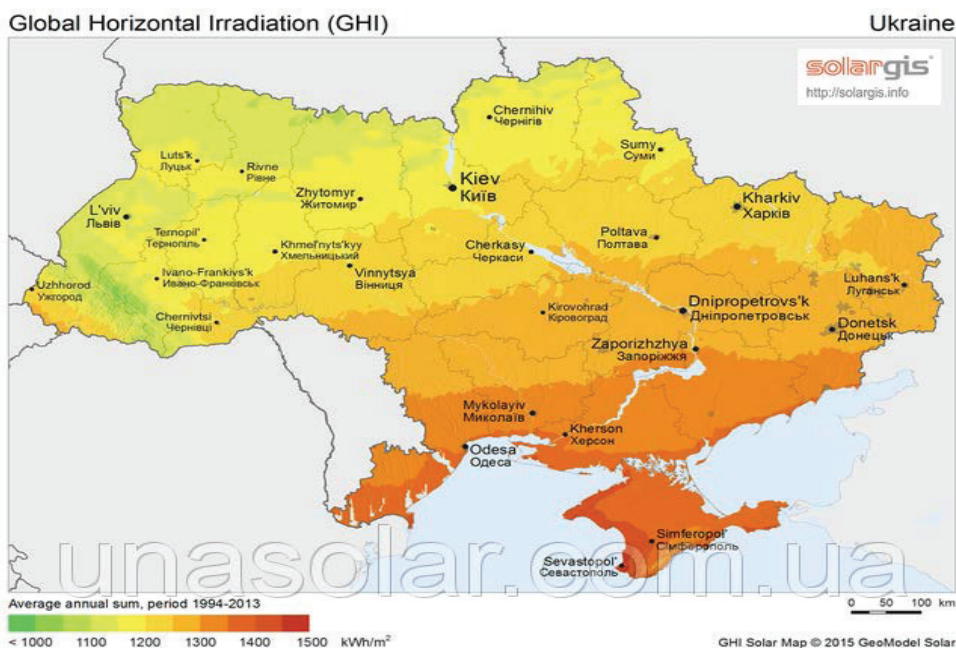


Рис. 2. Сумарний річний потенціал сонячної енергії в різних областях території України

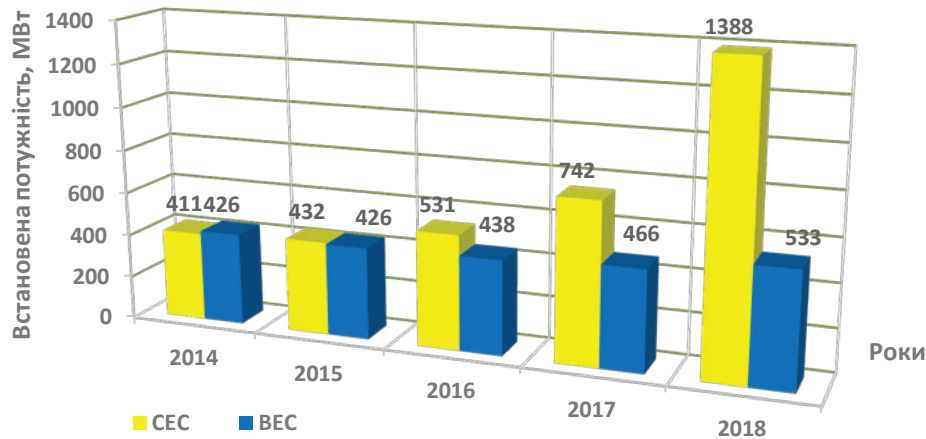


Рис. 3. Встановлена потужність об'єктів сонячної та вітроенергетики

Джерело: за даними звітів Держенергоефективності

значні площі. Для отримання 1 МВт електроенергії площа сонячної станції має бути приблизно 1,0–1,9 га землі, яка стає непридатною для суспільних потреб та сільськогосподарського використання. Наприклад, площа СЕС «Старокозаче» в Одеській області потужністю 42,95 МВт складає 80 га.

Саме тому в деяких країнах для будівництва сонячних електростанцій почали використовувати водні об'єкти. Так в Японії введено в експлуатацію сонячну електростанцію на воді, яка складається з більше 50 тис. сонячних панелей, що розташовані на 18 га площі озера над греблею. Річний обсяг виробництва електроенергії цієї СЕС – 16 мільйонів кВт·год, що відповідає споживанню електроенергії приблизно п'ятьма тисячами домогосподарств протягом року.

В Індії, у рамках проекту «Solar energy», на 15-метрових металевих конструкціях над зрошувальним каналом було облаштовано 750 метрів сонячних панелей, що виробляють 1 МВт електроенергії. На сьогодні близько 100 МВт сонячних станцій над каналами запроєктовано або будуються у восьми штатах Індії [10].

Таїланд планує побудувати найбільший у світі плавучий сонячний парк загальною потужністю понад 2,7 ГВт на дев'яти водосховищах ГЕС, що дозволить поліпшити продуктивність гідроелектростанцій, згладжуючи перепади напруги у періоди посухи та обміління річок.

Сталий розвиток аграрного сектора економіки України, і зокрема зрошувального землеробства, потребує зниження залежності від енергоносіїв. З огляду на те, що в структурі собівартості води для зрошення вартість електроенергії становить близько 75%, однією

з головних цілей ефективного функціонування зрошення для забезпечення високих та сталих врожаїв сільськогосподарської продукції в умовах змін клімату є значне зниження витрат на споживання електроенергії. Енергоспоживання зрошувальних систем можна скоротити при використанні власних джерел енергопостачання, включаючи відновлювані джерела енергії. До того ж максимальна ефективність сонячних електростанцій (СЕС) досягається саме протягом поливного сезону.

Зважаючи на те, що витрати на споживання електричної енергії в умовах постійного підвищення тарифів є вагомим статтею витрат на цілі зрошення в Інституті водних проблем і меліорації НААН проводяться дослідження по розробці енергоефективних заходів на об'єктах інженерної інфраструктури меліоративних систем, а саме: заходів з модернізації існуючого насосно-силового обладнання шляхом заміни на ефективні сучасні агрегати з можливістю максимального маневрування відповідно попиту; використання переваг зонних тарифів на електричну енергію; ефективного застосування додатково створених гідроакumuлюючих систем для надійного і безперервного обслуговування водокористувачів на добовому інтервалі та для максимального збільшення долі більш дешевих тарифів або для створення балансуєної потужності для енергосистеми; створення конкурентноспроможних і ефективних енергосистем власних потреб на відновлюваних джерелах енергії.

Було проведено експертну оцінку економічного потенціалу впровадження перелічених вище заходів на відрізку довжиною 25 км від головної насосної споруди (ГНС) одного з магістральних каналів у Херсонській області. При оцінці враховано, що заміна

насосів на сучасні агрегати дасть підвищення їх енергоефективності на 40%. Крім цього, передбачено спорудження на 25-му кілометрі перегороджуючої споруди з засобами регулювання та обладнанням малої гідроелектростанції (ГЕС), що забезпечують збереження нижче цієї споруди за течією тих же самих умов (напору та витрат води), що і до встановлення цієї споруди. Зазначена перегороджуюча споруда своїм основним призначенням має накопичення за ніч надлишку води, достатнього для живлення системи водою протягом частини доби після зупинки насосів ГНС і до їх наступного включення.

Крім того, передбачено спорудження у «поді» каналу зовнішнього резервуару для накопичення протягом часу дії «нічного» тарифу додаткової кількості води для запобігання перевищенню проектного рівня води у каналі. Заповнення та спорожнення зовнішнього резервуару у добовому циклі відбувається за принципом гідроакумулюючої станції (ГАЕС) із використанням реверсивної машини «насос-турбіна / двигун-генератор».

Для використання альтернативних джерел енергії при проведенні розрахункової оцінки запропоновано встановлення над дзеркалом води в магістральному каналі на відповідній висоті поперечних рамних конструкцій з точковими опорами на дно та (або) стінки каналу. Верхні частини цих конструкцій створюють площину, на якій монтуються панелі СЕС з трекерами, які автоматично підлаштовують площину сонячних панелей так, щоб в даний момент сонячне проміння потрапляло на них під прямим кутом для отримання максимальної потужності сонячних модулів та забезпечення більшої кількості згенерованої енергії (рис. 4, 5).

Встановлення сонячних модулів в зоні дії відкритого зрошувального каналу може вирішити такі питання:

- обмеженої наявності у регіоні вільних земель;
- невикористання сільськогосподарських площ для встановлення СЕС;
- затінення поверхні води для зниження її втрат на випаровування.

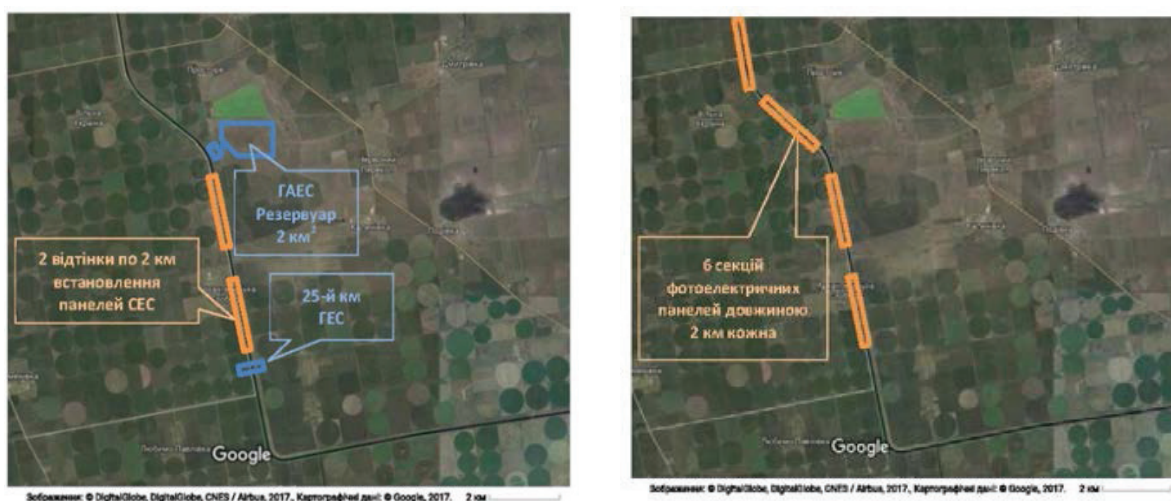


Рис. 4. Схема розміщення малої ГЕС, ГАЕС та різної кількості сонячних модулів на ділянці зрошувального каналу



Рис. 5. Сонячні панелі з трекерами

1. Дані розрахункової оцінки по використанню СЕС

Показники	Одиниці вимірювання	Значення
Ширина каналу(38+5+38)	м	81,00
Ширина площі відтинку СЕС	м	60,00
Загальна довжина відтінків	м	12 000
Загальна площа СЕС	тис. м ²	720,00
Площа для встановлення 40 модулів	тис. м ³	0,20
з 2-осьовим трекером	тис. м ³	0,25
Потужність 1 модуля	кВт	0,25
з 2-осьовим трекером +25%	кВт	0,31
Загальна кількість модулів СЕС з трекерами	шт.	115 200
Загальна потужність модулів СЕС з трекерами	кВт	36 000
Години максимальної генерації, літній період	год	6,00
зимовий період	год	2,00
Добове виробництво енергії, у літній період	кВт·год	216 000
у зимовий період	кВт·год	72 000
Загальне виробництво енергії згідно розрахунку (травень-вересень)	кВт·год	33 048 000

Слід відзначити також наявність та доступність ліній електропередач у зоні дії зрошувальних каналів для підключення. До того ж облаштування сонячних модулів посередині каналу має забезпечити певний їх захист від несанкціонованого втручання, а висота облаштування сонячного фотоелектричного обладнання дозволить проводити необхідні експлуатаційні та ремонтні роботи на зрошувальному каналі. Беручи до уваги, що осідання пилу на фотоелектричному обладнанні знижує його продуктивність на 15–20% і потребує періодичного промивання водою, у випадку облаштування сонячних панелей у зоні дії зрошувального каналу це також легко вирішується. У таблиці 1 наведено дані по розрахунковій оцінці використання СЕС у зоні дії магістрального каналу.

Розрахунки показали, що при використанні тризонного тарифу добовий економічний ефект порівняно з базою порівняння – простим тарифом – складає 2 259,762 тис. грн. До того ж досягається зменшення добових витрат електроенергії приблизно на 50%. Використання сонячних електростанцій для виробництва електроенергії на відкритих зрошувальних каналах та її продаж за діючим «зеленим» тарифом дозволить фінансово компенсувати

скорочені на 50% витрати на споживання електричної енергії. Впровадження комплексу цих заходів зможе забезпечити фінансову енергетичну нейтральність ГНС каналу. При цьому додаткова електрична енергія, вироблена ГЕС та ГАЕС, буде використовуватися для балансування власних джерел енергії.

Висновок. Широке використання альтернативних джерел енергії, і зокрема сонячної енергетики, разом із впровадженням комплексу енергозберігаючих заходів дасть змогу знизити витрати на споживання електричної енергії в умовах постійного підвищення тарифів, зменшити втрати електроенергії, а з екологічної точки зору сприятиме скороченню викидів парникових газів. Збут надлишків електроенергії в енергосистему за «зеленими» тарифами може істотно знизити терміни окупності модернізації гідротехнічних споруд зрошувальних систем. Розрахункова оцінка економічного потенціалу заходів із підвищення енергоефективності показала, що впровадження відновлюваних джерел енергії на зрошувальних системах сприятиме підвищенню економічної ефективності зрошення, зменшенню частки водогосподарської галузі в загальнодержавному енергоспоживанні та позитивно вплине на навколишнє середовище.

Бібліографія

1. FAO. (2011). «Energy-smart» agriculture needed to escape fossil fuel trap. Issue Paper. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. 78 pages.: Retrieved from: <http://www.fao.org/news/story/en/item/95161/icode>.
2. UNCTD. (2011). Technology and innovation report Powering Development with Renewable Energy Technologies. United nations conference on trade and development. Retrieved from: https://unctad.org/en/Docs/tir2011overview_en.pdf.

3. BP. (2017). BR Statistical Review of World Energy. Retrieved from: https://www.bp.com/content/dam/bp-country/de_ch/PDF/bp-statistical-review-of-world-energy-2017-full-report.pdf.
4. НЕК «Укренерго». Огляд аналітичних робіт міжнародних енергетичних організацій щодо стану та сценаріїв розвитку світової енергетичної сфери з прогнозом інвестування в енергоефективність Київ. 2018. 94 с. URL: https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/06/2.-rozvyt_svit_energet_sfery.pdf.
5. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України. (2018). Інформаційні матеріали. URL: <http://sae.gov.ua/uk/content/informatsiyini-materialy>.
6. World Bank Group. (2016). The Global Solar Atlas Retrieved from: <https://globalsolaratlas.info>.
7. Міністерство енергетики і вугільної промисловості. Енергетична стратегія України на період до 2035 року: безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність. 2017. URL: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/publish/article?art_id=245234085.
8. Сонячна енергетика-один із перспективних напрямів розвитку відновлюваної енергетики в Україні. Урядовий портал. 8.04.2016. URL: http://www.kmu.gov.ua/control/publish/article?art_id=248970577.
9. Укренерго. Укренерго – за розвиток самодостатньої «зеленої» генерації. 2018. Режим доступу: <http://www.ukrenergo.energy.gov.ua/Pages/ua/DetailsNew.aspx?nID=3689>.
10. Федосенко Н. Над водними каналами Індії державна компанія встановить сонячні батареї потужністю 1250 МВт. 2016. URL: <https://ecotown.com.ua/news/Nad-vodnymy-kanalamy-Indiyi-derzhavna-kompaniya-vstanovyt-sonyachni-batareyi-potuzhnisty-1250-MVt>.

References

1. FAO. (2011). «Energy-smart» agriculture needed to escape fossil fuel trap. Issue Paper. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. 78 p.: Retrieved from: <http://www.fao.org/news/story/en/item/95161/icode>.
2. UNCTD. (2011). Technology and innovation report Powering Development with Renewable Energy Technologies. United Nations conference on trade and development. Retrieved from: https://unctad.org/en/Docs/tir2011overview_en.pdf.
3. BP. (2017). BR Statistical Review of World Energy. Retrieved from: https://www.bp.com/content/dam/bp-country/de_ch/PDF/bp-statistical-review-of-world-energy-2017-full-report.pdf.
4. Ukrenergo. (2018). Review of the analytical work of international energy organizations on the state and scenarios of development of the world energy sector with the forecast of investment in energy efficiency Kyiv: Ukrenergo. Retrieved from: https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/06/2.-rozvyt_svit_energet_sfery.pdf. [in Ukrainian].
5. State Agency for Energy Efficiency and Energy Saving of Ukraine. (2018). Information materials. Retrieved from: <http://sae.gov.ua/uk/content/informatsiyini-materialy>. [in Ukrainian].
6. World Bank Group. (2016). The Global Solar Atlas Retrieved from: <https://globalsolaratlas.info>.
7. Ministry of Energy and Coal Industry. (2017). Ukraine's energy strategy for the period until 2035: security, energy efficiency, competitiveness. Retrieved from: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/publish/article?art_id=245234085. [in Ukrainian].
8. Government portal. (2016). Solar energy is one of the promising directions for the development of renewable energy in Ukraine. Retrieved from: http://www.kmu.gov.ua/control/publish/article?art_id=248970577. [in Ukrainian].
9. Ukrenergo. (2018). Ukrenergo – for the development of self-sufficient “green” generation. Retrieved from: <http://www.ukrenergo.energy.gov.ua/Pages/ua/DetailsNew.aspx?nID=3689> [in Ukrainian].
10. Fedosenko, N. (2016). Over a water channel in India, a state-owned company will install solar power 1250 MW. Retrieved from: <https://ecotown.com.ua/news/Nad-vodnymy-kanalamy-Indiyi-derzhavna-kompaniya-vstanovyt-sonyachni-batareyi-potuzhnisty> [in Ukrainian].

О.А Дехтяр

Альтернативные источники энергии

для повышения энергоэффективности оросительных систем

Аннотация. В статье рассматривается современный уровень использования альтернативных источников электроэнергии в мире. Установлены основные направления развития мировой энергетики, проанализированы статистические данные ведущих энергетических компаний, аналитических международных организаций, финансовых учреждений. Ныне все цивилизованные страны успешно переходят на альтернативные источники энергии: ветра, солнца, биотоплива и др.

При этом применение энергии солнца является одним из самых перспективных неисчерпаемых, возобновляемых источников энергии. Использование возобновляемой энергетики на замену традиционной, основанной на добывающих технологиях, загрязняющих атмосферу вредными выбросами и способствующих увеличению парникового эффекта, позволяет уменьшить нагрузку на ресурсную базу и энергосистему стран и улучшить экологию. Устойчивое развитие аграрного сектора экономики Украины, и в частности орошаемого земледелия, требует снижения зависимости от энергоносителей. В структуре себестоимости воды для орошения весомую долю составляет стоимость электроэнергии. Именно поэтому для повышения эффективности орошаемого земледелия, обеспечения высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственной продукции в условиях изменения климата обязательным является снижение затрат на потребление электроэнергии. Указана необходимость использования альтернативных источников энергии в водохозяйственно-мелиоративном комплексе Украины в рамках имплементации энергетической стратегии Украины, основной целью которой является переход к энергоэффективному и энергосберегающему использованию и потреблению энергоресурсов. В Институте водных проблем и мелиорации исследуют и разрабатывают мероприятия и технологии по повышению энергоэффективности для уменьшения удельных расходов электроэнергии на перекачку воды насосными станциями, снижения уровня потерь электроэнергии на водозабор и транспортировку воды трактами подачи воды. Одной из действенных мер снижения стоимости электроэнергии является использование альтернативных источников энергии, в частности солнечной энергетики. Проведена оценка экономического потенциала мероприятий по повышению энергоэффективности на оросительных системах. Расчетная оценка показала, что использование модулей солнечных электростанций, установленных над поверхностью открытых оросительных каналов, позволит снизить затраты на потребление электрической энергии в условиях постоянного повышения тарифов, то есть способствовать повышению экономической эффективности орошения, уменьшению доли водохозяйственной отрасли в общегосударственном энергопотреблении и положительно повлияет на окружающую среду. Сбыт излишков электроэнергии в энергосистему за «зелеными» тарифами может существенно уменьшить сроки окупаемости модернизации инженерной инфраструктуры оросительных систем.

Ключевые слова: альтернативные источники электроэнергии, энергоэффективность, солнечные электростанции, оросительные системы.

O.O. Dekhtiar

Alternative energy sources for increasing energy efficiency of irrigation systems

Abstract. The article discusses the current level of use of alternative sources of electrical power in the world. The main areas of the global power development were determined, the statistical data of leading energy companies, analytical international organizations and financial institutions were analysed. For today, all civilized countries successfully switch to alternative energy sources: wind, solar energy, biofuels, etc. In addition, the use of solar energy is one of the most promising inexhaustible, renewable energy sources. The use of renewable energy sources replaces the traditional one, based on extractive technologies polluting the atmosphere with harmful emissions, and enhances the greenhouse effect, reduces the burden on the resource base and energy systems of countries and improves the environment. Sustainable development of the agricultural sector of the economy of Ukraine and, in particular, irrigated agriculture requires a reduction in energy dependence. In the structure of the cost of irrigation water, a significant share accounts for electrical power. That is why to increase the efficiency of irrigated agriculture, to ensure high and sustainable yields in the context of climate change, it is extremely important to reduce the cost of power consumption. The need to use alternative energy sources in the drainage complex of Ukraine as part of the implementation of the energy strategy of Ukraine, aimed at the transition to efficient use and consumption of energy resources is highlighted. The Institute of Water Problems and Land Reclamation deals with the investigations of measures and technologies to improve power efficiency to reduce the specific energy consumption for pumping water by pumping stations and to reduce the rate of power losses for water intake and water transportation by water supply paths. One of the effective measures to reduce power cost is the use of alternative energy sources, in particular solar energy. The economic potential of the measures for improving energy efficiency in irrigation systems was estimated. The estimation showed that the use of modules of solar power plants installed above the surface of open irrigation canals will lead to lower energy costs in the face of a constant increase in tariffs, that is, it will help to increase the economic efficiency of irrigation, reduce the share of water resources in national energy consumption and have a positive environmental effect. The sale of surplus power to the energy system at "green" tariffs can significantly reduce the payback period for the modernization of the engineering infrastructure of irrigation systems.

Key words: alternative sources of energy, energy efficiency, solar power plants, irrigation systems

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg201902-179>Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/179>

УДК 631.671:551.49:004

РОЗВИТОК МОНІТОРИНГОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ВОЛОГОСТІ ҐРУНТУ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КЕРУВАННЯ ЗРОШЕННЯМ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-РОЗРАХУНКОВИМ МЕТОДОМ

О.П. Войтович¹, аспірант, В.П. Ковальчук², докт. тех. наук

Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;

¹ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;<https://orcid.org/0000-0002-1513-4744>; e-mail: aleksvoitovych@gmail.com² Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;<https://orcid.org/0000-0001-7570-1264>; e-mail: volokovalchuk@gmail.com

Анотація. У статті виділені актуальні проблеми розвитку моніторингових досліджень вологості ґрунту і метеорологічних показників для інформаційного забезпечення систем керування зрошенням. На основі аналізу літератури показано, що керування вологістю ґрунту може здійснюватися як безпосередньо за результатами вимірювань вологості ґрунту, так і використовуючи розрахункові методи. За наявності автоматично отриманих даних метеорологічних прогнозів прийняття рішень про полив відбувається експериментально-розрахунковим методом. Моніторингові дослідження складають експериментальну частину і використовуються у якості зворотного зв'язку при управлінні вологістю. Вимірювання вологості ґрунту рекомендується з використанням різноманітних сенсорів вологості ґрунту непрямыми методами визначення. В якості сенсорів можна застосувати різні тензіометри, діелектричні та резистивні датчики. Розрахункову частину складають критерії прийняття рішень про початок поливу сільськогосподарських культур, балансовий метод прогнозу і розрахунку вологості ґрунту чи вологозапасів у ґрунті (або багаточасова математична модель вологоперенесення за наявності достатніх для її роботи вхідних параметрів) з використанням автоматичного метеорологічного прогнозу. Статтю проілюстровано результатами лабораторного модельного експерименту та польових досліджень з автоматизованою передачею даних вимірювання і реалізацією зворотного зв'язку при керуванні вологістю ґрунтів. Модельний лабораторний експеримент використовувався для апробації конструктивних, технічних і технологічних показників обладнання для автоматичного моніторингу та відпрацювання експериментально-розрахункового методу. Практичні прогнози, розрахунки і отримання даних вимірювань вологості ґрунту і метеорологічних показників за реалізації зворотного зв'язку при керуванні поливами розглянуто на прикладі поля кукурудзи в господарстві на Черкащині. Результати лабораторного експерименту і польових досліджень показують ефективність прогнозування вологості ґрунту згаданим методом. Корекцію прогнозованої вологості ґрунту за безпосереднім автоматизованим вимірюванням на полі за допомогою наземних датчиків рекомендується проводити щоденно.

Ключові слова: вологість ґрунту, меліорація, метеорологічні показники, автоматизований моніторинг, керування зрошенням, зворотний зв'язок, експериментально-розрахунковий метод, система підтримки прийняття рішень.

Постановка завдання. Інформаційні технології передбачають розроблення систем керування вологістю ґрунту за оптимізації водного режиму під заплановану врожайність. В основному це досягається шляхом розробки інформаційних систем, які автоматизують та спрощують процес прийняття рішень за керування зрошенням.

В Україні розробки систем керування зрошенням впроваджують з кінця 80-х років 20-го століття [1-2]. Характерною ознакою перелічених пропозицій є складність в експлуатації та необхідність залучення до роботи спеціалістів, науковців, інженерів.

Закордоном при керуванні вологістю ґрунту у системах підтримки прийняття

рішень [3-6] для вимірювання вологості ґрунту на полі використовують різноманітні сенсори [2-4, 6-8]. Прийняття рішень про проведення поливу здебільшого відбувається лише на основі показання датчиків [4; 6; 8]. Балансова модель [3] отримує з погодних Інтернет-сервісів дані лише «на сьогодні». СППР [6] використовує прогноз погоди для врахування випадання опадів при призначенні поливу. Такі моделі не націлені на прогнозування вологості ґрунту.

В Інституті водних проблем і меліорації НААН розроблено систему «Полив онлайн» [9], що використовує 5-денний прогноз погоди (для розрахунку евапотранспірації і врахування опадів) [10]. Бездротовий

моніторинг вологості ґрунту і метеорологічних показників на полі у цій системі використовуються у якості зворотного зв'язку для керування вологістю ґрунту на полі і щоденної корекції прогнозованої вологості. Це зумовлено тим, що будь-яка система точного зрошення – це багатокомпонентний та складний процес. І серед актуальних сучасних напрямів розвитку таких систем є пошук можливостей автоматизації складних процесів, бездротової передачі даних вимірювання вологості ґрунту і метеорологічних показників на полі.

У роботі ми пропонуємо низку можливостей удосконалення та автоматизації роботи системи вимірювання для управління зрошенням.

Метою роботи є розробка інформаційної складової моніторингу вологості і метеопказників на полі для забезпечення прийняття рішень відносно поливу експериментально-розрахунковим методом.

Методи досліджень. Об'єктом управління в системі «Полив онлайн» [9] є вологість ґрунту на полі (рис. 1), на яку впливають неконтрольовані зовнішні фактори, до яких належать температура та вологість повітря, опади, вітер, хмарність та атмосферний тиск. Вони прогножуються синоптичним методом, який базується на використанні низки виявлених закономірностей у розвитку атмосферних процесів [10], з деяким наближенням, і використовуються у вигляді вхідних параметрів для блоку прийняття рішень (рис. 1).

Прогнози атмосферних показників отримуються з загальнодоступних погодних сайтів, зберігаються в базі даних [10].

Використовуючи ці дані, автоматично розраховується прогноз на евапотранспірацію.

Вплив на об'єкт управління здійснюється за допомогою поливу сільськогосподарських культур. Прийняття рішень про полив може відбуватись як за результатами безпосередніх вимірювань вологості ґрунту [4; 6-8], так і на основі прогнозування вологості ґрунту розрахунковими методами [1-2] або поєднання розрахунків із вимірюванням [9].

Блок прийняття рішень з планування поливних режимів спирається на критерій прийняття рішень. Критерій визначає досягнення деякого критично низького значення середньої вологості шару ґрунту певної товщини (розрахункового шару) [10; 11]:

$$\theta_h^{сеп} = \frac{\sum_{i=1}^m \theta_i}{m}; \quad (1)$$

де θ_i – вологість ґрунту в i -му шарі; m – число горизонтів ґрунту, що складають розрахунковий шар h .

Блок може використовувати багат шарові моделі вологоперенесення [9; 11] або двошарові балансові моделі вологості ґрунту [2; 12; 13]. Балансова модель прогнозування стану вологості ґрунту:

$$D_{i+1} = D_i + (K \cdot \alpha \cdot E - P) - m, \text{ мм або м}^3/\text{га} \quad (2)$$

де D_{i+1} , D_i – дефіцит вологості ґрунту на початок і кінець розрахункового періоду (у наших дослідженнях це 1 доба, але може бути 5 діб або декада); E – сумарне випаровування; α – редуційний коефіцієнт зниження

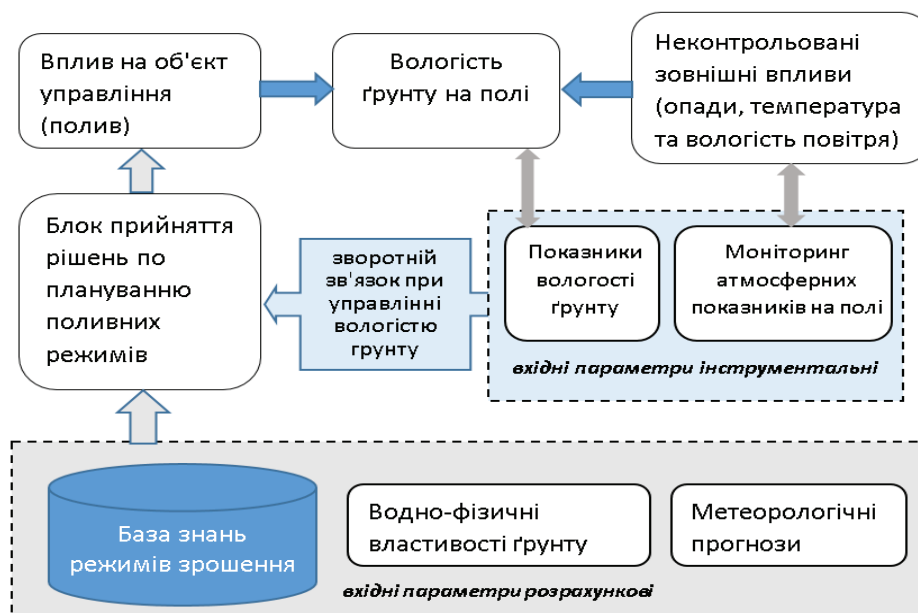


Рис. 1. Система збору та передачі даних для управління поливами

випаровування внаслідок неоптимального зволоження ґрунту: $\alpha = (D_{BB} - D_i)/0,5D_{BB}$; P – атмосферні опади; m – поливна норма; D_{BB} – дефіцит при вологості в'янення. Евапотранспірація може розраховуватись кількома методами: Штойко [13] Пенмана-Монтейта [14] або Іванова [12].

Отже, керування поливом здійснюється на основі **експериментально-розрахункового методу**, який поєднує як математичні розрахунки (1)-(2) або моделювання вологоперенесення, так і фактичні дані з поля, отримані за допомогою наземних датчиків. Реалізація експериментально-розрахункового методу на основі моделювання вологоперенесення буде наведена в іншому дослідженні. При оперативному керуванні поливом здійснюється періодична корекція вологості ґрунту за безпосереднім вимірюванням та визначення строків і норм поливів за прогнозуванням погоди на п'ятиденку. Таким чином, відбувається керування поливами на «ковзному інтервалі» [15] з використанням прогнозних даних і розрахунків. Виникає питання **необхідності і частоти оберненого зв'язку в експериментальних методах визначення вологості і метеопоказників на полі, способу вимірювання і передачі даних з поля**.

Інструментальну частину складають польові метеостанції та вологоміри [2-4, 7-9], які автоматично отримують дані про вологість ґрунту та атмосферні показники у визначеній точці поля та надсилають їх на Інтернет-сервер для подальшої обробки та розрахунків.

Існує декілька поширених методів вимірювання вологості ґрунту, які умовно можна розділити на прямі, непрямі та дистанційні.

Прямі методи передбачають безпосереднє визначення кількості води в зразку ґрунту шляхом її відокремлення. Найпростішим у технічному плані тут виявився термостатно-ваговий метод, який передбачає випаровування води із зразків ґрунту. Вологість ґрунту розраховується різницею в масі сухого та вологого зразка ґрунту. Метод є громіздким і інерційним. У даному дослідженні не застосовується.

Непрямі методи визначення вологості ґрунту базуються на вимірюванні його фізичних характеристик, які змінюються від вмісту води в ґрунті. Вимірювання проводять як механічними, так і електронними приладами, а найпоширенішими серед них стали тензіометри [8; 9], діелектричні [3; 4] та резистивні датчики [6; 7; 9]. Перевагою непрямих методів вважається можливість автоматизації процесу отримання даних про фізичні характеристики ґрунту. Але склад-

ністю стає визначення зв'язку між цими фізичними властивостями та ґрунтовою вологою.

Дистанційні методи вимірювання вологості ґрунту зазвичай проводять через супутникові знімки, але то є предмет інших досліджень.

Результати досліджень. Наведемо реалізацію **експериментально-розрахункового методу**, використовуючи залежності (1)-(2) (при неповноті даних для моделювання вологоперенесення), результати лабораторного експерименту та польових досліджень з **автоматизованою передачею даних вимірювання і реалізацією зворотного зв'язку при керуванні вологістю ґрунту**.

Кількісну величину вологості ґрунту вимірювали опосередковано декількома методами, які базуються на зміні величини електричної провідності, діелектричних властивостей ґрунту чи всмоктуючого потенціалу ґрунту залежно від рівня його зволоженості. Достовірність та коректність цих методів залежить від точності визначення водно-фізичних властивостей ґрунту і їх представлення у вигляді залежностей Ван-Генухтена [16].

Лабораторний експеримент. Для практичного відпрацювання **експериментально-розрахункового методу** прогнозування вологості ґрунту і апробації «зворотного зв'язку» восени 2018 і взимку 2019 р. в лабораторії ІВПіМ проведено модельний лабораторний експеримент (рис. 2). Водно-фізичні властивості ґрунту розраховано за допомогою програми «розетта» [17]. Потенціал вологи щогодинно вимірювали автоматичним тензіометром власної конструкції. Переведення вологості в потенціал і навпаки виконувалось за формулами [16].

Розрахунки прогнозу поливів проводили за двошаровою балансовою моделлю, що використовує залежність (2) для визначення дефіциту вологості ґрунту. Евапотранспірація розраховувалась за автоматично отриманими даними про температуру і відносну вологість повітря у лабораторії із застосуванням біофізичного методу Штойко, розробленого Інститутом зрошувального землеробства НААН [13].

Автоматично отримані дані про фактичну і прогнозовану вологість ґрунту обробляються блоком прийняття рішень з планування поливів. Система співставляє відповідність вологості ґрунту пороговому значенню у базі знань (рис. 2) відносно поливних норм та режимів зрошення.

Робота системи автоматичних вимірювань виявилась достатньо точною і стабільною для розрахунків вологості ґрунту та евапотранспірації модельних рослин.

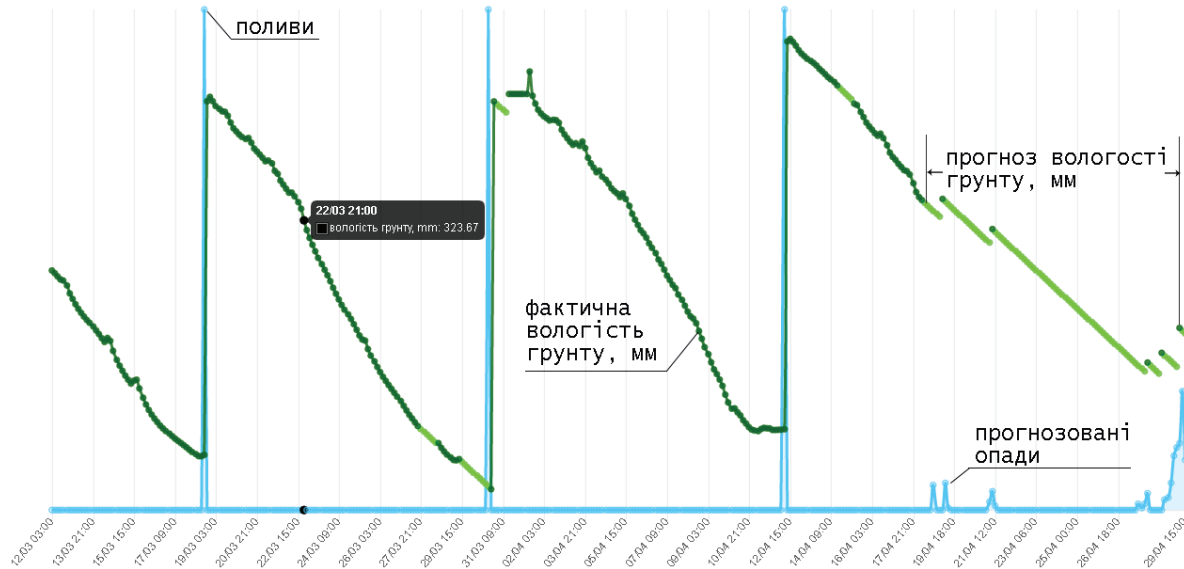


Рис. 2. Модельний лабораторний експеримент з апробації «зворотного зв'язку» і прогнозуванню вологості ґрунту

Практичне використання експериментально-розрахункового методу. Розрахунки і отримання даних вимірювань за реалізації зворотного зв'язку при керуванні поливами розглянемо на прикладі поля кукурудзи в господарстві на Черкащині.

Розрахункова частина базується на балансовому двошаровому рівнянні (2) і прийнятті рішень за (1). Вона потребує поточних і прогнозних погодних даних – випадання опадів і даних для розрахунку поточної і прогнозної потенційної евапотранспірації сільськогосподарської культури (використовуються метеопрогнози на кілька днів). Тип ґрунту, його водно-фізичні властивості; тип

і стадія (фаза) розвитку вирощуваної сільськогосподарської рослини знаходяться у базі знань. Початкова вологість передається автоматизовано.

На сервері прогнозується динаміка зміни вологості ґрунту на кожному полі. Враховуючи ймовірнісний характер прогнозів погоди щодо опадів, температури тощо потрібна періодична корекція розрахунків. **Зворотний зв'язок** і корекція дати поливу відбувається за даними інструментальних вимірювань. З автоматичних сенсорів надходять величини водного потенціалу ґрунту в кПа (рис. 3). Відповідно за визначеною залежністю водного потенціалу до вологості ґрунту [16] дані із кПа переводили

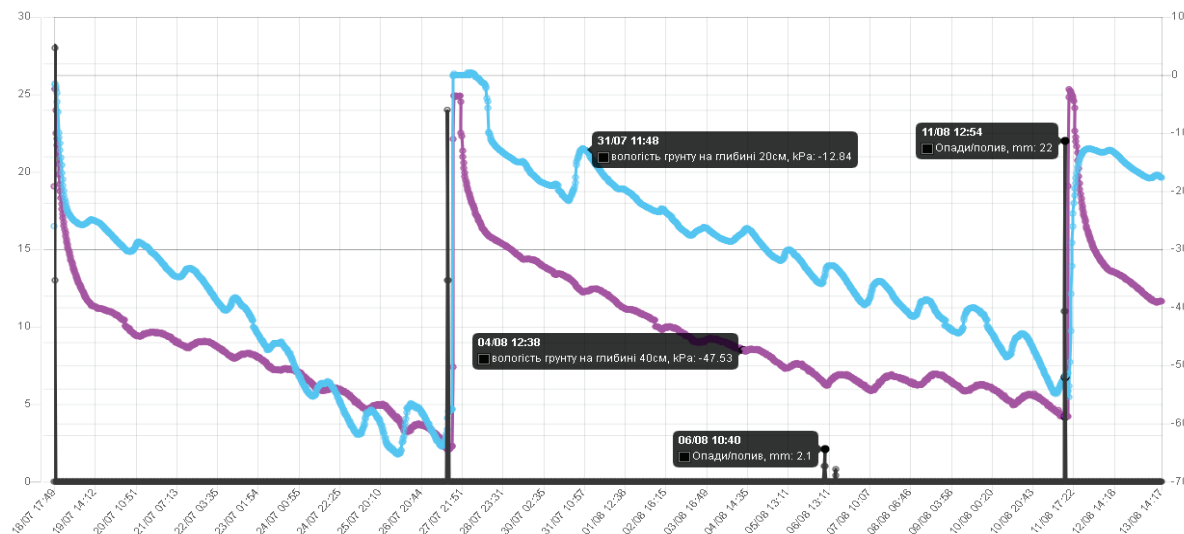


Рис. 3. Динаміка потенціалів вологості ґрунту на полі, отримана за допомогою автоматичних сенсорів

у міліметри водного шару. Водний потенціал дорівнює всмоктуючому тиску, який безпосередньо вимірюється тензіометром.

Для реалізації зворотного зв'язку та управління зрошенням була задіяна станція вологості ґрунту, яка в автоматичному режимі вимірює водний потенціал ґрунту, температуру та відносну вологість повітря (рис. 4). У складі станції потенціал вологості ґрунту вимірювали на глибині 20 та 40 см. Оподи і поливи фіксувались автоматичними оподомірами. Кожну годину отримані дані зберігаються в базі даних і можуть бути відображені у вигляді історії динаміки будь-якого з показників до поточного часу.

Додатково система отримувала з мережі Інтернет три показники метеопрогнозів на 5 днів для найближчого населеного пункту: температуру повітря, відносну вологість повітря, кількість опадів. Крок такого прогнозу залежить від налаштувань метеосайту і може змінюватись від погодинного до добового. У наших розрахунках для господарства ми використовуємо крок у 3 години. Для всіх отриманих поточних і прогнозних періодів розраховували евапотранспірацію за методом Штойко. Для кожного з тригодинних проміжків часу за допомогою балансового методу (2) розраховувалась прогнозована вологість ґрунту, де вхідними параметрами є остання визначена вологість ґрунту (фактична або розрахункова), евапотранспірація та кількість опадів.

Надалі розраховані величини прогнозованої вологості ґрунту у вигляді вхідних даних та в якості зворотного зв'язку надсилають до блоку прийняття рішень з управління поливом та обчислюються за формулою (1). Корекція

прогнозованої на 5 діб вологості ґрунту відбувалась щодобово. Таким чином, відбувається керування поливами на «ковзному інтервалі».

Висновки. Експериментально-розрахунковий метод дозволяє прогнозувати вологість ґрунту терміном до 5 діб за умови автоматичного отримання і використання метеорологічних прогнозів із Інтернет-сервісів прогнозування погоди, а також за наявності автоматично отриманих даних моніторингу вологості і метеопоказників на полі. Дані моніторингу вологості є складовою інформаційного забезпечення вказаного методу і слугують зворотним зв'язком при керуванні зрошенням.

Фактичні дані моніторингу вологості і метеопоказників на полі, що є «зворотним зв'язком» і передаються автоматично, що суттєво підвищує точність рекомендацій зі зрошення та дозволяє оперативно коригувати прогнозні розрахунки. За оперативного керування поливами корекцію розрахунків вологості ґрунту за безпосереднім автоматизованим вимірюванням на полі потрібно здійснювати щоденно.

Апробація експериментально-розрахункового методу із системою польових вимірювань для прогнозування вологості ґрунту в лабораторних і польових умовах показала, що точність, достовірність і вчасність надходження рекомендацій достатня для забезпечення ефективного керування зрошенням. Точніші результати забезпечать одномірні багат шарові моделі вологоперенесення, які потребують більшої кількості вхідних параметрів.

Результати лабораторних досліджень показали тривалу, надійну роботу і достатню точність автоматичної системи збору інформації.

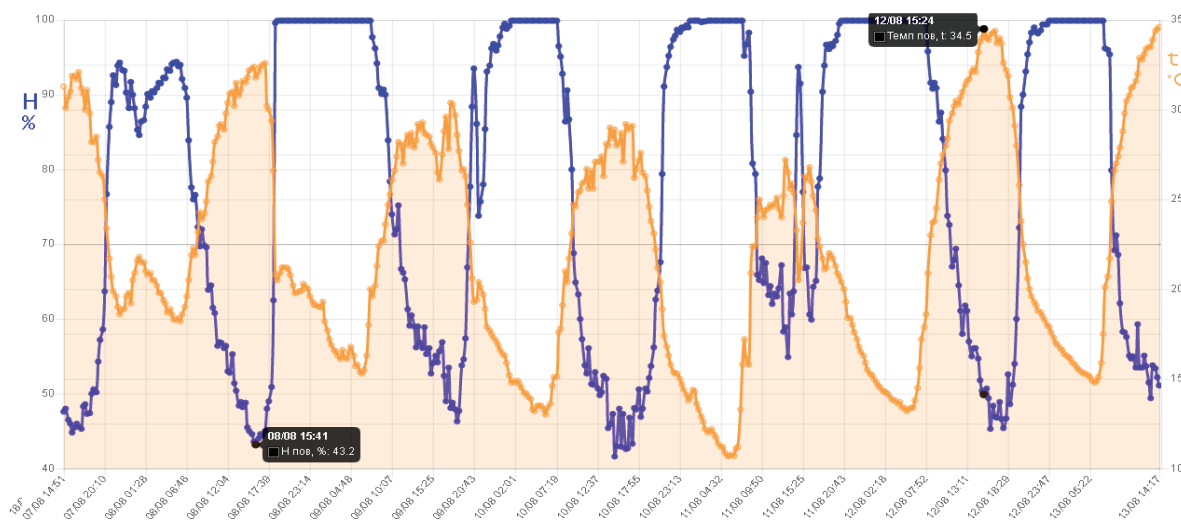


Рис. 4. Приклад динаміки даних відносної вологості і температури повітря на дослідному полі

Бібліографія

1. Остапчик В.П., Костромин В.А., Коваль А.М. Информационно-советующая система управления орошением. Киев: Урожай, 1989. 248 с.
2. Жовтоног О.І., Філіпенко Л.А., Деменкова Т.Ф., Діденко Н.О. Використання інформаційної системи «ГІС Полив» та модулю IRRIMET інтернет-метеостанції для оперативного планування зрошення при дощуванні // Таврійський науковий вісник, 2015. №92. С.159–165.
3. ENORASIS (Environmental Optimization of irrigation Management with the Combined use and Integration of High precision Satellite Data, Advanced Modeling, Process Control and Business Innovation). <http://www.enorasis.eu/>. Accessed 15 Sep 2019.
4. Villarrubia, G., Paz, J.F.D., Iglesia, D.H., & Bajo, J. (2017). Combining multi-agent systems and wireless sensor networks for monitoring crop irrigation. *Sensors*, 17(8), 1775. doi:10.3390/s17081775.
5. Rinaldi, M., & He, Z. (2014). Decision support systems to manage irrigation in agriculture. In: Sparks, D. (ed.) *Advances in Agronomy*, vol. 123, pp. 229–279. Academic Press, Burlington.
6. CFAES 2018 eFields Report: Ohio State Digital Ag Program. (Jan. 2019). The Ohio State University. Pp. 26–27.
7. Khan, F., Shabbir, F., & Tahir, Z. (2014). A fuzzy approach for water security in irrigation system using wireless sensor network. *Science International*, 26(3).
8. Tevatronic LTD. <http://tevatronic.net>. Accessed 1 May 2019.
9. Gadzalo, Ya., Romashchenko, M., Kovalchuk, V., Matiash, T., & Voitovich O. (2019, September). Using smart technologies in irrigation management. In *International Commission on Irrigation and Drainage, 3rd World Irrigation Forum (WIF3)* (pp. 1-6). Id: W.1.3.02
10. Kovalchuk, V., Demchuk, O., Demchuk, D., & Voitovich, O. (2018, January). Data mining for a model of irrigation control using weather web-services. In *International Conference on Computer Science, Engineering and Education Applications* (pp. 133–143). Springer, Cham.
11. Системна оптимізація водокористування при зрошенні: Ковальчук П.І. та ін., монографія. Рівне: НУВГП, 2008. 204 с., ISBN 978-966-327-0967-5
12. Методичні рекомендації з оперативного планування режимів зрошення. Київ: ПГІМ УААН, ІЗПР УААН, 2004. 50 с.
13. Інструкція по оперативному розрахунку поливних режимів та прогноз поливів сільськогосподарських культур за дефіцитом вологозапасів (друге видання) / Г.В. Цивінський, Н.В. Пендак, В.А. Ідаятов. Херсон: Всеукраїнська екологічна ліга, 2010. 33 с.
14. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration—guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Rome, Italy.
15. Толокняненко В.А. Синтез и анализ систем управления со скользящим интервалом оптимизации: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. тех. наук: спец. 05.13.01. Политехн. ин-т им. 50-летия Великой Октябрьской соц. революции, Киев, 1975. 30 с.
16. Van Genuchten, M.T. (1980). A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils 1. *Soil science society of America journal*, 44(5), 892–898.
17. Rosetta Version 1.0 (Free downloaded program). U.S.Salinity Laboratory ARSUSDA; <http://www.usssl.ars.usda.gov>. Accessed 10 Sep 2016.

References

1. Ostapchik, V.P., Kostromin, V.A., & Koval, A.M. (1989). *Informatsyonno-sovetuiushchaia sistema upravleniia orosheniem* [Information advisory irrigation management system]. Kyev: Urozhai. [in Ukrainian].
2. Zhovtonog, O.I., Filipenko, L.A., Demenkova, T.F., & Didenko, N.O. (2015). *Vykorystannia informatsiinoi systemy «GIS Polyv» ta moduliu IRRIMET internet-meteostantsii dlia operatyvnoho planuvannia zroshennia pry doshchuvanni* [Use of the GIS watering information system and IRRIMET module of the Internet meteorological station for prompt irrigation planning]. *Tavrijskyi naukovyi visnyk*, 92, 159–165. [in Ukrainian]
3. ENORASIS (Environmental Optimization of irrigation Management with the Combined use and Integration of High precision Satellite Data, Advanced Modeling, Process Control and Business Innovation). www.enorasis.eu. Retrieved from: <http://www.enorasis.eu>.
4. Villarrubia, G., Paz, J.F.D., Iglesia, D.H., & Bajo, J. (2017). Combining multi-agent systems and wireless sensor networks for monitoring crop irrigation. *Sensors*, 17(8), 1775. <https://doi.org/10.3390/s17081775>.

5. Rinaldi, M., & He, Z. (2014). Decision support systems to manage irrigation in agriculture. *Advances in Agronomy*, vol. 123, 229–279. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-420225-2.00006-6> Retrieved from: https://www.academia.edu/18425605/Decision_Support_Systems_to_Manage_Irrigation_in_Agriculture.
6. CFAES 2018 eFields Report: Ohio State Digital Ag Program. (2019). The Ohio State University, 26-27.
7. Khan, F., Shabbir, F., & Tahir, Z. (2014). A fuzzy approach for water security in irrigation system using wireless sensor network. *Science International*, 26(3), 1065–1070. Retrieved from: <http://www.sci-int.com/pdf/5308846311065-1070--FARAZ%20KHAN-EE---FAISALABAD-CORRECTED.pdf>
8. Tevatronic LTD. tevatronic.net. Retrieved from: <http://tevatronic.net>.
9. Gadzalo, Ya., Romashchenko, M., Kovalchuk, V., Matiash, T., & Voitovich O. (2019). Using smart technologies in irrigation management. *International Commission on Irrigation and Drainage: 3rd World Irrigation Forum (WIF3)*. Bali, Indonesia: WIF3, 178. Retrieved from: https://www.icid.org/wif3_bali_2019/wif3_abst_vol.pdf.
10. Kovalchuk, V., Demchuk, O., Demchuk, D., & Voitovich, O. (2018). Data mining for a model of irrigation control using weather web-services. *Advances in Computer Science for Engineering and Education. International Conference on Computer Science, Engineering and Education Applications: Springer International Publishing*, 133-143. https://doi.org/10.1007/978-3-319-91008-6_14.
11. Kovalchuk, P.I., Pendak, N.V., Kovalchuk, V.P., & Voloshyn, M.M. (2008). Systemna optymizatsiia vodokorystuvannia pry zroshenni: monohrafiia [System optimization of water use during irrigation]. Rivne: NUVHP. [in Ukrainian].
12. *Metodychni rekomendatsii z operatyvnoho planuvannia rezhymiv zroshennia [Guidelines for the operational planning of irrigation regimes]*. (2004). Kyiv: IHiM UAAN, IZPR UAAN. [in Ukrainian].
13. Tsyvinskyi, H.V., Pendak, N.V., & Idoiatov, V.A. (2010). *Instruktsiia po operatyvnomu rozrakhunku polyvnykh rezhymiv ta prohnoz polyviv silskohospodarskykh kultur za defitsytom volohozapasiv (druhe vydannia) [Instruction on prompt calculation of irrigation regimes and forecast of irrigation of crops on deficit of moisture reserves]*. Kherson: Vseukrainska ekolohichna liha. [in Ukrainian].
14. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration—guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Rome, Italy.
15. Toloknianenko, V.A. (1975). *Sintez i analiz sistem upravlenia so skolziashchym intervalom optimizatsyi [Synthesis and analysis of control systems with sliding optimization interval]*. Extended abstract of candidate's thesis. Kyev. Politekhn. institut im. 50-letyia Velykoi Oktiabrskoi revoliutsii.
16. Van Genuchten, M.T. (1980). A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil science society of America journal*, 44(5), 892–898.
17. Rosetta Version 1.0 (Free downloaded program). U.S. Salinity Laboratory ARSUSDA. www.usssl.ars.usda.gov. Retrieved from: <http://www.usssl.ars.usda.gov>.

А.П. Войтович, В.П. Ковальчук

Развитие мониторинговых исследований влажности почвы на поле для обеспечения управления орошением экспериментально-расчетным методом

***Анотация.** В статье выделены актуальные проблемы развития мониторинговых исследований влажности почвы и метеорологических показателей для информационного обеспечения систем управления орошением. На основе анализа литературы показано, что управление влажностью почвы может осуществляться как непосредственно по результатам измерений влажности почвы, так и используя расчетные методики. При наличии автоматически полученных данных метеорологических прогнозов принятие решений о поливе происходит экспериментально-расчетным методом. Мониторинговые исследования составляют экспериментальную часть и используются в качестве обратной связи при управлении влажностью. Измерение влажности почвы рекомендуется осуществлять с использованием различных сенсоров влажности почвы косвенным методом определения. В качестве сенсоров можно применить различные тензиометры, диэлектрические и резистивные датчики. Расчетную часть составляют критерий принятия решений о начале полива, балансовый метод расчета влажности почвы или влагозапасов в почве (или многослойная математическая модель влогопереноса при наличии достаточных для ее работы входных параметров) с использованием автоматического метеорологического прогноза. Статья проиллюстрирована результатами лабораторного модельного эксперимента и полевых исследований по автоматизированной передаче данных измерения и реализацией обратной связи при управлении влажностью почвы. Модельный лабораторный эксперимент использовался для апробации конструктивных, технических и технологических показателей оборудования для автоматического мониторинга*

и обработки экспериментально-расчетного метода. Практические прогнозы, расчеты и получение данных о влажности почвы и метеорологических показателей при реализации обратной связи при управлении поливами рассмотрены на примере поля кукурузы в одном из исследовательских хозяйств. Результаты лабораторного эксперимента и полевых исследований показывают эффективность прогнозирования влажности почвы упомянутым методом. Коррекцию прогнозируемой влажности почвы с непосредственным автоматизированным измерением на поле с помощью наземных датчиков рекомендуется проводить ежедневно.

Ключевые слова: влажность почвы, мелиорация, метеорологические показатели, автоматизированный мониторинг, управление орошением, обратная связь, экспериментально-расчетный метод, система поддержки принятия решений.

O.P. Voitovich, V.P. Kovalchuk

**Monitoring research of field soil moisture to provide irrigation management
on the base of an experimental and calculation method**

Abstract. The article highlights the actual problems of monitoring studies of soil moisture and meteorological indicators for informational support of irrigation management systems. On the basis of literature analysis it is shown that soil moisture control can be carried out both directly on the results of soil moisture measurements and using calculated methods. In the presence of automatically obtained meteorological forecasting data, irrigation decisions are made using an experimental calculation method. Monitoring studies are part of the experiment and are used as feedback in soil moisture control. Soil moisture measurement is recommended when using a variety of soil moisture sensors by indirect methods of determination. Various tensiometers, dielectric and resistive sensors can be used as sensors. The calculation part consists of the decision criterion for the beginning of irrigation, the balance method of calculating soil moisture or moisture reserves in the soil (or a multilayered mathematical model of moisture transfer in the presence of sufficient input parameters for that) when using automatic meteorological forecast. The article is illustrated by the results of a laboratory model experiment and field research with automated measurement data transmission and feedback implementation in soil moisture control. The model laboratory experiment was used to test the design, technical and technological parameters of the equipment for automatic monitoring and testing of the experimental and calculation method. Practical forecasts, calculations and data acquisition of soil moisture and meteorological indicators for the implementation of feedback during irrigation management are considered on the example of a corn field in one of the experimental farms. The results of the laboratory experiment and field studies show the effectiveness of predicting soil moisture by this method. It is recommended to make daily soil moisture correction for direct automated field measurements using ground sensors.

Key words: soil moisture, weather station, decision support system, automatic irrigation management.

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg201902-189>Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/189>

УДК 631.675.4:631.674.6:634.11

АДАПТАЦІЯ МЕТОДУ «PENMAN–MONTEITH» ЗА КРАПЛИННОГО ЗРОШЕННЯ ЯБЛУНІ НА ПІДЩЕПІ М-9 В УМОВАХ СТЕПУ УКРАЇНИ

Ф.А. Мінза¹, А.П. Шатковський², докт. с.-г. наук, О.В. Журавльов³, канд. с.-г. наук¹ Сільськогосподарське товариство з обмеженою відповідальністю «Енограй»,

с. Софіївка, Білозерський район, Херсонська область, Україна;

<https://orcid.org/0000-0002-4341-9157>; e-mail: minza2014@gmail.com² Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;<https://orcid.org/0000-0002-4366-0397>; e-mail: andriy-1804@ukr.net³ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;<https://orcid.org/0000-0001-7035-219X>; e-mail: zhuravlov_olexandr@ukr.net

Анотація. Оптимізація режимів краплинного зрошення інтенсивних яблуневих садів є основою агротехнології їх вирощування з урожайністю плодів понад 50 т/га. Існує багато різнопланових методів керування режимами зрошення сільськогосподарських культур, які дають змогу використовувати окремо чи комплексно відповідні прилади, інструменти, засоби, комп'ютерні програми, математичні моделі тощо. За використання будь-якого підходу, безумовно, враховують дані щодо погодних та ґрунтових умов, біологічних і сортових особливостей водоспоживання культури. Метою досліджень обрано адаптацію розрахункового методу визначення сумарного водоспоживання (ЕТс) «Penman–Monteith» за краплинного зрошення яблуні на підщепі М-9 в умовах Степу України. При закладанні досліду використано науково-методичні підходи, які викладено у керівництві FAO 56. У дослідях, для отримання даних та проведення розрахунків водоспоживання, використано комп'ютерну програму CropWat 8.0 та цифрову інтернет-метеостанцію iMetos. За використання методу «Penman–Monteith» за період досліджень було проведено 6-10 вегетаційних поливів нормою зрошення 620-700 м³/га. За цього середня врожайність товарних плодів становила 32,9 т/га, а середній коефіцієнт ефективності зрошення – 31,5 м³/т. У виробничих умовах встановлено фактичне сумарне водоспоживання яблуні за використання методу «Penman–Monteith» – 3269,7 м³/га та еталонне водоспоживання (ЕТо) для цієї ґрунтово-кліматичної зони протягом вегетаційного періоду. У всіх фазах розвитку дерев встановлено відношення коефіцієнтів культури яблуні (Кс): типового за рекомендаціями FAO 56 та розрахованого на основі експериментальних даних. Проведено порівняння фактичного значення ЕТс та розрахованого за допомогою Кс яблуні згідно з керівництвом FAO 56. Рекомендовано у разі визначення параметрів режимів краплинного зрошення яблуні на підщепі М-9 у Степу України за допомогою програми CropWat 8.0 та даних цифрової інтернет-метеостанції iMetos користуватися скоригованими значеннями Кс.

Ключові слова: краплинне зрошення, сумарне водоспоживання, коефіцієнт культури, норма зрошення, метод «Penman–Monteith», яблуня.

Постановка проблеми. Впровадження сучасних агротехнологій та інновацій у сільськогосподарське виробництво є на сьогодні нагальною потребою аграрної галузі економіки України [1]. Проведення постійного моніторингу кліматичних метеоданих певної зони землеробства можливо забезпечити за допомогою мобільних цифрових інтернет-метеостанцій. Поряд з цим, необхідним є проведення адаптації та корегування існуючих методик щодо визначення потреб сільськогосподарських культур у забезпеченні вологою для подальшого застосування у виборі поливного режиму [2-8]. Загальноприйнятим у світі методом розрахунку параметрів сумарного водоспоживання (ЕТс) є метод «Penman–Monteith», який затвер-

джено FAO як стандарт із визначення ЕТо для еталонної культури [2]. Розрахунок ЕТо проводять на підставі стандартних кліматичних вимірів сонячної радіації, температури і вологості повітря та швидкості вітру на висоті 2 м, тобто він включає всі параметри, які визначають обмін енергії з відповідним потоком тепла (євапотранспірації) з однорідного рослинного покриву [2; 7; 9]. Такі стандартні умови передбачають відмінні агрономічні і ґрунтові умови, проте ЕТс рослин у фактичному кліматичному середовищі суттєво відрізняється від еталонного. Цю відмінність відображають коефіцієнтом культури – Кс:

$$Kc = \frac{ETc}{ETO}, [2; 10; 11] \quad (1)$$

© Ф.А. Мінза, А.П. Шатковський, О.В. Журавльов, 2019

де: ET_c – фактичне сумарне водоспоживання, мм або $m^3/га$;

ET_o – еталонне сумарне водоспоживання, мм або $m^3/га$.

Рекомендовані FAO значення K_c є типовими величинами у стандартних кліматичних умовах, а саме у субгумідному кліматі, за середньої висоти рослин, тобто культура знаходиться в оптимальних умовах [2]. Поряд з цим, зазначимо, що основні кліматичні характеристики Степу України відрізняються від субгумідного клімату: на 15 позицій або на 33,3% за середньодобовою мінімальною відносною вологістю (RH_{min}); більше на 1 м/с або на 50% за середньою швидкістю вітру [12]. Отже, для практичного використання методу «Penman-Monteith» необхідно виконати дослідження для корегування K_c з урахуванням відхилень від стандартних умов.

Актуальність дослідження. Краплинне зрошення плодкових насаджень інтенсивного типу є локальним і потребує точного визначення строків і норм поливу [13; 14].

Ефективне комплексне використання інструментально-вимірювальних комплексів діагностування поливних режимів у садівництві передбачає ретельне вивчення відповідних характеристик розвитку культур та їх водоспоживання на всіх стадіях активної вегетації.

Отже, існує необхідність проведення досліджень щодо визначення параметрів ET_c на культурі яблуні в умовах Степу України методом «Penman-Monteith» для планування і реалізації режимів краплинного зрошення.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Результати останніх досліджень щодо адаптації методу «Penman-Monteith» за краплинного зрошення було проаналізовано на предмет двох основних чинників, котрі впливають на підсумкове значення розрахунків: культури яблуні та кліматичні умови зони Степу України. Так науковцями Інституту водних проблем і меліорації НААН [10; 11; 15; 16] дослідження проведено в зоні Степу України, на овочевих та просапних культурах. Також групою вчених Корнельського університету США ґрун-

товно досліджено ET_c культури яблуні, проте у кліматичних умовах північного сходу США [17]. Відповідні дослідження з визначення ET_c за методом «Penman-Monteith» для яблуні в зрошуваних умовах Степу України вченими не було проведено.

Мета дослідження. Встановлення режиму краплинного зрошення та адаптація розрахункового методу визначення сумарного водоспоживання (ET_c) «Penman-Monteith» на культурі яблуні в умовах Степу України.

Матеріали і методи дослідження. Дослідження проведено протягом 2015–2017 рр. у виробничих умовах. Яблуневий сад висаджено у 2010 р. за інтенсивним типом зі схемою садіння 4x1 м у с. Софіївка Білозерського району Херсонської області.

На підставі ґрунтових вишукувань згідно з ДСТУ 4287 [18] та ДСТУ 4730 [19] встановлено, що ґрунт дослідної ділянки – темно-каштановий середньосуглинковий на лесовій породі, вміст фізичної глини у шарі 0–50 см становить 42%, у шарі 50–100 см – 39%. Визначено щільність складення ґрунту до глибини 100 см, яка становить від 1,27 $г/см^3$ до 1,47 $г/см^3$ (ДСТУ ISO 11272:2001) [20] та вміст вологи у ґрунті, який відповідає найменшій і передполивної вологості: 27,5% і 23,4% (ДСТУ Б В.2.1–17:2009) [21].

Район досліджень відноситься до підзони Степу Сухого з середньобагаторічною сумою опадів 434 мм і температурою повітря +10,2°C [12]. У зв'язку зі змінами клімату посушливі явища проявляються практично щороку, тому ведення інтенсивного садівництва у цій зоні можливе виключно в зрошуваних умовах.

Порівняння даних щодо забезпечення дослідної ділянки продуктивними опадами з середньобагаторічними значеннями наведено в таблиці 1.

Отже, за період досліджень протягом вегетації яблуні більш посушливі умови щодо забезпечення опадами зафіксовано у 2015 році, з перевищенням середнього значення – у 2016 році. За цей же період середньодобова температура перевищувала показники кліматичної норми на 1,4–1,8°C.

1. Середньобагаторічні та фактичні значення продуктивних опадів на дослідній ділянці за березень-вересень 2015-2017 рр.

Рік	Середньобагаторічне значення за період вегетації, мм	Фактичне значення за період вегетації, мм	Відхилення, %
2015	275	193	-29,74
2016	275	306	11,25
2017	273	267	-2,36

У польових дослідженнях застосовували існуючі методики для краплинного зрошення [1; 13; 14]. Крім того, отримання необхідних для дослідів параметрів проводили з використанням цифрової інтернет-метеостанції iMetos, додатку «IRRIMET» та програми CROPWAT 8.0 [22; 23], також здійснювався періодичний контроль термостатно-ваговим методом [21].

Результати дослідження та їх обговорення.

За період досліджень із використанням розрахункового методу «Penman-Monteith» для забезпечення передполивної вологості ґрунту на рівні 85% від НВ було призначено 6–10 вегетаційних поливів нормою зрошення 620–700 м³/га.

У таблиці 2 наведено параметри фактичного режиму краплинного зрошення з призначенням поливів за методом «Penman-Monteith» та розподіл складових частин параметра *ETc* у розрізі років досліджень:

Найбільша кількість поливів (10) та зрошувальна норма (700 м³/га) була у 2016 р., що на 30,4% та 4,5% більше середніх показників за період.

Усереднене значення *ETc* яблуні за роки досліджень становило 3,27 тис. м³/га. Мінімальне значення *ETc* зафіксовано у 2015 р. – 2,60 тис. м³/га, максимальне у 2016 р. – 3,81 тис. м³/га у 2016 р., коливання між ними склали 46,6%.

У структурі фактичного *ETc* у всіх роках досліджень найбільшу частку склали продуктивні опади (від 74,3% до 80,3%), найменшу – запаси ґрунтової вологи (у середньому за період – 1,5%). Зрошення становило 18,4–23,8% у формуванні *ETc* яблуні.

Середня врожайність товарних плодів становила 32,9 т/га, зокрема у 2015 р. – 46,0 т/га, 2016 р. – 24,8 т/га та 2017 р. – 28,0 т/га. Розраховано коефіцієнт ефективності зрошення, який відображає витрату поливної води на одиницю збільшення врожайності від зрошення: у 2015 р. – 29,8 м³/т, у 2016 р. – 30,1 м³/т, у 2017 р. – 34,5 м³/т, відповідно, середньорічне значення – 32,9 м³/т.

Дані вимірювань та розрахунків параметрів *ETc* за вирощування яблуні в умовах краплинного зрошення Степу наведено у рисунках 1-4.

Усереднені значення розрахованого за методом «Penman-Monteith» *ETo* становили 3,62 мм/добу, в тому числі у період середньої фази розвитку яблуні – 4,69 мм/добу. У цій же фазі максимальне значення *ETo* становило у III декаді червня 2016 р. – 7,08 мм/добу, а мінімальне – у III декаді травня 2017 р. – 3,76 мм/добу.

Фактичні показники середньодобового *ETc* за 2015–2017 рр. середньої фази розвитку культури у 8 разів перевищували *ETc* початкової фази та 2,2 рази – кінцевої фази. Максимальні значення середньодобового *ETc* у розрізі всіх років досліджень зафіксовано з II декади липня по I декаду серпня і становили від 34,9 м³/га (2015 р.) до 57,4 м³/га (2016 р.).

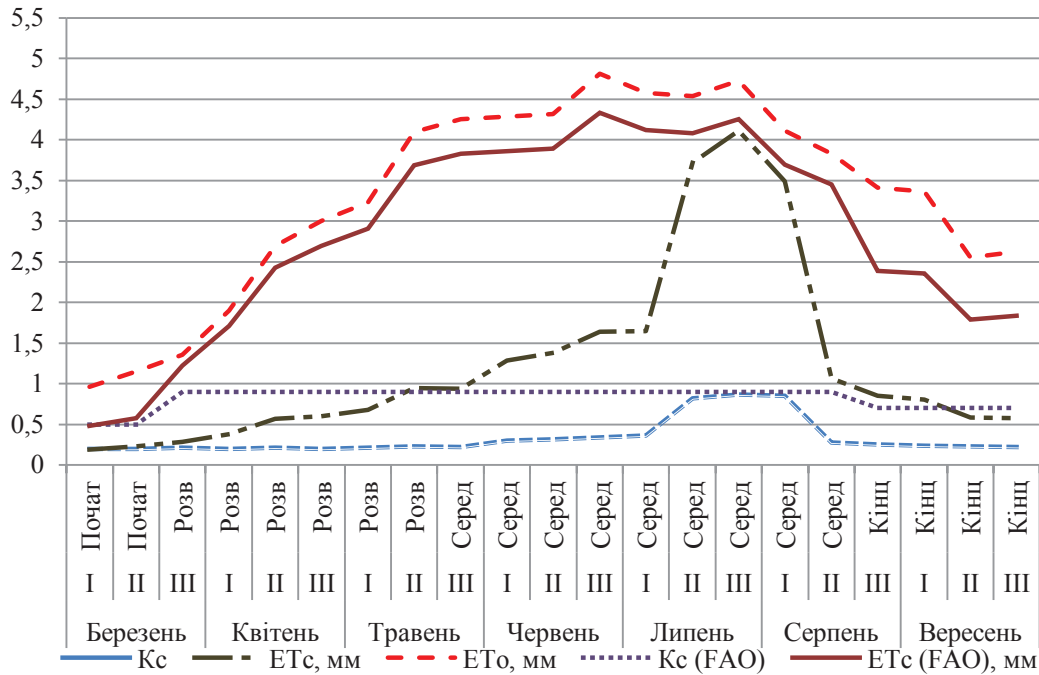
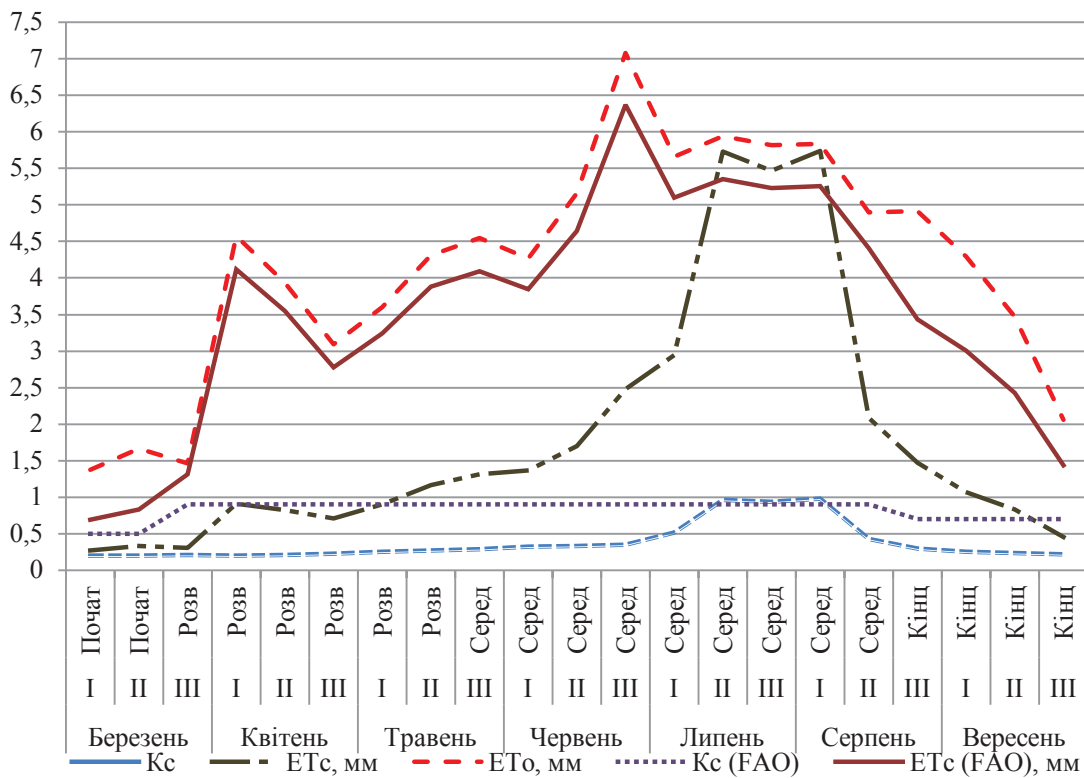
За формулою (1) проведено розрахунки фактичного коефіцієнта культури яблуні *Kc(p)*. Встановлено, що динаміка *Kc(p)* співпадає з фенофазами розвитку яблуні: повільне зростання змінюється на різкий ріст та пікові значення *Kc* у період активного росту плодів з II декади липня по I декаду серпня з наступним різким, а потім – поступовим зниженням. Крім цього, динаміка *Kc(p)* відповідає динаміці *ETc*.

Проведено порівняння *Kc(FAO)* яблуні для стандартних умов [2] із фактичними *Kc(p)*, розрахованим за результатами досліджень та визначено перевищення на 164,8% середніх показників за весь вегетаційний період та заниження на 5,5% у період активного росту плодів.

Із використанням *Kc(FAO)* яблуні проведено розрахунки *ETc(FAO)*. Майже за всіма позиціями встановлено збільшення норми зрошення та *ETc* і навпаки – дефіцит запасів вологи у фенофазі росту плодів яблуні. Перевищення над фактичними даними склали від 3,5% до 157,1%, і лише у період з II декади липня по I декаду серпня заниження визначено на рівні 2,2–9,3%.

2. Фактичний баланс сумарного водоспоживання яблуні за краплинного зрошення (шар ґрунту 0-100 см)

Рік	Кількість поливів	Опади		Запаси ґрунтової вологи		Норма зрошення		<i>ETc</i>	Відхилення від середнього значення	
	шт.	м ³ /га	%*	м ³ /га	%*	м ³ /га	%*		м ³ /га	%
2015	6	1930	74,3	48	1,8	620	23,9	2598	-672	79,5
2016	10	3060	80,3	49	1,3	700	18,4	3809	539	116,5
2017	7	2670	78,5	42	1,2	690	20,3	3402	132	104,0
Середнє	7,7	2553,3	77,7	46,3	1,5	670	20,8	3269,7	*	100,0

Рис. 1. Сумарне водоспоживання та K_c яблуні у 2015 р.Рис. 2. Сумарне водоспоживання та K_c яблуні у 2016 р.

Отже, використання $K_c(FAO)$ при встановленні режиму краплинного зрошення за розрахунковим методом «Penman-Monteith» призводить до перевитрат поливної води майже у всіх фазах активної вегетації яблуні,

крім критичного щодо вологозабезпечення періоду.

Враховуючи встановлені залежності, у разі визначення параметрів режимів краплинного зрошення методом «Penman-Monteith»

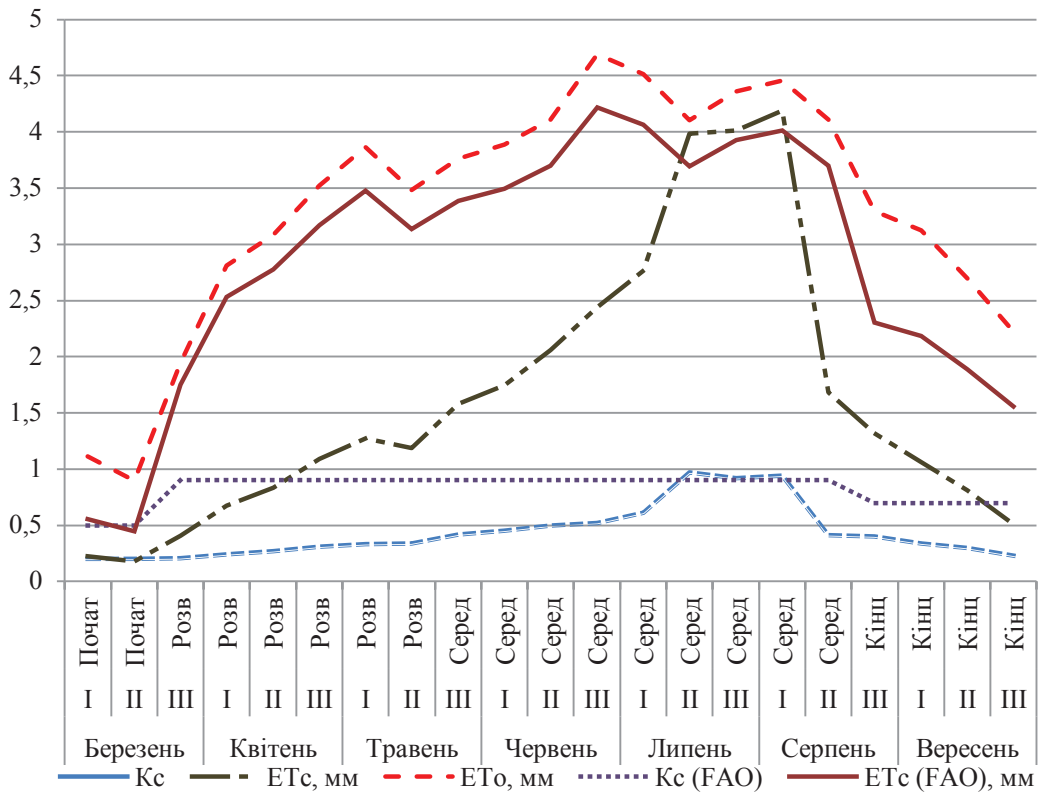


Рис. 3. Сумарне водоспоживання та Кс яблуні у 2017 р.

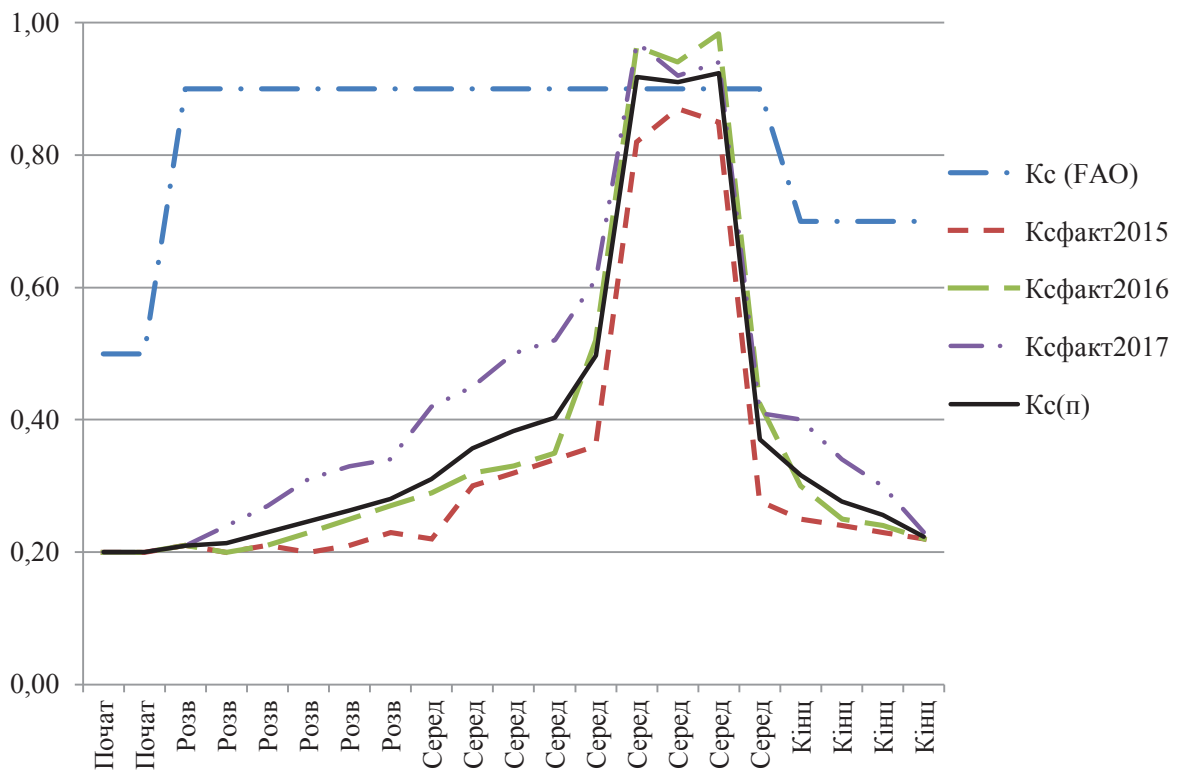


Рис. 4. Динаміка Кс(FAO) і Кс(п) протягом періоду вегетації яблуні

за допомогою програми CropWat 8.0 [23] та даних цифрової інтернет-метеостанції iMetos

(додаток «Irrimet») рекомендовано використовувати дані, які наведено у таблиці 3.

3. Фактичні значення коефіцієнта культури $K_c(p)$ для яблуні за умовними фазами періодів активної вегетації дерев

Умовна фаза періодів активної вегетації яблуні	Декада / місяць	$K_c(p)$
Початкова	I, березень	0,20
Серединна початкова	II, липень	0,92
Серединна кінцева	I, серпень	0,93
Прикінцева	III, вересень	0,22

Висновки. За результатами досліджень встановлено відношення типових значень коефіцієнта культури яблуні $K_c(\text{FAO})$ до фактичних показників K_c в зрошуваних умовах Степу України. Обґрунтовано використання методу «Penman-Monteith» для визначення параметрів сумарного водоспоживання та проведено його адаптацію з метою діагностування строків проведення поливів за краплинного зрошення яблуні. Зокрема, для підтримання передполивної вологості ґрунту

на рівні 85% від НВ залежно від метеоумов років досліджень призначено 6–10 поливів нормою зрошення 620–700 м³/га. Урожайність товарних плодів яблук становила за цього 32,9 т/га при коефіцієнті ефективності зрошення 31,5 м³/т.

Рекомендовано в подальшому для визначення ET_c і оперативного керування режимом краплинного зрошення яблуні на підщепі М-9 використовувати скореговані значення коефіцієнта культури K_c .

Бібліографія

1. Ромащенко М.І., Шатковський А.П., Рябков С.В. Концептуальні засади розвитку краплинного зрошення в Україні // Вісник аграрної науки. 2012. № 2. С. 5-8.
2. Allen R.G., Pereira L.S., Raes D.S., Smith M.L. Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements // FAO Irrigation and drainage paper 56. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 1998.
3. Алатьев А.М. Влагодобороти в природі і їх преобразования. Ленинград: Гидрометеиздат, 1969. 322 с.
4. Алпатъев С.М. О поливных режимах сельскохозяйственных культур. Орошаемое земледелие в европейской части СССР. Москва: 1965. С. 185–190.
5. Розрахункові методи визначення сумарного випаровування і строків поливу сільськогосподарських культур / Д.А. Штойко та ін. // Зрошуване землеробство. Київ: Урожай, 1977. Вип. 22. С. 3–11.
6. Иванов Н.Н. Об определении величин испаряемости // Известия ВГО. 1954. № 2, Т. 86. С. 189–196.
7. Penman H.L. Evaporation. An Introductory Survey // Neth. J. Agr. Sci. 1956. № 4. P. 9-29.
8. Blaney H.F., Criddle W.D. Determining Water Requirements in Irrigated Areas from Climatologically and Irrigation Data // US Soil Cons. Serv. SCS-TR-96, 1950. 48 p.
9. Step by Step Calculation of the Penman-Monteith Evapotranspiration (FAO-56 Method). URL: <https://edis.ifas.ufl.edu/ae459> (дата звернення: 15.09.2015).
10. Адаптація методу «Penman-Monteith» на культурі томата розсадного у виробничих умовах за краплинного зрошення / М.І. Ромащенко та ін. // «Меліорація і водне господарство». 2018. Вип. 108 № 2. С. 12–18.
11. Шатковський, А.П., Журавльов О.В. Діагностика поливів буряку цукрового за методом «Penman-Monteith» в умовах краплинного зрошення Степу України // Вісник Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету. Дніпропетровськ. 2017. № 1(43) С. 63–69.
12. Український гідрометеорологічний центр. Кліматичні дані по м. Херсон. URL: https://meteo.gov.ua/ua/33345/climate/climate_stations/158/24/ (дата звернення: 20.03.2018).
13. Мікрозрошення. Краплинне зрошення плодових культур. Загальні вимоги та методи контролювання: ДСТУ 7594:2014 [Чинний від 2014-12-02]. Київ: Мінекономрозвитку України, 2015. 5 с. (Національний стандарт України).
14. Рекомендації з технології вирощування зерняткових садів на клонових підщепах за краплинного зрошення в умовах Лісостепу України/ За ред. М.І. Ромащенко, С.В. Рябкова. Київ: Інститут водних проблем і меліорації НААН, 2012. 72 с.
15. Ромащенко М.І., Шатковський А.П., Журавльов О.В. Особливості застосування методу «Penman-Monteith» в умовах краплинного зрошення Степу України (на прикладі зернової кукурудзи) // Вісник аграрної науки. 2016. № 5. С. 55–59.

16. Шатковський А.П. Наукові основи інтенсивних технологій краплинного зрошення просапних культур в умовах Степу України: дис. докт. с.-г. наук: 06.01.02. Херсон, 2016. 496 с.
17. Robinson, T.L. & Lakso, A.N. & Lordan Sanahuja, Jaume & Francescato, P. & Dragoni, D. & Degaetano, Arthur & Eggleston, Keith. (2017). Precision irrigation management of apple with an apple-specific Penman-Monteith model. *Acta Horticulturae*. 1150.245–250. 10.17660/ActaHortic.2017.1150.34.
18. Якість ґрунту. Відбирання проб: ДСТУ 4287:2004. [Чинний від 2005.07.01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2005. 10 с. (Національні стандарти України).
19. Якість ґрунту. Визначання гранулометричного складу методом піпетки в модифікації Н.А. Качинського: ДСТУ 4730:2007. [Чинний від 2008.01.01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2008. 18 с. (Національні стандарти України).
20. Якість ґрунту. Визначання щільності складення на суху масу: ДСТУ ISO 11272:2001 (ISO 11272:1998, IDT). [Чинний від 2003.07.01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2008. 12 с. (Національні стандарти України).
21. Ґрунти. Методи лабораторного визначення фізичних властивостей: ДСТУ Б В.2.1 – 17:2009. [Чинний від 2010.10.01]. Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. 36 с. (Національні стандарти України).
22. iMetos-ECO-D2. A reliable and cost-effective solution for Soil Moisture monitoring, Rain, Water level and Irrigation Management. metos.at. URL: <http://metos.at/page/en/products/2/iMetos-ECO-D2> (дата звернення: 03.05.2015).
23. Коковіхін С.В. Прогнозування водопотреби сільськогосподарських культур та формування графіків поливів з використанням програми «CropWat» // Зрошуване землеробство. 2011. Вип. 55. С. 298–303.

References

1. Romashchenko, M.I., Shatkovskiy, A.P., & Riabkov, S.V. (2012). Kraplynne zroshennia ovochevykh kultur i kartopli v umovakh Stepu Ukrainy [Drip irrigation of vegetables and potatoes in the conditions of the Steppe of Ukraine]. Kyiv: Vydavnytstvo DIA. [in Ukrainian]
2. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D.S., & Smith, M.L. (1998). Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements. (FAO Irrigation and drainage paper 56. Food and Agriculture Organization of the United Nations). Rome.
3. Alatev, A.M. (1969). Vлагооборотy v prirode i ih preobrazovaniya [Moisture circulation in nature and her transformation]. Leningrad: Gidrometeoizdat.
4. Alpatov, S.M. (1965). O polivnyih rezhimakh selskohozyaystvennykh kultur [About irrigation regimes of crops. Irrigated agriculture in the European part of the USSR]. Moskva.
5. Shtoyko, D.A., Pysarenko, V.A., Bychko, O.S., & Yelazhenko, L.I. (1977). Rozrakhunkovi metody vyznachennia sumarnoho vyparovuvannia i strokiv polyvu silskohospodarskykh kultur [Estimated methods for determining the total evaporation and irrigation time of crops]. Kyiv: Zroshuvane zemlerobstvo. Urozhai, 22, 3–11. [in Ukrainian]
6. Ivanov, N.N. (1954). Ob opredelenyy velychyn yspariaemosti [On the determination of values of evaporation]. Moskva: Yzvestiya VHO, 2, Vol. 86, 189–196.
7. Penman, H.L. (1956). Evaporation. An Introductory Survey. *Neth. J. Agr. Sci.*, 4, 9–29.
8. Blaney, H.F. & Criddle W.D. (1950). Determining Water Requirements in Irrigated Areas from Climatologically and Irrigation Data. *US Soil Cons. Serv. SCS-TR-96*.
9. Step by Step Calculation of the Penman-Monteith Evapotranspiration (FAO-56 Method). Retrieved from: <https://edis.ifas.ufl.edu/ae459>
10. Romashchenko, M., Shatkovskiy, A., Zhuravlov, O., Vasiuta, V., & Cherevychnyi, Y. (2018). Adaptatsiia metodu «Penman-Monteith» na kulturi tomata rozsadnoho u vyrobnychkykh umovakh za kraplynnoho zroshennia [Adapting the Penman-Monteith method to transplanted tomato crop in production conditions when applying drip irrigation]. Kyiv: Melioratsiia i vodne gospodarstvo, 108(2), 5–18. [in Ukrainian]
11. Shatkovskiy, A.P. & Zhuravlov O.V. (2017). Diahnostyka polyviv buriaku tsukrovoho za metodom «Penman-Monteith» v umovakh kraplynnoho zroshennia Stepu Ukrainy [Diagnosis of sugar beet irrigation by the Penman-Monteith method in conditions of drip irrigation of the Steppe of Ukraine]. Dnipropetrovsk: Visnyk Dnipropetrovskoho derzhavnogo aharno-ekonomichnoho universytetu, 1(43), 63–69. [in Ukrainian]
12. Ukrainskiy hidrometeorolohichnyi tsentr. Klymatychni dani po m.Kherson [Ukrainian Hydrometeorological Center. Climate data for Kherson]. Retrieved from: https://meteo.gov.ua/ua/33345/climate/climate_stations/158/24.

13. Mikrozhshennia. Kraplynne zhshennia plodovykh kultur. Zahalni vymohy ta metody kontroliuvannia [Micro irrigations. Drip irrigation of fruit crops. General requirements and methods of control]. (2015). DSTU 7594:2014. Natsionalnyi standart Ukrainy. Kyiv: Minekonomrozvytku Ukrainy. [in Ukrainian]
14. Romashchenko, M.I., & Riabkov, S.V. (Ed.). (2012). Rekomendatsii shchodo tekhnolohii vyroshchuvannia zerniatkovykh sadiv na klonovykh pidshchepakakh za kraplynnoho zhshennia v umovakh Lisostepu Ukrainy [Recommendations for the cultivation of seed gardens on clonal rootstocks with drip irrigation in the conditions of the Forest-Steppe of Ukraine]. Kyiv: Instytut vodnykh problem i melioratsii NAAN. [in Ukrainian]
15. Romashchenko, M., Shatkovskiy, A., & Zhuravlov, O. (2016). Osoblyvosti zastosuvannia metodu «Renman–Monteith» v umovakh kraplynnoho zhshennia Stepu Ukrainy (na prykladi zernovoi kukurudzy) [Features of application of the Penman-Monteith method for conditions of a drip irrigation of the steppe of Ukraine (on example of grain corn)]. Kyiv: Visnyk ahrarynoi nauky 5, 55–59. [in Ukrainian]
16. Shatkovskiy, A.P. (2016). Naukovi osnovy intensyvnykh tekhnolohii kraplynnoho zhshennia prosapnykh kultur v umovakh stepu Ukrainy [Scientific bases of intensive technologies of drip irrigation of cultivated crops in conditions of steppe of Ukraine]. Doctor's thesis. Kyiv. [in Ukrainian]
17. Robinson, T.L., Lakso, A.N., Lordan Sanahuja, Jaume, Francescato, P., Dragoni, D., Degaetano, A., & Eggleston, K. (2017). Precision irrigation management of apple with an apple-specific Penman-Monteith model. *Acta Horticulturae*. 1150. 245–250. 10.17660/ActaHortic.2017.1150.34.
18. Yakist gruntu. Vidbyrannia prob [Soil quality. Sampling]. (2005). DSTU 4287:2004. Natsionalni standarty Ukrainy. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy. [in Ukrainian]
19. Yakist gruntu. Vyznachannia hranulometrychnoho skladu metodom pipetky v modyfikatsii N.A. Kachynskoho [Soil quality. Determination of particle size distribution by the pipette method in N.Kaczynski's modification]. (2008). DSTU 4730:2007. Natsionalni standarty Ukrainy. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy. [in Ukrainian]
20. Yakist gruntu. Vyznachannia shchilnosti skladennia na sukhu masu. [Soil quality. Determination of the density of folding on dry weight]. (2008). DSTU ISO 11272:2001 (ISO 11272:1998, IDT). Natsionalni standarty Ukrainy. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy. [in Ukrainian]
21. Grunty. Metody laboratornoho vyznachennia fizychnykh vlastyvostei. [Soils. Methods of laboratory determination of physical properties]. DSTU B V.2.1 – 17:2009. (2010). Natsionalni standarty Ukrainy. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy. [in Ukrainian]
22. iMetos-ECO-D2. A reliable and cost-effective solution for Soil Moisture monitoring, Rain, Water level and Irrigation Management. metos.at. Retrieved from <http://metos.at/page/en/products/2/iMetos-ECO-D2>.
23. Kokovikhin, S.V. (2011). Prohnozuvannia vodopotreby silskohospodarskykh kultur ta formuvannia hrafikiv polyviv z vykorystanniam prohramy «CropWat» [Predicting crop water use and scheduling irrigation using the program «CropWat»]. *Kherson: Zrshuvane zemlerobstvo*, 55, 298–303. [in Ukrainian]

Ф.А. Минза, А.П. Шатковский, А.В. Журавлев

Адаптация метода «Penman – Monteith» при капельном орошении яблони на подвое М-9 в условиях Степи Украины

***Аннотация.** Оптимизация режимов капельного орошения интенсивных яблоневых садов является основой агротехнологии их выращивания с урожайностью плодов более 50 т/га. Существует много разноплановых методов управления режимами орошения сельскохозяйственных культур, которые позволяют использовать отдельно или в комплексе соответствующие приборы, инструменты, средства, компьютерные программы, математические модели и т.п. При использовании любого подхода, несомненно, учитывают данные по погодным и почвенным условиям, биологическим и сортовым особенностям водопотребления культуры. Целью исследований выбрана адаптация расчетного метода определения суммарного водопотребления (ЕТс) «Penman-Monteith» при капельном орошении яблони на подвое М-9 в условиях Степи Украины. При закладке опыта использованы научно-методические подходы, изложенные в руководстве FAO 56. В опытах, для получения данных и проведения расчетов водопотребления, в качестве инструментария использованы компьютерная программа CropWat 8.0 и цифровая интернет-метеостанция iMetos. С использованием метода «Penman-Monteith» за период исследований было проведено 6-10 вегетационных поливов с нормой орошения 620-700 м³/га. При этом средняя урожайность товарных плодов составила 32,9 т/га, а средний коэффициент эффективности орошения - 31,5 м³/т. В производственных условиях установлено фактическое суммарное водопотребление яблони при использовании метода*

«Penman-Monteith» - 3269,7 м³/га, эталонное водопотребления (ETo) для этой почвенно-климатической зоны в течение вегетационного периода. Во всех фазах развития деревьев установлено отношение коэффициентов культуры яблони (Kc): типового по рекомендациям FAO 56 и рассчитанного на основе экспериментальных данных. Проведено сравнение фактического значения ETc и рассчитанного с помощью Kc яблони согласно руководству FAO 56. Рекомендуется при определении параметров режимов капельного орошения яблони на подвое М-9 в Степи Украины с помощью программы CropWat 8.0 и данных цифровой Интернет-метеостанции iMetos, пользоваться скорректированными значениями Kc.

Ключевые слова: капельное орошение, суммарное водопотребление, коэффициент культуры, норма орошения, метод «Penman-Monteith», яблоня.

F.A. Minza, A.P. Shatkovskiy, O.V. Zhuravlov

Adaptation of the “Penman - Monteith” method when using drip irrigation for apple trees on the rootstock M-9 in the conditions of the Steppe zone

Abstract. Optimization of drip irrigation regimes for intensive apple orchards is the basis of agrotechnology for their cultivation with fruit yields exceeding 50 t/ha. There are many different ways of controlling irrigation regimes that enable to use individually or comprehensively relevant instruments, tools, computer programs, mathematical models etc. Using any approach is based on data on weather and soil conditions, biological and varietal characteristics of crop water consumption. The purpose of the research was to adapt the calculated method of determining the total water consumption (ETs) “Penman-Monteith” when using drip irrigation for apple trees on the rootstock M-9 in the conditions of the Steppe of Ukraine. The scientific-methodological approaches set out in the FAO 56 guidance were used when conducting the experiment. In the experiments, CropWat 8.0 computer program and iMetos digital weather station were used as tools to obtain data and calculate water consumption. When using the Penman – Monteith method, 6–10 vegetation irrigations with the rates of 620–700 м³/ha were conducted during the study period. With that the average yield of marketable fruits was 32.9 t/ha, and the average coefficient of irrigation efficiency was 31.5 м³/t. In production conditions, the actual total water consumption of apple trees when using the Penman-Monteith method was established as 3269.7 м³/ha, the reference water consumption (ETo) for this soil and climate zone during the growing season. In all phases of tree development, the ratio of apple coefficients (Kc) - typical one based on the recommendations of FAO 56 and calculated one, obtained based on the experimental data was established. A comparison of the actual value of the ETc and the calculated one using apple Kc according to the FAO 56 guidance was done.

It is recommended that when determining the parameters of the drip irrigation regimes for apple trees on the rootstock M-9 in the Steppe of Ukraine when using CropWat 8.0 computer program and iMetos digital weather station to use the adjusted values of Kc.

Key words: drip irrigation, total water consumption, crop coefficient, irrigation rate, method «Penman-Monteith», apple tree.

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg201902-187>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/187>

УДК 004.657:004.72:621.39

ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ (IoT) ЗА ВИКОРИСТАННЯ ПРОТОКОЛУ LORAWAN ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ЗРОШУВАНИХ ЗЕМЕЛЬ

В.П. Ковальчук¹, докт. техн. наук, Т.В. Матяш², канд. техн. наук, В.В. Книш³, О.П. Войтович⁴, аспірант, А.В. Крученко⁵

¹ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0001-7570-1264>; e-mail: volokovalchuk@gmail.com

² Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0003-1225-086X>; e-mail: t.v.matiash@gmail.com

³ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0003-1225-086X>; e-mail: iwpim27@gmail.com

⁴ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-1513-4744>; e-mail: aleksvoitovych@gmail.com

⁵ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-5850-2404>; e-mail: anatolkru@gmail.com

Анотація. У статті проаналізовано практичні підходи до застосування Інтернету речей (IoT – internet of things) для моніторингу зрошуваних земель. Вивчено можливості підключення датчиків вологості ґрунту, температури, тиску, напрямку та швидкості вітру на базі протоколу LoRaWAN до Інтернет-шлюзів (базових станцій) без оплати за стільниковий зв'язок, додаткового живлення, розгортання у польових умовах складних Wi-Fi мереж. Отримано практичні результати щодо особливостей роботи датчиків у польових умовах; налаштування гарантованого зв'язку між базовою станцією (шлюзом) по протоколу LoRaWAN; технічних характеристик та причин можливих збоїв у роботі обладнання.

Досліджено особливості обладнання, специфіку розгортання та налаштування на місцевості датчиків на базі протоколу LoRaWAN зокрема: технічні характеристики (робочі частоти, матеріал, довжина, типи з'єднання та висота розміщення антен, дальність та якість передавання радіосигналу); застосування різних джерел живлення (різні типи акумуляторних батарей та площ поверхонь сонячних панелей); особливостей експлуатації у польових умовах (можливі перешкоди розповсюдження радіосигналу, залежність від впливу шкідників, температурних коливань); шифрування при обміні даними. Розроблено бюджетне рішення для моніторингу метеопказників, вологості ґрунту на зрошуваних землях. Розгорнуто бездротову моніторингову мережу на базі протоколу LoRaWAN на зрошуваних полях ДП ДГ Асканійське Каховського району Херсонської області у складі 1 базова станція та 5 кінцевих пристроїв на відстані до 2 км.

Встановлено, що технологія LoRa дозволяє керувати коефіцієнтом розширення каналу, визначаючи кількість даних, що передаються за певний проміжок часу. Визначено, що для успішної роботи бездротових систем важливим питанням є правильне радіопланування та проектування рішення під конкретні задачі замовника. При розгортанні бездротових мереж виявлено та досліджено основні вимоги до надійності роботи базових станцій та кінцевих пристроїв.

Ключові слова: сільське господарство, зрошувані землі, застосування Інтернету речей (IoT), протокол LoRaWAN, метеостанції, метеодані, передача та отримання, базова станція.

Постановка проблеми. Застосування технологічних інновацій у сільському господарстві вже давно не є новиною. Передові країни світу приділяють велику увагу використанню технологій Інтернету речей, оскільки усвідомлюють, що у широкому їх застосуванні закладено величезний потенціал значного підвищення ефективної діяльності. Інтернет речей (the Internet of Things, або просто IoT) є системою взаємопов'язаних обчислювальних пристроїв, що мають можливість передачі даних через глобальну мережу [1; 2].

В Україні головним стримуючим фактором широкого застосування технології IoT у сільському господарстві залишається недостатнє покриття сільськогосподарських угідь і віддалених сільських населених пунктів мережами стільникового зв'язку. Самостійне ж будівництво необхідної інфраструктури не по кишені фермерам. Сьогодні для забезпечення сигналом віддалених місцевостей є рішення в комплексному поєднанні «LoRaWAN – стільниковий зв'язок/мережа Інтернет». Зараз цю технологію активно розвивають розробники як програмного, так і апаратного

забезпечення: під неї виробляють різноманітні сенсори, програмні продукти, хмарні рішення тощо. Популярність протоколу пояснюється використанням безкоштовного відкритого діапазону радіочастот, що не підпадає під обов'язкове ліцензування, значною зоною покриття порівняно зі звичайним радіосигналом чи бездротовим мережевим покриттям (Wi-fi), стандартними та недорогими комплектуючими, відкритістю платформи, низьким енергоспоживанням [3; 4].

Агрогосподарства та дослідні господарства Національної академії аграрних наук найчастіше використовують метеостанції IMETOS та Davis, за допомогою яких отримують показники температури повітря і вологості, кількості опадів, сонячної активності, швидкості вітру та ін. Метеостанції зазначених компаній вдень працюють від сонячних батарей, а вночі використовують для живлення заряджений від сонячного світла акумулятор. Кожну годину обладнання передає пакети текстових даних у вигляді SMS чи по GPRS-каналю до серверу, використовуючи звичайну SIM-карту. Дані можна переглянути на комп'ютері або за допомогою мобільного додатка.

Ключовою відмінністю передачі даних на базі протоколу LoRaWAN, окрім низької енергоємності та відсутності плати за стільниковий зв'язок, є вища насиченість полів датчиками і сенсорами з бездротовою передачею даних, які розподілені рівномірно по площі та вища точність даних. Це дає змогу мати розширену та більш точну картину стану полів. Водночас є можливість використання «розумних» сенсорів та «хмарних» технологій для обробки масиву даних.

Мета досліджень розробити бюджетне рішення для практичних досліджень та застосування Інтернету речей (IoT) із використанням протоколу LoRaWAN для моніторингу метеопказників, вологості ґрунту на зрошуваних землях.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Стрімкий розвиток мереж із пакетною передачею даних на початку 2000-х років призвів до того, що світові телекомунікаційні компанії спочатку виробили, а вже потім приступили до реалізації нової парадигми розвитку комунікацій – мереж наступного покоління. Значний розвиток методу радіочастотної ідентифікації (RFID), поширення бездротових сенсорних мереж (WSN), а також стрімке зростання застосування смартфонів і планшетних комп'ютерів сприяли появі великої кількості інтегрованих із мережею Інтернет технічних пристроїв («речей»), взаємопов'язаних між собою.

Більшість передових країн світу приділяють велику увагу технологіям Інтернету речей (Internet of Things (IoT)), оскільки усвідомлюють, що у широкому їх застосуванні закладено величезний потенціал значного підвищення ефективності практично будь-якого виду людської діяльності. Країни, такі як Китай, Індія, Австралія [5] та інші, обирають саме протокол LoRaWAN [6-8] для будівництва мережі Io T. Такі мережі вже знаходять своє застосування в житлово-комунальному господарстві та енергопостачальних компаніях різних країн, коли по таким протоколам показники лічильників обліку послуг надсилаються безпосередньо сервісним чи енергопостачальним компаніям без передавання показників вручну. Впроваджується ця технологія і в сільському господарстві. Так, за дослідженнями закордонних авторів [6], проаналізовано енерговитрати при передачі пакетів даних за різними протоколами залежно від дальності їх передачі та визначено найбільш оптимальні. На думку авторів найбільш придатними у порівнянні «енерговитрати-дальність передачі» доцільно використовувати передачу даних за протоколами LoRaWAN, SigFox та GPRS. [6-7]. Ці результати підтверджуються і нашими дослідженнями, коли для опитування значної кількості просторово розподілених даних у постійному режимі прийому-передавання застосовується протокол LoRaWAN, а накопичені опрацьовані пакети щогодинно передаються на сервер за протоколом GPRS, що є більш енерговитратним. Таку модель доцільно застосовувати коли обсяг трафіку даних низхідної лінії зв'язку перевищує обсяг трафіку даних висхідної лінії зв'язку. У [7] проаналізовано роботи, присвячені побудові таких мереж з використанням різного типу обладнання. Принципи побудови мережі аналогічні застосованим нами в дослідженнях за одним виключенням – кількість опитуваних кінцевих пристроїв в наших дослідженнях була дещо меншою, а кількість станцій, що використовують GPRS модуль – більшою. Також у роботі [7] досліджено кількість пакетів, що втрачається під час передачі даних, та підтверджено їх кількість до 20% при застосуванні мобільних передавачів.

Сільське господарство це, в першу чергу, значні площі, віддалені від міст та джерел електропостачання поля та ферми. Будівництво традиційних каналів зв'язку в таких місцях достатньо дороге, а класичні мобільні технології для вирішення бізнес-завдань підходять лише частково. У галузі рослинництва IoT

призначені для того, аби допомогти фермерам отримувати таку важливу інформацію як вологість, температура повітря та ґрунту, кількість опадів, мінеральний фон, сонячна активність та інші показники, використовуючи дистанційні датчики для підвищення врожайності та прогнозування врожаю. Мережа для IoT LoRaWAN забезпечує, по-перше, підключення та збір інформації з віддалених датчиків, розподілених по території, завдяки своїй здатності охопити величезні площі, в радіусі до 15–20 км на відкритому просторі, при порівняно низьких витратах на установку базових станцій по відношенню до організації стільникового зв'язку. По-друге, IoT-датчики LoRaWAN здатні працювати автономно до десяти років, за рахунок передачі невеликих обсягів інформації на малих швидкостях, їх можна порівняти з пристроями «поставив і забув». Завдяки роботі датчиків знижуються витрати і підвищується ефективність рутинних процесів на 10–30 відсотків.

Законодавчою основою розвитку IoT є Концепція розвитку цифрової економіки та суспільства України на 2018–2020 роки, схваленої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 17 січня 2018 р. № 67-р, передбачається впровадження цифрового землеробства – принципово нової стратегії менеджменту, що базується на застосуванні цифрових технологій, та новий етап розвитку агросфери, пов'язаний з використанням геоінформаційних систем, глобального позиціонування, бортових комп'ютерів та смарт-устаткування, а також управлінських та виконавських процесів, здатних диференціювати способи оброблення, внесення добрив, хімічних меліорантів і засобів захисту рослин. Індустрія 4.0 – наступний етап цифровізації виробництва та промисловості, на якому головну роль відіграють такі технології та концепти як IoT, «великі дані» (bigdata), «предиктивна аналітика», хмарні та віддалені обчислення, «машинне навчання», машинна взаємодія, штучний інтелект, робототехніка, 3D-друк, доповнена реальність.

Не осторонь перспектив використання IoT знаходяться і українські оператори стільникового зв'язку. Так, компанія Lifecell і оператор мережі IoT Ukraine почали створення першого сегмента Національної мережі Інтернет речей. Запуск мережі стандарту LoRaWan в тестовій експлуатації здійснено у серпні 2018 р., а вже у квітні 2019 р. Lifecell в партнерстві з IoT Ukraine розгорнув мережу «Інтернет речей» в трьох обласних центрах України: Києві, Львові та Кропивницькому [9]. Компанія

Vodafone-Україна також запускає в життя проект використання IoT-протоколів зі спеціальними привабливими умовами для підприємств-партнерів.

Практична цінність проведених досліджень полягає в поєднанні описаних вище технологій на території дослідних ділянок. Так, можемо констатувати, що поєднання в межах одного поля LoRa-передавачів (виробника недорогих наявних на ринку пристроїв) та GPRS пристроїв забезпечує результат із допустимою втратою пакетів при передачі сигналів на рівні 20%, що є допустимим. Під час проведення досліджень опитувались різні датчики, зокрема: Watermark, автоматичні датчики вимірювання потенціалу вологи, дощоміри, пакетні дані з яких передавались для подальшого зберігання і обробки та контролювались за допомогою власного розробленого web-інтерфейсу. Підвищенню продуктивності та зменшенню втрат пакетних даних низхідної лінії сприятиме наявність додаткових джерел живлення на полі, що своєю чергою збільшує вартість розгортання мережі.

Умови проведення досліджень. Місце проведення. Дослідження проводили протягом вегетаційного періоду у 2019 р. на зрошуваних полях ДП ДГ «Асканійське» Асканійської державної сільськогосподарської дослідної станції Інституту зрошеного землеробства Національної академії аграрних наук України Херсонської обл. Дослідне господарство багатогалузеве, займається вирощуванням зернових культур (озимої пшениці, гороху, кукурудзи), олійних (соняшнику, озимого ріпаку), кормових (люцерни) та технічних. Ґрунти території господарства чорноземи південні і темно-каштанові важко-суглинкові і легкоглинисті.

Для зони південного Степу України, в якій розташовані землі господарства, характерна незначна кількість опадів, низька вологість повітря, часті суховії, теплі осінь та зима, а також тривалий безморозний період. Літнім опадам притаманна нерівномірність. Дощі мають переважно зливовий характер і супроводжуються градом, грозами і буревіями. У середньому дощі з грозами бувають до 26 днів, з градом – до 2-3 днів. Сумарне випаровування за літній період складає 180 мм, що перевищує величину опадів, відповідно коефіцієнт зволоження менше 1. Тому територія належить до регіонів недостатнього природного вологозабезпечення.

Обладнання. Враховуючи що метою дослідження було розробити бюджетне рішення для практичних досліджень, то за

розгортання, налаштування та перевірки практичної роботи протоколу LoRaWAN у польових умовах авторським колективом не використовувались готові, достатньо дорогі пристрої із закритим вихідним кодом. Здійснювалось самостійне збирання пристроїв із необхідним функціоналом, набором сенсорів та програмним забезпеченням. Збір даних з місць встановлення у досліді забезпечувався за допомогою датчиків BME280 (атмосферний тиск, вологість, температура) та HP206C [10] (датчик тиску) (рис. 1) за рахунок розгорнутої LoRa мережі на частоті 433 МГц і передачею отриманих даних за допомогою одного GSM модуля через GPRS-канал в Інтернет на хмарний сервер. В якості контролера було обрано Arduino Nano 3.0 (повнофункціональний мініатюрний пристрій на базі мікроконтролера ATmega328) (рис. 1), до якого було під'єднано датчик BME280, акумулятор (1800 мА*год) та сонячну панель (1,5 Вт).

Контролер Arduino Nano 3.0 випускається з прошитим завантажувачем, це дозволило завантажувати безпосередньо в нього нові прошивки та код, без необхідності використання дротового з'єднання між мікроконтролером та комп'ютером. Взаємодія з мікроконтролером виконувалася за оригінальним протоколом STK500, в якості альтернативного варіанта передавача застосовано модулі (передавачі) SX1272 (рис. 1) [11]. Для отримання та обробки даних датчиків було використано бібліотеки з відкритим вихідним кодом: з датчиком BME280 https://github.com/adafruit/Adafruit_BME280_Library; з датчиком HP206C https://github.com/ncdcommunity/Arduino_Library_HP206C_24Bit_ADC_Barometer_Altimeter_Sensor.

Налаштування контролера здійснювалося через зовнішню керуючу програму, що запускається в операційній системі Windows, а код зберігався у EPROM Arduino, для забезпечення подальшої автономної роботи зібраного пристрою. Інтернет-шлюзом в якості мосту між кінцевими вузлами мережі та сервером виступала спеціалізована інтегральна схема SX1301. В якості альтернативи поєднували окремих приймач LoRa SX1272 або аналогічний з модулем GSM.

Результати досліджень. *Виробник обладнання та маркетингова складова.* Від вибору надійного виробника якісного обладнання напряму залежить маркетингова складова просування рішень на базі протоколу LoRaWAN кінцевому користувачу. Виробники застосовують агресивний маркетинг. Практично у кожного виробника в описі обладнання типу LoRa присутнє формулювання «до». Наприклад: «наше обладнання розвиває швидкість до 50 кілобіт/сек і працює у радіусі до 15 кілометрів». Зрозуміло, ніхто не згадує, що це різні «до» і одночасно вони не працюють. Або швидкість, або дальність передачі радіосигналу. Практичне випробування модулів LoRa для передавання даних від розташованих у полі датчиків доводить, що заявленого радіуса дії можна досягти лише за ідеальних умов, оскільки LoRa модульований радіосигнал, який підпорядковується всім законам поширення радіохвиль.

При узагальненні та систематизації проведених досліджень використання протоколу LoRaWAN для моніторингу зрошуваних земель було виділено такі основні моменти. При виборі обладнання автори керувались типом та технологією отримання інформації, періодичністю її надходження до кінцевого

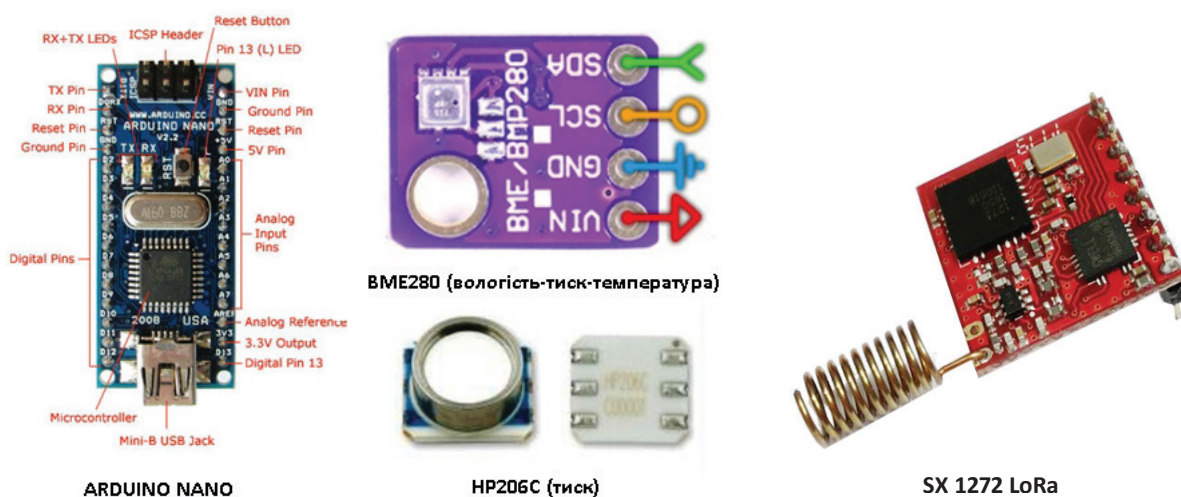


Рис. 1. Електронні складові пристрою: контролер, сенсори, LoRa-передавач

обладнання (серверу) та видачі рекомендацій користувачеві. У нашому випадку це отримання даних про вологість, температуру повітря та ґрунту, кількість опадів, сонячну активність та швидкість вітру.

Використання протоколів бездротового зв'язку, зокрема LoRa, було досліджено у роботі [6], радіус передачі даних за цією технологією склав 5 км. Стосовно конкретно обраного типу передавача, то LoRa – технологія зв'язку на великі (Long Range) відстані, запатентована компанією Semtech і реалізована в їх чіпах SX1272 та SX1276 (рис. 1). LoRa це протокол низького рівня, поверх якого можуть реалізовуватися більш високорівневі протоколи, наприклад LoRaWAN. Особливість стандарту LoRa Semtech – передача невеликих пакетів даних із невисоким енергоспоживанням. За інформацією виробника, потенційна дальність на відкритій місцевості може досягати 10–20 км, а час роботи від батареї становить кілька років. Робочі частоти залежать від країни і складають 433 або 868 МГц (EU-версія) або 915 МГц (USA-версія). Враховуючи обмеженість розміщення антени висотою дощувальної машини максимальна відстань передачі пакетів у досліді склала 2 км.

Технічне обслуговування обладнання – це проблема, яка має важливе значення для продуктів IoT у сільському господарстві. Датчики та обладнання для передачі даних використовуються в польових умовах, зазнають впливу природних та механічних факторів. На рис. 2 наведено тестовий зразок БС, змонтований у пластиковій колбі побутового фільтра для очищення води. Варіант розміщення БС у колбі не є бюджетним, але обраний з ряду причин: зручність обслуговування в польових умовах; герметичність; вільне проникнення радіохвиль; колір плас-

тику відштовхує сонячні промені; відносна стійкість до хвиль УФ спектра. На рис. 3 наведено тестовий зразок БС, змонтований у розподільчому коробі для електричних з'єднань.

Аналіз факторів при розробці і розташуванні базової станції. Результати досліджень, проведених у ДП ДГ «Асканійське», свідчать про зону надійного приймання сигналу у діапазоні 0,7–2 км при використанні обладнання, що працює на частоті 433 МГц (при розміщенні антени на висоті 1,8 метра). Під зоною надійного приймання сигналу розуміється відсутність втрат пакетів переданих даних від кінцевих пристроїв до базової станції (шлюзу), яка залежить від наведених нижче факторів:

- висота розміщення антени;
- довжина та якість антенного кабелю;
- тип та довжина антени;
- рознесення у просторі LoRa та GSM антен;
- віддаленість LoRa від металевих компонентів (штанги, кріплення, елементи дощувальних машин);
- коливання висоти рослин у місці встановлення;
- висота проходження дощувальної машини;
- захищеність від зовнішніх впливів.

Базова станція (шлюз) використовує два канали передавання даних:

1. Безпосередня відправка даних з Arduino на web-сервер через мобільний інтернет (використано GSM модуль), де php скрипт зберігає отримані дані в mysql базі даних.

2. Отримання та відправлення даних із та до територіально розподілених кінцевих пристроїв по протоколу LoRaWAN.

Для кінцевих вузлів та Інтернет-шлюзу після проведення польових експериментальних досліджень запропоновано використовувати

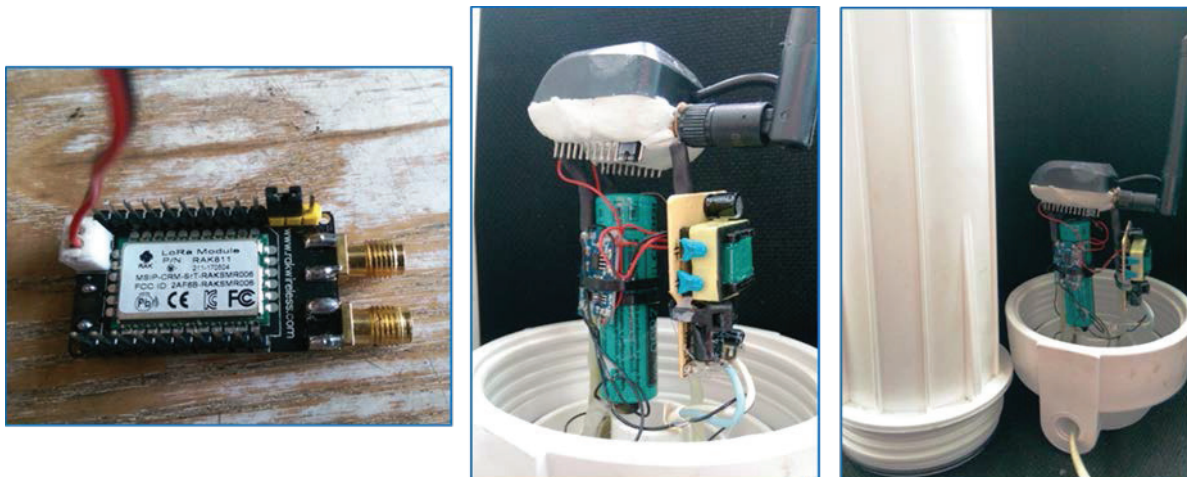


Рис. 2. Тестовий зразок БС у пластиковій колбі побутового фільтра для води

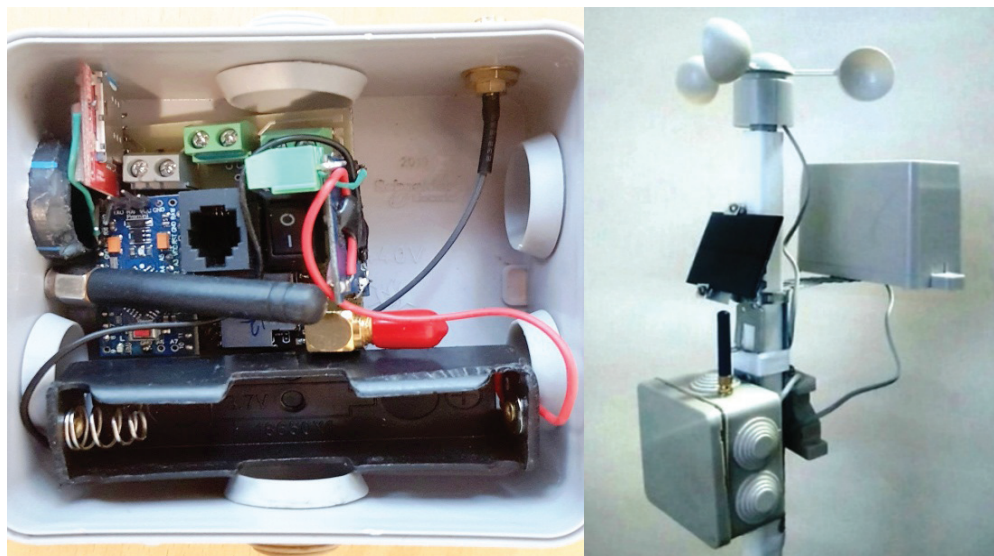


Рис. 3. Тестовий зразок БС у розподільному коробі (рівень захисту IP55)

передавачі SX1272, оскільки вони мають незначне споживання енергії, що подовжує термін роботи від акумулятора. Споживання енергії в режимі приймання становить не більше 200 мА, біля 10 мА в режимі очікування та 50–100 мА в режимі передачі залежно від обраної потужності. Для передавання даних кінцевими вузлами (датчиками) була обрана найбільша потужність передавача на 18 dBm, що відповідає 100 мА споживання енергії. Враховуючи, що тривалість відправки становить одну секунду, а періодичність кілька разів на годину, така технологія передавання даних може використовуватися як в пристроях із батарейним живленням, так і пристроях із додатковим живленням від сонячної панелі (65*65 мм) на рівні 40 мА у денні години.

Числові показники про стан поля мають невеликий об'єм у вигляді цифрових даних, а розмір пакету, що передається за один раз, не перевищує 40 байт. Це дозволяє використо-

вувати найповільніший коефіцієнт модуляції сигналу LoRa, який забезпечує максимальну відстань передачі даних, в нашому випадку – 2 км. при коефіцієнті розширення SF=12, що дозволило максимально збільшити відстань приймання-передачі до 1,5–2 км (рис. 4). При стандартному коефіцієнті SF=7 дальність спостерігалась у межах 800 метрів, що відповідає характеристикам звичайної радіо-передачі без LoRa модуляції. Робоча частота передавача залежить від моделі схеми і додаткових налаштувань. Найбільш ефективна за дальністю передачі є частота 868 МГц. Використання передавачів SX1276, які працюють на частоті 433 МГц, забезпечувала меншу дальність передачі даних.

Як елементи живлення для приймача та передавача на початку проведення досліджень використовували Li-ion акумулятори з робочою напругою 3,7V. У процесі роботи було виявлено головний недолік таких типів



Рис. 4. Схема бездротової мережі з використанням LoRa для моніторингу зрошуваних земель у ДП ДГ Асканійське Херсонської обл.

акумуляторів – нестабільність роботи при високій температурі повітря у денний час. Сонячна панель не заряджала акумулятор при температурі вище 30°C, тому Li-ion акумулятори було замінено на нікель-металгідридні з тією ж робочою напругою 3,7 V та можливістю стабільної роботи при температурах до +55°C. Підзарядка батарей здійснювалась за рахунок сонячних панелей різної потужності. Для більш енергоємної базової станції оптимальною стала панель на 1W, яка навіть в умовах тривалої похмурої погоди (більше тижня) забезпечує підтримання повного заряду пристрою протягом дня.

Критерії вибору обладнання та програмне забезпечення. Для отримання актуальних рекомендацій з проведення агротехнічних заходів, зокрема вчасності та кількості поливів, на перше місце було поставлено точність даних та надійність обладнання, на друге – мобільність отримання інформації, наприклад на смартфон, на третє – практичність використання даних і зручність в обслуговуванні. Тому для організації моніторингу метеопказників декількох полів була використана класична топологія мережі типу «зірка» (рис. 4). На найбільш рівновіддаленому відносно інших точок моніторингу полі було встановлено базову станцію, що відігравала роль приймача, до якого за допомогою радіозв'язку підключалися інші станції моніторингу та пересилали дані зі своїх сенсорів. Базова станція, періодично встановлювала з'єднання по GPRS та відправляла отримані дані на сервер в Інтернет.

Як вже зазначалося, кінцеві пристрої та базова станція (шлюз) – пристрої, які займаються виключно збиранням та відправкою отриманих даних через заданий проміжок часу. Обробка та візуалізація отриманих даних здійснюється сервером, на якому функціонує відповідне програмне забезпечення [12].

Сьогодні на ринку можна знайти практично будь-яку метеостанцію. Вони різні за ціною, функціональним та цільовим призначенням (для поля, теплиці, садка тощо) та за кількістю дотикових опцій. Ціновий діапазон метеостанції варіюється від кількох сотень гривень до кількох тисяч доларів США. Така істотна різниця в ціні обумовлена деталями: країною-виробником, брендом, кількістю додаткових опцій, технічними характеристиками та можливостями, платним чи безоплатним сервісним обслуговуванням та терміном використання. У галузі АПК найбільш поширеною моделлю є бездротова метеостанція, що складається з ряду датчиків

для дистанційного отримання та передачі інформації, герметичного корпусу, елементів живлення та кріплення.

У розробленому протягом проведеного дослідження пристрої авторським колективом запропоновано рішення для моніторингу метеопказників, вологості ґрунту на зрошуваних землях з можливістю видачі науково-обґрунтованих рекомендацій замовнику. Враховуючи, що отримані дані можна зберігати в архіві, існує можливість завдання інтервалів часу. Вимірювання можуть бути записані і завантажені за потребою на комп'ютер або мобільний телефон за допомогою програмного забезпечення, що постачається у комплекті з метеостанцією. Покази метеостанції прив'язані до місця її розташування, а також до властивостей ґрунту і умов поливу. Вартісні характеристики пропонованого зразка складають 30–40% порівняно з можливостями метеостанцій типу Davis тощо.

Висновки. У публікації вивчено і доведено можливості підключення датчиків вологості, температури та тиску на базі протоколу LoRaWAN до Інтернет-шлюзів (базових станцій) без оплати за стільниковий зв'язок, додаткового живлення, розгортання у польових умовах складних Wi-Fi мереж. Розроблено бюджетне рішення для моніторингу метеопказників, вологості ґрунту на зрошуваних землях у складі 1 базова станція (шлюз) 5 кінцевих пристроїв (станцій моніторингу).

Базова станція має бути розміщена вище за кінцеві пристрої, які опитує і займати одну з найвищих точок площі в межах території, де проводяться дослідження, при цьому слід враховувати і відкритість території. Найкраща якість сигналу забезпечувалась у зоні прямої видимості від базової станції до датчика. Зона покриття базовою станцією з базовою антеною далека від максимальної для LoRaWAN і, в нашому випадку, склала 0,6 км, з підсиленою та доопрацьованою антеною – 2 км. Тому при плануванні розміщення датчиків в польових умовах найбільшу увагу слід приділяти розташуванню базової станції, адже заявленої та гарантованої виробниками зони стійкого покриття в 8–15 км без відповідної антени і обґрунтованого радіопланування, навіть на відкритій місцевості, отримати неможливо.

Доцільно передавати дані з датчиків об'ємом 30–40 байт за одну відправку, при коефіцієнті розширення SF=12 без втрати якості передаються на відстань до 1,5–2 км, при SF=7. Встановлено, що гарантована відстань прийому-передачі становить

800 метрів, що відповідає характеристикам звичайної радіопередачі без LoRa модуляції.

Визначено, що робоча частота передавача залежить від моделі схеми і від налаштувань. Найбільш ефективна за дальністю передачі є робоча частота 868 МГц. Використання передавачів SX1276, які працюють на частоті 433 МГц, забезпечували меншу дальність передачі даних.

Для приймача та передавача запропоновано використовувати нікель-металгідридні акумулятори на 3,7V.

Використання сонячних панелей підтвердило свою ефективність, оскільки дозволяє підтримувати заряд пристроїв протягом тривалого часу. Максимальна рекомендована потужність сонячних панелей базових станцій 1W, датчиків і сенсорів 0,65 W.

Бібліографія

1. Павленко О.М. Чому IoT, AI та Machine Learning – це майбутнє сільського господарства. URL: https://lb.ua/blog/opavlenko/390501_chomu_iot_ai_machine_learning-tse.html (дата звернення: 21.08.2019 р.).
2. Скіцько В.І. Інтернет речей у логістиці: сьогодення та тенденції. URL: http://ir.kneu.edu.ua/bitstream/handle/2010/25992/ZE_2018_96.pdf?sequence=1&isAllowed=y (дата звернення: 13.08.2019 р.). Цифрова економіка: зб. мат. Національної наук.-метод. конф., 4-5 жовтня 2018 р., м. Київ.
3. Федієнко А.П. LoRaWAN-Mikrotik фрагмент проекту IoT. 2018. URL: https://mum.mikrotik.com/presentations/UA18/presentation_5546_15286647_34.pdf. (дата звернення: 13.09.2019 р.).
4. Як застосовувати інтернет речей у реальному бізнесі. URL: <https://events.sap.com/ua/forum-kyiv/uk/iot> (дата звернення: 02.06.2019 р.).
5. Петров М. LoRA выбрана в качестве основной технологии для первой IoT-сети Австралии. URL: https://iot.ru/promyshlennost/lora-vybrana-v-kachestve-osnovnoy-tekhnologii-dlya-pervoy-iot-seti-avstralii?sphrase_id=10902 (дата звернення: 10.08.2019 р.).
6. Jawad, H.M.; Nordin, R.; Gharghan, S.K.; Jawad, A.M.; Ismail, M. Energy-Efficient Wireless Sensor Networks for Precision Agriculture: A Review. *Sensors* 2017, *17*, 1781. DOI: <https://doi.org/10.3390/s17081781>.
7. Naxhibeqiri, J.; De Poorter, E.; Moerman, I.; Hoebeker, J. A Survey of LoRaWAN for IoT: From Technology to Application. *Sensors* 2018, *18*, 3995. DOI: <https://doi.org/10.3390/s18113995>.
8. de Carvalho Silva, J., Rodrigues, J.J., Alberti, A.M., Solic, P., & Aquino, A.L. (2017, July). LoRaWAN—A low power WAN protocol for Internet of Things: A review and opportunities. In *2017 2nd International Multidisciplinary Conference on Computer and Energy Science (SpliTech)* (pp. 1-6). IEEE.
9. Кулеш С. Lifecell в партнерстве с IoT Ukraine развернул сеть «Интернета вещей» в трех областных центрах Украины. URL: <https://itc.ua/news/lifecell-v-partnerstve-s-iot-ukraine-razvernul-set-interneta-veshhej-v-treh-oblastnyh-tsentrah-ukrainy/> (дата звернення: 17.09.2019 р.).
10. Автоматичний тензіометр з передачею даних через Інтернет і дозаправкою водою вручну: пат. 132271 Україна від 25.02.2019; опубл. 25.02.2019, Бюл. № 4.
11. Semtech SX1272, URL: <https://www.semtech.com/products/wireless-rf/lora-transceivers/sx1272>.
12. Gadzalo, Ya., Romashchenko, M., Kovalchuk, V., Matiash, T., & Voitovich O. (2019, September). Using smart technologies in irrigation management. In *International Commission on Irrigation and Drainage, 3rd World Irrigation Forum (WIF3)* (p.178). Id: W.1.3.02 URL: https://www.icid.org/wif3_bali_2019/wif3_abst_vol.pdf (дата звернення: 17.09.2019 р.).

References

1. Pavlenko, O.M. (2018). Chomu IoT, AI ta Machine Learning – ce majbutnye silskogo gospodarstva [Why IoT, AI and Machine Learning are the future of agriculture]. lb.ua. Retrieved from: https://lb.ua/blog/opavlenko/390501_chomu_iot_ai_machine_learning-tse.html [in Ukrainian].
2. Skicko, V.I. (2018). Internet rechej u logistici: sogoennyja ta tendenciya [The Internet of Things in Logistics: Current Trends]. Tsyfrova ekonomika: zb. mat. Natsionalnoi nauk. metod. konf. Kyiv: KNEU, 330–334. Retrieved from: http://ir.kneu.edu.ua/bitstream/handle/2010/25992/ZE_2018_96.pdf?sequence=1&isAllowed=y [in Ukrainian].
3. Fedienko, A. (2018). LoRaWAN-Mikrotik fragment proekta IoT. [LoRaWAN-Mikrotik fragment of the IoT project]. mum.mikrotik.com. Retrieved from: https://mum.mikrotik.com/presentations/UA18/presentation_5546_1528664734.pdf [in Russian].
4. Yak zastosovuvati internet rechej u realnomu biznesi [How to Use the Internet of Things in Real Business]. Retrieved from: <https://events.sap.com/ua/forum-kyiv/uk/iot> [In Ukrainian].

5. Petrov, M. (2017). LoRA vybrana v kachestve osnovnoj tehnologii dlya pervoj IoT-seti Avstralii [LoRA has been selected as the core technology for Australia's first IoT network]. iot.ru. Retrieved from: https://iot.ru/promyshlennost/lora-vybrana-v-kachestve-osnovnoy-tehnologii-dlya-pervoy-iot-seti-avstralii?sphrase_id=10902 [in Russian].
6. Jawad, H.M.; Nordin, R.; Gharghan, S.K.; Jawad, A.M.; Ismail, M. Energy-Efficient Wireless Sensor Networks for Precision Agriculture: A Review. *Sensors* 2017, 17, 1781. DOI: <https://doi.org/10.3390/s17081781>.
7. Haxhibeqiri, J.; De Poorter, E.; Moerman, I.; Hoebeke, J. A Survey of LoRaWAN for IoT: From Technology to Application. *Sensors* 2018, 18, 3995. DOI: <https://doi.org/10.3390/s18113995>.
8. de Carvalho Silva, J., Rodrigues, J.J., Alberti, A.M., Solic, P., & Aquino, A.L. (2017, July). LoRaWAN—A low power WAN protocol for Internet of Things: A review and opportunities. In 2017 2nd International Multidisciplinary Conference on Computer and Energy Science (SpliTech) (pp. 1-6). IEEE.
9. Kulesh, S. (2019). Lifecell v partnerstve s IoT Ukraine razvernul set «Interneta veshej» v treh oblastnyh centrah Ukrainy. [Lifecell in partnership with IoT Ukraine has launched the Internet of Things network in three regional centers of Ukraine]. itc.ua. Retrieved from: <https://itc.ua/news/life-cell-v-partnerstve-s-iot-ukraine-razvernul-set-interneta-veshej-v-treh-oblastnyh-tsentrah-ukrainy> [in Russian].
10. Kovalchuk, V., Voitovich O., Demchuk D. (2019). Avtomatichnij tenziometr z peredacheju danih cherez Internet i dozapravkoyu vodoyu vruchnu [Automatic tensiometer with data transmission over the Internet and refueling with water manually]. Patent of Ukraine. №132271 [in Ukrainian].
11. Semtech SX1272. semtech.com. Retrieved from: <https://www.semtech.com/products/wireless-rf/lora-transceivers/sx1272>.
12. Gadzalo, Ya., Romashchenko, M., Kovalchuk, V., Matiash, T., & Voitovich O. (2019). Using smart technologies in irrigation management. International Commission on Irrigation and Drainage: 3rd World Irrigation Forum (WIF3). Bali, Indonesia: WIF3, 178. Retrieved from: https://www.icid.org/wif3_bali_2019/wif3_abst_vol.pdf.

В.П. Ковальчук, Т.В. Матяш, В.В. Книш, О.П. Войтович, А.В. Крученко
Применение интернета вещей (IoT) при использовании протокола LORAWAN
для мониторинга орошаемых земель

Аннотация. В статье проанализированы практические подходы к применению Интернета вещей (IoT – internet of things) для мониторинга орошаемых земель. Изучены возможности подключения датчиков влажности почвы, температуры, давления, направления и скорости ветра на базе протокола LoRaWAN к Интернет-шлюзам (базовым станциям) без оплаты за сотовую связь, дополнительное питание, развертывание в полевых условиях сложных Wi-Fi сетей. Получены практические результаты по особенностям работы датчиков в полевых условиях; настройки гарантированного канала связи между базовой станцией (шлюзом) по протоколу LoRaWAN; технических характеристик и причин возможных сбоев в работе оборудования. Исследованы особенности оборудования, специфика развертывания и настройки на местности датчиков на базе протокола LoRaWAN в частности: технические характеристики (рабочие частоты, материал, длина, тип соединения и высота размещения антенн, дальность и качество передачи радиосигнала); применение различных источников питания (типы аккумуляторных батарей и площади поверхности солнечных панелей); особенности эксплуатации в полевых условиях (возможные препятствия распространения радиосигнала, зависимость от влияния вредителей, температурных колебаний) шифрование при обмене данными. Разработано бюджетное решение для мониторинга метеопараметров, влажности почвы на орошаемых землях. Развернута беспроводная мониторинговая сеть на базе протокола LoRaWAN на орошаемых полях ГП ОХ Асканийское Каховского района Херсонской области в составе 1 базовой станции и 5 конечных устройств на расстоянии до 2 км. Установлено, что технология LoRa позволяет управлять коэффициентом расширения канала, определяя количество передаваемых данных за определенный промежуток времени. Определено, что для успешной работы беспроводных систем важным вопросом является правильное радиопланирование и проектирование решения под конкретные задачи заказчика. При развертывании беспроводных сетей обнаружены и исследованы основные требования к надежности работы базовых станций и конечных устройств.

Ключевые слова: сельское хозяйство, орошаемые земли, применение интернет вещей (IoT), протокол LoRaWAN, метеостанции, метеоданные, передача и получение, базовая станция.

V.P. Kovalchuk, T.V. Matiash, V.V. Knysh, O.P. Voitovich, A.V. Kruchenyuk
**Internet of Things (IoT) applications using the LORAWAN protocol
for monitoring irrigated land**

Abstract. *The article analyzes the practical approaches to the use Internet of things (IoT) for monitoring irrigated lands. It was studied possibilities of soil moisture sensors connection, temperature, pressure, direction and speed of wind-based which based on LoRaWAN protocol to Internet gateways (base stations) without payment for cellular communication, additional power supply, deployment in the field of complex Wi-Fi networks. Practical results were obtained on the characteristics of the sensors in the field; setting up a guaranteed connection LoRaWAN protocol with a base station; technical characteristics and causes of possible equipment malfunction. Also, have been investigated of equipment features, deployment specifics, and settings on the terrain sensors based on LoRaWAN protocol, in particular: technical characteristics (operating frequencies, material, length, connection types and antenna placement height, radio signal transmission range and quality); use of different power sources (different types of batteries and surfaces of solar panels); features of operation in field conditions (possible interference with the propagation of the radio signal, dependence on the influence of pests, temperature fluctuations); encryption when exchanging data. A budgetary solution for monitoring meteorological indicators, soil moisture in irrigated lands has been developed. A wireless monitoring network based on the LoRaWAN protocol has been deployed on the irrigated fields of the Askaniyske farm, Kakhovka district, Kherson region, and consists of the base station and 5 terminal units up to 2 km away. It was found that LoRa technology allows controlling the channel expansion coefficient by determining the amount of data transmitted over a time period. It was determined that an important issue was the proper radio planning and designing solutions for specific customer tasks for the successful operation of wireless systems. When deploying wireless networks, basic requirements for the reliability of the base stations and end devices are identified and investigated.*

Key words: *agriculture, irrigated lands, Internet of Things (IoT) application, LoRaWAN protocol, weather stations, weather data, transmission and reception, base station.*

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg201902-197>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/197>

УДК 628.1

СТВОРЕННЯ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ ВИСОКОЕФЕКТИВНИХ І РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ В СИСТЕМАХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА ВОДОВІДВЕДЕННЯ

П.Д. Хоружий¹, докт. техн. наук, Є.М. Мацелюк², канд. техн. наук, Д.В. Чарний³, докт. техн. наук

¹ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<http://orcid.org/0000-0002-9433-361X>; e-mail: petro1939@bigmir.net

² Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
e-mail: evgen1523@ukr.net

³ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-4632-0558>; e-mail: dmitriych10@gmail.com

Анотація. Науковий супровід заходів, спрямованих на забезпечення централізованим водопостачанням сільських населених пунктів, був покладений на Відділ сільськогосподарського водопостачання УкрНДПГіМ (нині ІВПіМ НААН), починаючи з 1991 р. Головним завданням цього підрозділу Інституту стала розробка науково-технічних рішень для надійного забезпечення всіх споживачів у сільській місцевості водою в потрібній кількості, належної якості та з необхідним вільним напором при мінімізації капітальних і експлуатаційних витрат, раціональному та економічному витрачанні водних ресурсів і захисті довкілля від забруднення стічними водами. Одним із головних фундаментальних теоретичних питань, які потребують подальшого розвитку, є нові підходи у теорії фільтрування. Так, з часів Д.М. Мінца відбувся застій цього напрямку. Особливо це відчувається у вітчизняних розробках, при тому що відбувся суттєвий прорив у створенні фільтрувальних матеріалів (головним чином це стосується фільтрувальних матеріалів, легших за воду, які у часи Д.М. Мінца взагалі не використовували). Так само відбувся прорив у розвитку вимірювальної апаратури і вона зараз дозволяє вимірювати електрокінетичні і розмірні характеристики колоїдів вихідної води і зерен фільтрувального завантаження, а це обумовлює можливість розглянути процес фільтрації, і особливо адсорбції колоїдів на поверхні зерен фільтрувального завантаження, вже під іншим кутом зору. Результати наукових досліджень, виконаних у лабораторії сільськогосподарського водопостачання за 28 років її існування, впроваджені на діючих локальних і групових сільськогосподарських водопроводах. Матеріали наукових досліджень опубліковані в 4-х монографіях і понад 100 статтях і тезах доповідей у вітчизняних і зарубіжних збірниках. Запропоновані рішення запатентовано у 46 патентах на винаходи. Із використанням наукових досліджень колективу лабораторії було захищено 3 докторські (Хоружий В.П., Новохатній В.Г. і Чарний Д.В.) і 14 кандидатських дисертацій.

Ключові слова: централізоване водопостачання, децентралізовані схеми, замкнені схеми водокористування, технології водопідготовки, біофільтри, теорія фільтрування.

Наведено історію формування підрозділу, результати наукових розробок, отриманих у лабораторії сільськогосподарського водопостачання і водовідведення ІВПіМ НААН за 28 років її існування, починаючи з 1991 р., та перспективу розвитку напрямку.

Вступ. Напрями, пов'язані з сільськогосподарським водопостачанням, були присутні з часів створення УкрНДПГіМ. На ту пору існували підрозділи, які забезпечували буріння водозабірних і дослідних свердловин, створення нових конструкцій свердловинних фільтрів, розробку нових типів трубопроводів, захист їх від корозії тощо. Але найбільш ефективно даний напрям почав розвиватися

після створення в 1991 р. підрозділу сільськогосподарського водопостачання. Біля витоків цього напрямку стояли відповідні фахівці і були об'єктивні причини, які обумовили необхідність створення даної структурної одиниці Інституту. Тоді була надзвичайно актуальною тема забезпечення сільських територій, куди було переміщене населення з Чорнобильської зони, централізованим водопостачанням. Керівництвом Інституту було прийняте рішення про створення підрозділу з сільськогосподарського водопостачання. Відділ був сформований на базі тих підрозділів, які вже були пов'язані з водопостачанням. Очолив даний напрямок діяльності

© П.Д. Хоружий, Є.М. Мацелюк, Д.В. Чарний, 2019

підрозділу доктор технічних наук Петро Данилович Хоружий. Також біля витоків формування цього підрозділу були кандидати технічних наук Мацелюк Є.М., Стеценко В.П., Сторчак В.А., Юрченко Л.В. та тоді ще аспіранти Муромцев Л.М. і Чарний Д.В. Задачею підрозділу була розробка наукових рішень по створенню локальних і групових сільськогосподарських водопроводів, оскільки на той час в Україні централізовані водопроводи в сільській місцевості становили лише 24% від загальної кількості, а незабезпечені водою сільські населенні пункти користувались привізною водою.

У 1996 р. підрозділ отримав назву відділу сільськогосподарського водопостачання і каналізації ІГІМ УААН, а з 2011 р. і донині – лабораторії водопостачання і водовідведення ІВПІМ НААН. Основним напрямком розробок колективу лабораторії став подальший розвиток наукових основ (засад) оптимізації систем сільськогосподарського водопостачання і водовідведення шляхом вибору найвигідніших їх технологічних схем та інтенсифікації роботи водопровідних і каналізаційних споруд.

Головним завданням діяльності лабораторії був науковий супровід процесу надійного забезпечення всіх споживачів сільської місцевості водою в потрібній кількості, належної якості та з необхідним вільним напором при мінімізації капітальних і експлуатаційних витрат, раціональному та економічному витрачанні водних ресурсів і захисті довкілля від забруднення стічними водами.

Наукові підходи:

– децентралізація процесів забору, очищення, подачі та розподілення води з поділом її на питну і технологічну;

– надійне забезпечення подачі питної води високої якості, а технологічної – невеликої вартості [1-6];

– створення замкнених систем водопостачання на підприємствах АПК з мінімальним споживанням свіжої води та використанням очищеної стічної води для технічних потреб або зрошення сільгоспкультур, а осадів – для удобрення ґрунтів;

– розробка нових технологій водопідготовки, які базуються на відтворенні інтенсифікованих чинників біогеохімічного циклу води у процесі її природнього самоочищення з метою здешевлення процесу водопідготовки і підвищення бар'єрної здатності діючих споруд;

– надійний захист територій від підтоплення інфільтраційними водами з водосховищ із використанням цих вод для сільгосподарського водопостачання та зрошення;

– оптимізація сумісної роботи всіх взаємодіючих споруд системами для мінімізації питомих витрат електроенергії для транспортування води.

Застосування технологій водопідготовки:

– затримання значної частини забруднень із крупних завислих частинок безпосередньо у джерелі водопостачання з поверхневих водойм за допомогою водозабірно-очисних споруд;

– здійснення аерації води для насичення її киснем повітря;

– застосування біохімічних процесів окиснення органічних і неорганічних речовин, що знаходяться в природних і стічних водах, за допомогою аеробних і анаеробних мікроорганізмів;

– використання сил гравітації при видаленні з води домішок шляхом стисненого їх осідання при висхідному русі води через фільтри з плаваючим завантаженням;

– використання явищ сорбції і біосорбції розчинених у воді домішок;

– проведення знезараження води для видалення з неї хвороботворних мікроорганізмів.

Способи досягнення поставленої мети:

– оптимізація конструктивних і технологічних параметрів системи для мінімізації питомих капітальних і експлуатаційних витрат при забезпеченні всіх вимог до системи;

– забезпечення надійної і довготривалої роботи всіх елементів системи водопостачання і водовідведення.

Результати наукових досліджень.

1. Децентралізовані системи групових сільськогосподарських водопроводів, групові водопроводи характеризуються такими показниками:

– мають велику протяжність водоводів для транспортування основних мас води на великій відстані від основного джерела водопостачання до віддалених населених пунктів;

– більша частина цієї води використовується об'єктами водопостачання для технічних потреб, а менша – для питних потреб;

– при транспортуванні води на великій відстані якість води внаслідок корозії трубопроводів погіршується, що призводить до необхідності її покращення при використанні для питних потреб.

Для оптимізації таких систем запропоновано здійснювати розподіл води на технічну (основну масу води) і питну за принципом: технічна вода повинна бути дешева, а питна – мати високу якість, що відповідає нормативним вимогам.

Технічна вода готується на головних спорудах групового водопроводу в обсязі,

що дорівнює сумі витрат води на технічні та питні потреби всіма водоспоживачами даного водопроводу, а питну воду отримують шляхом доочищення та знезараження технічної води в кожному населеному пункті з витратою, що споживається на питні потреби на цьому об'єкті, на додаткових водоочисних установках. Розроблено математичну модель роботи таких систем з визначенням максимальної кількості населених пунктів, яких можна підключити до групового водопроводу залежно від протяжності водопровідних ліній та загальної витрати споживаної води, а також рекомендації для вибору очисних споруд із підготовки технічної та питної води.

2. Очистка природних і доочищення стічних вод [7–10] на установках з біореакторами (БР) і контактними прояснювальними фільтрами (КПФ). Принцип роботи таких установок оснований на максимальному використанні природних механізмів в очищенні води: насичення її киснем, використання аеробних мікроорганізмів, прикріплених на нерухомих носіях, для окиснення розчинених у воді речовин з утворенням нерозчинних сполук, що під час контактної коагуляції збільшуються до крупних пластівців, здатних при висхідному русі води через плаваюче завантаження випадати в осад під дією сили тяжіння. Розроблено математичні моделі роботи БР з волокнистим фільтрувальним завантаженням і КПФ з плаваючим пінополістирольним завантаженням та рекомендації з їх проектування і експлуатації.

БР має такі функції:

- насичення води киснем;
- біохімічне окиснення домішок, присутніх у воді;
- регулювання швидкості фільтрування води на установці КПФ.

КПФ призначений для остаточного прояснення і знебарвлення води при її висхідному русі через осад, що накопичується у підфільтровому просторі (активний мул). Мінімальна і максимальна кількість цього осаду (питома трудомісткість, кг/м²) визначається розрахунками залежно від якості вихідної води та швидкості її фільтрування через КПФ даної конструкції.

3. Нове вирішення науково-практичної проблеми, пов'язаної з подоланням невідповідності сучасних реагентних технологій на існуючих очисних спорудах сучасному стану джерел водопостачання та якості вихідної води. Запропоновано напрям розвитку теоретичних засад підготовки природних вод на основі процесів природного кругообігу води, який дозволив вести водопідготовку здебіль-

шого без залучення або з мінімальним використанням, за виключенням дизенфектантів, штучних реагентів.

Отримала подальшого розвитку теорія інтенсифікації абіотичних і біотичних процесів деманганції природних вод, створено нові технології і технічні засоби деманганції, знезалізнення і затримання фітопланктону з одночасною контактною коагуляцією за рахунок інтенсифікації біотичних і абіотичних процесів, оптимізації порядку їх проходження порівняно з їх природним циклом і максимальним використанням існуючих очисних споруд.

Розроблені на цих засадах технології впроваджені на діючих об'єктах водопідготовки в Київській, Житомирській, Полтавській, Чернігівській, Черкаській, Сумській областях. Вони забезпечили нормативну якість води з одночасним зменшенням як експлуатаційних витрат, так і антропогенного навантаження на навколишнє середовище в процесі водопідготовки.

4. Замкнені системи водокористування на підприємствах АПК.

Такі системи призначені для економного і раціонального використання водних ресурсів, мінімізації їх забору із природних водних джерел та захисту їх від забруднення неочищеними стічними водами. У таких системах вода, що подається на підприємства АПК, поділяється на технічну та питну. Технічна вода призначена для технічного водопостачання на даному підприємстві та зрошення сільгоспкультур, а питну воду отримують при доочищенні та знезараженні технічної води. Оскільки підприємства АПК розташовані переважно в сільській місцевості, а їх стічні води не токсичні та мають велику кількість органічних домішок, то для очищення таких вод рекомендується застосовувати біологічні методи, що здійснюються в природних умовах (поля фільтрації, поля зрошення, біоставки), або за допомогою установок з БР і КПФ.

Осад, що утворюється при очищенні таких стічних вод, доцільно використовувати як добрива для підживлення сільгоспкультур.

У таких системах невикористана технічна вода повертається на підприємство для технічних потреб, а її поповнення здійснюють із природного водного джерела.

Розроблено рекомендації з проектування і експлуатації всіх споруд такої системи водокористування.

5. Системи забору та використання інфільтраційних вод з водосховищ Дніпровського каскаду.

Для захисту прилеглих територій від підтоплення інфільтраційними водами з Дніпровських водосховищ, рівень води в яких перевищує відмітку поверхні землі навколишніх територій, застосовують проти-фільтраційні завіси (ПФЗ), серед яких використовують вертикальний дренаж із відкачуванням води з дренажних свердловин різними способами.

Для зменшення будівельних та експлуатаційних витрат у таких ПФЗ було запропоновано відкачувати воду з дренажних свердловин вакуумним способом, а для забезпечення однакової глибини зниження рівня води в усіх свердловинах застосувати різну глибину свердловин у різні відстані їх між собою.

Розроблена математична модель роботи такої ПФЗ та запропонована методика розрахунку всіх елементів водозабірної-водопровідної системи.

Зібрану у водоприймальному колодязі воду доцільно використовувати в системах сільськогосподарського водопостачання та зрошення.

6. Забезпечення надійності та економічності роботи водопровідних і каналізаційних споруд.

Системи водопостачання та водовідведення повинні мати високі економічні показники (найменшу будівельну вартість і річні експлуатаційні витрати) при забезпеченні надійної та безперебійної їх роботи протягом тривалого часу.

Для забезпечення цих вимог розроблена методика вибору економічно найвигідніших діаметрів труб та необхідної кількості переключень між ділянками водоводу для забезпечення розрахункової надійності транспортування води, а також методика підбору відцентрових насосів і вибору оптимальних режимів сумісної роботи всіх взаємодіючих елементів системи при різних режимах водоспоживання для мінімізації питомих витрат електроенергії для водопостачання та водовідведення.

Перспективи. Одним із головних фундаментальних теоретичних питань, які потребують подальшого розвитку, є нові підходи у теорії фільтрування. Так, з часів Д.М. Мінца відбувся застій цього напрямку. Особливо це відчувається у вітчизняних розробках, при

тому що відбувся суттєвий прорив у створенні фільтрувальних матеріалів (головним чином це стосується фільтрувальних матеріалів, легших за воду, які у часи Д.М. Мінца взагалі не використовували). Так само відбувся прорив у розвитку вимірювальної апаратури і вона зараз дозволяє вимірювати електрокінетичні і розмірні характеристики колоїдів вихідної води і зерен фільтрувального завантаження, а це обумовлює можливість розглядати процес фільтрації і особливо адсорбції колоїдів на поверхні зерен фільтрувального завантаження вже під іншим кутом зору.

Висновки. Результати наукових досліджень, виконаних у лабораторії сільськогосподарського водопостачання за 28 років її існування, впроваджені на діючих локальних і групових сільськогосподарських водопроводах. Зокрема, при водозборі із поверхневих джерел це Кілійський груповий водопровід та система водопостачання для с. Приморське в Одеській області. Безреагентні технології одночасного очищення підземних вод від понаднормативних концентрацій заліза, марганцю, сірководню тощо були впроваджені на багатьох об'єктах України, найбільш повне впровадження відбулося на станції підготовки води м. Узин Київської обл. і станціях очищення підземних вод Червонослобідського спиртового заводу с. Червона Слобода Макарівського району Київської області. Розроблено і впроваджено інфільтраційні системи локального покращення якості поверхневих вод. Впровадження відбулося на водозборі м. Горішні Плавні Полтавської обл. Також розроблено і впроваджено низку конструкцій комбінованих споруд, які поєднують у собі відстійники з шаром зваженого осаду, попередні фільтри і контактні прояснювачі.

Матеріали наукових досліджень опубліковані в 4-х монографіях і понад 100 статтях і тезах доповідей у вітчизняних і зарубіжних збірниках.

Запропоновані рішення запатентовано в 46 патентах на винаходи.

Із використанням наукових досліджень колективу лабораторії було захищено 3 докторські (Хоружий В.П., Новохатній В.Г. і Чарний Д.В.) і 14 кандидатських дисертацій.

Бібліографія

1. Сериков Л. В., Шиян Л. Н., Тропина Е. А. Коллоидно-химические свойства соединений железа в природных водах // Известия Томского политехнического университета. Вып. 316, № 3. С. 28–33.
2. Ghernaout D. Controlling coagulation process: from zeta potential to streaming potential. American Journal of Environmental Protection. 2015. Vol. 4. № 5. P. 16–27.

3. Holmes M. Zeta potential measurement for water treatment coagulation control. Conference: Oz Water 2015. At: Adelaide, Australia. 2015. P. 8.
4. Adamczyk Z. Role of electrostatic interactions in particle adsorption. *Advances in Colloid and Interface Science*. 1996. Vol. 63. P. 41–149.
5. Morfesis A. Role of zeta (ζ) potential in the optimization of water treatment facility operations. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2009. Vol. 48. № 5. P. 2305–2308.
6. Nobbmann U. The role of zeta potential in the optimization of water treatment. *NSTI-Nanotech 2010*. 2010. Vol. 3. P. 605–607.
7. Журба М.Г. Водоочистные фильтры с плавающей загрузкой. Москва : 2011. 536 с.
8. Чарний Д.В. Розвиток теоретичних засад і удосконалення технологій очищення природних вод в системах сільськогосподарського водопостачання : дис. ... докт. техн. наук : 06.01.02 / Інститут водних проблем і меліорації НААН. Київ, 2017. 302 с.
9. Awet T.T. Effects of polystyrene nanoparticles on the microbiota and functional diversity of enzymes in soil. *Environmental Sciences Europe*. 2018. Vol. 30. № 1.
10. Орлов В.О. Водоочисні фільтри із зернистою засипкою. Рівне : НУВГП, 2005. 163 с.

References

1. Serykov, L.V., Shyian L.N., & Tropyna E.A. (2010). Kolloidno-khimicheskiye svoystva soyedineniy zheleza v prirodnykh vodakh [Colloid-chemical properties of iron compounds in natural waters]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta - News of Tomsk Polytechnic University*, 316(3), 28–33. [in Russian].
2. Ghernaout, D. (2015). Controlling Coagulation Process: From Zeta Potential to Streaming Potential. *American Journal of Environmental Protection*, 4(5), 16–27. <https://doi.org/10.11648/j.ajeps.s.2015040501.12>
3. Holmes, M., Reeve, P., Pestana, C., Chow, C., Newcombe, G., West, J., & Water, S. (2015). Zeta potential measurement for water treatment coagulation control. Conference: Oz Water 2015. Adelaide, Australia, 8.
4. Adamczyk, Z., & Warszyński, P. (1996). Role of electrostatic interactions in particle adsorption. *Advances in Colloid and Interface Science*, 63, 41–149. [https://doi.org/10.1016/0001-8686\(95\)00281-2](https://doi.org/10.1016/0001-8686(95)00281-2).
5. Morfesis, A., Jacobson, A.M., Frollini, R., Helgeson, M., Billica, J., & Gertig, K.R. (2009). Role of Zeta (ζ) Potential in the Optimization of Water Treatment Facility Operations. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 48(5), 2305–2308. <https://doi.org/10.1021/ie800524x>.
6. Nobbmann, U., Morfesis, A., Billica, J., & Gertig, K. (2010). The Role of Zeta Potential in the Optimization of Water Treatment. 3, 605–607.
7. Zhurba, M.H. (2011). Vodoochistnyye fil'try s plavayushchey zagruzkoj [Water purification filters with floating load]. Moscow [in Russian].
8. Charny, D.V. (2017). Rozvytok teoretychnykh zasad i udoskonalennya tekhnolohiy ochyshchennya pryrodnykh vod v systemakh sil's'kohospodars'koho vodopostachannya [Development of theoretical principles and improvement of natural water treatment technology in agricultural water supply systems]. Doctor's thesis. Kyiv: Instytut vodnykh problem i melioratsiyi NAAN. [in Ukrainian].
9. Awet, T.T., Kohl, Y., Meier, F., Straskraba, S., Grün, A.-L., Ruf, T., ... Emmerling, C. (2018). Effects of polystyrene nanoparticles on the microbiota and functional diversity of enzymes in soil. *Environmental Sciences Europe*, 30(1). <https://doi.org/10.1186/s12302-018-0140-6>.
10. Orlov, V.O. (2005). Vodoochysni fil'try iz zernystoyu zasypkoyu. [Water-purifying filters with granular filler]. Rivne: NUVHP. [in Ukrainian].

П.Д. Хоружий, Е.М. Мацелюк, Д.В. Чарний

Создание и внедрение высокоэффективных и ресурсосберегающих технологий в системах сельскохозяйственного водоснабжения и водоотведения

Аннотация. *Научное сопровождение мероприятий, направленных на обеспечение централизованным водоснабжением сельских населенных пунктов, было возложено на Отдел сельскохозяйственного водоснабжения УкрНИИГиМ (ныне ИВПиМ НААН), начиная с 1991 года. Главной задачей этого подразделения Института стала разработка научно-технических решений для надежного обеспечения всех потребителей в сельской местности водой в нужном количестве, надлежащего качества и с необходимым свободным напором при минимизации капитальных и эксплуатационных затрат, рациональном и экономном расходовании водных ресурсов и защите окружающей среды от загрязнения сточными водами. Одним из главных фундаментальных теоретических*

вопросов, требующих дальнейшего развития, являются новые подходы в теории фильтрации. Так, со времен Д.М. Минца состоялся застой этого направления. Особенно это чувствуется в отечественных разработках, при том что произошел существенный прорыв в создании фильтрующих материалов (главным образом это касается фильтрующих материалов, которые легче воды, во времена Д.М. Минца их вообще не использовали). Также произошел прорыв в развитии измерительной аппаратуры и она сейчас позволяет измерять электрокинетические и размерные характеристики коллоидов исходной воды и зерен фильтрующей загрузки, а это обуславливает возможность рассматривать процесс фильтрации и особенно адсорбции коллоидов на поверхности зерен фильтрующей загрузки уже под другим углом. Результаты научных исследований, выполненных в лаборатории сельскохозяйственного водоснабжения за 28 лет ее существования, внедрены на действующих локальных и групповых сельскохозяйственных водопроводах. Материалы научных исследований опубликованы в 4-х монографиях и более 100 статьях и тезисах докладов в отечественных и зарубежных сборниках. Предлагаемые решения запатентованы в 46 патентах на изобретения. С использованием научных исследований коллектива лаборатории были защищены 3 докторских (Хоружий В.П., Новохатний В.Г. и Чарный Д.В.) и 14 кандидатских диссертаций.

Ключевые слова: централизованное водоснабжение, децентрализованные схемы, замкнутые схемы водопользования, технологии водоподготовки, биофильтры, теория фильтрации.

P.D. Khoruzhyi, E.M. Matseliuk, D.V. Charnyi

Development and implementation of high-efficiency and resource-saving technologies for agricultural water supply and wastewater disposal

Abstract. Scientific support for measures aimed at providing centralized water supply to rural settlements has been entrusted to the Department of Agricultural Water Supply of UkrNIIGiM (now the Institute of Water Problems and Land Reclamation of NAAS) since 1991. The main task of this department of the institute was to develop scientific and technical solutions for reliable supply of all consumers in rural areas with water in the required quantity, of the proper quality and with the necessary free pressure while minimizing capital and operating costs, rational and economical use of water resources and environmental protection from pollution by the wastewaters. One of the main fundamental theoretical questions that need further development is new approaches to filtering theory. Since the time of D.M. Mintz this research direction have been stagnated. This is especially felt in domestic developments, despite the fact that there has been a significant breakthrough in the creation of filter materials (mainly in the case of filter materials that are lighter than water, which were not used at the time of D.M. Mintz). A breakthrough in the development of measuring apparatus has also taken place, and it now allows measuring the electrokinetic and dimensional characteristics of colloids in water source and filter loading grains, which makes it possible to consider the filtration process and especially the adsorption of colloids on the surface of filter loading grains from a different angle. The results of scientific researches carried out in the laboratory of agricultural water supply for 28 years of its existence, and were implemented at the existing local and group agricultural water supply systems. Materials of scientific researchers are published in 4 monographs and more than 100 articles and conference materials in domestic and foreign scientific journals. The proposed solutions are patented in 46 patents for inventions. Using the research of the laboratory staff, 3 doctoral dissertations (V.P. Khoruzhyi, V.G. Novokhatnii and D.V. Charnyi) and 14 PhD theses were defended.

Key words: centralized water supply, decentralized schemes, closed schemes of water use, water treatment technologies, biofilters, filtering theory.

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg201902-198>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/198>

УДК 528.854: 556.55 (477)

ДОСЛІДЖЕННЯ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ УКРАЇНИ З ВИКОРИСТАННЯМ ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

С.А. Шевчук¹, канд. техн. наук, В.І. Вишневський², докт. геогр. наук, І.А. Шевченко³, канд. техн. наук., О.М. Козицький⁴, гол. фахівець

¹ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0001-5844-4980>; e-mail: sergey_shevchuk_@ukr.net

² Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-2900-1598>; e-mail: vishnev.v@gmail.com

³ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-4459-6331>; e-mail: irina.shevchenk.23@gmail.com

⁴ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-4459-6331>; e-mail: olegkoz@ukr.net

Анотація. Висвітлено результати досліджень водних об'єктів України з використанням даних дистанційного зондування Землі. Ці дані дають змогу вивчати історію виникнення водних об'єктів, досліджувати їх морфометричні характеристики, температуру води, льодовий режим, поширення заростання, рівень "цвітіння" води і навіть її якість. Встановлено, що довжина річок, особливо невеликих, є більшою, ніж вважається. Це зумовлено тим, що у минулому ця довжина визначалася за топографічними картами, на яких дрібні звивини не було можливості зобразити. Дослідження площі дніпровських водосховищ показало, що вона є меншою, ніж наведено у довідкових джерелах. Насамперед це зумовлено замуленням і заростанням водосховищ. Крім того, у багатьох випадках частину акваторії відокремлено для господарських потреб. Наслідком стало те, що площа Київського водосховища, порівняно з проектною, зменшилася приблизно на 100 км². Значним є зменшення акваторії й інших водосховищ, за винятком Каховського. Спираючись на уточнену площу водосховищ розраховано їх корисний об'єм. Порівняно з первісним він зменшився приблизно на 1,5 км³, або приблизно на 8%. Використання даних супутників Landsat дало змогу встановити просторово-часові особливості термічного режиму дніпровських водосховищ. З'ясовано, що значний вплив на температуру води має робота ГЕС, що розташовані вище за течією. У холодну пору року на температуру води помітно впливають також скиди деяких підприємств. Спираючись на супутникові знімки встановлено найважливіші особливості поширення криги по акваторії. Звичайно останнім від криги звільняється Кременчуцьке водосховище, розташоване посередині каскаду. Для цього ж водосховища характерне найбільше "цвітіння" води. Водночас найменше "цвітіння" спостерігається в Київському водосховищі. Протягом року найбільшим є розвиток водоростей у серпні, насамперед за умов настання теплої та сонячної погоди.

Ключові слова: водні об'єкти, дистанційне зондування Землі, розміри, екологічний стан, температура води, заростання, "цвітіння" води.

Постановка питання. Водні об'єкти здавна відіграють величезну роль в житті людини. Водночас традиційні методи дослідження водних об'єктів мають істотні недоліки. Одним із найсуттєвіших є те, що традиційними методами не можна охопити велику кількість водних об'єктів. Більше того, такими методами неможливо одночасно охопити навіть один великий за розмірами об'єкт. Додамо, що традиційні методи працевістки та ще й вартісні. Значною мірою цих недоліків позбавлені методи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ).

Метою досліджень є показ можливостей використання даних ДЗЗ у дослідженнях

водних об'єктів, а також результатів, отриманих на їх основі.

Методика досліджень. Основним джерелом даних виконаних досліджень стали дані супутників Landsat і Sentinel-2. Крім того, у дослідженнях використано дані супутників Terra та Aqua. Кожен з цих супутників має свої особливості, які враховано в дослідженнях. Зокрема цінними особливостями супутників Landsat є наявність у них термального каналу, якого немає в інших згаданих супутників. Водночас перевагами супутників Sentinel-2 є висока роздільна здатність (10 м), а також значна повторюваність знімання – 2–3 доби. Насамкінець позитивними особливостями

супутників Terra та Aqua є те, що вони одночасно охоплюють увесь Дніпровський каскад та виконують знімання щодня.

Дослідження рельєфу, зокрема з метою встановлення площі водозбору річок, виконано за даними SRTM.

Основними програмними продуктами, які використано при опрацюванні супутникових знімків, стали SAS.Planet, ArcMAP 10, а також Global Mapper.

Викладення основного матеріалу.

Будь-які водні об'єкти мають низку характеристик, з яких найважливішими є розміри. Зокрема найважливішими гідрографічними характеристиками річок є їхня довжина, ширина, глибина, площа водозбору. Своєю чергою, найважливішими гідрографічними характеристиками водойм є їх площа, глибина та об'єм. Значний інтерес мають і такі питання як температура води, льодовий режим, заростання водойм, «цвітіння» води, а також її якість. Багато з перелічених питань можна досліджувати, спираючись на дані ДЗЗ.

Гідрографічні характеристики. Увага до гідрографічних характеристик водних об'єктів існувала здавна. Досить давно написано праці, в яких наведено відповідні відомості. Однією з таких фундаментальних праць можна вважати книгу [10]. Ця праця побачила світ у 1953 р. і, як не дивно, нею досі користуються з метою отримання даних про довжину річок та площу їх водозбору. Логічним є запитання наскільки наведені у згаданій праці дані відповідають істинним?

Дослідження довжини річок виконано з використанням програми SAS.Planet. Цінними якостями цієї програми є можливість використання кількох баз супутникових зображень високої роздільної здатності. Те саме стосується картографічних творів. Наявні в програмі інструменти дають змогу з великою точністю наносити лінію, яка відповідає руслу річки, а потім її вимірювати. Щоправда, належна точність досягається шляхом нанесення великої кількості точок (звичайно тисяч), на що потрібно доволі багато часу.

Відповідні дослідження виконано авторами стосовно р. Рось та її основних приток. Встановлено, що в усіх випадках справжня довжина річок є більшою, ніж вважається. Так довжина р. Рось за даними [10] становить 346 км, а отримана авторами – 378,3 км. Своєю чергою, довжина р. Роставиця, що є найбільшою притокою Росі, за даними [10] становить 116 км, фактична – 124,2 км.

Відмінність становить близько 7–8%. Приблизно такою ж є відмінність довжини інших вимірених річок [1; 8].

Додамо, що уточнення довжини річок супроводжується уточненням розташування за їх довжиною гідротехнічних споруд і гідрологічних постів. Звичайно вони віддалені від гирла на більшу відстань, ніж вважається.

Дані дистанційного зондування Землі дають змогу уточнити і площу водозбору річок. У цьому разі основну увагу приділено результатам знімання земної поверхні у рамках програми SRTM. Шляхом виконання відповідних досліджень встановлено, що наявні довідкові джерела доволі добре корегують з фактичними даними. Звичайно відмінність перебуває в межах 1%. Водночас важливою особливістю сучасних технологій є можливість доброї візуалізації рельєфу місцевості. Прикладом, зокрема, може бути об'ємне зображення території м. Києва (рис. 1).

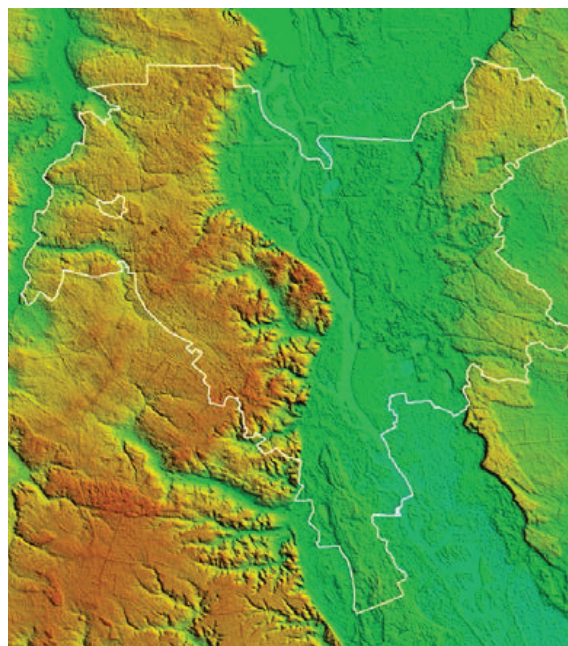


Рис. 1. Об'ємне зображення території м. Києва

Наведене зображення показує значні відмінності в рельєфі ліво- і правобережної частин міста. Спираючись на це зображення можна виміряти ширину долини Дніпра. У найвужчому місці біля Печерського підняття вона становить близько 8,5 км, на північній та південній околицях міста сягає 15–17 км.

На наведеному зображенні простежуються долини найбільших київських річок, зокрема Либеді. Дані SRTM дають змогу не лише деталізувати водозбір цієї річки, а й встановити його площу. Вона становить 67,0 км² (рис. 2).

Звернімо увагу на те, що на наведеному зображенні показано й найважливіші притоки Либеді, побачити які не завжди можна, адже більшість із них захована у підземні колектори.

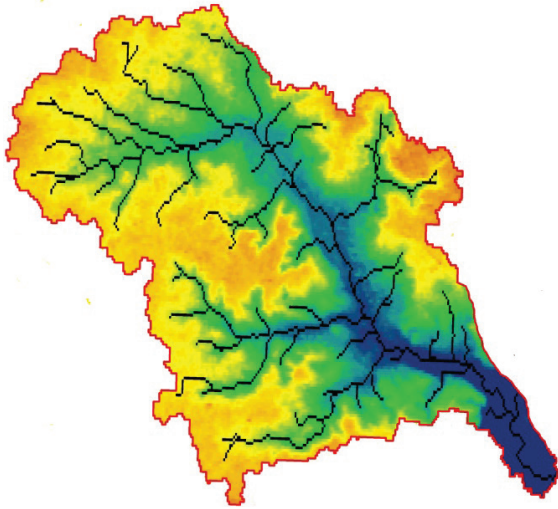


Рис. 2. Об'ємне зображення водозбору р. Либідь

Окремим і водночас дуже важливим питанням є площа водойм. Особливий інтерес становить собою площа дніпровських водосховищ, яка ніколи не уточнювалась. Навіть у відповідних Правилах експлуатації [11] її наведено за проектними даними, яким понад піввіку. Авторами, спираючись на розроблений алгоритм досліджень, встановлено сучасну площу водосховищ для умов НПР. Ця площа виявилася істотно меншою, ніж вважається [5; 6; 8]. Зокрема площа Київського водосховища приблизно на 100 км² менша, ніж наведено в [11].

Оскільки корисний об'єм водосховищ близький за формою до усіченого конуса, це дало змогу оцінити і його величину. З трьох невідомих, які необхідні для розрахунку об'єму усіченого конуса, два відомі: площа більшої основи за умов НПР і висота, що є різницею між НПР та РМО. Єдиною невідомою залишається площа другої основи при

РМО. Вважаючи, що зміни цієї площі пропорційні змінам площі при НПР, встановлено її величину, а відповідно й корисний об'єм водосховищ (табл. 1).

Як видно, розміри дніпровських водосховищ виявилися меншими, ніж вважається. Це має бути враховано в експлуатаційній практиці, адже нині водосховища не можуть виконувати регулювання стоку, на яке розраховують.

Заростання водойм. Процес заростання має не лише теоретичне, а й важливе практичне значення. Це пояснюється хоча б тим, що цей процес супроводжується накопиченням органічного матеріалу і, як наслідок, зменшенням об'єму водойм. Водночас процес заростання часто спричинює погіршення умов існування риби.

Останнім часом значним стало заростання Київського та Канівського водосховищ водяним горіхом. Важливою особливістю цієї рослини є довге стебло, яке дає змогу цьому виду рости на глибинах до 2,0–2,3 м. З групи прикріплених рослин, що мають плаваюче на поверхні листя, ця рослина в Україні є найглибоководнішою. Отже, заростання глибоких ділянок починається саме з водяного горіха.

Протягом року найбільшим є розвиток водяного горіху в серпні. З настанням холодів плаваюче на поверхні листя відмирає. Це можна бачити на прикладі зображень, наведених на рис. 3.

Зрозуміло, що у межах водосховищ росте не лише водяний горіх. Однак виконані польові дослідження показали переважання цього виду над іншими, що належать до групи рослин з плаваючим листям. Нині у Київському водосховищі водяним горіхом вкрито приблизно 40 км², у Канівському – 20–25 км². Це значна площа, яка свідчить, що цю рослину аж ніяк не можна вважати рідкісною чи зникаючою. Разом з тим водяний горіх занесено до Червоної книги України. Щоправда, у четвертому виданні цієї книги, що нині готується до друку, цього виду

1. Основні характеристики дніпровських водосховищ

Водосховище	Площа за умов НПР, км ²		Корисний об'єм, км ³	
	за Правилами експлуатації	уточнена	за Правилами експлуатації	уточнений
Київське	922	824	1,17	1,05
Канівське	642	514	0,30	0,25
Кременчуцьке	2250	2090	8,97	8,32
Кам'янське	567	526	0,50	0,25
Дніпровське	410	300	0,85	0,61
Каховське	2150	2131	6,78	6,68



Рис. 3. Поширення рослинності з плаваючим листям у Канівському водосховищі: ліворуч – 28.08.2019 р., праворуч – 03.10.2019 р.

ймовірно не буде. Певною мірою це зумовлено завдяки отриманим авторами результатами та їх широкому оприлюдненню [8].

Температура води. Цей параметр є дуже важливим, адже здатен впливати на чимало процесів, що відбуваються у водосховищах. Актуальність вивчення температури води полягає ще й у тому, що, за наявними даними, температура води у водоймах України має виразну тенденцію до зростання.

Основну увагу в питанні температури води приділено дніпровським водосховищам. Певною мірою це пояснюється тим, що роздільна здатність термальних каналів супутників Landsat порівняно невисока – 100 м і для невеличких водойм недостатня.

Відповідні дослідження свідчать про те, що кожне з дніпровських водосховищ має свої особливості термічного режиму. При цьому в різні сезони ці закономірності є різними. Спільною рисою всіх водосховищ каскаду, за винятком Київського, є вплив розташованих вище за течією ГЕС. Наслідком цього є, зокрема, те, що влітку температура води в нижньому б'єфі ГЕС є нижчою, ніж на більшості акваторії. Восени ситуація змінюється на протилежну.

Для прикладу, розглянемо термічні особливості Київського водосховища і верхньої частини Канівського водосховища за супутниковим знімком від 15.10.2015 р. Для кращої візуалізації розподілу температури по акваторії решту території закрито маскою, що побудована за індексом NDPI (рис. 4).

Наведене зображення чітко показує температурні особливості Київського водосховища

за умов осіннього зниження температури. Як видно, вона є найнижчою в північній частині водосховища, що характеризується невеликими глибинами, а відповідно і невеликими теплозапасами. Водночас температура біля греблі найвища. При цьому відмінність сягає 5°C.

Певні особливості має й температура води в нижньому б'єфі Київської ГЕС. Наведене вище зображення чітко показує, що найвищою є температура води у глибоких затоках, що пояснюється значними теплозапасами, а також можливим розвантаженням тут підземного стоку. Невисокою, принаймні нижчою, ніж у Дніпрі, є температура води в гирлі Десни. Це зрозуміло, адже зарегулювання стоку на цю річку не впливає.

Додамо, що жодні польові дослідження, навіть в яких взяли би участь сотні людей, не дали би змогу отримати зображення, наведені вище. Відповідно і будь-які закономірності залишилися би нез'ясованими.

Поширення льодового покриву. Закономірності льодового режиму – ще одне питання, яке можна з успіхом вивчати, спираючись на супутникові знімки.

За наявними супутниковими знімками встановлено, що у більшості водосховищ, за винятком Київського і Каховського, найперше замерзає їх центральна частина. Замерзання акваторії вище за течією перешкоджає роботі розташованих вище ГЕС. У свою чергу, швидкому замерзання прилеглої до греблі глибоководної зони перешкоджають значні теплозапаси водної маси, а також вітрові хвилі, які тут звичайно найбільші. В окремих випадках на льодовий режим водосховищ впливають також

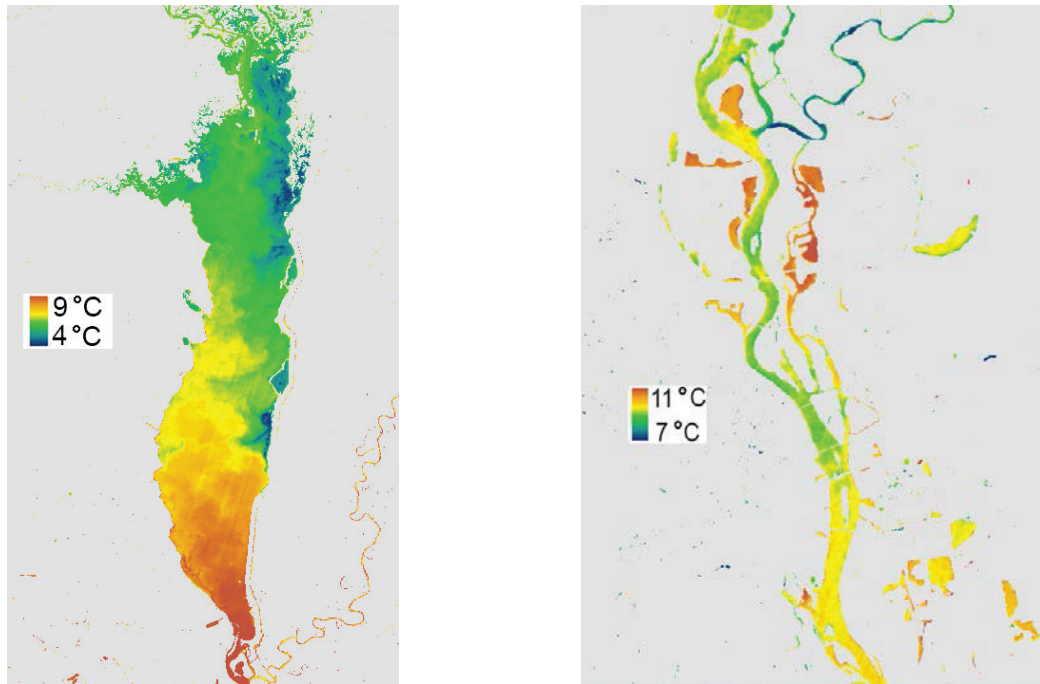


Рис. 4. Розподіл температури води по акваторії Київського водосховища (ліворуч) і верхньої частини Канівського водосховища (праворуч) 15.10.2015 р.

скиди промислових підприємств. Поєднання кількох чинників (південніше розташування, робота Київської ГЕС, скиди київських підприємств) зумовлюють те, що поширення крижаного покриву в Канівському водосховищі значно менше, ніж у Київському. Зокрема у теплі зими крижаний покрив у нижньому б'єфі Київської ГЕС не встановлюється. Найдовше крижаний покрив звичайно спостерігається на великому Кременчуцькому водосховищі, що створене посередині каскаду. Це, зокрема, добре видно на рис. 5.

У Кам'янському водосховищі крига часто накопичується в його звужених місцях. У Дніпровському водосховищі найменшою є тривалість льодових явищ і льодоставу в його верхній частині. Тут, окрім розташованої вище за течією ГЕС, значний вплив мають скиди промислових підприємств міст Кам'янське і Дніпро. Найдовше льодовий покрив у цьому водосховищі спостерігається у Самарській затоці. З усіх водосховищ найменшою є тривалість льодового покриву в Каховському, що має найбільш південне



Рис. 5. Крига на дніпровських водосховищах: ліворуч – 10.04.2003 р., праворуч – 10.03.2015 р.

розташування. Особливо це стосується прилеглої до греблі південно-західної частини цього водосховища.

Дистанційне зондування Землі особливо ефективно у випадках досліджень дуже великих об'єктів, або тих, до яких важко дістатися. За приклад може правити вплив на льодову обстановку нещодавно збудованого мосту в Керченській протоці. У разі настання низьких температур з північного боку мосту утворюється крижаний затор [15]. Немає сумнівів, що ця споруда негативно впливає і на екологічний стан Азовського моря.

«Цвітіння» води. Цей процес уже не одне десятиліття турбує багатьох користувачів води. Значною є й увага до «цвітіння» з боку науковців. До останнього часу вивчення цього процесу відбувалося шляхом польових досліджень, найважливішою складовою яких було взяття проб фітопланктону. Це давало можливість встановити кількість клітин і біомасу водоростей, а також їх видовий склад. Роки пішли на те, щоб оцінити коли і де процес «цвітіння» набуває найбільшого розвитку [14].

Значно ефективно у відповідних дослідженнях використання даних ДЗЗ. Відсутність точних кількісних показників компенсується високим рівнем візуалізації, яку звичайні методи забезпечити не можуть. Зокрема, використовуючи лише кілька знімків супутників Terra та Aqua можна швидко дійти висновку, що з шести водосховищ каскаду найбільшим є «цвітіння» води у Кременчуцькому. Значним є також цей процес у Кам'янському і Каховському водосховищах, найменшим –

у Київському. В останньому разі розвитку водоростей перешкоджає надходження зі стоком Верхнього Дніпра та Прип'яті завислих наносів, а також гумусових речовин (рис. 6).

Протягом року найбільшим є «цвітіння» води у серпні. Водночас у розвитку цього явища немає стійкої динаміки. На кількість водоростей істотно впливають гідрометеорологічні умови: температура води і вітер. Ретельний аналіз супутникових знімків показав також значний вплив сонячного сьйва. У разі настання сонячної погоди розвиток водоростей помітно зростає [2]. У цьому можна переконатися на підставі супутникових зображень, зроблених з інтервалом в одну добу супутниками Terra та Aqua (рис. 7).

Якість води. Дослідженню цього питання з використанням ДЗЗ загалом приділяється дуже значна увага. Водночас має бути зрозумілим, що навіть за наявності у супутникових знімків кількох спектральних каналів за ними не можна встановити концентрацію специфічних розчинних домішок. Реальнішим це є стосовно показників, які істотно впливають на колір води: каламутність, концентрація гумусових речовин та ін. Водночас часто буває важливим лише пересвідчитися в тому, що якась одна водна маса різниться від іншої.

Отриманий досвід візуалізації водних об'єктів показав, що доволі інформативним у вивченні стану водних об'єктів є індекс NDTI, тобто співвідношення зеленого та червоного кольорів видимого спектра. Виявилось [8; 16], що цей індекс добре корелює з каламутністю води. Це, зокрема, стосується р. Дунай, де каламутність води найбільша серед інших

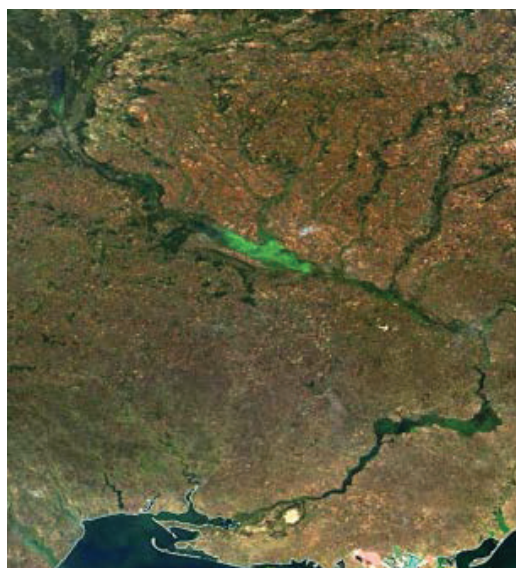


Рис. 6. Розвиток «цвітіння» води у дніпровських водосховищах: ліворуч – 12.08.2017 р., праворуч – 19.09.2018 р.

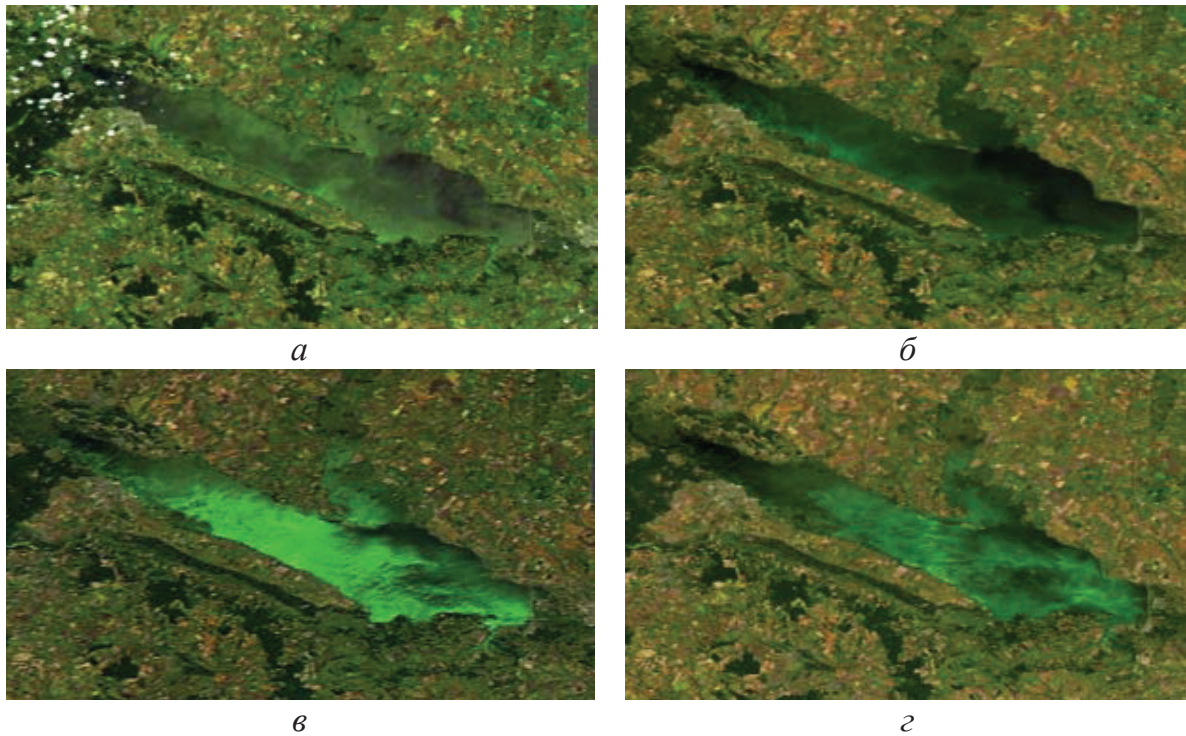


Рис. 7. «Цвітіння» води у Кременчуцькому водосховищі:
а – 26.08.2016 р., б – 27.08.2016 р., в – 28.08.2016 р. і г – 29.08.2016 р.

великих річок України. Наявність цього зв'язку дає змогу оцінювати каламутність, а головне встановлювати закономірності, які звичайний моніторинг забезпечити не може (рис. 8).

Наведене зображення показує особливості розподілу каламутності води в Дунаї за умов двох паводків, один з яких закінчується, а інший настає. Як видно, найбільша каламутність води 02.12.2015 р. спостерігалася

біля румунського м. Галац. Того дня вона тут сягала 250 г/м^3 .

Додамо, що використання індексу NDTI у дослідженні екологічного стану водойм також можливе. Разом з тим у теплий період року відповідні зображення не стільки характеризують якість води, як розвиток «цвітіння».

Прикладні дослідження. Використання даних ДЗЗ часто дає змогу отримати відповіді

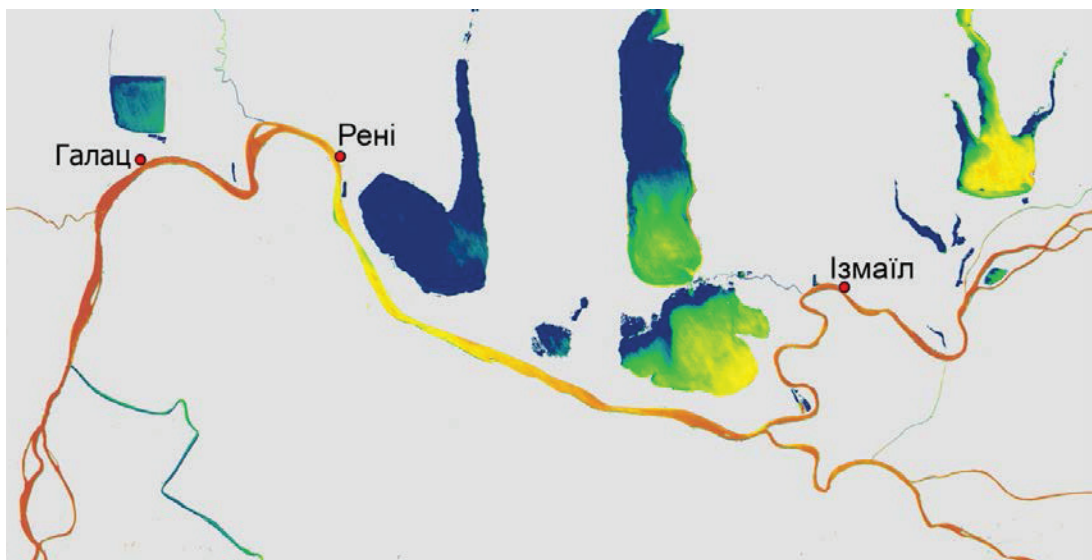


Рис. 8. Зображення ділянки нижньої течії Дунаю за даними індексу NDTI.
Знімок супутника Landsat 8 від 02.12.2015 р.

на численні питання, які можна віднести до прикладних. Розглянемо, зокрема, ситуацію, що сталася з оз. Качине у лівобережній частині Києва. Для надання правомірності забудови на місці озера багатоповерхового будинку зацікавленою стороною було замовлено виконання екологічної експертизи. Її виконав Науково-дослідний центр екологічної безпеки і природокористування при Державній екологічній академії, яка на той час була підпорядкована Міністерству екології та природних ресурсів України. Згідно з висновками експертів, на місці запланованої забудови «виявлена заболочена територія, яка виникла внаслідок антропогенних факторів». Чи справді це так?

Наявні супутникові знімки свідчать про те, що згадане озеро існує упродовж дуже тривалого часу – принаймні з часу появи супутникових знімків високої роздільної здатності. Важливо, що на цих знімках озеро добре простежується, а «антропогенні фактори» – ні. У цьому можна легко переконатися за наведеним рис. 9.



Рис. 9. Космічний знімок від 25.06.2004 р., на якому показано оз. Качине (виділено жовтим колом)

До цього можна додати також показ згаданого озера на картах, яким кілька десятків років. Усе це дає підстави вважати, що згадана вище експертиза була далекою від об'єктивності [13].

Висновки. Дистанційне зондування Землі – потужний метод дослідження водних об'єктів: історії їх виникнення, розмірів і стану. Значною мірою це досягається завдяки поєднанню результатів супутникового знімання та засобів їх обробки.

За даними супутникових зображень встановлено, що фактична довжина річок звичайно є більшою, ніж вважається.

Наявні супутникові знімки та засоби їх оброблення дали змогу розробити алгоритм встановлення площі водних об'єктів, зокрема дніпровських водосховищ. Їх площа та корисний об'єм є меншими, ніж за даними Правил експлуатації.

За супутниковими знімками з'ясовано основні закономірності температури води, поширення льодових явищ, рівня «цвітіння» води у дніпровських водосховищах. Встановлено, що в літній період температура води в нижньому б'єфі ГЕС істотно нижча, ніж на певній відстані. Це спричинено скиданням води з придонних шарів водосховищ та її значним перемішуванням.

За даними ДЗЗ з'ясовано особливості льодового режиму дніпровських водосховищ. Зокрема встановлено, що останнім від криги звичайно звільняється Кременчуцьке водосховище.

З усіх водосховищ Дніпровського каскаду найбільшим є «цвітіння» води у Кременчуцькому, найменшим – у Київському. Протягом року найбільшим є розвиток водоростей у серпні. Помітне зростання «цвітіння» води може відбутися лише протягом однієї доби. Це відбувається за умов настання теплої, а головне сонячної погоди.

Дистанційне зондування Землі має великі перспективи у дослідженнях водних об'єктів України.

Бібліографія

1. Бабій П.О., Вишневецький В.І., Шевчук С.А. Річка Рось та її використання. Київ: Інтерпрес ЛТД, 2016. 128 с.
2. Вишневецький В.І. Просторово-часова мінливість «цвітіння» води у дніпровських водосховищах. Український журнал дистанційного зондування Землі: електрон. наук. фах. вид. / Нац. акад. наук України, Ін-т геол. наук, Наук. центр аерокосм. дослідж. Землі. Київ: [б. в.], 2019. № 20. С. 18–27.
3. Вишневецький В.І., Шевчук С.А. Оцінювання стану водних об'єктів Києва за даними дистанційного зондування Землі. Український журнал дистанційного зондування Землі: електрон. наук. фах. вид. / Нац. акад. наук України, Ін-т геол. наук, Наук. центр аерокосм. дослідж. Землі. Київ: [б. в.], 2016. № 11. С. 4–9.
4. Вишневецький В.І., Шевчук С.А. Вітер як чинник впливу на температуру і «цвітіння» води у дніпровських водосховищах. Праці Центральної геофізичної обсерваторії. Київ: Інтерпрес ЛТД, 2017. Вип. 13(27). С. 63–65.

5. Вишневський В.І., Шевчук С.А., Бондар А.Є., Шевченко І.А. Сучасна площа дніпровських водосховищ. Український журнал дистанційного зондування Землі: електрон. наук. фах. вид. / Нац. акад. наук України, Ін-т геол. наук, Наук. центр аерокосм. дослідж. Землі. Київ: [б. в.], 2017. № 14. С. 4–11.
6. Вишневський В.І., Шевчук С.А., Шевченко І.А. Сучасні розміри дніпровських водосховищ. // Водне господарство України. Київ: РВС-ПРІНТ, 2017. № 4. С. 19–25.
7. Шевчук С.А., Козицький О.М., Вишневський В.І. Сучасний стан оз. Алмазне та заходи з його екологічного оздоровлення // Меліорація і водне господарство. 2017. Вип. 105. С. 39–45.
8. Вишневський В.І., Шевчук С.А. Використання даних дистанційного зондування Землі у дослідженнях водних об'єктів України. Київ: Інтерпрес ЛТД, 2018. 116 с.
9. Вишневський В.І., Шевчук С.А. Використання даних супутників Aqua і Terra у дослідженнях «цвітіння» води дніпровських водосховищ. Праці Центральної геофізичної обсерваторії. Київ: Інтерпрес ЛТД, 2018. Вип. 14(28). С. 44–49.
10. Матеріали по типизации рек Украинской ССР. Гидрографические характеристики рек Украинской ССР / Н.И. Дрозд. Киев: Изд-во АН УССР, 1953. Т. 2. 51 с.
11. Правила експлуатації водосховищ Дніпровського каскаду. / Яцик А.В. та ін. Київ: Генеза, 2003. 176 с.
12. Шевчук С.А., Вишневський В.І. Використання даних супутника Landsat 8 для визначення мікрокліматичних особливостей Києва. Український журнал дистанційного зондування Землі: електрон. наук. фах. вид. / Нац. акад. наук України, Ін-т геол. наук, Наук. центр аерокосм. дослідж. Землі. Київ: [б. в.], 2016. № 10. С. 4–9.
13. Шевчук С.А., Вишневський В.І. Чи є озеро Качине озером? Сучасні проблеми архітектури та містобудування: Наук.-техн. збірник / Під ред. М.М. Дьоміна. Київ: КНУБА, 2016. № 46. С. 362–366.
14. Щербак В.И., Майстрова Н.В. Фітопланктон Київської ділянки Канівського водоймища та чинники, що його визначають. Київ: Ін-т гідробіології НАН України, 2001. 70 с.
15. Romashchenko M.I., Yatsiuk M.V., Shevchuk S.A., Vyshnevskiy V.I., Savchuk D.P. (2018). About Some Environmental Consequences of Kerch Strait Bridge Construction. *Hydrology*, V. 6. № 1. 1–8.
16. Shevchuk S., Vyshnevskiy V. (2017) The use of remote sensing data to evaluate the state of the Danube River downstream and adjacent lakes. XXVII Conference of the Danubian countries on hydrological forecasting and hydrological bases of water management, 26–28 September, Golden Sands, Bulgaria, 616–621.
17. Vyshnevskiy V., Shevchuk S. (2018) Use of remote sensing data in investigations of ecological state of water bodies in urban area of Kyiv city. Proc. of International Symposium “The Environment and the Industry”. Bucharest, 312–318.

References

1. Babii, P.O., Vyshnevskiy, V.I., & Shevchuk, S.A. (2016). Richka Ros ta yii vykorystannia [The Ros River and it's use]. Kyiv, Interpress LTD. [in Ukrainian].
2. Vyshnevskiy, V.I. (2019). Prostorovo-chasova minlyvist “tsvitinnia” vody u dniprovskykh vodoshkovichakh [Spatio-temporal variability of algal bloom in the Dnipro Reservoirs]. *Ukrainskyi zhurnal dystantsiinoho zonduvannia Zemli* [Ukrainian Journal of Remote Sensing], 20, 18–27. [in Ukrainian].
3. Vyshnevskiy, V.I., & Shevchuk, S.A. (2016). Otsiniuvannia stanu vodnykh ob'ektiv Kyieva za danymy dystantsiinoho zonduvannia Zemli [Estimation of the status of water bodies of Kyiv based on remote sensing data]. *Ukrainskyi zhurnal dystantsiinoho zonduvannia Zemli* [Ukrainian Journal of Remote Sensing], 11, 4-9. [in Ukrainian].
4. Vyshnevskiy, V.I., & Shevchuk, S.A. (2017). Viter yak chynnyk vplyvu na temperaturu i tsvitinnia vody u dniprovskykh vodoshkovichakh [Wind as a factor of influence on temperature and algal bloom in Dnipro Reservoirs]. *Pratsi Tsentralnoi heofizychnoi observatorii* [Proceedings of the Central Geophysical Observatory], 13(27), 63–65. [in Ukrainian].
5. Vyshnevskiy, V.I., Shevchuk, S.A., Bondar, A.Ie., & Shevchenko, I.A. (2017). Suchasna ploshcha dniprovskykh vodoshkovich [The modern area of the Dnipro Reservoirs]. *Ukrainskyi zhurnal dystantsiinoho zonduvannia Zemli* [Ukrainian Journal of Remote Sensing], 14, 4–11. [in Ukrainian].
6. Vyshnevskiy, V.I., Shevchuk, S.A., & Shevchenko, I.A. (2017). Suchasni rozmyry dniprovskykh vodoshkovich [Current sizes of the Dnipro Reservoirs]. *Vodne hospodarstvo Ukrainy* [Water management of Ukraine], 4, 19–25. [in Ukrainian].

7. Shevchuk, S.A., Kozytskyi, O.M., & Vyshnevskiy, V.I. (2017). Suchasnyi stan oz. Almazne ta zakhody z yoho ekolohichnoho ozdorovlennia [The current state of the Almazne lake and measures for its environmental improvement]. *Melyoratsyia i vodne hospodarstvo* [Land reclamation and water management], 105, 39–45. [in Ukrainian].
8. Vyshnevskiy, V.I., & Shevchuk, S.A. (2018). Vykorystannia danykh dystantsiinoho zonduvannia Zemli u doslidzhenniakh vodnykh ob'ektiv Ukrainy [Use of remote sensing data in study of water bodies of Ukraine]. Kyiv, Interpress LTD. [in Ukrainian].
9. Vyshnevskiy, V.I., & Shevchuk, S.A. (2018). Vykorystannia danykh suputnykiv Aqua i Terra u doslidzhenniakh "tsvitinnia" vody dniprovskykh vodoshkovyshch [The use of Aqua and Terra satellites in study of algal bloom of the Dnipro Reservoirs]. *Pratsi Tsentralnoi heofizychnoi observatorii* [Proceedings of the Central Geophysical Observatory], 14(28), 44–49. [in Ukrainian].
10. Drozd, N.Y. (1953). *Materyaly po typyzatsyy rek Ukraynskoi SSR* [Materials for classification of rivers of the Ukrainian SSR]. *Hydrohrafycheskye kharakterystyky rek Ukraynskoi SSR* [Hydrographic characteristics of the rivers of the Ukrainian SSR]. Vol. 2. Kyiv, Yzdatelstvo AN USSR. [in Russian].
11. Yatsyk, A.V., Tomiltseva, A.I. & in. (2003). *Pravyla ekspluatatsii vodoshkovyshch Dniprovs'koho kaskadu* [Rules for operation of reservoirs of the Dnipro Cascade]. Kyiv, Heneza. [in Ukrainian].
12. Shevchuk, S.A., & Vyshnevskiy, V.I. (2016). Vykorystannia danykh suputnyka Landsat 8 dlia vyznachennia mikroklimatychnykh osoblyvosti Kyieva [Use of Landsat 8 satellite data to determine microclimatic features of Kyiv]. *Ukrainskyi zhurnal dystantsiinoho zonduvannia Zemli* [Ukrainian Journal of Remote Sensing], 10, 4-9. [in Ukrainian].
13. Shevchuk, S.A., & Vyshnevskiy, V.I. (2016). Chy ie ozero Kachyne ozerom? [Is Lake Kachine a lake?]. *Suchasni problemy arkhitektury ta mistobuduvannia* [Modern problems of architecture and urban planning], 46, 362–366. [in Ukrainian].
14. Shcherbak, V.Y., & Maistrova, N.V. (2001). *Fitoplankton kyivskoi dilianky Kanivskoho vodomyshcha ta chynnyky, shcho yoho vyznachaiut* [Phytoplankton of the Kyiv section of the Kaniv Reservoir and the factors which determine this]. Kyiv: Institute of Hydrobiology, NAS of Ukraine. [in Ukrainian].
15. Romashchenko, M.I., Yatsiuk, M.V., Shevchuk, S.A., Vyshnevskiy, V.I., Savchuk, D.P. (2018). About Some Environmental Consequences of Kerch Strait Bridge Construction. *Hydrology*. V. 6, № 1, 1-8.
16. Shevchuk, S.A., Vyshnevskiy, V.I. (2017). The use of remote sensing data to evaluate the state of the Danube River downstream and adjacent lakes. XXVII Conference of the Danubian countries on hydrological forecasting and hydrological bases of water management. Golden Sands, Bulgaria, 616–621.
17. Vyshnevskiy, V.I., Shevchuk S.A. (2018). Use of remote sensing data in investigations of ecological state of water bodies in urban area of Kyiv city. *Proc. of International Symposium The Environment and the Industry*. Bucharest, 312–318.

С.А. Шевчук, В.И. Вишнеvский, И.А. Шевченко, О.Н. Козицкий
Исследования водных объектов Украины с использованием данных
дистанционного зондирования Земли

***Аннотация.** Представлены результаты исследований водных объектов Украины с использованием данных дистанционного зондирования Земли. Эти данные позволяют изучать историю возникновения водных объектов, исследовать их морфометрические характеристики, температуру воды, ледовый режим, распространение зарастания, уровень «цветения» воды и даже ее качество. Установлено, что длина рек, особенно небольших, является большей, чем считается. Это обусловлено тем, что в прошлом эта длина определялась по топографическим картами, на которых мелкие извилины не было возможности показать. Определено, что площадь днепровских водохранилищ меньше, чем она указана в справочных источниках. Прежде всего это обусловлено заилением и зарастанием водохранилищ. Кроме того, во многих случаях часть акватории отделена для хозяйственных нужд. Вследствие этого, площадь Киевского водохранилища, по сравнению с проектной, уменьшилась примерно на 100 км². Значительным является уменьшение акватории и других водохранилищ, за исключением Каховского. Опираясь на уточненную площадь водохранилищ, рассчитан их полезный объем. По сравнению с первоначальным он уменьшился примерно на 1,5 км³, или примерно на 8%. Использование данных спутников Landsat дало возможность установить пространственно-временные особенности термического режима днепровских водохранилищ. Определено, что значительное влияние на температуру воды имеет работа ГЭС, расположенных выше по течению. В холодное время года на температуру воды заметно влияют также сбросы некоторых предприятий. Опираясь на спутниковые снимки, установлено важнейшие особенности*

распространения льда по акватории. Последним ото льда освобождается Кременчугское водохранилище, расположенное в центре каскада. Для этого же водохранилища характерно наибольшее «цветение» воды. В то же время наименьшее «цветение» наблюдается в Киевском водохранилище. В течение года наибольшее развитие водорослей наблюдается в августе, прежде всего при наступлении теплой и солнечной погоды.

Ключевые слова: водные объекты, дистанционное зондирование Земли, размеры, экологическое состояние, температура воды, зарастание, «цветение» воды.

S.A. Shevchuk, V.I. Vyshnevskiy, I.A. Shevchenko, O.M. Kozytskyi
Research of water objects of Ukraine using the data of remote sensing of the Earth

Abstract. The results of the study of water bodies of Ukraine, based on the use of remote sensing data, are presented. This study concerns the history of water bodies, their morphometric characteristics, water temperature, ice regime, overgrowth, algal bloom and even water quality. It is determined that the length of rivers, first of all small ones, is usually longer than it is considered. The main causes of it - the possibility to use high-quality satellite images, but not the old maps, on which the small meanders were shown without details. It is determined that the area of the dnipro's reservoirs is less than that indicated in the reference books. First of all, this is due to siltation and overgrowing of reservoirs. In addition, in many cases, part of the water area is separated for household needs. As a result, the area of the Kyivske reservoir, compared with the design value, decreased by about 100 km². The decrease in the water area of others reservoirs, with the exception of Kakhovske one, is significant as well. Based on the specified area of reservoirs, their useful volume was calculated. Compared to the original, it decreased by about 1.5 km³, or by about 8%. The use of Landsat satellite data made it possible to establish the spatial and temporal features of the thermal regime of the dnipro's reservoirs. It was determined that the operation of hydroelectric power plants located upstream has a significant effect on water temperature. In the cold season, the water temperature is also significantly affected by the discharge of some enterprises. Based on satellite images, the most important features of the distribution of ice over the water area have been established. The longest existence of the ice cover, as a rule, is observed on large Kremenchuts'ke reservoir, created in the middle of the cascade. For the same reservoir, the greatest "bloom" of water is characteristic. At the same time, the smallest "bloom" is observed in the Kyiv reservoir. During the year, the greatest development of algae is observed in August, especially when warm and sunny weather sets in.

Key words: water objects, remote sensing, dimensions, ecological state, water temperature, overgrowth, algal bloom.

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg201902-206>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/206>

УДК 551.48; 556.166

МОНІТОРИНГ І УПРАВЛІННЯ ГІДРОЛОГІЧНИМИ РИЗИКАМИ В БАСЕЙНАХ РІЧОК УКРАЇНИ

О.М. Козицький¹, гол. фахівець, С.А. Шевчук², канд. техн. наук, І.А. Шевченко³, канд. техн. наук

¹ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-4459-6331>; e-mail: olegkoz@ukr.net

² Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0001-5844-4980>; e-mail: sergey_shevchuk_@ukr.net

³ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-4459-6331>; e-mail: irina.shevchenk.23@gmail.com

Анотація. У роботі представлені основні напрямки виконаних в ІВПіМ НААН досліджень руслових процесів і найбільш небезпечних природних явищ у басейнах гірських річок України, з якими пов'язані головні гідрологічні ризики і масштабні збитки. Зокрема представлені результати натурних і лабораторних досліджень закономірностей і динаміки розвитку руслових деформацій, динамічної рівноваги системи «потік-русло», руслоформуючих витрат, шорсткості русел, стоку наносів, типізації русел, розробки схем регулювання русел річок у складних гідроморфологічних умовах, конструкцій регуляційних споруд, розробки наукових основ організації моніторингу руслових процесів гірських річок, розробки Методики оцінки динаміки руслових деформацій. Методика базується на комплексному аналізі гідроморфологічних залежностей між морфологічними параметрами русла і гідравлічними характеристиками потоку за окремі розрахункові інтервали спостережень і забезпечує можливість дискретної кількісної оцінки планових і вертикальних руслових деформацій за базаторічний період та їх інтенсивності. Також висвітлено основні результати робіт щодо імплементації в Україні паводкової Директиви 2007/60/ЄС, зокрема розроблення Стратегії управління паводковими ризиками в басейнах річок Українських Карпат. У Стратегії задекларовано новітні підходи щодо реагування на паводки, які передбачають відмову від нинішньої парадигми «захисту від паводків» до інтегрованого управління паводковими ризиками. Стратегія визначає національні механізми стратегічного керівництва у сфері зниження паводкового ризику, напрямки транскордонного співробітництва, координацію робіт у межах районів річкових басейнів для недопущення заходів або дій, що збільшують ризик паводків на інших ділянках річки. Склад і об'єми заходів визначаються залежно від рівня паводкової небезпеки і розрахованих ризиків, на всіх етапах управління ними: оцінки паводкової небезпеки і ризику; запобігання; готовності; реагування і відновлення. У розвиток зазначеної Стратегії в роботі наведені науково-методичні основи щодо комплексної оцінки сумарних рівнів паводкової небезпеки і ризику та їх картографування на геоінформаційній основі.

Ключові слова: руслові процеси, моніторинг, паводкова директива, зони затоплення, паводкова небезпека, управління паводковими ризиками.

Актуальність і постановка питання.

У зв'язку зі зростанням інтенсивності і частоти проходження катастрофічних паводків, одним із найважливіших завдань водогосподарського комплексу України є підвищення ефективності функціонування існуючої системи протипаводкового захисту шляхом впровадження інтегрованих методів управління паводковими ризиками, які базуються на оцінці рівнів паводкової небезпеки і вразливості території (Директива 2007/60/ЄС). У світовій практиці не існує єдиної обов'язкової методики визначення і картографування рівнів паводкової небезпеки і ризику. Кожна з країн індивідуально визначає критерії, показ-

ники і підходи до виконання робіт, залежно від внутрішніх задач, необхідності, наявної бази даних, специфіки і масштабів паводків, наявності технічної інфраструктури для збору даних, моделювання і картографування, а також фінансових можливостей. Відповідно розроблення науково – методичних засад оцінки і картографування рівнів паводкової небезпеки і ризику, а також розроблення на їх основі інтегрованих планів управління паводковими ризиками у відповідності з вимогами паводкової директиви Європейського Союзу (ЄС) є важливою і актуальною задачею в Україні, як асоційованого члена ЄС. Згідно з розробленим планом імплементації

Директиви 2007/60/ЄС (введеним у дію розпорядженням Кабінету Міністрів України від 25 лютого 2015 р. № 132-р), Державною службою з надзвичайних ситуацій (ДСНС) були розроблені і затверджені «Методика попередньої оцінки ризиків затоплення» [1] і «Методика розроблення карт загроз і ризиків затоплення» [2]. Слід зазначити, що наведені методики передбачають побудову тільки двох окремих типів карт паводкової небезпеки (загроз): карту площі і глибини затоплення та карту швидкості потоку, або гідродинамічних впливів на споруди. Вони, відповідно, не передбачають врахування тривалості затоплення, руслових процесів, гравітаційних процесів на схилах, що особливо важливо для гірських басейнів, а також не передбачають алгоритму оцінки сумарної паводкової небезпеки і його картографування. Для візуалізації паводкового ризику передбачено також лише 2 типи окремих карт, перша з яких відображає ризику для людей, друга – для господарської діяльності, довкілля та культурної спадщини. Як і у випадку з картами паводкової небезпеки, методики не передбачають визначення сумарного паводкового ризику і побудови відповідних карт. У зазначених методиках наведено алгоритм визначення ризику затоплення залежно від наслідків (збитків) і ймовірності (сценарію) паводка, а не окремо для кожного з визначених сценаріїв проходження паводка (його забезпеченості), як це передбачено рекомендаціями паводкової Директиви ЄС. Окрім того, у зазначених документах ДСНС питання оцінки паводкових ризиків і їх картографування регламентуються двома окремими документами, однак тут є ряд неузгодженостей, що спричиняють незручності у користуванні.

Визначальним чинником паводкової небезпеки в басейнах річок є швидкість потоку, рівні і тривалість затоплення заплави, але на гірських ділянках річок найбільші паводкові ризики пов'язані з ерозійними процесами в руслах і екзогенними процесами на схилах. Активізація руслових процесів в Українських Карпатах спостерігається з другої половини минулого століття, що значною мірою обумовлено інтенсивним кар'єрним видобутком руслового алювію. З посиленням антропогенного впливу інтенсивність врізання русел значно перевищує природні процеси пониження базису ерозії. У більшості випадків деформації носять незворотний характер і ліквідація їх наслідків потребує значних матеріальних затрат. Через це при визначенні рівнів паводкової небезпеки і відповідних ризиків в гірських районах необхідно врахо-

увати інтенсивність та характер руслових деформацій.

Метою роботи є висвітлення основних результатів робіт, що виконували в Інституті щодо дослідження закономірностей динаміки руслових процесів, розробки стратегії управління паводковими ризиками і науково-методичного забезпечення робіт з оцінки і картографування паводкової небезпеки і ризику з врахуванням характеру та інтенсивності руслових і екзогенних процесів в басейнах річок України.

Викладення основного матеріалу. Систематичні дослідження з проблем проти-паводкового захисту та руслових процесів розпочалися в Інституті в шістдесяті роки минулого століття, коли на основі матеріалів польових і експериментальних досліджень на гідравлічних моделях було розроблено схеми регулювання русел річок зі складною гідроморфологічною ситуацією в умовах проходження високих паводків (Біляшівський М.М., Визго М.С., Журавель І.В., Шолохов В.М., Бухін М.Н., Соловейко Л.Т.). Головна увага тоді приділялася питанням стійкості дамб, розмиву нижніх б'єфів гідротехнічних споруд та конструкціям і компонуванню активних гідротехнічних споруд типу півзагат, які на той час вважалися найбільш раціональним і ефективним засобом проти-паводкового захисту заплавлених територій на ділянках річок із криволінійним у плані руслом [3]. За період з 1975 р. по 1990 р. в Інституті було розроблено понад 20 нових раціональних конструкцій гнучких переливних регуляційних споруд із використанням збірних залізобетонних елементів, з'єднаних гнучкими зв'язками, а також з використанням місцевих та полімерних матеріалів. Розроблені конструкції споруд широко використовували для регулювання паводкового потоку на річках Українських Карпат. За матеріалами натурних і лабораторних досліджень в Інституті підготовлено методичні вказівки з технології проектування протиерозійних гідротехнічних споруд, а також з прогнозування переформувань русел передгірських річок при регулюванні їх захисно-регуляційними спорудами типу півзагат [3]. Паралельно велися дослідження з проблем замулення водосховищ гірських річок (Назаров І.І., Бухін М.Н., Кафтан О.Н., Онищук В.В., Козицький О.М., Більчук О.С.). У результаті було виконано оцінку інтенсивності замулення водосховищ та на основі введення розрахункових регіональних параметрів визначення стоку наносів адаптовано нормативні методики замулення

водосховищ для умов Українських Карпат [4]. Широке експериментальне дослідження виконано з метою вивчення допустимих (нерозмивних) швидкостей потоку для неоднорідних незв'язних ґрунтів з урахуванням явища самовимощення русла (Бухін М.Н., Онищук В.В., 1975 р.), що дозволило отримати важливі емпіричні залежності між характеристиками наносів і гідравлічними параметрами потоку, які необхідні для розрахунку стоку наносів [3].

Великий обсяг досліджень було виконано для встановлення закономірностей динаміки руслових процесів річок Українських Карпат, в результаті яких було отримано критерії оцінки динамічної рівноваги матеріальної системи потік-русло, а також дано оцінку шорсткості русла на найвищому структурному рівні самоорганізації річкової системи (Онищук В.В., Кафтан О.Н., Більчук О.С., Козицький О.М.) [5]. Виконані дослідження дозволили розробити методику розрахунку руслоформуючих витрат та здійснити типізацію руслових процесів гірських річок, які в подальшому широко використовувалися при вирішенні прикладних завдань із регулювання русел річок і протипаводкового захисту (Розовський І.Л., Базилевич О.В., Онищук В.В., Кафтан О.Н., Бухін М.Н.) [3]. За результатами виконаних в Інституті теоретичних і експериментальних досліджень руслових процесів було підготовлено і опубліковано низку нормативних і методичних документів щодо питань розрахунку і прогнозування руслових деформацій, вибору конструкцій і схем компонування регуляційних споруд, протипаводкового захисту тощо (Коваленко П.І., Онищук В.В., Кафтан О.Н., Бухін М.Н., Чалий Б.І., Козицький О.М. і ін.) [3; 6-8].

Після проходження катастрофічних паводків на Закарпатті в 1988 і 2001 рр. було виявлено низку недоліків існуючих інженерних рішень щодо протипаводкового захисту територій, що зумовило необхідність розробки принципово нового підходу до вибору раціональних схем регулювання русел гірських річок із мінімальним використанням активних регуляційних споруд, що в науковому плані дозволило сформулювати низку методологічних положень із питань комплексного регулювання руслових деформацій і безпечного проходження високих паводків [9]. Важливу роль до того ж було приділено питанням регулювання і перерозподілу паводкового стоку системою руслових водосховищ і поповнення запасів підземних вод (Ромашенко М.І., Савчук Д.П., Хоружий П.Д. та ін.) [10].

Значний об'єм наукових досліджень із питань динаміки руслових процесів, регулювання русел і протипаводкового захисту виконано в Інституті після проходження катастрофічного паводка на Прикарпатті і Буковині в липні 2008 р. У результаті проведених експедиційних натурних досліджень виконано гідрологічну оцінку проходження паводка та системний аналіз чинників паводкового ризику в басейнах річок Українських Карпат, визначено основні гідроморфологічні ознаки русел річок на ділянках із різними типами руслового процесу, розроблено заходи щодо підвищення ефективності протипаводкового захисту (Ромашенко М.І., Савчук Д.П., Войтович І.В., Козицький О.М., Ворошнов С.М.). Результати досліджень використані при розробці наукового обґрунтування «Схеми комплексного протипаводкового захисту басейнів р. Дністер, р. Прут, р. Сірет», 2008 р.

Значну увагу було приділено дослідженню законів руслоформування, що є головною задачею руслових процесів як науки. У прикладному плані це передусім пов'язано з необхідністю вдосконалення методик прогнозу розвитку руслових деформацій. Ігнорування законів руслоформування при виконанні інженерних робіт практично завжди призводить до негативних наслідків, зокрема активізації незворотних руслових деформацій в руслах річок, що зрештою обумовлює значні економічні затрати, які необхідні для їх ліквідації. Вирішення задач протипаводкового захисту, а також прикладних інженерних заходів в басейнах гірських річок значною мірою залежить від вивчення як загальних закономірностей, так і регіональних умов та особливостей розвитку руслових процесів в руслах і на заплавах річок. Через це важливим напрямком досліджень в Інституті було встановлення закономірностей розвитку руслових процесів гірських річок Українських Карпат, визначення морфологічних та гідроморфологічних залежностей між елементами морфологічної будови русел і гідрологічними характеристиками потоку для різних типів руслових процесів, визначення коефіцієнтів стійкості гірських річок, а також оцінка інтенсивності розвитку руслових деформацій та причин їхньої активізації (Козицький О.М., Міхоніша Т.І., Шевченко І.А.). Отримані безрозмірні гідроморфологічні залежності для гірської, середньої і нижньої течії річок із постійними коефіцієнтами є критеріальними параметрами русел і можуть бути використані при проектуванні регулювальних робіт

та в розрахунках русловиправних трас для визначення найбільш сприятливого режиму пропуску руслового потоку [11]. На основі виконаних досліджень була розроблена Методика оцінки динаміки руслових деформацій, яка забезпечила можливість оцінити характер, інтенсивність та дискретну кількісну оцінку планових і вертикальних руслових деформацій за багаторічний період [12; 13]. Методика розрахунку базується на непрямих методах досліджень на основі комплексного аналізу гідроморфологічних залежностей між морфологічними параметрами русла і гідравлічними характеристиками потоку, що побудовані за окремі розрахункові інтервали спостережень. Вихідними даними для розрахунку є матеріали багаторічних стаціонарних спостережень на гідрологічних постах.

Алгоритм розрахунку включає такі етапи виконання робіт:

- підготовчий етап (збір і аналіз вихідних даних);
- оцінка однорідності рядів спостережень. Вибір розрахункових гідростворів та розрахункових інтервалів;
- побудова гідроморфологічних залежностей;
- розрахунки інтенсивності та кількісних параметрів планових і вертикальних деформацій за розрахункові інтервали часу;
- розрахунки ерозійних коефіцієнтів.

Методика дозволяє отримати кількісні характеристики руслових деформацій як за весь період спостережень, так і за будь-які його інтервали. Використання методики поширюється на рівнинні і гірські річки, незалежно від діапазону діаметрів алювіальних руслових відкладів і наносів.

Дослідження законів функціонування гідродинамічної системи «потік-русло» неможливе без забезпечення матеріалами щодо кількісних характеристик функціонування окремих елементів системи (руслоформуючих чинників) та результатів їх взаємодії, тобто без забезпечення необхідної бази даних. На сьогодні комплексні систематичні режимні спостереження за характеристиками руслових процесів (окрім вимірювання стоку завислих наносів) на гірських річках не виконуються, за винятком окремих спеціалізованих наукових чи прикладних експедиційних досліджень, тому особливо актуальним постає питання організації системи моніторингу руслових процесів. З цією метою в Інституті розроблено вихідні вимоги і організаційну та територіальну структуру моніторингу руслових процесів (МРП) гірських річок, визначено

його місце в єдиній системі гідроморфологічного моніторингу, координацію робіт з іншими блоками екомоніторингу, визначено склад і програму робіт, систему обробітку, передачі і збереження даних, розроблено методичне забезпечення виконання робіт [14]. Також було підготовлено методичні рекомендації щодо відбору проб руслових відкладів і наносів, які враховують вимоги і рекомендації міжнародних стандартів, зокрема ISO 772:1996; ISO 9195:1992; ISO 9212:2005, та включають результати натурних і лабораторних досліджень руслових наносів, виконаних в Інституті. Методичні вказівки поширюються на весь діапазон діаметрів руслового матеріалу та наносів і призначені для забезпечення однорідності рядів спостережень за складом руслових відкладів і наносів за рахунок впровадження єдиних методик відбору проб та виконання їх гранулометричного аналізу. Це необхідно для вирішення наукових проблем дослідження руслових процесів, а також вирішення задач протипаводкового захисту і гідротехнічного будівництва, пов'язаних із необхідністю розрахунку стоку наносів, замулення та занесення б'єфів гідротехнічних споруд та прогнозів руслових деформацій.

На сьогодні в Українських Карпатах збудовано потужний комплекс протипаводкового захисту, що значною мірою зменшує рівень можливих збитків від проходження паводків, однак аналіз умов формування та катастрофічних наслідків від проходження останніх паводків на Закарпатті і в Прикарпатті показує, що існуюча система захисту не забезпечує необхідного рівня захисту, що обумовлює необхідність впровадження нових стратегій і підходів до проблеми протипаводкового захисту. У зв'язку із зростанням частоти і інтенсивності катастрофічних паводків особливо актуальним завданням є створення ефективних басейнових планів управління паводковими ризиками. Зменшення паводкового ризику, як складової гідроекологічної небезпеки, є одним із головних завдань державної політики, вирішення якого забезпечує умови екологічно безпечного проживання людей і сталий розвиток суспільства. Формування і розвиток паводків відбувається в межах складних природно-техногенних та соціальних систем, тому плани управління паводковими ризиками повинні ґрунтуватися на гідроекосистемній концепції збалансованого природокористування та засадах екологічно – невиснажливого та безпечного розвитку, який передбачає всебічний аналіз усіх компонентів ландшафтних комплексів

загалом, а також оцінку впливу проектних заходів на навколишнє середовище. У контексті управління паводками принципи сталого розвитку передбачають забезпечення життєдіяльності та безпеки різних груп населення, а також життєздатності екосистем і функціонування заплавлених територій на довготермінову перспективу.

На основі аналізу ефективності функціонування існуючої системи протипаводкового захисту, результатів новітніх наукових досліджень, врахування світового досвіду і транскордонного співробітництва щодо організації протипаводкового захисту в Інституті розроблено Стратегію управління паводковими ризиками в басейнах річок Українських Карпат [15]. Стратегія враховує рекомендації та настанови Директиви ЄС 2007/60/ЄС, у якій задекларовано новітні стратегічні підходи щодо реагування на паводки, які передбачають відмову від нинішньої парадигми «захисту від паводків» до управління паводковими ризиками в рамках стратегії інтегрованого управління водними ресурсами (ІУВР) і забезпечують координацію, об'єднання зусиль та матеріальних ресурсів усіх зацікавлених сторін суспільства, органів місцевої, регіональної і державної влади. Інтегроване управління паводковими ризиками (ІУПР) охоплює інтеграцію організації землекористування та управління водними ресурсами в басейні річки з комплексом природоохоронних і протипаводкових заходів. Воно спрямоване на одночасне збереження екосистем і пов'язаного з ними біорізноманіття, недопущення людських жертв, зниження рівня паводкової вразливості, а також збільшення ефективності використання заплавлених територій. ІУПР є цілісним підходом, кругообіг води в природі в якому розглядається як єдине ціле, охоплюючи землекористування та водокористування і передбачає в плануванні використання басейнового підходу, що охоплює низку дисциплін та зацікавлених осіб при виконанні робіт, спрямованих на зниження вразливості річкових басейнів, а також на збереження екосистем. Стратегія визначає національні механізми координації і стратегічного керівництва у сфері зниження ризику. Управління паводковими ризиками в межах усього річкового басейну повинно здійснюватися на основі єдиного підходу, заснованого на широкому спектрі інтересів, дисциплін і напрямів політики. Склад і об'єми заходів визначаються залежно від рівня паводкової небезпеки і розрахованих ризиків від проходження паводків та враховують результати

аналізу ефективності функціонування існуючої системи протипаводкового захисту, новітні досягнення у галузі і світовий досвід. Стратегія передбачає координацію робіт у межах районів річкових басейнів для недопущення заходів або дій, які значно збільшують ризик паводків на інших ділянках річки, а також враховує всі аспекти проходження паводків, зосереджуючись на запобіганні, захисті, підготовленості, включаючи прогнози і системи попередження. Визначальними при розроблянні плану управління ризиками повинні бути гідротехнічні заходи, спрямовані на регулювання схилового і максимального руслового стоку в комплексі з регулювальними роботами в руслах і річкових заплавах, а також система неструктурних заходів, зокрема прогнозування паводків, оповіщення, попередження і навчання населення, вибір варіантів безпечного землекористування, створення мобільних санітарних і медичних центрів, пунктів евакуації, резервних запасів техніки, матеріалів, продуктів, води тощо. Комплекс заходів має забезпечити безпечний пропуск паводків з ймовірністю перевищення від 10% до 1% на всій ділянці регулювання, залежно від рівня ризику паводків.

Управління паводковими ризиками складний і тривалий процес, що охоплює всі форми діяльності, включаючи заходи структурного та неструктурного характеру. Ці дії повинні супроводжуватися безперервним процесом прийняття адміністративних рішень, організаційних та оперативних навичок і умінь у здійсненні політичних рішень, стратегій і нарощування потенціалу щодо подолання паводкової загрози. Управління паводковими ризиками – це циклічний процес, що включає такі етапи (цикли): оцінка паводкової небезпеки і ризику; запобігання; готовність; реагування; відновлення (реабілітація). Стратегія визначає основні напрямки виконання робіт, їх склад та шляхи реалізації у межах кожного із зазначених циклів.

Усі головні річки Українських Карпат є транскордонними, тому водогосподарська діяльність на спільному водозбірному басейні повинна здійснюватись узгоджено з інтересами сусідніх країн, у відповідності з рекомендаціями ЄК ООН та Конвенції з охорони і використання транскордонних водотоків і міжнародних озер. Стратегією визначені основні принципи довгострокового транскордонного співробітництва, що передбачають широкий спектр скоординованих дій, зокрема:

– визначення єдиних правил і вимог до будівництва та експлуатації гідротехнічних

споруд, розташованих на територіях спільного інтересу, з метою недопущення заходів, що можуть призвести до істотного збільшення паводкового ризику в сусідніх країнах;

- сумісний прогноз та аналіз потенційної небезпеки і ризику та ефективності запланованих заходів (з належним врахуванням індивідуальних втрат та вигод), з метою виробітку спільної стратегії та скоординованих планів управління паводковими ризиками, що включають питання запобігання, захисту, забезпечення готовності і реагування, інформаційної політики та фінансування;

- утворення спільних фінансових фондів, резервів техніки та будівельних матеріалів на прикордонних територіях, розроблення програм страхування і кредитування, технічної і матеріальної взаємодопомоги та співпраці.

У розвиток Стратегії управління паводковими ризиками в басейнах річок Українських Карпат в Інституті розроблена «Методика побудови карт паводкової небезпеки і ризику в басейнах річок» [16], у якій представлені алгоритми визначення рівнів сумарної паводкової небезпеки і ризику для визначених сценаріїв проходження паводків.

Величина ризику визначається на основі врахування імовірності настання та його головних складових: рівня паводкової небезпеки і вразливості (чутливості) території. Загальна структура ризику представлена на рисунку.

Методикою розроблення карт загроз і ризиків затоплення передбачено оцінку паводкових ризиків для сценаріїв проходження максимальних паводків з ймовірністю повторення 0,2%; 1% і 10% [2], однак комплекс протипаводкових гідротехнічних споруд, передбачений Схемами комплексного протипаводкового захисту в басейнах річок України, розрахований на безпечний пропуск паводкових витрат забезпеченістю 1%, а біль-

шість дамб обвалування в заплавах малих і середніх річок, що збудовані раніше, розраховані на пропуск паводків 3% забезпеченості. На відмітки максимального затоплення 1% забезпеченості також розраховані норми підготовки території під забудову, що визначені містобудівною документацією в Україні, тому вибір сценарію для паводків з ймовірністю перевищення максимального стоку 1 раз на 500 років є недоцільним. Відповідно, «Методикою побудови карт паводкової небезпеки і ризику в басейнах річок» передбачено виконання розрахунків паводкової небезпеки і ризику для сценаріїв, що відповідають витраті паводків з ймовірністю перевищення максимальних витрат 1%; 3% і 10%. Структура методики включає 6 етапів робіт: гідрологічні розрахунки для вибраних сценаріїв проходження паводка, визначення зон затоплення, оцінку рівнів паводкової небезпеки, визначення рівнів вразливості території, визначення паводкового ризику і побудову карт паводкової небезпеки і ризику.

Багатофакторність процесів формування паводкової небезпеки і ризику обумовлює широкий спектр побудови відповідних карт, що відображають як сумарні їх величини, так і індивідуальні значення окремих чинників впливу.

Кількість карт, їх структура і повнота наповнення повинні визначатися задачами з управління ризиком та наявністю вихідної інформації. Методологія визначення рівнів паводкової небезпеки базується на основі диференційованої оцінки впливу визначальних чинників небезпеки (зони затоплення, його тривалість, глибини, швидкість потоку, руслові деформації, ерозійні і гравітаційні процеси на схилах тощо) [17]. За необхідності для річкових басейнів загалом або їх окремих ділянок можуть будуватися допоміжні карти, зокрема карти історичних повеней, карти

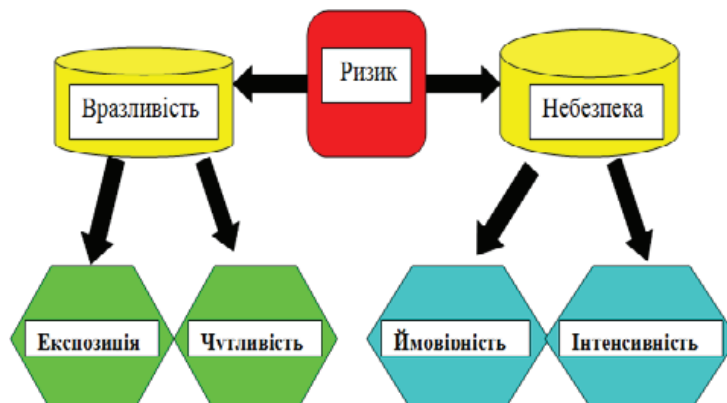


Рис. 1. Загальна схема паводкового ризику

інтенсивності зростання рівнів руслового потоку, карти потенційного навантаження на споруди, карти захисної протипаводкової інфраструктури, шляхів евакуації тощо.

Побудова карт сумарної паводкової небезпеки виконується поетапно, з врахуванням її визначальних чинників, окремо для кожного з прийнятих сценаріїв проходження паводка. На карті різними кольорами повинні відображатися рівні паводкової небезпеки, що переважно включають три основних діапазони – низький, середній та високий. За необхідності додатково можуть позначатися зони дуже низького і дуже високого рівня небезпеки.

Рівні паводкової небезпеки визначаються за формулою

$$N = ((Nh, v) \times (Nt) \times \kappa_1 + Nd \times \kappa_2 \times \kappa_3 \times \kappa_4 \times \kappa_5, \quad (1)$$

де, Nh, v – сумарний параметр глибини затоплення і швидкості потоку;

Nt – тривалість затоплення;

Nd – руслові деформації;

κ_1 – коефіцієнт зростання рівня небезпеки в результаті заторів;

κ_2 – ймовірність техногенних аварій;

κ_3 – ймовірність обвалів;

κ_4 – ймовірність зсувів;

κ_5 – ймовірність селевих потоків.

Сумарний параметр глибини затоплення і швидкості потоку Nh, v визначається із спеціальної діаграми $Nh, v = f(h; V)$, а параметр K для річок Українських Карпат визначається з карти інтенсивності руслових деформацій, розробленої в ІВПіМ. Для рівнинних річок із низьким рівнем ерозійних процесів параметр Nd і коефіцієнти κ_3, κ_4 і κ_5 не враховуються. Коефіцієнт κ_2 призначається залежно від стану і технічної надійності споруд. Для кількісної оцінки сумарної паводкової небезпеки розроблена шкала балів для визначальних чинників паводкової небезпеки. Шкала балів також розроблена для визначення діапазонів рівнів небезпеки (низький, помірний, високий і дуже високий), окремо для рівнинних і гірських річок.

Визначення сумарного паводкового ризику полягає в необхідності комплексної оцінки як майнових і економічних збитків, що можна оцінити за вартісними показниками, так і соціальних, екологічних та інших втрат. Для диференційованої оцінки паводкових збитків використані статистичні матеріали Німеччини і Австрії, які відображають затрати на відновлення житлової забудови, виробництва, громадської інфраструктури, енергетики, зв'язку і телекомунікацій, сільськогосподарських виробничих приміщень, у розрахунку на

1 м² площі зони затоплення. Соціальні втрати з розрахунку на 1 м² визначені, виходячи із щільності населення і середніх компенсаційних відшкодувань потерпілим. Визначення втрат землеробства в результаті затоплення виконано на основі оцінки втрати урожаю при середній врожайності, також приведеної до площі 1 м². Екологічні втрати і відшкодування на пошкодження історично – культурних об'єктів визначаються тільки для випадків наявності в зоні ризику екологічно небезпечного виробництва або історично – культурних об'єктів. Їх врахування здійснюється шляхом введення посилюючих коефіцієнтів K_1 і K_2 . Рівень вразливості в балах у Методиці передбачено визначати залежно від співвідношення затрат, розрахованих для зазначених вище чинників ризику. Наведені показники вразливості представляють уже осереднені значення, що враховують усі можливі варіанти їх прояву, зокрема затрати на компенсацію виробництва включають як прямі, так і вторинні збитки.

Сумарний рівень вразливості території в балах визначається за формулою

$$V_r = 0,01 (F_{1(\%)}) W_{житл} + K_1 \times F_{2(\%)} W_{вир} + K_2 F_{3(\%)} W_{інфр} + F_{4(\%)} W_{с-г} + F_{5(\%)} W_{к-і}) + W_c, \quad (2)$$

де $F_{1(\%)}, F_{2(\%)}, F_{3(\%)}, F_{4(\%)}, F_{5(\%)}$ – площі земель, зайняті житловою забудовою, промисловим виробництвом і тваринництвом, об'єктами житлової, комунальної і виробничої інфраструктури, сільськогосподарськими угіддями, об'єктами культурно – історичної спадщини;

$W_{житл}, W_{вир}, W_{інфр}, W_{с-г}, W_{к-і}, W_c$ – затрати на відшкодування паводкових збитків у балах для відповідних галузей економіки і соціальної сфери.

Площі виражаються у відсотках від загальної площі території в межах зони ризику.

Побудова карт паводкової небезпеки і ризику передбачена на геоінформаційній основі, що забезпечує можливість візуалізації як сумарних їх величин, так і диференційовано, для окремих чинників впливу.

Висновок. Запропоновані методичні підходи щодо оцінки сумарного паводкового ризику рекомендуються для практичного використання в ході розроблення і реалізації планів інтегрованого управління паводковими ризиками в басейнах річок, які згідно із законодавством України повинні уточнюватися кожні шість років. Подібна оцінка паводкової вразливості раніше в Україні не виконувалася, тому запропонована бальна система оцінки паводкової небезпеки і ризику є попередньою і повинна уточнюватися в процесі накопичення статистичних даних

щодо фактичних збитків від проходження катастрофічних паводків різної ймовірності повторення. У подальшому наукові дослідження з питань інтегрованого управління паводкового ризику повинні бути зосереджені на питаннях дослідження закономірностей розвитку руслових процесів і розроблення

на їх основі математичних моделей регулювання руслових деформацій, удосконалення методології прогнозування паводків і їх попередження на базі імітаційного моделювання, а також розробляння новітніх комплексних схем басейнового регулювання стоку з метою зменшення його максимальних витрат.

Бібліографія

1. Методика попередньої оцінки ризиків затоплення. Затверджена наказом Міністерства внутрішніх справ України №30, від 17.01.2018.
2. Методика розроблення карт загроз і ризиків затоплення. Затверджена наказом Міністерства внутрішніх справ України № 153, від 28.02.2018.
3. Коваленко П.І. та ін Дослідження руслових процесів гірських річок // Меліорація і водне господарство. Київ: Аграрна наука, 2004. Вип. 90. С.183–190.
4. Схема комплексного протипаводкового захисту басейнів р. Дністер, р. Прут, р. Сірет. Методичні вказівки з розрахунку замулення гірських водосховищ на річках Українських Карпат. Київ: Схвалено вченою радою ІГІМ УААН 15 вересня 2008, протокол № 5. 90 с.
5. Онищук В.В., Бильчук О.С., Козицький О.Н. Физическое моделирование русловых процессов горных рек // Мелиорация и водное хозяйство. Киев, 1989. Вып. 70. С. 60–65.
6. ВНД «Методические рекомендации по расчету деформаций русел и выбору защитно-регуляционных мероприятий на реках Украинских Карпат. / Под ред. П.И. Коваленко. Министерство мелиорации и водного хозяйства СССР, АН УССР. Киев, 1988. 176 с.
7. ВНД 33-5.5-14-03 Річки гірські. Регулювання русел та догляд. Київ: Держводгосп України, 2003.
8. Розрахунки руслових процесів. Посібник до ВБН В.2.4-33-2.3-03-2000 Регулювання русел річок. Норми проектування. Київ.: Інститут гідротехніки і меліорації УААН. Затверджено наказом ІГІМ 15 грудня 2004. 195 с. (Електронний збірник нормативних документів Держводгоспу України).
9. Ободовський О.Г., Онищук В.В., Козицький О.М. Деякі методичні аспекти оцінки стоку наносів гірських річок в контексті розроблення комплексу протипаводкових заходів. Гідрологія. Гідрохімія і гідроекологія. Київ: ВГЛ «Обрії», 2003. С. 25–29.
10. Ромашенко М.І., Савчук Д.П. Водні стихії. Карпатські повені. Статистика, причини регулювання. Київ: Аграрна наука, 2002. 303 с.
11. Козицький О.М. Закономірності процесів руслоформування та моніторинг руслових процесів річок Українських Карпат. В кн. Інтегроване управління водними і земельними ресурсами на меліорованих територіях. Київ: Аграрна наука, 2016. С. 288–320.
12. Козицький О.М. Методичні основи оцінки характеру та інтенсивності руслових деформацій // Меліорація і водне господарство. Київ: Аграрна наука, 2011. Вип. 99. С. 276–290.
13. Методика оцінки динаміки руслових деформацій / Шевчук С.А. та ін. Київ: ІВПіМ, ЦП «Компринт», 2015. 30 с.
14. Козицький О.М. та ін. Методологічні основи організації та ведення моніторингу руслових процесів // Меліорація і водне господарство. Київ: Аграрна наука, 2010. Вип. 98. С. 252–263.
15. Стратегія управління паводковими ризиками в басейнах річок Українських Карпат / Шевчук С.А. та ін. Київ: ІВПіМ, ЦП «Компринт», 2015. 21 с.
16. Оцінка паводкової небезпеки та ризику в басейнах річок України. Сучасні технології та досягнення інженерних наук в галузі гідротехнічного будівництва та водної інженерії / Яцюк М.В. та ін. Херсон: збірник наукових праць ДВНЗ «ХДАУ», 2019. С. 8–11.
17. Методика оцінки рівнів паводкової небезпеки в басейнах річок Українських Карпат / Шевчук С.А. та ін. Київ: ІВПіМ, ЦП «Компринт», 2015. 21 с.

References

1. Metodyka poperednoi ocinky ryzykiv zatoplenja [The methodology of preliminary assessment of flood risks]. Zatverdzhena nakazom Ministerstva vnutrishnikh sprav Ukrainy № 30, vid 17.01.18. (2018). Kyiv. [in Ukrainian].
2. Metodyka rozroblenja kart zagroz i ryzykiv zatoplenja [Methods for developing threat maps and flood risks]. Zatverdzhena nakazom Ministerstva vnutrishnikh sprav Ukrainy № 153, vid 28.02.18. (2018). Kyiv. [in Ukrainian].

3. Kovalenko, P.I., Onyshchuk, V.V., Chalyi, B.I., & Kozytskyi, O.M. (2004). Doslidzhennia ruslovykh protsesiv hirskykh richok [Investigation of river processes of mountain rivers]. *Melyoratsyia y vodne hospodarstvo* [Land reclamation and water management], 90, 39–45. [in Ukrainian].
4. IHIM NAAS. (2008). Skhema kompleksnoho protypavodkovoho zakhystu baseiniv r. Dnister, r. Prut, r. Siret [Scheme of integrated flood protection for the pool of the rivers Dnister, Prut, Siret.]: Zvit pro NDR. № DR0108U007970. Kyiv. [in Ukrainian].
5. Onyshchuk, V.V., Bylchuk, O.S., & Kozytskyi, O.N. (1989). Fyzycheskoe modelyrovanye ruslovukh protsessov hornykh rek [Physical modeling of channel processes of mountain rivers]. *Melyoratsyia y vodnoe khoziaistvo* [Land reclamation and water management], 70, 60–65. [in Russian].
6. Kovalenko, P.Y. (Eds.). (1988). *Metodycheskye rekomendatsyy po raschetu deformatsyi rusel y vyboru zashchytno-rehuliatyionnykh meropryiatyi na rekakh Ukraynskykh Karpat* [Methodological recommendations for calculation of channel deformations and choosing protective and regulatory measures on the rivers of the Ukrainian Carpathians]. Kiev: AN USSR. [in Russian].
7. Richky hirski. Rehuliuвання rusel ta dohliad [Mountain rivers. Channel regulations and operation]. (2003). VND 33-5.5-14-03. Kiev, Derzhvodhosp Ukrainy. [in Ukrainian].
8. Rozrakhunky ruslovykh protsesiv. Posibnyk do VBN V.2.4-33-2.3-03-2000 Rehuliuвання rusel richok. Normy proektuvannya [Calculation of channel processes. Instruction to VBN V.2.4-33-2.3-03-2000 Regulated channels of the river. Project regularities]. (2004). Kiev. Retrieved from: <http://nuwm.edu.ua/library/nd.html> [in Ukrainian].
9. Obodovskiy, O.H., Onyshchuk, V.V., & Kozytskyi, O.M. (2003). Deiaki metodychni aspekty otsinky stoku nanosiv hirskykh richok v konteksti rozroblennia kompleksu protypavodkovykh zakhodiv [Some Methodical Aspects of Estimation of Runoff of Mountain Rivers in the Context of Development of a Complex of Flood Measures]. *Hidrolohiia. Hidrokimiia i hidroekolojiia* [Hydrology. Hydrochemistry and hydroecology]. Kyiv: VHL Obrii, 25–29. [in Ukrainian].
10. Romashchenko, M.I., & Savchuk, D.P. (2002). *Vodni stykhi. Karpatski poveni. Statystyka, prychny rehuliuвання* [Water elements. Carpathian floods. Statistics, reasons for regulation]. Kyiv: Ahrarna nauka. [in Ukrainian].
11. Kozytskyi, O.M. (2016). Zakonomirnosti protsesiv rusloformuvannya ta monitorynh ruslovykh protsesiv richok Ukraynskykh Karpat [Regularities of the processes of river formation and monitoring of river processes of the Ukrainian Carpathian rivers]. V kn. *Intehrovane upravlinnia vodnymy i zemelnymy resursamy na meliorovanykh terytoriiakh* [In the book. Integrated management of water and land resources in the reclaimed territories]. Kyiv: Ahrarna nauka, 288–320. [in Ukrainian].
12. Kozytskyi, O.M. (2011). *Metodychni osnovy otsinky kharakteru ta intensyvnosti ruslovykh deformatsii* [Methodical bases of estimation of character and intensity of channel deformations]. *Melyoratsyia i vodne hospodarstvo* [Land reclamation and water management], 99, 276–290. [in Ukrainian].
13. Shevchuk, S.A., Kozytskyi, O.M., Mikhonsha, T.I., & Shevchenko, I.A. (2015). *Metodyka otsinky dynamiky ruslovykh deformatsii* [Method of estimation of dynamics of channel deformations]. Kyiv: IVPiM, TsP Kompynt. [in Ukrainian].
14. Kozytskyi, O.M., Voroshnov, S.M., Mikhonsha, T.I., & Shevchenko, I.A. (2010). *Metodolohichni osnovy orhanizatsii ta vedennia monitorynhu ruslovykh protsesiv* [Methodological bases of organization and monitoring of channel processes]. *Melyoratsyia i vodne hospodarstvo spodarstvo* [Land reclamation and water management], 98, 252–263. [in Ukrainian].
15. Shevchuk, S.A., Kozytskyi, O.M., Mikhonsha, T.I., & Shevchenko, I.A. (2015). *Strategs upravlinna pavodkovymy ryzykamy v basejnach richok Ukraynskykh Karpat* [Flood risk management strategy in Ukrainian Carpathian river basins]. Kyiv: TsP Kompynt. [in Ukrainian].
16. Yatsyuk, M.V., Shevchuk, S.A., Kozytskyi, O.M., & Shevchenko, I.A. (2019). *Ocinka pavodkovoї nebezpeky ta ryzyky v basejnach richok Ukrainy* [Flood risk and risk assessment in river basins of Ukraine]. *Suchasni tekhnolohii ta dosiahnennia inzhenernykh nauk v haluzi hidrotekhnichnoho budivnytstva ta vodnoi inzhenerii* [Modern technologies and achievements of engineering sciences in the field of hydrotechnical construction and water engineering]. *Zbirnyk naukovykh prats DVNZ KhDAU*, 8–11. [in Ukrainian].
17. Shevchuk, S.A., Kozytskyi, O.M., Mikhonsha, T.I., & Shevchenko, I.A. (2015). *Metodyka ocinky rivniv pavodkovoї nebezpeky i ryzyku v basejnach richok Ukraynskykh Karpat* [Methods of estimation of flood hazard levels in the river basins of the Ukrainian Carpathians]. Kyiv: TsP Kompynt. [in Ukrainian].

О.Н. Козицкий, С.А. Шевчук, И.А. Шевченко

Мониторинг и управление гидрологическими рисками в бассейнах рек Украины

Аннотация. В работе представлены основные направления выполненных в ИВПиМ НААН за последние годы исследований русловых процессов и наиболее опасных природных явлений в бассейнах горных рек Украины, с которыми связаны главные гидрологические риски и масштабные убытки. В частности, представлены результаты натурных и лабораторных исследований закономерностей и динамики развития русловых деформаций, динамического равновесия системы «поток-русло», руслоформирующих расходов, шероховатости русел, стока наносов, типизации русел, разработки схем регулирования русел рек в сложных гидроморфологических условиях, конструкций регуляционных сооружений, разработки научных основ организации мониторинга русловых процессов горных рек Украинских Карпат, разработки методики оценки динамики русловых деформаций. Методика базируется на комплексном анализе гидроморфологических зависимостей между морфологическими параметрами русла и гидравлическими характеристиками потока за отдельные расчетные интервалы наблюдений и обеспечивает возможность дискретной количественной оценки плановых и вертикальных русловых деформаций за многолетний период и их интенсивности. В работе также освещены основные результаты работ по имплементации в Украине наводковой Директивы 2007/60/ЕС, в частности разработки Стратегии управления наводковыми рисками в бассейнах рек Украинских Карпат. В Стратегии задекларированы новейшие стратегические подходы по реагированию на наводки, которые предусматривают отказ от нынешней парадигмы «защиты от наводков» к интегрированному управлению наводковыми рисками. Стратегия определяет национальные механизмы стратегического руководства в сфере снижения наводкового риска, направлений трансграничного сотрудничества, координации работ в пределах районов речных бассейнов для недопущения мероприятий или действий, увеличивающих риск наводков на других участках реки. Состав и объемы мероприятий определяются в зависимости от уровня наводковой опасности и рассчитанных рисков на всех этапах управления ими: оценки наводковой опасности и риска; предупреждения; готовности; реагирования и восстановления. В развитие указанной Стратегии в работе приведены научно-методические основы комплексной оценки суммарных уровней наводковой опасности и риска и их картографирования на геоинформационной основе.

Ключевые слова: русловые процессы, мониторинг, наводковая директива, зоны затопления, наводковая опасность, управление наводковыми рисками.

O.M. Kozytzkyi, S.A. Shevchuk, I.A. Shevchenko

Monitoring and management of hydrological risks in the river basins of Ukraine

Abstract. The paper presents the main areas of the researches of river's bed processes and the most dangerous natural phenomena in the mountain river basins of Ukraine, with which the main hydrological risks and large-scale losses are associated, carried out at the Institute of Water Problems and Land reclamation in recent years. In particular, the results of full-scale and laboratory studies of the patterns and dynamics of the development of river bed' deformation processes, the dynamic equilibrium of the "stream - river bed" system, bed-formation's flow rate, riverbed roughness, sediment runoff, classification of rivers bed, riverbed' regulation schemes in complex hydromorphological conditions are presented, as well, as development of scientific bases of organization of the Ukrainian Carpathians mountain rivers processes' monitoring, development of the Methodology of estimation of channel's deformations dynamics. The Methodology is based on a complex analysis of hydromorphological dependences between the morphological parameters of the riverbed and the hydraulic characteristics of the flow at separate calculated intervals of observations and provides the possibility of discrete quantitative assessment of the planned and vertical riverbed deformations over a long period and their intensities. The paper also highlights the main results of work on the implementation of the Flood Directive 2007/60/EC in Ukraine, in particular, the development of a Flood Risk Management Strategy in the Ukrainian Carpathian River basins. In the Strategy declared the latest approaches to flood response, which foresee the abandonment of the current paradigm of "flood protection" to favor integrated flood risk management. The Strategy identifies national mechanisms for strategic management in flood risk reduction, cross-border cooperation areas, coordination of work within river basin districts to prevent flood-related activities or increasing flood risk in other reach of the river. The composition and scope of activities are determined, depending on the level of flood hazard and calculated risks, at all stages of their management: flood hazard and flood risk assessments; prevention; readiness; response and recovery. For the future development of this Strategy, the paper presents the scientific and methodological bases for a comprehensive assessment of the total levels of flood hazard and flood risk and their mapping on a GIS basis.

Key words: riverbed processes, monitoring, flood directive, flood zone, flood zones, flood risks management.

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg201902-183>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/183>

УДК 628.1

АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОСТАТИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПІНОПОЛІСТИРОЛЬНОГО ФІЛЬТРУВАЛЬНОГО ЗАВАНТАЖЕННЯ

Д.В. Чарний¹, докт. техн. наук, Ю.А. Онанко², аспірант

¹ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-4632-0558>; e-mail: dmitriych10@gmail.com

² Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-7231-1188>; e-mail: yaonanko1@gmail.com

Анотація. Проведено аналіз початкової стадії фільтрування водної суспензії через чисте пінополістирольне фільтрувальне завантаження. Розглянута така особливість його роботи як гідросортування. Проаналізовано зв'язок розмірів гранул пінополістиролу з концентраціями електростатичного заряду на їх поверхні. При дослідженні параметрів електростатичної адсорбції колоїдних частинок на поверхні пінополістирольного фільтрувального завантаження, під час фільтрування через нього водної суспензії, виникає необхідність враховувати вплив неоднорідності гранулометричного складу фільтрувального завантаження на час завершення повного формування поверхневого шару з налиплих колоїдних частинок. Тобто на час завершення початкової стадії фільтрування - так званої «зарядки» фільтра. Експериментально встановлено, що на початковій стадії фільтрування, після промивки, відбувається гідросортування пінополістирольного завантаження за крупністю його гранул. Менші за діаметром гранули опускаються в нижню частину шару завантаження, а більші – піднімаються вгору до несправжнього дна фільтра. При цьому в процесі промивки частина найбільш дрібної «пилуватої» фракції виноситься з промивною водою. За допомогою теорії Пуассона-Больцмана показано зв'язок концентрації електростатичного заряду з товщиною подвійного електричного шару гранул спіненого полістиролу у водній суспензії. Обґрунтовано важливість дослідження ζ -потенціалу для контролю процесу фільтрування колоїдних суспензій. Проведено дослідження електростатичних властивостей колоїдів різної морфології. Визначено залежність ζ -потенціалу колоїдів різної морфології від сили взаємодії подвійного електричного шару колоїдної частинки з подвійним електричним шаром гранули пінополістиролу. Для перевірки гіпотези про зв'язок величини ζ -потенціалу колоїдів різного походження з величиною сили взаємодії їх подвійного електричного шару з подвійним електричним шаром гранули пінополістиролу були проведені експериментальні вимірювання ζ -потенціалу колоїдів біологічного, органічного і мінерального походження. Показано залежність часу «зарядки» полістирольного фільтра від величини ζ -потенціалу фільтрованих колоїдів.

Ключові слова: водоочищення, дзета-потенціал, фільтрування, зарядка фільтра, пінополістирол, гідросортування.

Актуальність. Вода – унікальна природна речовина, яка при розгляді з точки зору електростатичної взаємодії є ідеально збалансованим диполем. Завдяки кулонівській взаємодії молекули води притягуються з тією ж силою, з якою і відштовхуються одна від одної. Даний ефект і забезпечує умови існування води в рідкому стані. На відміну від молекул води, в плані електростатичної взаємодії, колоїдні частинки, так само як і гранули спіненого полістиролу у водній суспензії, є системами, які постійно перебувають у розбалансованому стані. Відповідно до закону Кулона, вони постійно намагаються досягти балансу. Проте через особливості будови їх подвійних електричних шарів це відбувається на рівні взаємодії тільки окремих шарів системи. Наприклад між адсорбційним і дифузним

шарами. Однак, при досягненні рівноваги між двома сусідніми шарами відбувається втрата балансу електростатичної рівноваги між іншими шарами, які межують із ними. Після чого інші шари починають намагатися відновити свою електростатичну рівновагу, тим самим виводячи з рівноваги інші шари і так далі. Досягнення такою системою стану електростатичної рівноваги можливе у разі втручання зовнішніх сил. Наприклад у результаті хімічної реакції, викликаній додаванням у суспензію коагулянтів або флокулянтів [1]. Тоді подвійні електричні шари руйнуються і колоїдні частинки починають злипатися, утворюючи великі пластівці, які осідають під дією сил гравітації.

Метою даної роботи є визначення ступеня впливу електростатичних властивостей гранул

спіненого полістиролу на процес затримання колоїдних частинок різної природи на їх поверхні при фільтруванні через них водної суспензії.

Обґрунтування важливості дослідження параметрів електростатичної адсорбції при фільтруванні водних суспензій. Ступінь розбалансованості та взаємодії з іншими електростатичними системами у водній суспензії визначає шар потенціалутворюючих іонів, що формується навколо ядра системи [2]. Він визначає знак та переважну частину величини заряду подвійного електричного шару системи. Його прийнято визначати за допомогою такої фізичної величини як електростатичний або ζ -потенціал [3]. Тому дослідження ζ -потенціалу є ключовим для визначення ступеня взаємодії колоїдних частинок та гранул пінополістирольного завантаження при фільтруванні через нього водних суспензій [4-6].

Для поверхневих природних вод, як складних колоїдних систем, характерна від'ємна зарядженість ζ -потенціалу колоїдів, що обумовлюють каламутність вихідної води. Це підтверджується нашими експериментальними дослідженнями поверхневих вод верхньої течії р. Дністер, за результатами яких величина ζ -потенціалу колоїдів у даній воді складає $-9,41$ мВ. Пінополістирол є хімічно-інертним завантаженням [7] з додатнім ζ -потенціалом, що складає $+2$ мВ [8; 9], тому адсорбція колоїдних частинок відбувається за рахунок різниці потенціалів. Найбільш наочно це видно на прикладі затримання конгломератів ціанобактерій [8].

При дослідженні параметрів електростатичної адсорбції колоїдних частинок на поверхні пінополістирольного фільтрувального завантаження, під час фільтрування через нього водної суспензії, виникає необхідність враховувати вплив неоднорідності гранулометричного складу фільтрувального завантаження на час завершення повного формування поверхневого шару з налиплих колоїдних частинок. Тобто на час завершення початкової стадії фільтрування – так званої «зарядки» фільтра [10].

Експериментально встановлено, що на початковій стадії фільтрування, після промивки, відбувається гідросортування пінополістирольного завантаження за крупністю його гранул. Менші за діаметром гранули опускаються у нижню частину шару завантаження, а більші – піднімаються уверх до несправжнього дна фільтра. При цьому в процесі промивки частина найбільш дрібної «пилуватої» фракції виноситься з промивною водою [11]. Це відбувається через те, що менші за діаметром гранули пінополістиролу вкриваються товщим шаром колоїдних частинок, що різко збільшує їх масу і призводить до втрати позитивної плавучості гранул та їх подальшого осідання на дно фільтра. Даний процес пов'язаний з тим, що гранули пінополістиролу меншого діаметра мають більшу концентрацію електростатичного заряду ніж гранули пінополістиролу більшого діаметра. Схему гранул спіненого полістиролу різного діаметра з шарами налиплих колоїдних часток різної товщини представлено на рисунку 1.

Визначення товщини подвійного електричного шару пінополістирольної гранули. Відповідно до теорії Пуассона-Больцмана, товщина подвійного електричного шару тісно пов'язана зі щільністю поверхневого заряду. Рівняння Пуассона-Больцмана є головним рівнянням для теорії подвійного електричного шару [12]. Розв'язок цього рівняння потрібен для обчислення товщини подвійного електричного шару. Теорія Пуассона-Больцмана є усталеною моделлю в широкому спектрі наукових досліджень. В електрохімії вона відома як теорія Гуї-Чепмена; у хімії розчинів – як теорія Дебая-Хюкеля; у колоїдній хімії – як теорія Дерягіна – Ландау – Фервея – Овербека (ДЛФО); і в біофізиці вона відома як теорія Пуассона-Больцмана. Рівняння Пуассона-Больцмана становить собою типову неявну модель розчинника і дає спрощений опис континууму розподілу дискретних частинок (наприклад води, іонів і молекул білків) у розчині. Чисельними методами, що використовуються для розв'язання

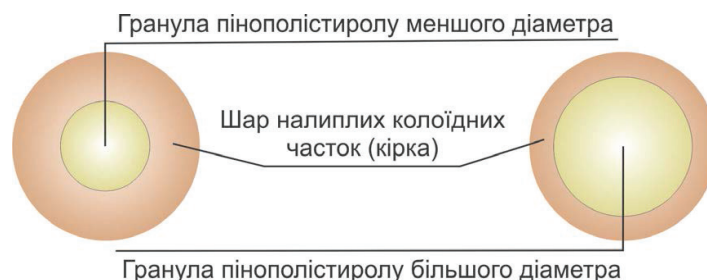


Рис. 1 Схема гранул пінополістиролу різного діаметра з шарами налиплих колоїдних часток

рівняння Пуассона-Больцмана, є: метод скінченних елементів; метод скінченних різниць; гібридний метод скінченних елементів/граничних елементів; гібридний метод скінченних різниць/граничних елементів. При розв'язанні рівняння Пуассона-Больцмана, коли для спрощення не враховуються члени вищого порядку розширеної експоненціальної функції, це не дає точного результату і розв'язок є наближеним. Чепмен (1913) та Гуї (1910) надали наближений розв'язок рівняння Пуассона-Больцмана для одного типу іонів. Воюцький надав наближений розв'язок лінеаризованого рівняння Пуассона-Больцмана для випадку, коли в ґрунтовій воді міститься більше одного типу іонів. Щільності переважної більшості відповідних частинок залежать від відстані до зарядженої площини [13]:

$$n_{ct}(x) = \frac{n_s n_d \exp\left(-\frac{v_{ct} e_0 \Phi(x)}{kT}\right)}{n_{0d} \left(1 + \frac{n_d}{n_{0d}} \left(\exp\left(-\frac{v_{ct} e_0 \Phi(x)}{kT}\right) + \exp\left(-\frac{v_{co} e_0 \Phi(x)}{kT}\right)\right)\right)}, \quad (1)$$

$$n_{co}(x) = \frac{n_s n_d \exp\left(-\frac{v_{co} e_0 \Phi(x)}{kT}\right)}{n_{0d} \left(1 + \frac{n_d}{n_{0d}} \left(\exp\left(-\frac{v_{ct} e_0 \Phi(x)}{kT}\right) + \exp\left(-\frac{v_{co} e_0 \Phi(x)}{kT}\right)\right)\right)}, \quad (2)$$

де n_{0d} – щільність переважної більшості молекул розчинника віддалених від зарядженої площини, n_d – щільність переважної більшості протиіонів та іонів віддалених від зарядженої площини, v_{ct} і v_{co} – валентності протиіонів та іонів відповідно, $v_{ct}, v_{co} = \pm 1$, e_0 – елементарний заряд, $\Phi(x)$ – потенціал середнього електростатичного поля, k – константа Больцмана, T – температура.

Середній електростатичний потенціал отримують шляхом розв'язання диференціального рівняння:

$$\frac{d^2 \Phi(x)}{dx^2} = -\frac{e_0 n_s n_d \left(v_{ct} \exp\left(-\frac{v_{ct} e_0 \Phi(x)}{kT}\right) + v_{co} \exp\left(-\frac{v_{co} e_0 \Phi(x)}{kT}\right) \right)}{\varepsilon \varepsilon_0 n_{0d} \left(1 + \frac{n_d}{n_{0d}} \left(\exp\left(-\frac{v_{ct} e_0 \Phi(x)}{kT}\right) + \exp\left(-\frac{v_{co} e_0 \Phi(x)}{kT}\right)\right)\right)}, \quad (3)$$

де ε – діелектрична проникність розчину, а ε_0 – константа впливу. Граничними умовами для рівняння (3) є:

$$\left. \frac{d\Phi}{dx} \right|_{x=0} = -\frac{\sigma}{\varepsilon \varepsilon_0} \quad (4)$$

$$\left. \frac{d\Phi}{dx} \right|_{x=d} = 0 \quad (5)$$

Приймаємо:

$$\Phi(d) = 0 \quad (6)$$

Відповідно, d слід вважати дуже великим, тобто $d \rightarrow \infty$.

Екранування електростатичного поля протиіонами, що накопичуються поблизу зарядженої площини, може бути представлене ефективною товщиною подвійного електричного шару. Відстань $x_{1/2}$, де щільність переважної більшості протиіонів (розрахованих відносно їх значення на віддалі від зарядженої площини), зменшується до половини від їх значення при $x = 0$:

$$n_{ct}\left(x_{\frac{1}{2}}\right) - n_d = \frac{1}{2}(n_{ct}(0) - n_d), \quad (7)$$

де $n_{ct}(0)$ – щільність переважної більшості протиіонів при $x = 0$.

Тут ми узагальнюємо цю умову так, щоб розглянути кінцеву розмірність ґратки на відстані найближчого наближення іонів $a/2$ і потребуємо зменшення частини ϑ величини $n_{ct}(a/2)$:

$$n_{ct}(x_\vartheta) - n_d = (1 - \vartheta)(n_{ct}(a/2) - n_d) \quad (8)$$

Введемо інший показник товщини подвійного електричного шару, а саме відстань d_ϑ , що визначає область, яка містить певну частину ϑ надлишку протиіонів:

$$\int_{a/2}^{d_\vartheta} (n_{ct}(x) - n_d) dx = \vartheta \int_{a/2}^d (n_{ct}(x) - n_d) dx \quad (9)$$

Для іонів, розмір яких зменшується (в межах дії теорії Пуассона-Больцмана), x_ϑ аналітично виражається як:

$$x_\vartheta = \frac{1}{k} \ln \left(\frac{\left(\sqrt{1 + (1 - \vartheta) \left(\exp\left(-\frac{v_{ct} e_0 \Phi(0)}{kT}\right) - 1\right) + 1} \right) \times \left(1 - \exp\left(-\frac{v_{ct} e_0 \Phi(0)}{2kT}\right) \right)}{\left(\sqrt{1 + (1 - \vartheta) \left(\exp\left(-\frac{v_{ct} e_0 \Phi(0)}{kT}\right) - 1\right) - 1} \right) \times \left(1 + \exp\left(-\frac{v_{ct} e_0 \Phi(0)}{2kT}\right) \right)} \right), \quad (10)$$

де

$$\Phi(0) = -\frac{2kT}{v_{ct} e_0} \ln \left(\sqrt{1 + (\sigma/c)^2} + |\sigma/c| \right) \quad (11)$$

$$c = \sqrt{8kT\varepsilon\varepsilon_0 n_d} \quad (12)$$

$$k = \sqrt{\frac{2n_d e_0^2}{\varepsilon\varepsilon_0 kT}} \quad (13)$$

При дотриманні тієї ж межі і з урахуванням того, що $d \rightarrow \infty$, параметр d_g виражається як:

$$d_g = \frac{1}{k} \ln \left(\frac{1 + \frac{1+g}{1-g} \exp\left(\frac{v_{ct} e_0 \Phi(0)}{2kT}\right)}{1 + \exp\left(\frac{v_{ct} e_0 \Phi(0)}{2kT}\right)} \right) \quad (14)$$

Якщо крім того $|e_0 \Phi(x)/kT| \ll 1$ для всіх x , тобто застосовується лінеаризована теорія Пуассона-Больцмана, обидві умови ще більше спрощують вираз:

$$x_g = d_g = \frac{1}{k} \ln \left(\frac{1}{1-g} \right), \quad (15)$$

де $1/k$ – довжина екранування Дебая, яка описує ефективну товщину подвійного електричного шару в лінеаризованій теорії Пуассона-Больцмана.

У рамках представленої моделі ділянки ґратки рівні; отже всі частинки вважаються однаковими за розміром. Без цього припущення чисельні щільності іонів не могли бути виражені аналітично (як за рівняннями (1) і (2)). Тому в моделі всі частинки мають однаковий розмір. На віддалі від зарядженої площини електростатичне поле не залежить від постійної ґратки. З іншого боку, в безпосередній близькості від зарядженої площини накопичуються протиіони, у той час як іонів не вистачає. Найбільш важливим є вплив протиіонів, що містяться в області, близькій до зарядженої площини в електростатичному

полі. Тому ми вважаємо доречним вибирати постійну решітки a за розміром протиіонів у розчині. Різні розв'язки, що характеризуються типом протиіонів, можуть бути змодельовані шляхом зміни постійної ґратки a , що належить до відповідного виду протиіонів.

Для дослідження ефективної товщини подвійного електричного шару для різних розмірів протиіонів ми розв'язуємо рівняння (3), визначаємо функцію розподілу, задану рівнянням (1), та обчислюємо параметри x_g і d_g . Розв'язок рівняння (3) отримано чисельно за допомогою методу Рунге-Кутти четвертого порядку, починаючи на віддаленні від зарядженої площини, а інтеграл у рівнянні (9) обчислюється за допомогою методу Сімпсона.

Щільність іонів визначається тільки для $x > a/2$, тоді як електростатичне поле визначається для всіх $x \geq 0$ і підпорядковується умові у рівнянні (4). На основі складеної моделі були побудовані схеми зміни величини електричного потенціалу в залежності від відстані до поверхні частинки при різних товщинах подвійних електричних шарів. Вони представлені на рисунку 2, де ψ_0 – електричний потенціал поверхні гранули пінополістиролу, $1/k$ – довжина подвійного електричного шару або Дебайівська довжина, а ζ – дзета-потенціал гранули спіненого полістиролу.

Підсумовуючи вищезазначене, час повного вкриття гранул пінополістирольного завантаження кіркою з колоїдних частинок, тобто так званої «зарядки» фільтра, визначається товщиною подвійного електричного шару.

Гранули меншого діаметра повністю вкриваються кіркою швидше через більшу концен-

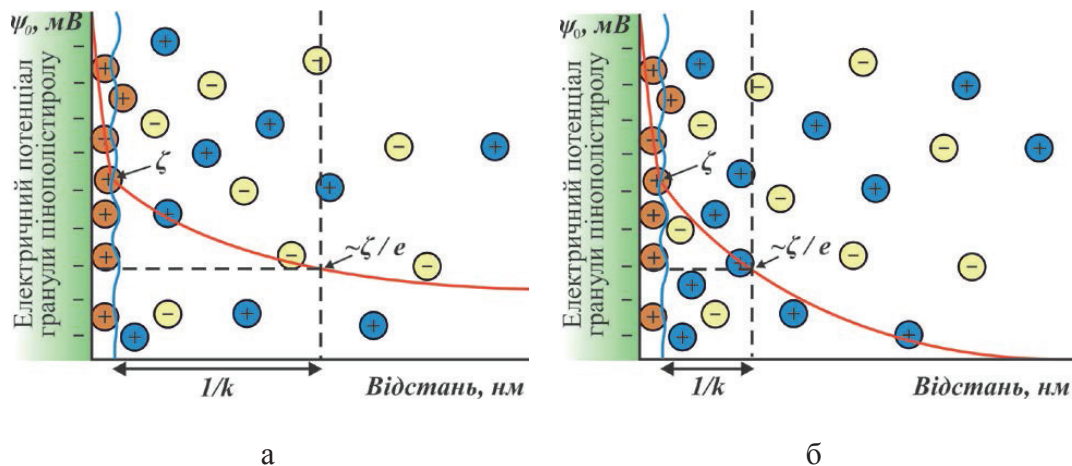


Рис. 2 Схеми зміни величини електричного потенціалу залежно від відстані до поверхні гранули пінополістиролу при різних товщинах подвійних електричних шарів:

- а – більша товщина подвійного електричного шару;
- б – менша товщина подвійного електричного шару

трацію електростатичного заряду. Але через те, що вони мають більшу товщину подвійного електричного шару, кірка з колоїдних частинок на їх поверхні буде більшої товщини, а відповідно і часу на її повне утворення буде вимагатися більше.

Гранули більшого діаметра повільніше вкриваються шаром колоїдних частинок через меншу концентрацію електростатичного заряду. Проте, товщина цього шару у них менша ніж у гранул меншого діаметра через меншу товщину подвійного електричного шару. А тому і часу на повне завершення формування кірки потрібно менше.

Дослідження електростатичних властивостей колоїдів різної морфології. Для перевірки гіпотези про зв'язок величини ζ -потенціалу колоїдів різного походження з величиною сили взаємодії їх подвійного електричного шару з подвійним електричним шаром гранули пінополістиролу були проведені експериментальні вимірювання ζ -потенціалу колоїдів біологічного, органічного і мінерального походження. Експериментально вивчено електродинамічні властивості колоїдів біологічного походження на прикладі фітопланктону (головним чином конгломератів ціанобактерій), зразки якого були відібрані в районі Дніпровського водозабору м. Києва, Україна. Виміряне значення його ζ -потенціалу склало -13 мВ [8]. Властивості колоїдів мінерального походження були вивчені на прикладі глинистих частинок з поверхневих вод верхньої течії р. Дністер. Експериментально визначена величина їх ζ -потенціалу дорівнює $-9,41$ мВ. Також для визначення ступеня впливу додавання коагулянтів на електростатичні властивості глинистих колоїдних частинок були досліджені проби води, відібрані на очисних спорудах водопроводу м. Чернівці, Україна. ζ -потенціал конгломератів глинистих колоїдів склав $-11,7$ мВ. Електродинамічні властивості колоїдів органічного походження були досліджені на прикладі стічних вод, відібраних на очисних спорудах ТОВ «Антонівський м'ясокомбінат», який розташований в с. Мала Антонівка Білоцерківського району Київської області, Україна. Виміряна величина їх ζ -потенціалу $-9,05$ мВ.

Для визначення сили взаємодії подвійного шару $F_{\text{пш}}$ колоїдів різної морфології та гранули пінополістиролу у водній суспензії було застосовано, можливо, найбільш широко використовуваний аналітичний вираз Хогга, що має вигляд:

$$F_{\text{пш}} = \frac{\hat{\epsilon} a_p (\zeta_k^2 + \zeta_n^2) k \exp(-kh)}{2(1 - \exp(-2kh))} \times \left[2 \frac{\zeta_k \zeta_n}{\zeta_k^2 + \zeta_n^2} - \exp(-kh) \right] \mathbf{n} \quad (16)$$

де $\hat{\epsilon}$ – діелектрична проникність рідини, ζ_k та ζ_n – ζ -потенціали (апроксимація поверхневого потенціалу) колоїдної частинки і фільтрувального завантаження (гранули пінополістиролу) відповідно, \mathbf{n} – одиничний нормальний вектор, а k – зворотна Дебаївська довжина, представлена як:

$$k = \sqrt{\frac{4\pi e^2}{\hat{\epsilon} kT} \sum_j z_j^2 m_j}, \quad (17)$$

де e – заряд електрона, k – постійна Больцмана, T – абсолютна температура, а m_j – концентрація виду j -го іона, присутнього в розчині з валентністю z_j .

На базі цих даних був побудований графік залежності ζ -потенціалу колоїдів різної морфології від сили взаємодії їх подвійного електричного шару з подвійним електричним шаром гранули пінополістиролу. Теоретична крива побудована відповідно до закону Кулона, а дані експериментальних досліджень колоїдів різної морфології представлені на графіку у вигляді експериментальних точок.

Аналіз графіка, представленого на рис. 3, підтверджує гіпотезу про наявність дуже

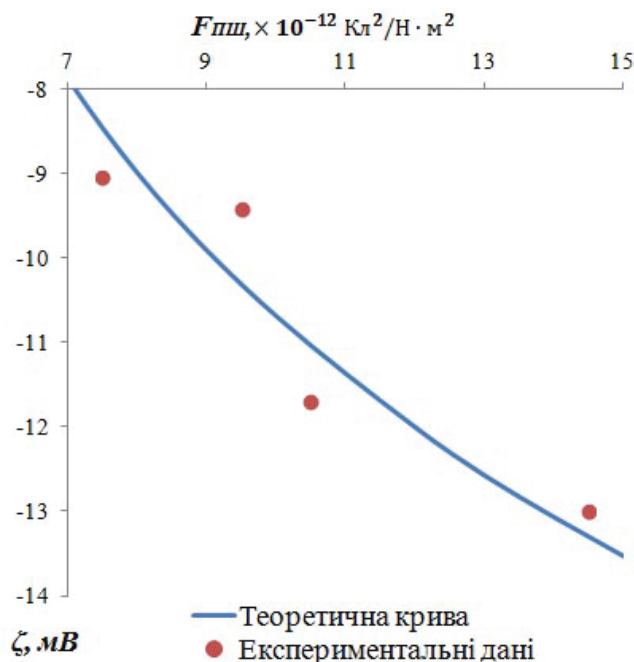


Рис. 3. Графік залежності ζ -потенціалу колоїдів різної морфології від сили взаємодії подвійного електричного шару колоїдної частинки з подвійним електричним шаром гранули пінополістиролу

тісного зв'язку між величиною ζ -потенціалу колоїдів різної морфології з величиною сили взаємодії їх подвійного електричного шару з подвійним електричним шаром гранули пінополістиролу у водній суспензії. Це означає, що час зарядки пінополістирольного фільтра тісно пов'язаний зі значеннями ζ -потенціалу колоїдів у фільтрованій водній суспензії. Також можна зробити висновок про те, що з точки зору електростатичної взаємодії додавання коагулянтів змінює параметри подвійного електричного шару, чим підвищує не тільки величину ζ -потенціалу колоїдів, але і силу взаємодії їх подвійного електричного шару з подвійним електричним шаром гранули фільтрувального пінополістирольного завантаження. Це позитивно позначається на інтенсифікації процесу затримання скоагульованих колоїдних конгломератів на поверхні фільтрувального завантаження

зі спіненого полістиролу і скорочення часу формування колоїдної кірки, тобто часу «зарядки» фільтра.

Висновки. Початкова стадія фільтрування через чисте пінополістирольне завантаження значно відрізняється від основної стадії фільтрування через переважання сил електростатичної взаємодії.

Різниця в часі повного завершення формування колоїдних кірок на гранулах спіненого полістиролу різних діаметрів настільки незначна, що нею можна знехтувати і вважати цей час однаковим для пінополістирольних гранул різних діаметрів.

Незалежно від природи походження колоїдів інтенсивність їх затримання гранулами пінополістирольного фільтруючого завантаження, а отже і час «зарядки» пінополістирольного фільтра безпосередньо, залежать від величини їх ζ -потенціалу.

Бібліографія

1. Сериков Л.В., Шиян Л.Н., Тропина Е.А. Коллоидно-химические свойства соединений железа в природных водах // Известия Томского политехнического университета. Вып. 316, № 3. С. 28–33.
2. Ghernaout D. Controlling coagulation process: from zeta potential to streaming potential. *American Journal of Environmental Protection*. 2015. Vol. 4. № 5. P. 16–27.
3. Holmes M. Zeta potential measurement for water treatment coagulation control. Conference: Oz Water 2015. At: Adelaide, Australia. 2015. P. 8.
4. Adamczyk Z. Role of electrostatic interactions in particle adsorption. *Advances in Colloid and Interface Science*. 1996. Vol. 63. P. 41–149.
5. Morfesis A. Role of zeta (ζ) potential in the optimization of water treatment facility operations. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2009. Vol. 48. № 5. P. 2305–2308.
6. Nobbmann U. The role of zeta potential in the optimization of water treatment. *NSTI-Nanotech 2010*. 2010. Vol. 3. P. 605–607.
7. Журба М.Г. Водоочистные фильтры с плавающей загрузкой. Москва : 2011. 536 с.
8. Чарний Д.В. Розвиток теоретичних засад і удосконалення технологій очищення природних вод в системах сільськогосподарського водопостачання : дис. ... докт. техн. наук : 06.01.02 / Інститут водних проблем і меліорації НААН. Київ, 2017. 302 с.
9. Awet T.T. Effects of polystyrene nanoparticles on the microbiota and functional diversity of enzymes in soil. *Environmental Sciences Europe*. 2018. Vol. 30. № 1.
10. Орлов В.О. Водоочисні фільтри із зернистою завантажкою. Рівне : НУВГП, 2005. 163 с.
11. Чарний Д.В. Усовершенствование способов водо- и энергосбережения в разветвленных оросительно-обводнительных системах : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.05 / Институт гидротехники и мелиорации УААН. Киев, 1998. 148 с.
12. Mahanta K.K. Estimation of the electric double layer thickness in the presence of two types of ions in soil water. *Applied Clay Science*. 2014. Vol. 87. P. 212–218.
13. Bohinc K. Thickness of electrical double layer. effect of ion size. *Electrochimica Acta*. 2001. Vol. 46. № 19. P. 3033–3040.

References

1. Serykov, L.V., Shyian L.N., Tropyna E.A. (2010). Kolloidno-khimicheskiye svoystva soyedineniy zheleza v prirodnykh vodakh [Colloid-chemical properties of iron compounds in natural waters]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta – News of Tomsk Polytechnic University*, 316(3), 28–33. Tomsk. [in Russian].
2. Ghernaout, D. (2015). Controlling Coagulation Process: From Zeta Potential to Streaming Potential. *American Journal of Environmental Protection*, 4(5), 16–27. <https://doi.org/10.11648/j.ajeps.s.2015040501.12>

3. Holmes, M., Reeve, P., Pestana, C., Chow, C., Newcombe, G., West, J., & Water, S. (2015). Zeta potential measurement for water treatment coagulation control. Conference: Oz Water 2015. At: Adelaide, Australia, 8.
4. Adamczyk, Z., & Warszyński, P. (1996). Role of electrostatic interactions in particle adsorption. *Advances in Colloid and Interface Science*, 63, 41–149. [https://doi.org/10.1016/0001-8686\(95\)00281-2](https://doi.org/10.1016/0001-8686(95)00281-2).
5. Morfesis, A., Jacobson, A.M., Frollini, R., Helgeson, M., Billica, J., & Gertig, K.R. (2009). Role of Zeta (ζ) Potential in the Optimization of Water Treatment Facility Operations. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 48(5), 2305–2308. <https://doi.org/10.1021/ie800524x>.
6. Nobbmann, U., Morfesis, A., Billica, J., & Gertig, K. (2010). The Role of Zeta Potential in the Optimization of Water Treatment. 3, 605–607.
7. Zhurba, M.H. (2011). Vodoochistnyye fil'try s plavayushchey zagruzkoj [Water purification filters with floating load]. Moscow [in Russian].
8. Charny, D.V. (2017). Rozvytok teoretychnykh zasad i udoskonalennya tekhnolohiy ochyshchennya pryrodnykh vod v systemakh sil's'kohospodars'koho vodopostachannya [Development of theoretical principles and improvement of natural water treatment technology in agricultural water supply systems]. Doctor's thesis. Kyiv: Instytut vodnykh problem i melioratsiyi NAAN. [in Ukrainian].
9. Awet, T.T., Kohl, Y., Meier, F., Straskraba, S., Grün, A.-L., Ruf, T., & Emmerling, C. (2018). Effects of polystyrene nanoparticles on the microbiota and functional diversity of enzymes in soil. *Environmental Sciences Europe*, 30(1). <https://doi.org/10.1186/s12302-018-0140-6>.
10. Orlov, V.O. (2005). Vodoochysni fil'try iz zernystoyu zasypkoyu. [Water-purifying filters with granular filler]. Rivne: NUVHP. [in Ukrainian].
11. Charny, D.V. (1998). Ushovershenstvovaniye sposobov vodo- i energosberezheniya v razvetylennykh orossitel'no-obvodnitel'nykh sistemakh [Improvement of water and energy saving methods in branched irrigation and watering systems]. PhD thesis. Kyiv: Institut gidrotekhniki i melioratsii UAAN. [in Russian].
12. Mahanta, K.K., Mishra, G.C., & Kansal, M.L. (2014). Estimation of the electric double layer thickness in the presence of two types of ions in soil water. *Applied Clay Science*, 87, 212–218. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2013.11.007>.
13. Bohinc, K., Kralj-Iglič, V., & Iglič, A. (2001). Thickness of electrical double layer. Effect of ion size. *Electrochimica Acta*, 46(19), 3033–3040. [https://doi.org/10.1016/S0013-4686\(01\)00525-4](https://doi.org/10.1016/S0013-4686(01)00525-4).

Д.В. Чарный, Ю.А. Онанко

Анализ электростатических свойств пенополистирольной фильтрующей загрузки

Аннотация. Проведен анализ начальной стадии фильтрования водной суспензии через чистую пенополистирольную фильтрующую загрузку. Рассмотрена такая особенность ее работы как гидросортировка. Проанализирована связь размеров гранул пенополистирола с концентрациями электростатического заряда на их поверхности. При исследовании параметров электростатической адсорбции коллоидных частиц на поверхности пенополистирольной фильтрующей загрузки, при фильтрации через неё водной суспензии, возникает необходимость учитывать влияние неоднородности гранулометрического состава фильтрующей загрузки на время завершения полного формирования поверхностного слоя из налиших коллоидных частиц, то есть на время завершения начального этапа фильтрования - так называемой «зарядки» фильтра. Экспериментально установлено, что на начальном этапе фильтрования после промывки в пенополистирольной загрузке происходит её гидросортировка по крупности гранул. Меньшие по диаметру гранулы опускаются в нижнюю часть слоя загрузки, а большие – поднимаются вверх к ложному дну фильтра. При этом в процессе промывки часть наиболее мелкой «пылевой» фракции уносится с промывной водой. При помощи теории Пуассона-Больцмана показана связь концентрации электростатического заряда с толщиной двойного электрического слоя гранул вспененного полистирола в водной суспензии. Обоснована важность исследования ζ -потенциала для контроля процесса фильтрования коллоидных суспензий. Произведено исследование электростатических свойств коллоидов различной морфологии. Определена зависимость ζ -потенциала коллоидов разной морфологии от силы взаимодействия двойного электрического слоя коллоидной частицы с двойным электрическим слоем гранулы пенополистирола. Для проверки гипотезы о связи величины ζ -потенциала коллоидов различного происхождения с величиной силы взаимодействия их двойного электрического слоя с двойным электрическим слоем гранулы пенополистирола были проведены экспериментальные измерения ζ -потенциала коллоидов биологического, органического и минерального происхождения. Показана зависимость времени «зарядки» пенополистирольного фильтра от величины ζ -потенциала фильтруемых коллоидов.

Ключевые слова: водоочистка, дзета-потенциал, фильтрование, зарядка фильтра, пенополистирол, гидросортировка.

D.V. Charnyi, Yu.A. Onanko**Analysis of electrostatic properties of polystyrene foam filtration load**

Abstract. The analysis of the initial stage of the aqueous suspension filtration through clean polystyrene foam media carried out. Such feature of its work as hydro-sorting is considered. The relationship between the sizes of polystyrene foam granules and the concentrations of electrostatic charge on their surface analyzed. At studying the colloidal particles electrostatic adsorption parameters on the surface of polystyrene foam filtration media, when filtering an aqueous suspension through it, it becomes necessary to take into account the influence of the filtration media particle size distribution heterogeneity on the time of the adhered colloidal particles surface layer complete formation. That is, on the time of initial stage of filtering completion – so called filter “charging”. Experimentally proved that on the initial stage of filtering, after flushing polystyrene foam media, it the process of hydro-sorting by granule size is take place. Granules of the smaller diameters descent to the bottom of the load layer and larger ones rise up to the false bottom of the filter. Wherein, during the flushing process, part of the smallest “dusty” fraction is carried away with the flushing water. Using the Poison-Boltzmann theory, a relationship between an electrostatic charge and an electric double layer of polystyrene foam granules in aqueous suspension showed. The importance of the ζ -potential researching for controlling of colloidal suspensions filtering process was justified. The electrostatic properties of different morphology colloids studied. The dependence of the different morphology colloids ζ -potential on the force of the colloidal particles electrical double layer interaction with the polystyrene foam granule electrical double layer was determined. To test the hypothesis about the connection of various origins colloids ζ -potential with interaction force magnitude of their electric double layer with the polystyrene foam granules electric double layer, experimental ζ -potential measurements of biological, organic and mineral origin colloids were made. The dependence of the polystyrene foam filter “charging” time from the ζ -potential of the filtered colloids is shown.

Key words: water treatment, zeta-potential, filtering, filter charging, polystyrene foam, hydro-sorting.

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg201902-190>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/190>

УДК 628.1: 631.6

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ТА НАДІЙНОЇ РОБОТИ СИСТЕМ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ (НА ПРИКЛАДІ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ СЕЛА ТАРАСІВКА КИЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ)

В.В. Нор¹, Т.П. Хомуцька², канд. техн. наук

¹ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0001-7577-8800>; e-mail: rostem29@gmail.com

² Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0003-0153-4920>; e-mail: itsk@bigmir.net

Анотація. Проаналізовано сучасний стан водозабезпечення в Україні та розкрито основні проблеми, які виникають на діючих системах водопостачання, пов'язані з недостатньою ефективністю як технологій водопідготовки, так і режимів експлуатації споруд водопровідної системи, що характеризується високим енергоспоживанням, створенням надлишкових тисків і зростанням аварійності мереж водопостачання. Встановлено, що в системах сільськогосподарського водопостачання додаткові складнощі можуть виникнути через значні коливання показників водоспоживання протягом доби, тому необхідні дослідження сумісної роботи взаємодіючих споруд, особливо в безбаитових схемах. Показано, що вирішити задачі надійного забезпечення споживачів потрібними витратами, напорами і якістю води можна, враховуючи вимоги економічності, надійності та екологічної безпеки, а виявити слабкі ланки та розробити рекомендації щодо забезпечення ефективної експлуатації споруд можна за допомогою математичного моделювання та аналізу різних можливих варіантів роботи системи. Питання підвищення економічності та надійності систем сільськогосподарського водопостачання розглянуто на прикладі водозабезпечення села Тарасівка Київської області. Наведено результати дослідження роботи водопровідних споруд системи водопостачання, що базується на використанні підземних вод, і показано, що при подачі води із свердловини безпосередньо у водопровідну мережу відбуваються великі перевитрати електроенергії на водопідйом. Виконано аналіз надійності системи водопостачання при подачі води із свердловини та запропоновано заходи для забезпечення економічної та надійної роботи водопровідних споруд при зменшенні питомих витрат електроенергії на подачу води споживачам і покращенні її якості.

Ключові слова: сільськогосподарське водопостачання, водозабірні свердловини, водопровідна мережа, питомі витрати електроенергії, надійність водопровідних споруд, знезалізнення води.

Актуальність. Для забезпечення водою сільських населених пунктів і підприємств агропромислового комплексу (АПК) необхідно мати низку споруд для забору води з природних джерел, її очищення, підняття, накопичування, транспортування, розподілення і подачі споживачам. Набір цих споруд залежить від наявності, потужності та якісних показників водних джерел, вимог споживачів до кількості та якості води, їхнього розміщення на місцевості, наявності матеріалів та інших факторів.

При вирішенні цих питань з усіх можливих варіантів необхідно вибирати найвигідніший, за якого усі споживачі будуть забезпечені водою в потрібній

кількості, належної якості і під необхідним розрахунковим вільним напором при найменших витратах на будівництво і експлу-

атацію водопровідних споруд та забезпеченні достатньої надійності їхньої роботи.

Оскільки природні запаси прісної води обмежені і відбувається їх прогресуюче забруднення стічними водами, то проблема надійного водозабезпечення населення і галузей економіки є нині актуальною і постає як одна з найважливіших сучасних проблем.

Аналіз останніх досліджень. У роботах зарубіжних авторів [1-5] велику увагу приділено питанням оптимізації систем водопостачання для поліпшення економічних показників і зменшення витрат електроенергії на подачу води. На конкретних прикладах оцінено ризики у водозабезпеченні споживачів та розкрито шляхи задоволення вимог надійності при плануванні системи водопостачання населених пунктів [6-10]. Однак забезпечити економічну та надійну роботу водопровідних

споруд можна лише зважаючи на усі фактори, що впливають на ефективність, з урахуванням різних умов будівництва та експлуатації системи в кожному окремому випадку.

Аналіз сучасного стану систем водопостачання в Україні показав що:

- в умовах дії посиленних вимог до якості водопровідної води діючі технології водопідготовки не завжди здатні забезпечити потрібну якість водоочищення;

- на комунальних підприємствах спостерігається велика зношеність основних фондів, насамперед водопровідних мереж, що призводить до значних втрат і вторинного забруднення води;

- зміна норм і режимів водоспоживання в населених пунктах, а також характеристик водопровідних споруд гідравлічної взаємодії при експлуатації призводять до створення надлишкових тисків в системі водопостачання та зростання її аварійності, незабезпечення споживачів потрібними витратами і напорами води та збільшення матеріальних і моральних збитків;

- значна частина діючого насосного обладнання в Україні потребує заміни чи реконструкції, оскільки робота насосів перебуває поза межами їх рекомендованого застосування, тобто з низькими ККД і високим енергоспоживанням, а тому питомі витрати електроенергії на подачу води в Україні мають набагато вищі показники ніж в інших європейських державах.

Сільським населеним пунктам притаманні значні коливання показників водоспоживання протягом доби, що може додатково ускладнити роботу систем сільськогосподарського водопостачання, особливо в безбаштових схемах.

Поліпшити ситуацію можна за допомогою використання раціональних схем, енергозберігаючих технологій і сучасного ефективного обладнання, матеріалів і засобів на всьому шляху транспортування води від водного джерела до споживача, а також шляхом оптимізації системи водопостачання на основі математичного моделювання роботи гідравлічно взаємодіючих споруд, аналізу різних можливих варіантів їх експлуатації та вибору оптимальних режимів при зміні водоспоживання.

Мета та методика досліджень. Метою досліджень є вирішення питань ресурсозбереження в системах сільськогосподарського водопостачання (раціонального і економного витрачання води, капітальних та енергетичних ресурсів) при інтенсифікації роботи водопровідних споруд для забезпечення як економіч-

ності, так і технічної надійності функціонування системи без нанесення шкоди довкіллю. Тобто оптимальне рішення визначається при одночасному розгляді трьох складових даної проблеми: економічність, надійність та захист довкілля.

Дослідження проводили на системі водопостачання в селі Тарасівка Києво-Святошинського району Київської області, що розташована на відстані 11 км від м. Києва та 4 км від м. Боярки. У селі площею 4,8 км² мешкає 5,8 тис. осіб. При дослідженні було встановлено показники економічності та надійності всіх діючих споруд системи водопостачання цього села, виконано порівняння з нормативними показниками та запропоновано рекомендації з покращення роботи водопровідних споруд.

У питаннях ресурсозбереження використовували напрацювання, що викладені в роботах [11; 12]. Собівартість води залежить від витрат на її добування, підготовку і транспортування. Основними шляхами ресурсозбереження в системах сільськогосподарського водопостачання є:

- скорочення обсягів водоспоживання і водовідведення із впровадженням інтенсифікації роботи водопровідних споруд;

- зменшення втрат води в системах водопостачання;

- застосування замкнених систем водокористування на підприємствах АПК;

- використання нових ефективних і економічних технологічних схем водопідготовки;

- оптимізація сумісної роботи водопровідних споруд для мінімізації питомих витрат електроенергії;

- забезпечення надійної і довготривалої роботи системи без недопустимих перерв в постачанні води, зниження напорів чи погіршенні її якості.

Надійність роботи системи водопостачання як комплексу взаємодіючих споруд можна оцінити лише після розрахунку надійності її окремих елементів, що знаходяться на шляху подачі води від водозабору до споживачів [13–16].

З точки зору економіки найвигіднішим варіантом системи водопостачання (при проектуванні нової чи реконструкції діючої) вважається такий, при якому будуть мінімальними приведені витрати по всьому комплексу взаємодіючих водопровідних споруд: водозабори – насосні станції – очисні споруди – водоводи – напірно-регулюючі споруди – водопровідна мережа [1; 12; 17], тобто оптимальне рішення зводиться до визначення мінімуму функції цілі при накладенні низки обмежень:

$$P = E \cdot K + C, \text{ грн./рік}, \quad (1)$$

де P – приведені витрати по системі водопостачання, грн./рік; K – капіталовкладення, тобто вартість усіх водопровідних споруд, грн.; C – річні експлуатаційні витрати на амортизацію, ремонт та обслуговування споруд, а також вартість електроенергії на подачу води, грн./рік; E – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень, що дорівнює

$$E = 1/T_{\text{ок}}, \text{ 1/рік}, \quad (2)$$

$T_{\text{ок}}$ – строк окупності капіталовкладень, роки.

При мінімізації величини P накладаються такі обмеження:

– забезпечення подачі всім споживачам розрахункових витрат води

$$Q_i \geq Q_{\text{розр.і}}, \text{ л/с}; \quad (3)$$

– вільний напір у мережі біля кожного споживача не повинен бути меншим розрахункового

$$H_i \geq H_{\text{розр.і}}, \text{ м}; \quad (4)$$

– якість питної води, що подається для кожного споживача, не повинна бути нижчою нормативних показників [18]

$$W_{i,j} \leq W_{i,j,\text{норм}}; \quad (5)$$

– найменша тривалість безвідомовної роботи системи повинна бути меншою нормативних значень

$$T_{\text{мін}} \geq T_{\text{норм}}, \text{ год}; \quad (6)$$

– найбільший час відновлення працездатності не повинен перевищувати нормативні показники

$$t_{\text{в.мах}} \leq t_{\text{в.норм}}, \text{ год}; \quad (7)$$

Результати дослідження та їх обговорення. Аналіз сучасного стану системи водопостачання села Тарасівка. Централізована система водопостачання с. Тарасівка (рис. 1) базується на використанні підземних вод, які забираються із сеноманського горизонту за допомогою трьох робочих свердловин, розташованих у різних частинах населеного пункту, з роздачею води навколишнім споживачам. Свердловини характеризуються такими дебітами, м³/год: Св. № 1–7,8; Св. № 2–6,6; Св. № 3–1,1. Свердловина № 4 нині відключена і перебуває в розряді резервних.

Забезпечення споживачів водою здійснюється по розгалуженій

тупиковій водопровідній мережі (рис. 1) із загальною протяжністю ліній 2,7 км та діаметрами труб від 100 до 225 мм. На мережі встановлено водонапірну башту для накопичення регулюючих об'ємів води та пожежний резервуар, у якому зберігаються запаси води на випадок пожежогасіння. Свердловина № 1 подає воду у водонапірну башту, розташовану неподалік, а свердловини № 2 і № 3 – безпосередньо у водопровідну мережу.

У системах водопостачання подача води в мережу через водонапірну башту дозволяє насосам працювати в рівномірному режимі у зоні найвищого коефіцієнта корисної дії (ккд), що забезпечує мінімальні питомі витрати електроенергії. При подачі води насосами безпосередньо у водопровідну мережу з великим коливанням водоспоживання протягом доби відбуваються значні перевитрати електроенергії [11; 19; 20]. Найскладніша ситуація

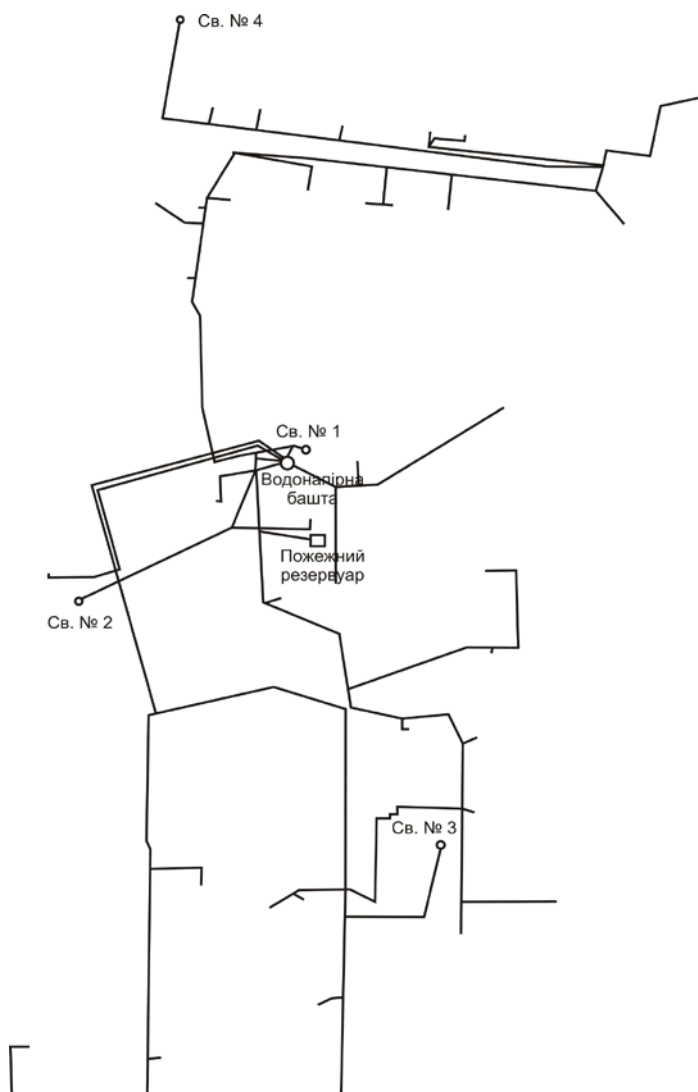


Рис. 1. Схема системи водопостачання села Тарасівка Київської області

виникає у разі подачі води у водопровідну мережу із свердловини (рис. 2), оскільки на подачу насоса впливає як величина водоспоживання з мережі, що змінюється протягом доби від Q_{\min} до Q_{\max} , так і зниження статичного рівня води в свердловині, що змінюється від ΔS_{\min} до ΔS_{\max} .

Заглибний насос 3 (рис. 2) підбирають по витраті води

$$Q_n = Q_{\max}, \quad (8)$$

і напорі

$$H_n = H_r + \Delta S_{\max} + \Sigma h_{\max}, \quad (9)$$

де H_r – геометрична висота водопідйому від статичного рівня води у свердловині $Z_{\text{ст}}$ до потрібної п'єзометричної відмітки у диктуючій точці $Z_{\text{п.д}}$ для забезпечення у ній необхідної величини вільного напорі H_B :

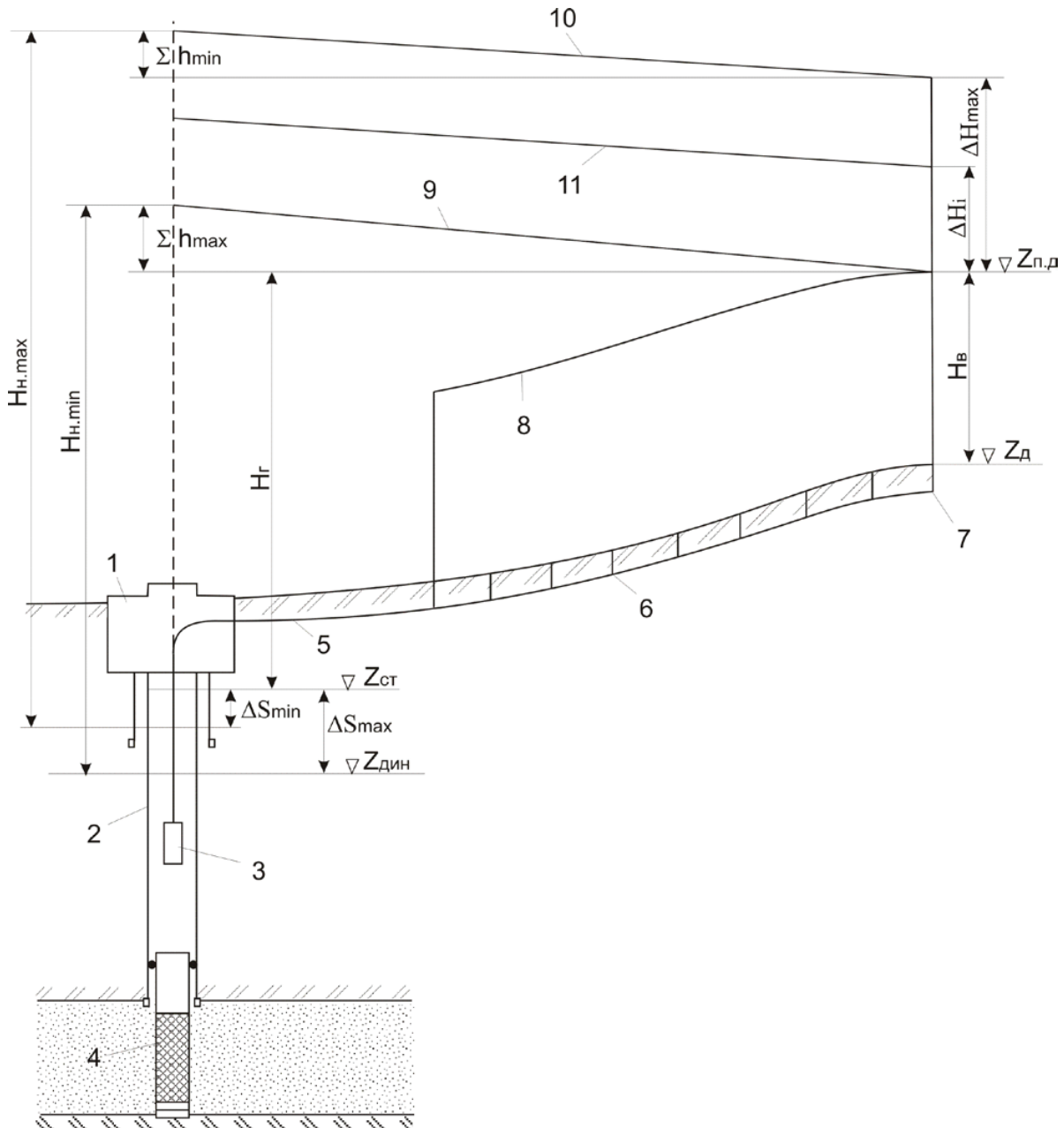


Рис. 2. Схема подачі води із свердловини заглибним насосом безпосередньо у водопровідну мережу:

- 1 – оголовок; 2 – експлуатаційна обсадна колона; 3 – насосний агрегат; 4 – фільтр; 5 – напірний водовід; 6 – водопровідна мережа; 7 – диктуюча точка на мережі; 8 – лінія потрібних вільних напорів на мережі; 9 – п'єзометрична лінія в системі при максимальному водоспоживанні витратою Q_{\max} ; 10 – те саме, при мінімальному водоспоживанні витратою Q_{\min} ; 11 – те саме, при водоспоживанні витратою Q_i у межах між Q_{\min} та Q_{\max}

$$H_{\Gamma} = Z_{п.д} - Z_{ст} = Z_{з.д} + H_{в} - Z_{ст} \quad (10)$$

$Z_{з.д}$ – відмітка поверхні землі у диктуючій точці; ΔS_{max} – величина зниження статичного рівня води у свердловині при відкачуванні з неї води витратою Q_{max} :

$$\Delta S_{max} = Q_{max}/q, \quad (11)$$

q – питомий дебіт даної свердловини, що визначається на основі експериментальних досліджень; Σh_{max} – сума втрат напору на шляху руху води від заглибного насоса 3 до диктуючої точки 7 (рис. 2).

При зменшенні водоспоживання з мережі Q_i у межах від Q_{max} до Q_{min} відцентровий насос згідно з його характеристикою Q-H (рис. 3) буде збільшувати свій напір. У такому випадку в диктуючій точці мережі надлишковий напір ΔH_i буде зростати в межах від 0 до ΔH_{max} (рис. 2), величину якого можна визначити за формулою

$$\Delta H_i = S_{\phi} (Q_{max}^2 - Q_i^2) + \frac{Q_{max} - Q_i}{q} + \Sigma h_{max} - \Sigma h_i, \quad (12)$$

де S_{ϕ} – параметр аналітичної характеристики Q-H насоса:

$$H_{п.і} = H_{\phi} - S_{\phi} Q_{п.і}^2. \quad (13)$$

Отже, зменшення водоспоживання з мережі призводить до збільшення напорів

в системі на величину ΔH_i , а отже і до перевитрат електроенергії заглибним насосом, величина яких протягом доби дорівнює

$$\Delta N_{доб} = \sum_1^{24} \frac{\gamma Q_i \Delta H_i t_i}{102 \eta_i}, \text{ кВт} \cdot \text{год/добу}, \quad (14)$$

де t_i – тривалість водоспоживання витратою Q_i , год; η_i – ккд насоса в i -тий період роботи водопровідної системи, частка одиниці.

Аналіз показників надійності системи водопостачання. Математичною моделлю для розрахунків надійності системи водопостачання приймається ланцюг послідовно поєднаних елементів від водоносного пласта до найвіддаленішого водоспоживача, вихід з ладу кожного з яких призводить до зупинки подачі води: фільтр свердловини – обсадна труба – насосний агрегат – водопідйомна труба – блок управління – зворотній клапан – засувка – водовід – водопровідна мережа.

Параметр потоку відмов системи водопостачання для послідовно поєднаних відновлюваних елементів обчислюється за формулою [13]:

$$\omega = \omega_{\phi} + \omega_{о.т} + \omega_{н.а} + \omega_{в.т} + \omega_{б.у} + \omega_{к} + \omega_{з} + \omega_{вод} + \omega_{м}, \quad (15)$$

де ω_{ϕ} , $\omega_{о.т}$, $\omega_{н.а}$, $\omega_{в.т}$, $\omega_{б.у}$, $\omega_{к}$, $\omega_{з}$, $\omega_{вод}$, $\omega_{м}$ – параметри потоку відмов відповідно фільтра, обсадної труби, насосного агрегату, водопідйомної труби, блоку управління, зворотного

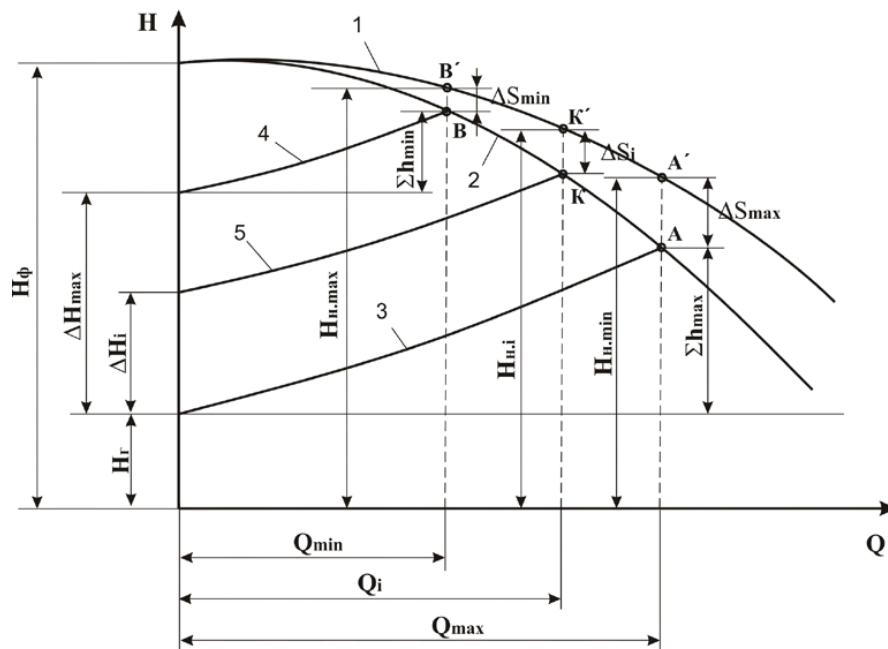


Рис. 3. Графіки роботи водопровідної системи при подачі води із свердловини насосом безпосередньо у водопровідну мережу:

- 1 – характеристика Q-H заглибного насоса; 2 – те саме, з урахуванням зниження статичного рівня води у свердловині; 3 – гідралічна характеристика водопровідної системи при максимальному водоспоживанні з водопровідної мережі Q_{max} ; 4 – те саме, при Q_{min} ; 5 – те саме, при водоспоживанні в межах між Q_{min} та Q_{max}

клапана, засувки, водоводу і водопровідної мережі, 1/год.

Водозабірною свердловина має обсадну трубу діаметром $d_{o,t} = 140$ мм і довжиною $l_{o,t} = 105$ м, обладнана сітчастим фільтром діаметром $d_{\phi} = 125$ мм і довжиною $l_{\phi} = 13$ м та має водопідйомну трубу діаметром $d_{b,t} = 70$ мм і довжиною $l_{b,t} = 85$ м.

Скориставшись рекомендаціями [15], викладеними з питань надійності окремих елементів водозабірної свердловини, обчислили параметр потоку відмов водозабірної свердловини:

$$\omega_{b,c} = (1,25 + 0,12 \cdot 105/1000 + 1,5 + 1,02 \cdot 85/1000 + 0,95 + 0,08 + 0,6) \cdot 10^{-4} = 4,4793 \cdot 10^{-4} \text{ 1/год.}$$

Середнє напрацювання на відмову свердловини визначається за формулою [13; 15]:

$$T_{cb} = 1/\omega_{b,c} = 1/4,4793 \cdot 10^{-4} = 2233 \text{ год} \approx 3 \text{ міс.} \quad (16)$$

Від свердловини у мережу вода подається по водоводу діаметром $d_b = 110$ мм і довжиною $l_b = 110$ м. Параметр потоку відмов водоводу обчислюємо за формулою [13, 15]:

$$\omega_{вод} = 0,5 \cdot 10^{-4} \cdot l_b / 1000 = 0,055 \cdot 10^{-4} \text{ 1/год.} \quad (17)$$

Параметр потоку відмов мережі за напрямком подавання води від свердловини до найвіддаленішого споживача:

$$\omega_m = \omega_{п.м} \cdot L = 0,5 \cdot 10^{-4} \cdot 1,5 = 0,75 \cdot 10^{-4} \text{ 1/год.} \quad (18)$$

де $\omega_{п.м} = 0,5 \cdot 10^{-4}$, 1/год·км – питомий параметр потоку відмов для поліетиленових труб; $L = 1,5$ км – довжина труб розгалуженої водопровідної мережі.

Отже, загальний параметр потоку відмов системи водопостачання від свердловини до споживачів становить

$$\omega = 4,48 \cdot 10^{-4} + 0,055 \cdot 10^{-4} + 0,75 \cdot 10^{-4} = 5,29 \cdot 10^{-4} \text{ 1/год.},$$

а середнє напрацювання на відмову системи дорівнює

$$T = 1/\omega = 1/5,29 \cdot 10^{-4} = 1890 \text{ год.} \quad (19)$$

Середній час відновлення працездатності елементів системи водопостачання приймається [13; 15]: для свердловини $T_{cb} = 12$ год, а для водопровідних труб водоводу і мережі $T_{тр} = 8$ год.

Підвищення економічності і надійності роботи системи водопостачання. Для зменшення питомих витрат електроенергії на подачу води споживачам потрібно регулювати роботу відцентрових насосів протягом доби, оскільки водоспоживання в сільських населених пунктах змінюється в значних інтервалах. Це можна здійснювати двома способами:

- зміною частоти обертання робочого колеса насоса за допомогою перетворювача частоти (ПЧ);
- забезпечення роботи насоса в зоні найбільшого ккд шляхом автоматизації його включення і виключення залежно від рівня води у водонапірній башті.

При першому способі регулювання відцентрового насоса (рис. 4), який доцільно

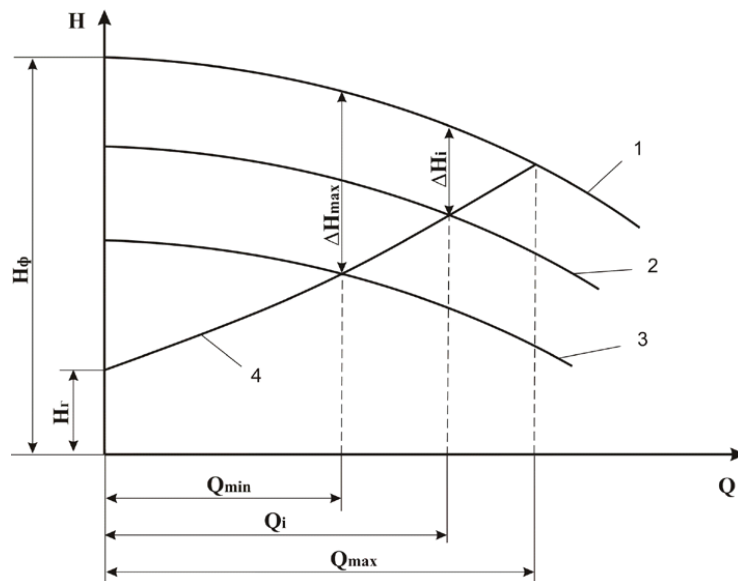


Рис. 4. Графіки сумісної роботи відцентрового насоса і безбаштової водопровідної мережі:

- 1 – характеристика Q-H відцентрового насоса при Q_{max} та $n_{норм}$; 2 – те саме, при Q_i та $n_{per.i}$;
- 3 – те саме, при Q_{min} та $n_{per.min}$; 4 – гідравлічна характеристика водопровідної системи при Q_{max}

застосовувати у селі Тарасівка для свердловин № 2 і № 3, усувається надлишковий напір ΔH_i у диктуючій точці водопровідної мережі, а отже і не відбуваються перевитрати електроенергії на подачу води споживачам згідно з формулою (14).

Потрібна частота обертання регульованого насоса визначається за формулою [12]:

$$n_{\text{рег.і}} = n_{\text{норм}} \sqrt{\frac{H_{\phi} - \Delta H_i}{H_{\phi}}}, \quad (20)$$

де H_{ϕ} – параметр аналітичної характеристики Q-H насоса у формулі (13); $n_{\text{норм}}$ – частота обертання нерегульованого насоса.

Для свердловини № 1 доцільно застосовувати другий спосіб регулювання заглибного відцентрового насоса шляхом автоматизації режимів його роботи залежно від рівнів води у водонапірній башті.

Для підвищення надійності системи водопостачання розгалужену водопровідну мережу в селі Тарасівка бажано закільцювати.

Оскільки якість вихідної води по вмісту заліза (0,8–1 мг/дм³) перевищує нормативні показники у 4–5 разів, то існуючу водонапірну башту доцільно було б використати і для потреб водоочищення (рис. 5).

Технологія знезалізнення підземних вод на баштовій установці (рис. 5) розроблена в ІВПіМ НААН [11; 12]. Перехід заліза з розчинної форми в нерозчинну здійснюється завдяки насиченню води киснем повітря при розбризкуванні її аератором 2 на дрібні крапельки, які падають з висоти 0,5 м. Процес знезалізнення інтенсифікується за допомогою залізобактерій, що закріплюються у волокнистому завантаженні біореактора 4, а освітлення води здійснюється фільтром із

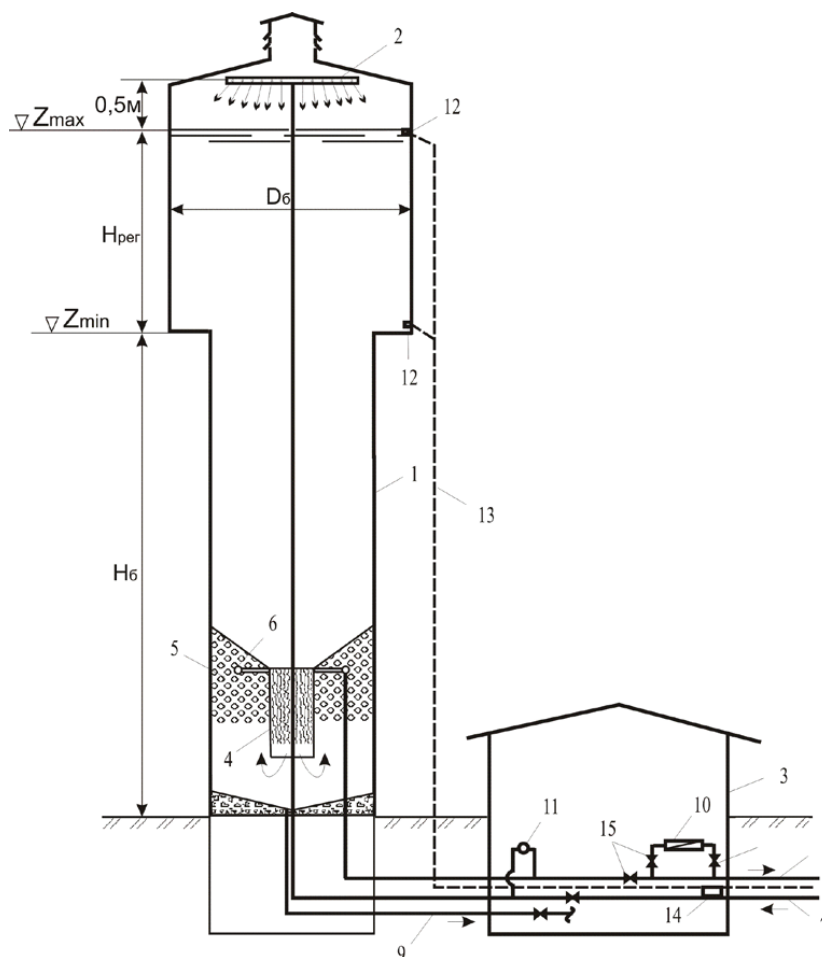


Рис. 5. Технологічна схема баштової водознезалізнювальної установки з автоматизацією насосного агрегату:

- 1 – водонапірна башта; 2 – аератор; 3 – службове приміщення; 4 – біореактор з волокнистим завантаженням; 5 – фільтр з пінополістирольним завантаженням; 6 – ковпачковий дренаж; 7 – подача вихідної води; 8 – подача очищеної води; 9 – скидання промивної води; 10 – бактерицидна установка; 11 – дифманометр; 12 – реле рівнів; 13 – електричний провід до шафи управління відцентровим насосом 14; 15 – засувки на трубах

пінополістирольним завантаженням 5 при висхідному русі води. Очищена вода забирається ковпачковим дренажем 6, знезаражується бактерицидною установкою 10 і відводиться споживачам по трубопроводу 8. Контроль за втратами напору здійснюють дифманометром 11 для прийняття рішень про необхідність промивки фільтра, під час якої промивна вода скидається по трубопроводу 9. Заглибний насос автоматично вмикається в роботу при рівні води в башті Z_{\min} і вимикається при досягненні рівня Z_{\max} завдяки системі автоматики з реле рівнів 12, електричного провoda 13 та шафи управління відцентровим насосом 14.

Регулюючий об'єм бака водонапірної башти визначається [12] за формулою

$$W_{\text{per}} = \frac{Q_{\text{н.ср}}}{4 \cdot n_{\text{max}}}, \text{ м}^3, \quad (21)$$

де $Q_{\text{н.ср}}$ – середня продуктивність насоса між включенням і виключенням, $\text{м}^3/\text{год}$; n_{max} – максимальна кількість включень насоса за годину ($n_{\text{max}} = 6-8$).

Висновки. Системам сільськогосподарського водопостачання притаманні великі коливання показників водоспоживання протягом доби. У разі подачі води насосами безпосередньо у водопровідну мережу при невеликому водорозборі в системі можуть

виникати надлишкові тиски, які збільшують її аварійність, спричиняють витoki і втрати води, призводять до перевитрат електроенергії та значних матеріальних збитків. Дослідження і розрахунок таких систем з урахуванням вимог економічності, надійності та екологічної безпеки дозволяють поліпшити ситуацію.

На прикладі водопостачання села Тарасівка Київської області проведений аналіз роботи системи дозволив виявити слабкі ланки та розробити такі необхідні рекомендації: застосування частотного регулювання насосів на свердловинах № 2 і № 3 для усунення надлишкових тисків і зменшення енергоспоживання; кільцювання водопровідної мережі для підвищення надійності роботи системи водопостачання; використання баштової водознезалізнювальної установки конструкції ІВПіМ НААН для забезпечення споживачів водою нормативної якості; застосування автоматизованої схеми управління роботою заглибного насоса на свердловині № 1 по рівнях води у водонапірній башті для зменшення питомих витрат електроенергії. За допомогою математичного моделювання роботи системи можна визначати економічно доцільні режими експлуатації взаємодіючих водопровідних споруд при різних значеннях водоспоживання.

Бібліографія

1. Daniel F. Moreira and Helena M. Ramos. Energy Cost Optimization in a Water Supply System Case Study. *Journal of Energy*, Volume 2013.
2. Yung-Hsin Sun, William W-G. Yeh, Nien-Sheng Hsu, Peter W.F. Louie. Generalized Network Algorithm for Water-Supply-System Optimization. *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 121, Issue 5 (September 1995).
3. John Friesen; Lea Rausch; Peter F. Pelz Providing water for the poor – towards optimal water supply infrastructures for informal settlements by using remote sensing data. 2017 Joint Urban Remote Sensing Event (JURSE).
4. Vilas Nitivattananon, Elaine C. Sadowski, Rafael G. Quimpo. Optimization of Water Supply System Operation. *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 122, Issue 5, 374–384. (September 1996).
5. Marion W. Jenkins; Jay R. Lund; Richard E. Howitt; Andrew J. Draper; Siwa M. Msangi; Stacy K. Tanaka; Randall S. Ritzema; and Guilherme F. Marques. Optimization of California's water supply system: results and insights. *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 130, Issue 4 (July 2004).
6. Mukami Kariuki and Jordan Schwartz. Small-scale private service providers of water supply and electricity: A review of incidence, structure, pricing, and operating characteristics, 2005 – elibrary.worldbank.org.
7. George Kuczera and Glen Diment. General Water Supply System Simulation Model: WASP. *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 114, Issue 4 (July 1988).
8. G. Chung, K. Lansey, G. Bayraksan. Reliable water supply system design under uncertainty. *Environmental Modelling & Software*, Volume 24, Issue 4, April 2009, P. 449–462.
9. Xu Zongxue, K. Jinno, A. Kawamura, S. Takesaki, K. Ito. Performance Risk Analysis for Fukuoka Water Supply System. *Water Resources Management*, February 1998, Volume 12, Issue 1, pp. 13–30.
10. Roman Słowiński A multicriteria fuzzy linear programming method for water supply system development planning. *Fuzzy Sets and Systems*, Volume 19, Issue 3, July 1986, P. 217–237.

11. Хоружий П.Д., Хомутецька Т.П., Хоружий В.П. Ресурсозберігаючі технології водопостачання. Київ: Аграрна наука, 2008. 534 с.
12. Хомутецька Т.П. Енергоощадне водопостачання. Київ: Аграрна наука, 2016. 304 с.
13. Новохатній В.Г., Костенко С.О., Матяш О.В. Надійність водопостачання малих населених пунктів. Полтава: ПолтНТУ, 2019. 102 с.
14. Надійність техніки. Терміни та визначення: ДСТУ 2860-94. Київ: Держстандарт України, 1994. 32 с.
15. Ильин Ю.А. Надежность водопроводных сооружений и оборудования. Москва: Стройиздат, 1985. 240 с.
16. Новохатній В.Г., Костенко С.О. Комп'ютерний розрахунок надійності насосних станцій // Комунальне господарство міст: Наук.-техн. зб. ХНАМГ. Київ: Техніка, 2011. Вип. 97. С. 126–131.
17. Довідник по сільськогосподарському водопостачанню і каналізації / П.Д. Хоружий та ін.; за ред. П.Д.Хоружого. Київ: Урожай, 1992. 296 с.
18. Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості: ДСТУ 7525:2014. Київ: Мінекономрозвитку України, 2014. 25 с.
19. Ткачук О.А. Основні шляхи скорочення енерговитрат в системах подачі і розподілу води // Вісник НУВГП: Зб. наук. праць, Вип. 3(31). Рівне: НУВГП, 2005. С. 323–328.
20. Ткачук А. Оптимизация сетей водоснабжения города // *Motorol. Commission of motorization and energetics in agriculture*. Vol. 16, No. 6, Lublin Rzeszow, 2014. P. 85–92.

References

1. Moreira, D.F., & Ramos, H.M. (2013). Energy Cost Optimization in a Water Supply System Case Study. *Journal of Energy*, Vol. 2013, 9. <https://doi.org/10.1155/2013/620698>.
2. Sun, Y.-H., Yeh, W.W-G., Hsu, N.-S., & Louie, P.W.F. (1995). Generalized Network Algorithm for Water-Supply-System Optimization. *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 121, Issue 5, 392–398. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(1995\)121:5\(392\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(1995)121:5(392)).
3. Friesen, J., Rausch, L., & Pelz, P.F. (2017). Providing water for the poor – towards optimal water supply infrastructures for informal settlements by using remote sensing data. 2017 Joint Urban Remote Sensing Event (JURSE), 1-4. <https://doi.org/10.1109/JURSE.2017.7924541>.
4. Nitivattananon, V., Sadowski, E.C., & Quimpo, R.G. (1996). Optimization of Water Supply System Operation. *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE, 122(5), 374–384.
5. Jenkins, M.W., Lund, J.R., Howitt, R.E., Draper A.J., Msangi S.M., Tanaka S.K., Ritzema R.S. & Marques, G.F. (2004). Optimization of California's water supply system: results and insights. *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 130, Issue 4, 271–280.
6. Kariuki, M., & Schwartz, J. (2005). Small-scale private service providers of water supply and electricity: A review of incidence, structure, pricing, and operating characteristics. *World Bank Policy Research Working Paper 3727*, 38. <https://doi.org/10.1596/1813-9450-3727>. Retrieved from: <https://elibrary.worldbank.org>.
7. Kuczera, G., & Diment, G. (1988). General Water Supply System Simulation Model: WASP. *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 114, Issue 4.
8. Chung, G., Lansey, K., & Bayraksan, G. (2009). Reliable water supply system design under uncertainty. *Environmental Modelling & Software*, Volume 24, Issue 4, 449–462.
9. Zongxue, X., Jinno, K., Kawamura, A., Takesaki, S., & Ito, K. (1998). Performance Risk Analysis for Fukuoka Water Supply System. *Water Resources Management*, Volume 12, Issue 1, 13–30.
10. Słowiński, R. (1986). A multicriteria fuzzy linear programming method for water supply system development planning. *Fuzzy Sets and Systems*, Volume 19, Issue 3, 217–237.
11. Khoruzhyi, P.D., Khomutetska, T.P., & Khoruzhyi V.P. (2008). Resursozberihayuchi tekhnolohiyi vodopostachannya. [Resource-saving water supply technologies]. Kyiv: Agrarian Science. [in Ukrainian].
12. Khomutetska, T.P. (2016). Enerhooshchadne vodopostachannya. [Energy-saving water supply]. Kyiv: Agrarian Science. [in Ukrainian].
13. Novokhatnyi, V.H., Kostenko, S.O., & Matyash, O.V. (2019). Nadiynist vodopostachannya malykh naselenykh punktiv [Reliability of water supply in small settlements]. Poltava: PoltNTU. [in Ukrainian].
14. Nadiynist tekhniky. Terminy ta vyznachennya. [Equipment reliability. Terms and definitions] (1994). DSTU 2860-94. Natsionalnyi standart Ukrainy. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy. [in Ukrainian].

15. Ilyin, Yu.A. (1985). Nadezhnost vodoprovodnykh sooruzheniy i oborudovaniya [Reliability of water supply facilities and equipment]. Moskva: Stroyizdat. [in Russian].
16. Novokhatnyi, V.H., & Kostenko, S.O. (2011). Kompyuterniy rozrakhunok nadiynosti nasosnykh stantsiy [Computer calculation of pumping station reliability]. Komunalne hospodarstvo mist, 97, 126-131. [in Ukrainian].
17. Khorozhyi, P.D., Orlov, V.O., & Tkachuk, O.A. et al. (1992). Dovidnyk po silskohospodarskomu vodopostachannyu i kanalizatsiyi [Handbook on agricultural water supply and sewerage]. Kyiv: Uroghay. [in Ukrainian].
18. Voda pytna. Vymohy ta metody kontrolyuvannya yakosti. [Drinking water. Requirements and quality control methods]. (2014). DSTU 7525:2014. Kyiv: Ministry of Economic Development of Ukraine. [in Ukrainian].
19. Tkachuk, O.A. (2005). Osnovni shlyakhy skorochennya enerhovytrat v systemakh podachi i rozpodilu vody [The main ways to reduce energy consumption in water supply and distribution systems]. Visnyk NUVHP, 3(31), 323–328. [in Ukrainian].
20. Tkachuk A. (2014). Optymyzatsyya setey vodosnabzhenyya horoda [Optimization of city water supply networks]. Motorol. Commission of motorization and energetics in agriculture, 16, 6, 85–92. [in Russian].

В.В. Нор, Т.П. Хомуцкая

Обеспечение экономической и надежной работы систем сельскохозяйственного водоснабжения (на примере системы водоснабжения села Тарасовка Киевской области)

***Аннотация.** Проанализировано современное состояние водоснабжения в Украине и раскрыты основные проблемы, возникающие на действующих системах водоснабжения, связанные с недостаточной эффективностью как технологий водоподготовки, так и режимов эксплуатации сооружений водопроводной системы, что характеризуется высоким энергопотреблением, созданием избыточных напорov и ростом аварийности сетей водоснабжения. Установлено, что в системах сельскохозяйственного водоснабжения дополнительные сложности могут возникнуть из-за значительных колебаний показателей водопотребления в течение суток, поэтому необходимы исследования совместной работы взаимодействующих сооружений, особенно в безбащенных схемах. Показано, что решить задачи надежного обеспечения потребителей необходимыми расходами, напорами и качеством воды можно, учитывая требования экономичности, надежности и экологической безопасности, а выявить слабые звенья и разработать рекомендации по обеспечению эффективной эксплуатации сооружений можно с помощью математического моделирования и анализа различных возможных вариантов работы системы. Вопрос повышения экономичности и надежности систем сельхозводоснабжения рассмотрен на примере водоснабжения села Тарасовка Киевской области. Приведены результаты исследования работы водопроводных сооружений системы водоснабжения, основанной на использовании подземных вод, и показано, что при подаче воды из скважины непосредственно в водопроводную сеть происходят большие перерасходы электроэнергии на водоподъем. Выполнен анализ надежности системы водоснабжения при подаче воды из скважины и предложены меры для обеспечения экономической и надежной работы водопроводных сооружений при уменьшении удельных расходов электроэнергии на подачу воды потребителям и улучшении ее качества.*

***Ключевые слова:** сельскохозяйственное водоснабжение, водозаборная скважина, водопроводная сеть, удельные расходы электроэнергии, надежность водопроводных сооружений, обезжелезание воды.*

V.V. Nor, T.P. Khomutetska

Ensuring cost-effective and reliable operation of agricultural water supply systems (as in the case of water supply system of Tarasovka village in Kyiv region)

***Abstract.** The current state of water supply in Ukraine was analyzed and the main problems that arise on the existing water supply systems, related to the lack of efficiency of both water treatment technologies and operation conditions of the water supply system structures, characterized by high energy consumption, excess pressure formation and accident rate increase were studied. It was specified that in agricultural water supply systems additional difficulties can arise due to significant fluctuations of water consumption during the day, therefore, there is a need for the study of the joint work of interacting structures, especially in the towerless schemes. It is shown that to solve the problems of reliable provision of consumers with the required water amounts, water pressures and water quality, is possible taking into account the requirements of economy, reliability and environmental safety, and to identify weaknesses and develop recommendations for ensuring the efficient operation of structures can be fulfilled by mathematical modeling and analysis of*

various possible variants of system operation. The issue of increasing the efficiency and reliability of agricultural supply systems was considered using the example of the water supply system in Tarasivka village of Kyiv region. The article deals with increasing the efficiency and reliability of agricultural water supply systems. The results of the study of water supply systems operation, based on the utilization of ground water in the village of Tarasivka, Kyiv region are given, which demonstrate that when pumping water from the well directly into the water supply network, excess damage energy for water lift occurs. The reliability of the water supply system, when pumping water from the well, was analyzed and the measures to ensure cost-effective and reliable operation of water supply structures while reducing the specific costs of electricity for supplying water to consumers and improving its quality were proposed.

Key words: *agricultural water supply, catch well, water supply network, specific electricity costs, reliability of water supply facilities, water deironing.*

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg201902-194>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/194>

УДК 631.11.1

ПІДСУМКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ДОСЛІДЖЕНЬ З ОЦІНКИ ТА РАЦІОНАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ АГРОРЕСУРСНОГО ПОТЕНЦІАЛУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ТЕРИТОРІЙ

Ю.О. Тараріко¹, член-кор. НААН, докт. с.-г. наук, Р.В. Сайдак², канд. с.-г. наук,
Ю.В. Сорока³, канд. с.-г. наук

¹ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0001-8475-240X>; e-mail: urtar@bigmir.net;

² Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-0213-0496>; e-mail: saidak_r@ukr.net;

³ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0001-6228-4131>; e-mail: soroka_Yu@bigmir.net

Анотація. Сучасні глобальні і регіональні зміни клімату значною мірою впливають на умови вологозабезпечення території України. Порівняно з 1961–1990 рр., територія з дефіцитом зволоження збільшилась від 56 до 60%, а площа зони достатнього та надмірного зволоження, навпаки, зменшилась від 33 до 24%. За умови збереження тенденції, частка земель сільськогосподарського призначення з дефіцитним водним балансом до 2050 р. може збільшитись до 67%, а до 2100 р. – до 80% від їх загальної площі. У зоні Степу за майже щорічної значної нестачі вологи виробництво зерна залишається на рівні 1990 р., а у Лісостепу та на Поліссі воно зросло на 80–90%. Важливо, що навіть у гумідній зоні ризики виникнення несприятливих водно-повітряних режимів ґрунтів, особливо з легким гранулометричним складом, істотно зросли. Таким чином, стале ведення високопродуктивного землеробства без розробки і впровадження ефективних регіональних систем заходів із покращення вологозабезпечення стає проблематичним на більшій частині території України. Шляхом імітаційного комп'ютерного моделювання доведено, що перехід вітчизняного аграрного виробництва на засади збалансованого отримання «органічного» продовольства, промислової сировини та біоенергетичних ресурсів кардинально підвищить прибутковість, покращить екологічний стан і істотно зміцнить продовольчу безпеку і енергетичну незалежність держави. Особливо такий перехід актуальний для потенційно найбільш продуктивних меліорованих територій. Необхідно провести комплекс досліджень із переоцінки стосовно стрімких кліматичних змін можливостей раціонального використання усіх видів водних ресурсів в оптимальному їх поєднанні з іншими складовими аграрного виробництва і на цій науковій основі створити єдину систему управління водним режимом.

Ключові слова: зміна клімату, районування, вологозабезпечення, зрошення, продуктивність землеробства, міжгалузева оптимізація, біоенергетичне виробництво, водні ресурси.

Постановка проблеми. З точки зору забезпечення енергетичної незалежності та продовольчої безпеки держави в умовах сучасних тенденцій кліматичних змін зростає значення меліорованих територій [1; 2]. Об'єктивно оцінивши агроресурсний потенціал окремих регіонів та опрацювавши стратегію його раціонального використання існує можливість значно підвищити продуктивність, стабільність, екологічну збалансованість та економічну ефективність сучасних агроєкосистем [3].

Агроресурсний потенціал сільськогосподарської території складається з потенціалів ґрунтових, кліматичних та антропогенних ресурсів. Ці складові тісно взаємопов'язані і рівною мірою підлягають управлінню з боку людини.

Рівень біопродуктивності агроценозів значною мірою визначається властивос-

тями ґрунтів, що характеризуються низкою показників: вмістом макро- і мікроелементів, органічної речовини, щільністю, структурністю, кислотністю ґрунтового розчину та ін. Більшість з цих показників підлягає регулюванню і оптимізації за допомогою антропогенних чинників: мінеральних і органічних добрив, меліорантів, обробітку ґрунту та ін.

У свою чергу ефективність таких хіміко-техногенних ресурсів як засоби механізації, енергоносії, агрохімікати, інформаційні ресурси визначається своєчасністю їх застосування в оптимальному поєднанні з біологічними складовими: трудовими ресурсами, видами рослин і тварин, сівозмінами.

Щодо агрокліматичних факторів, то їх нерівномірну по роках дію на умови росту і розвитку рослин можна частково

© Ю.О. Тараріко, Р.В. Сайдак, Ю.В. Сорока, 2019

опосередковано нівелювати шляхом впровадження адаптованих до специфіки ґрунтово-кліматичних умов сортів і гібридів. Якщо за наявності певних умов фактор вологозабезпечення може регулюватися рядом агротехнічних прийомів і шляхом проведення водних меліорацій, то до рівня забезпеченості тепловими або світловими ресурсами можна пристосуватись лише підбором культур у сівозмінах із відповідними біологічними особливостями. Також потрібно враховувати, що на рівень вологозабезпечення істотно впливає температурний режим вегетаційного періоду.

Отже, опрацювання сучасних виробничих систем з ефективним використанням усіх складових агроресурсного потенціалу сільськогосподарської території в оптимальному їх поєднанні потрібно розпочинати з оцінки значення основних чинників у формуванні біопродуктивності агроєкосистем. Особливо це відноситься до агрокліматичних ресурсів, а саме гідротермічних умов, які в останні десятиріччя суттєво змінилися як у глобальному масштабі, так і на території України [4-7].

Вирішенню вищезазначених питань присвячена основна наукова діяльність відділу використання агроресурсного потенціалу ІВПіМ, яку умовно можна виділити в чотири взаємопов'язаних напрями:

- оцінка та прогноз умов вологозабезпечення території України – визначає та обґрунтовує обсяги застосування водних меліорацій;
- дослідження залежності сільськогосподарських культур від рівня вологозабезпечення – дає змогу в певній мірі адаптувати сучасну практику землеробства до погодних умов при глобальних змінах клімату, зокрема шляхом корегування структури посівних площ;
- оцінка потенціалу біопродуктивності агроєкосистем за різних рівнів агроресурсного забезпечення, встановлення ефективності основних його складових;
- обґрунтування біоенергетичних систем аграрного виробництва, що дає змогу реалізувати наявний агроресурсний потенціал сільськогосподарських територій в повній мірі з високим рівнем прибутковості.

Мета досліджень – оцінка вологозабезпечення території України в процесі кліматичних змін та встановлення закономірностей його впливу на біопродуктивність сільськогосподарських територій. Теоретично обґрунтувати та опрацювати перспективні варіанти розвитку біоенергетичних меліорованих агроєкосистем на засадах створення замкнутих колообігів макро- і мікроелементів та переходу на принципи «органічного» землеробства із збалансо-

ваним виробництвом продовольства, технічної продукції і біоенергії. Запропонувати напрямки досліджень із переоцінки стосовно стрімких кліматичних змін можливостей раціонального використання усіх видів водних ресурсів в оптимальному їх поєднанні з іншими складовими аграрного виробництва.

Методика проведення досліджень. Оцінку та прогноз умов вологозабезпечення проводили на основі кліматичного водного балансу (КВБ) [8], який розраховується як різниця між сумарною кількістю опадів і потенційним випаровуванням за визначений період:

$$КВБ = \Sigma R - \Sigma E_p, \quad (1)$$

де ΣR – сума опадів за рік (мм); ΣE_p – потенційне випаровування за рік (мм).

Для розрахунку КВБ використовували спостереження мережі метеорологічних станцій Українського метеорологічного центру. Просторовий аналіз кліматичних даних і врожайності сільськогосподарських культур проводили шляхом інтерполяції методом IDW за допомогою програмного продукту QGIS3.

Для визначення перспективних шляхів розвитку сучасних систем аграрного виробництва на меліорованих землях використовували результати стаціонарних польових дослідів, які обробляли загальноприйнятими методами системного аналізу: математично-статистичний; абстрактно-логічний; метод порівнянь і аналогів, емпіричних узагальнень, а також комп'ютерного моделювання. Розроблення перспективних сценаріїв розвитку меліорованих агроєкосистем здійснювали методом багатоваріантного імітаційного комп'ютерного моделювання за допомогою програмного комплексу «Агроєкосистема» [9].

Результати дослідження та їх обговорення. За першим напрямом досліджень, на основі порівняльної оцінки кліматичного водного балансу (КВБ) за періоди 1961–1990 рр. та 1991–2015 рр., встановлено, що рівень вологозабезпечення території України суттєво погіршився [3; 10; 11].

Відносні площі дуже сухої і сухої зон за 1991–2015 рр. збільшилися на 7%, а вологої і надмірно вологої, навпаки, зменшилися на 10 відсотків (табл. 1, рис. 1).

За оцінками кліматологів провідних світових і вітчизняних наукових установ [12–15], в майбутньому існує висока імовірність подальшого підвищення температурного режиму як у глобальному масштабі, так і для території України.

Дані прогнозу УкрГМІ [15], який базується на регіональних моделях змін клімату, свідчать,

1. Відносні площі зон України з різним рівнем вологозабезпечення

№ зони	КВБ, мм	Якісна оцінка	Відносна площа зони, % до загальної території України		
			1961-1990 рр.	1991-2015 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

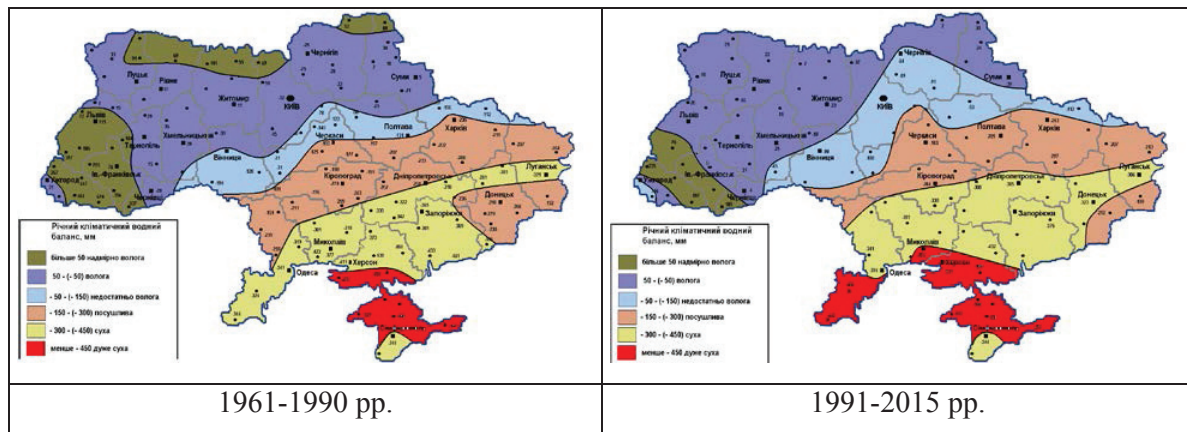


Рис. 1. Оцінка та зонування умов вологозабезпечення території України

що середньорічна температура повітря на території України (сценарій А1В) до 2050 р. може підвищитись порівняно з 1991–2010 рр. ще на 1,37°C, а до 2100 р. – на 3,15°C.

Розрахунки, проведені у відділі використання агроресурсного потенціалу ІВПІМ, свідчать, що за умови збереження таких темпів потепління, навіть за можливого незначного збільшення атмосферних опадів, вологозабезпечення території України значно погіршиться. Навіть у західних регіонах України дефіцит вологозабезпечення на середньострокову та довгострокову перспективу може досягти 50–100 мм, в центральних областях – 300–450 мм, а південних – понад 550–700 мм, проти 450–480 мм в сучасний період (рис. 2).

За таких умов площа земель з суттєвим дефіцитом вологозабезпечення на території України значно збільшиться. Так, частка ріллі з дефіцитом КВБ 150 мм і більше (посушлива, суха та дуже суха зони) до 2050 року може становити 67% від загальної по країні, а до 2100 року – 80% (рис. 3, табл. 2).

За другим напрямом досліджень встановлювалася залежність сільськогосподарського виробництва від рівня вологозабезпечення. Встановлено, що в сучасних умовах

змін клімату продуктивність рослинництва значною мірою залежить від природного зволоження [16].

Незважаючи на те, що загалом по Україні останнім часом валове виробництво зерна перевищує 60 млн. тонн, а в 2018 р. уперше перевищило 70 млн. т, в зональному розрізі відмічається досить суттєва різниця в динаміці виробництва зерна. Якщо в зонах Полісся та Лісостепу загальне виробництво зернових культур зросло порівняно з 1990 р. на 83–89% (переважно за рахунок розширення площ кукурудзи, найбільш високопродуктивної теплолюбивої культури, середня врожайність якої в 2018 р. перевищила 8,0 т/га), то в зоні Степу – лише на 7% (рис. 4).

Отже, в степових областях України валовий збір зернових і зернобобових культур, незважаючи на науково-технічний розвиток за останні 28 років, з урахуванням статистичної похибки практично залишається на рівні 1990 р. Поряд з цим, середня врожайність зернових культур у зоні Степу за останні роки не перевищує 3,0 т/га, тоді як на Поліссі та Лісостепу 4,5–5,0 т/га. Наприклад, результати аналізу врожайності провідної зернової культури пшениці озимої засвідчили, що її рівень за останні 5 років (2014–2018 рр.) порів-

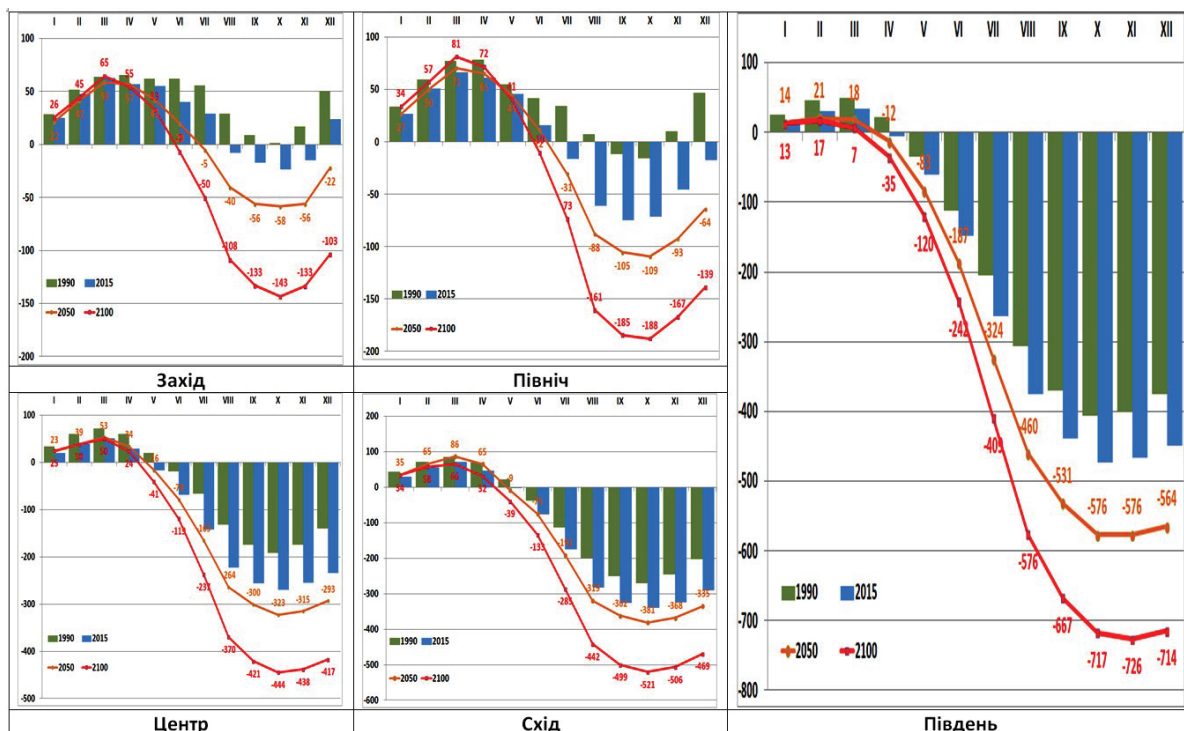


Рис. 2. Прогноз динаміки місячного кліматичного водного балансу наростаючим підсумком з початку року

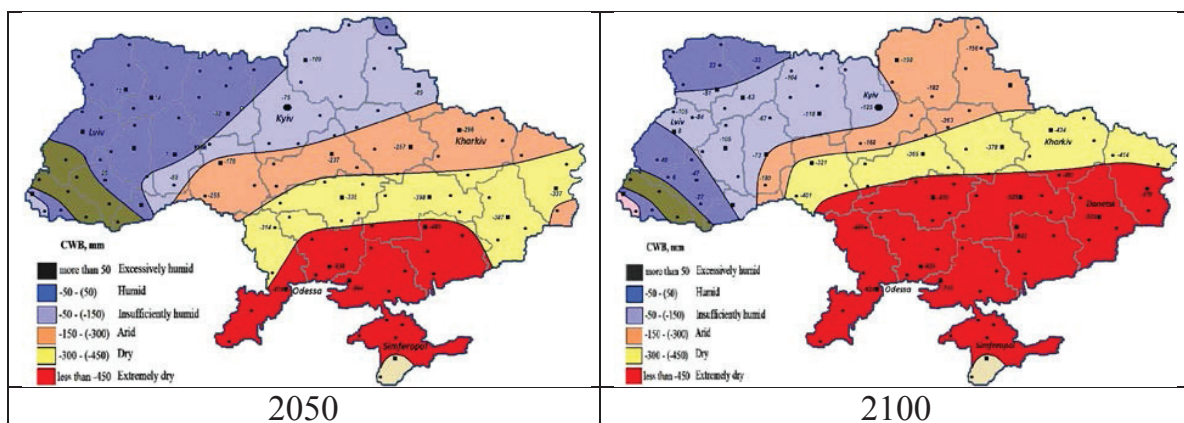


Рис. 3. Середньо- та довгостроковий прогноз умов вологозабезпечення території України

2. Динаміка зміни площ ріллі по зонах зволоження

Зони	1990 р.		2015 р.		Прогноз 2050 р.		Прогноз 2100 р.	
	млн. га	%	млн. га	%	млн. га	%	млн. га	%
Надмірно волога	2,3	7	0,7	2	0,7	2	0,2	1
Волога	8,1	26	7,0	22	4,8	15	1,6	5
Недостатньо волога	3,4	11	4,8	16	5,0	16	4,3	14
Посушлива	8,5	27	7,1	23	6,1	20	4,4	14
Суха	7,4	24	8,7	28	7,3	24	5,8	19
Дуже суха	1,5	5	2,9	9	7,2	23	14,7	47
Потреба в додатковому зволоженні	17,3	56	18,7	60	20,6	67	24,9	80

няно з 1986–1990 рр. в більшості регіонів степу знизився на 5–10%, тоді як у північних

і західних регіонах країни, навпаки, підвищився на 20% і більше (рис. 5).

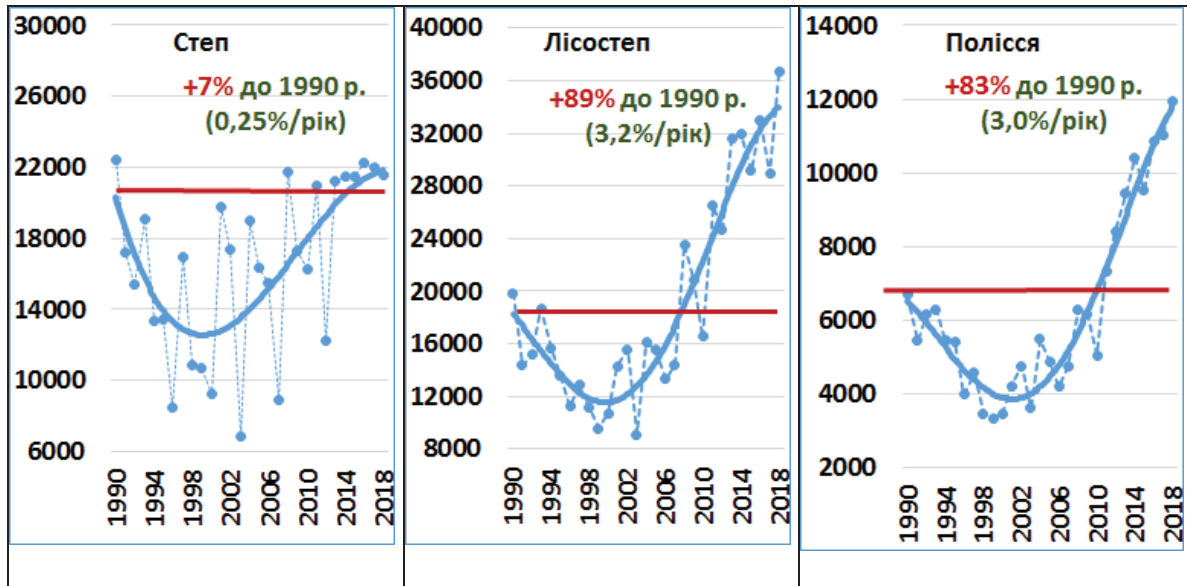


Рис. 4. Динаміка валового виробництва зернових і зернобобових культур, тис. тонн (без АР Крим)

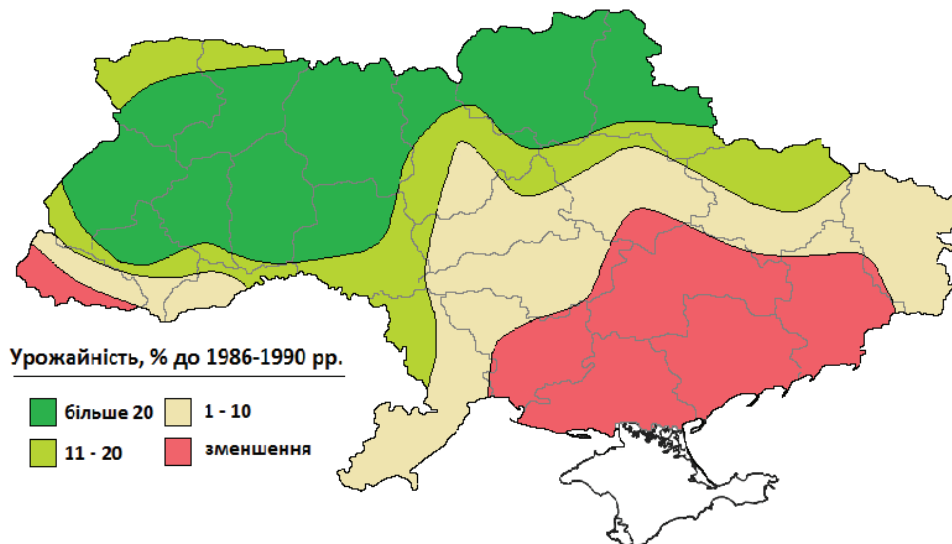


Рис. 5. Зміна врожайності пшениці озимої в 2014–2018 рр. по відношенню до 1986–1990 рр.,%

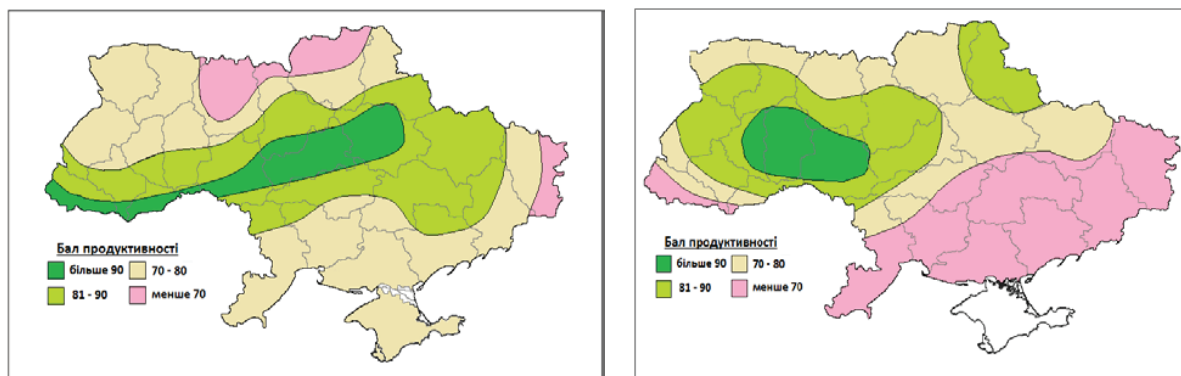
Унаслідок цього, в сучасний період спостерігаються і територіальні зміни формування рівня продуктивності пшениці. Якщо в 1986–1990 рр. в більшості степових регіонів продуктивність пшениці становила 71–80% від максимальної в Україні, то в даний час – менше 70%. Зараз спостерігається зміщення зони формування максимальної врожайності цієї культури в західні регіони країни (рис. 6).

Всі вищенаведені територіальні зміни в рівні врожайності, у першу чергу, пов'язані із впливом сучасних кліматичних змін, а саме зниженням рівня вологозабезпечення, що обмежує використання як ґрун-

тових, так і матеріально-технічних ресурсів землеробства.

Встановлено, що забезпечення землеробства матеріально-технічними ресурсами тісно пов'язано з умовами зволоження. Так, лише за оптимальних або близьких до них умов природного зволоження, фінансове забезпечення агротехнологій є найвищим (коефіцієнт зволоження 0,8–1,2), тоді як за значного дефіциту зволоження (коефіцієнт зволоження менше 0,6 – притаманний Південному Степу) – найнижчим (рис. 7).

Своєю чергою, лише агротехнології з належним рівнем матеріально-технічного



а

б

Рис. 6. Оцінка відносного рівня врожайності пшениці озимої в балах: а – 1986–1990 рр., б – 2014–2018 рр.

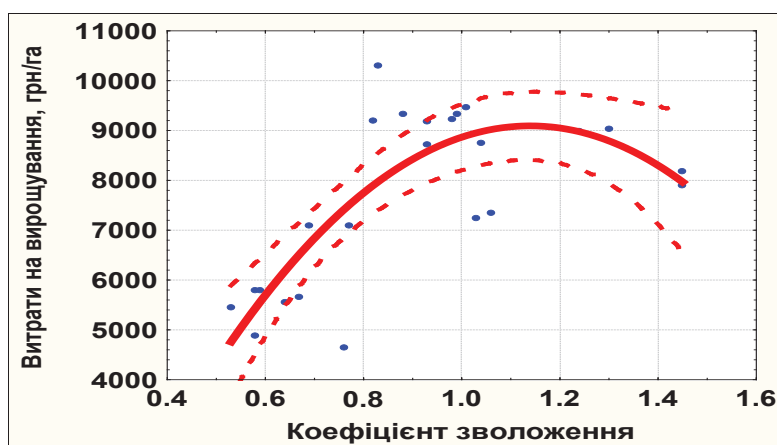


Рис. 7. Витрати на вирощування зернових культур (у цінах 2015 р.) залежно від коефіцієнта зволоження

оснащення здатні забезпечити відносно високу продуктивність сільськогосподарських культур (рис. 8).

Отже, в умовах сучасних змін клімату умови зволоження на території України є головним лімітуючим чинником, що обмежує

не лише рівень продуктивності рослинництва, а і використання природного та антропогенного потенціалу землеробства. Подальше зростання температури повітря, як зазначалось вище, зумовить прогресуюче погіршення умов природного вологозабезпечення

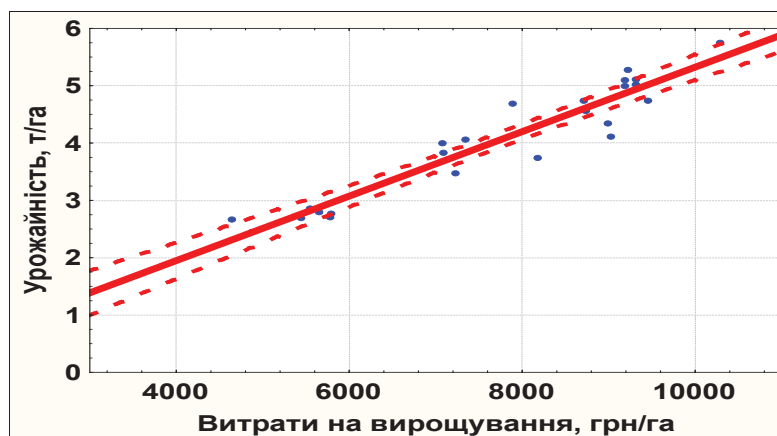


Рис. 8. Врожайність зернових культур залежно від витрат на їх вирощування (у цінах 2015 р.)

не тільки в зоні Степу, а і Лісостепу і на Поліссі. За таких умов стає ведення високопродуктивного землеробства без розробки і впровадження регіональних систем заходів і покращення умов вологозабезпечення стає проблематичним.

Третій напрям досліджень стосується оцінки агресурсного потенціалу сільськогосподарських територій, зокрема зони зрошення і осушення, на типових ґрунтових відмінах із використанням інформаційної бази довгострокових стаціонарних агротехнічних дослідів.

Проблема полягає в значних коливаннях врожайності культур і продуктивності сівозмін залежно від особливостей погодних умов окремих років, особливо в контексті змін клімату. Але наявність багаторічних врожайних даних польових дослідів дає змогу за усередненими показниками точно встановлювати значення різних факторів та їх поєднань в оптимальній реалізації наявного агресурсного потенціалу (рис. 9).

На варіантах без добрив оцінюється природний рівень біопродуктивності, максимальний рівень на цих фонах імітує ефект від регулювання водно-повітряного режиму, середня багаторічна врожайність за тривалого застосування добрив моделює оптимізацію поживного режиму ґрунту, врожайність культур на цих фонах у найсприятливіші роки показує значення одночасного поліпшення

і водно-повітряного і поживного режимів ґрунту. Підвищення рівня реалізації наявного агресурсного потенціалу можливе також за рахунок оптимізації сівозмінного фактора з врахуванням продуктивності окремих культур у типових сівозмінах (рис. 10).

Проведені дослідження показали, що сільськогосподарські території України характеризуються високим потенціалом біопродуктивності (рис. 11). За усередненими багаторічними даними продуктивність зональних сівозмін на природному фоні родючості органічних і мінеральних ґрунтів Полісся за основною і побічною продукцією відповідно становить 40 і 45 ц/га корм. од., у Лісостепу чорнозему типового – 50 ц корм. од./га, у Степу чорнозему звичайного – 30 ц корм. од./га. За покращення поживного режиму цих ґрунтів продуктивність типових сівозмін зростає відповідно до 65, 75, 70 і 40 ц корм. од./га, оптимізація сівозміни і поживного режиму забезпечує 90, 100, 90 і 50 ц корм. од./га. На меліорованих землях додаткове регулювання водно-повітряного режиму органічного ґрунту дає змогу отримувати 140 ц к. од./га, мінерального – 150 ц корм. од./га, чорнозему звичайного у Степу – 90 ц корм. од./га.

До того ж було опрацьовано перспективні варіанти розподілу потенціалу продуктивності агроєкосистем між продовольчою частиною, біоенергією, ґрунтом і емісією CO₂ (рис. 12). За рослинницько-тваринницької

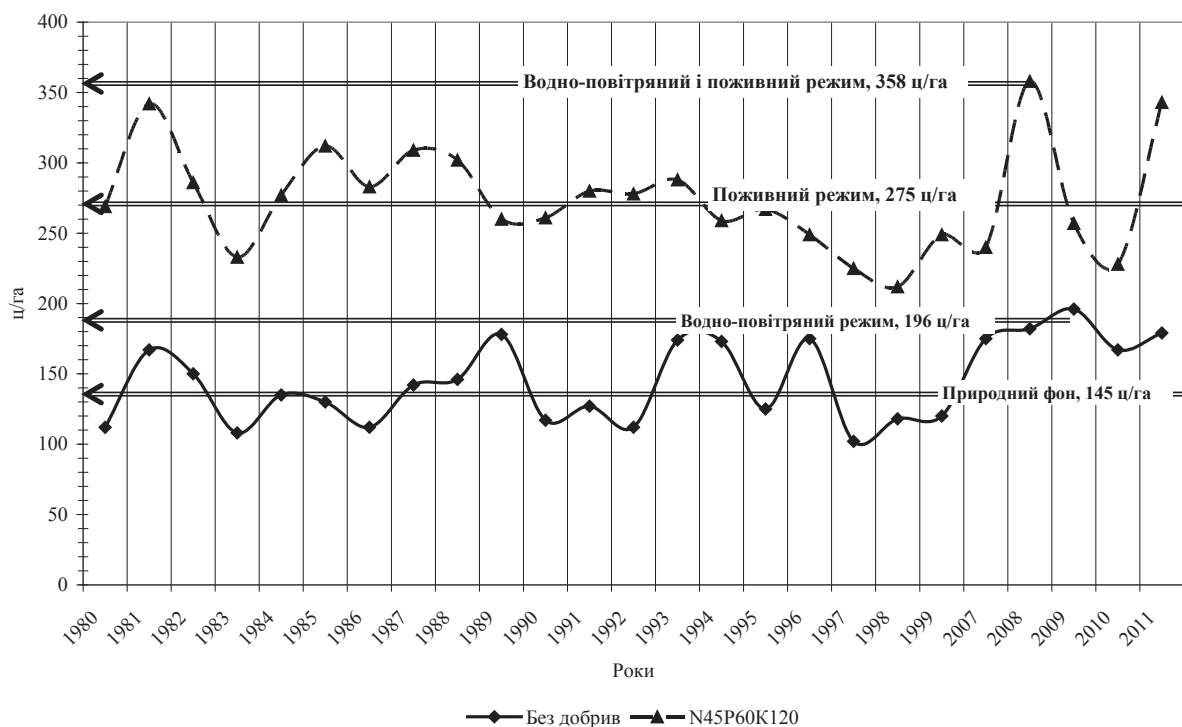


Рис. 9. Коливання врожайності культур залежно від погодних умов (на прикладі картоплі)

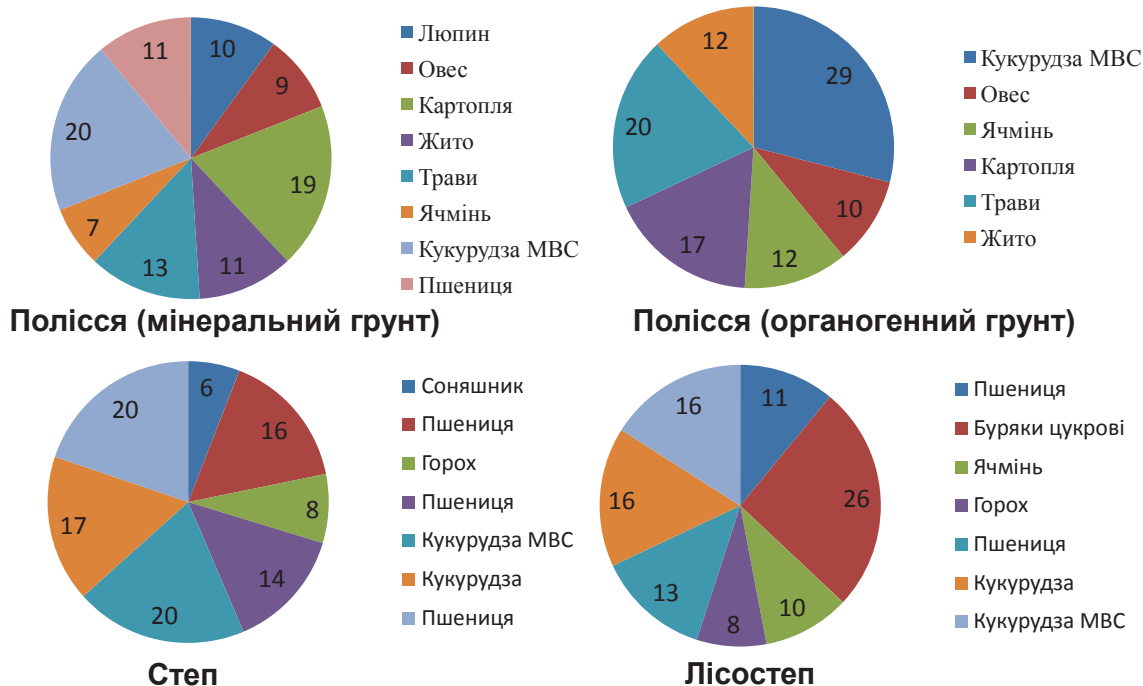


Рис. 10. Вклад культур у продуктивність типових сівозмін по зонах

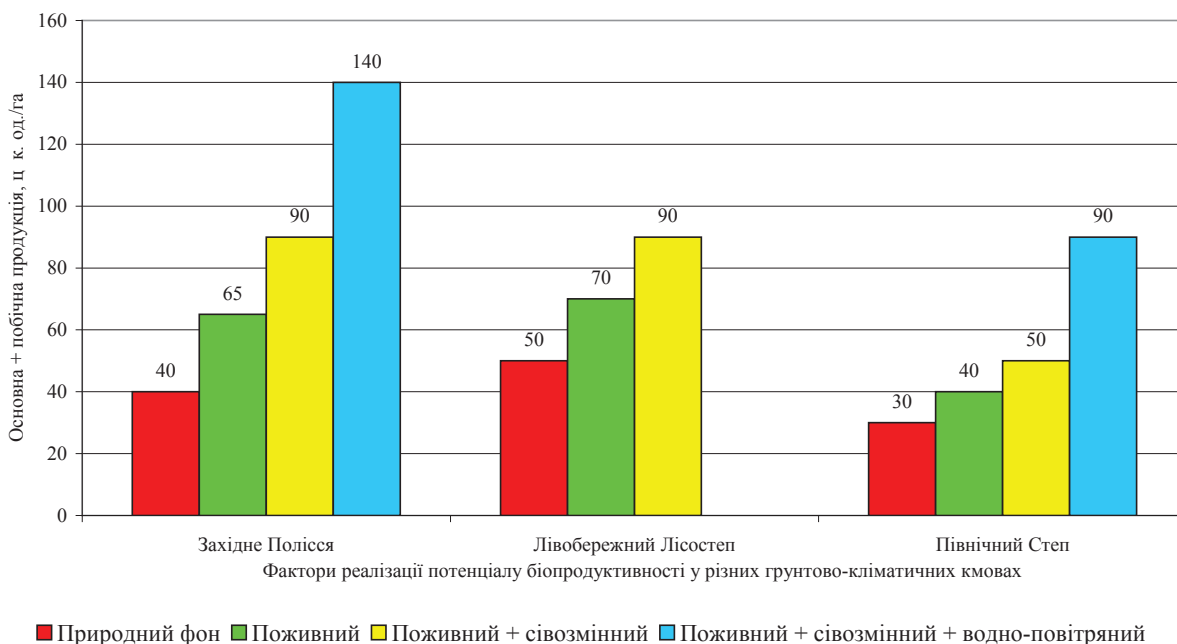


Рис. 11. Потенціал продуктивності агроєкосистем у різних ґрунтово-кліматичних умовах

спеціалізації при продуктивності сівозміни 10 т/га сухої біомаси за збалансованої інфраструктури органічна речовина трансформується в 2,6 т/га м'ясо-молочних продуктів, олії і цукру, в 0,8 т/га гумусу та 1,2 т/га метану. Тобто з 10 т/га отриманої в процесі фотосинтезу органічної речовини приблизно половина витрачається на функціонування самої агроєкосистеми і половина отримується в акуму-

льованому вигляді. Зміна рівня реалізації агресурсного потенціалу відповідно буде впливати на ці показники.

За четвертим напрямком отримані в досліді результати використовували при створенні регіональних моделей аграрного виробництва на базі конкретних типових сільськогосподарських підприємств. Шляхом багатоваріантного імітаційного комп'ютерного

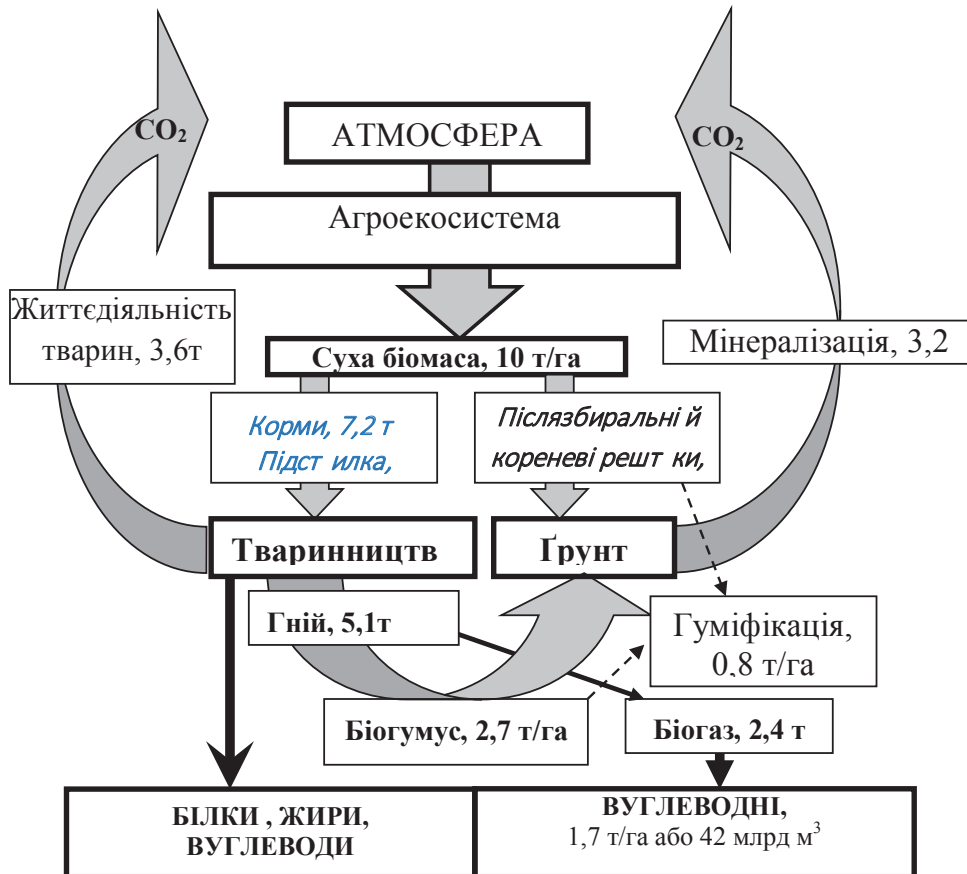


Рис. 12. Трансформація вуглецю в біоенергетичній агроєкосистемі

моделювання здійснювався пошук близьких до оптимальних сценаріїв розвитку агроєкосистем, коли досягнута в рослинництві біопродуктивність найбільш збалансовано розподіляється між продуктами харчування, промисловою сировиною, біоенергією, ґрунтом і емісією вуглекислого газу (рис. 13). Результатом комп'ютерного моделювання є перспективні варіанти міжгалузевої оптимізації з наступним формуванням адаптованої до умов регіонів інфраструктури, яка дає можливість максимально реалізувати агроресурсний потенціал меліорованих територій. На рисунку представлено перспективну модель аграрного виробництва для сільськогосподарського підприємства в Правобережному Лісостепу на зрошенні площею 3600 га.

Для реалізації на практиці такої системи аграрного виробництва очікувані капітальні затрати складають 38 млн. у.о., виробничі витрати – 9 млн. у.о., валовий дохід – 45 млн. у.о., чистий дохід – 36 у.о. або 10 тис. у.о./га при строках окупності фінансових вкладень – 1 рік. Перевага таких моделей також полягає в тому, що у вигляді білків (м'ясопродукти, сири), жирів (олія, вершки),

вуглеводів (цукор, борошно) і вуглеводнів (газ-метан) при реалізації продукції відчужуються лише складові атмосферного повітря: кисень, вуглець, водень і азот. Решта макро- і мікроелементів, що виносяться з ґрунту рослинною біомасою, залишаються в замкнутому кругообігу. Сумісно з тотальним знезараженням усіх відходів в процесі метанового бродіння на біогазових станціях це дає змогу скоротити застосування або взагалі відмовитися від агрохімікатів. Перехід до органічного землеробства, при супутньому зниженні собівартості продукції на 50% за рахунок економії мінеральних добрив, пестицидів та використання лише власних енергетичних ресурсів, забезпечує відповідні конкурентні переваги.

Висновки та перспективи досліджень. Зміни клімату, що вже відмічаються, негативно вплинули на водний режим України. Частка території із значним дефіцитом вологи збільшилася на 7% і займає переважну частину степової зони. У зв'язку з цим урожайність основних польових культур у цій зоні, незважаючи на науково-технічний прогрес, за останні 20 років лишається на рівні 90-х років, а подекуди і знизилась.

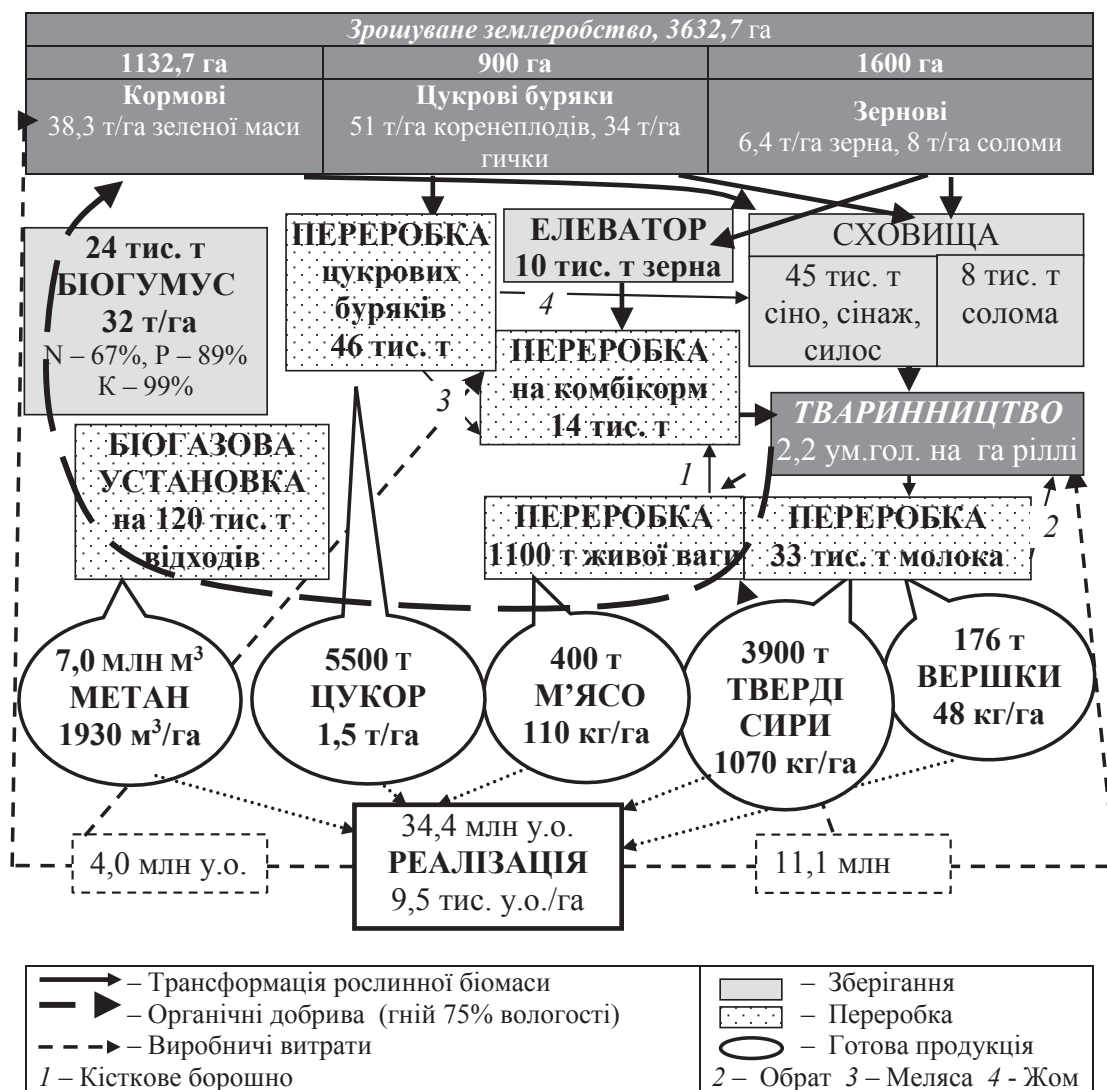


Рис. 13. Перспективна модель аграрного виробництва для сільськогосподарського підприємства в умовах зрошення (Правобережний Лісостеп)

Виходячи з цього, лише гідротехнічні меліорації є головним чинником нарощування продуктивності землеробства в Україні. Зважаючи на те, що водорегулювання потребує значних капіталовкладень, найбільш доцільним напрямом аграрного виробництва на меліорованих землях є багатогалузева спеціалізація, направлена на виробництво продукції з підвищеною часткою доданої вартості, у т. ч. за рахунок біоенергії та рециркуляції біогенних елементів. Такі системи здатні забезпечити окупність капітальних витрат на водорегулювання протягом 2–3 років.

Для підвищення ефективності використання меліорованих земель доцільно зосередити подальші дослідження на:

– здійсненні кількісної і якісної оцінки усіх видів водних ресурсів, встановленні спрямованості їх трансформації, оцінці

потенціалу розширення площ сільськогосподарських угідь з регулюванням водно-повітряного режиму ґрунту;

– встановленні потенціалу біопродуктивності сільськогосподарських територій за оптимізації умов зволоження, поживного режиму та сівозмінного фактору шляхом аналізу урожайності культур і структури посівних площ по адміністративних районах, а також опрацюванні інформаційної бази стаціонарних агротехнічних дослідів в системі НААН та аграрних учбових закладів;

– розробці низьковуглецевих систем аграрного виробництва з досягнення високої і сталої біопродуктивності за раціонального використання водних та інших ресурсів на основі стаціонарних агротехнічних дослідів;

– встановленні особливостей взаємодії і взаємовпливу різних складових аграрного

виробництва з метою обґрунтування принципів міжгалузевої оптимізації на засадах збалансованого розподілу високої біопродуктивності між продовольством, технічною сировиною, біоенергією, емісією CO₂ і органічними добривами;

– створенні модельних різнопрофільних сільськогосподарських підприємств із виробництва продукції високого рівня добавленої вартості, ліквідності та конкурентноспроможності на базі виробничих структур різних форм власності в різних ґрунтово-кліматичних зонах України;

– розробці законодавчих і нормативних актів, що стимулюватимуть перехід аграрного сектора економіки на засади сталого розвитку і раціонального використання водних ресурсів;

– розвитку систем інформаційного забезпечення аграрного виробництва, в т.ч. опрацюванні ефективної системи поточного надання актуальної всебічної інформації, зокрема ДДЗ.

Практична реалізація результатів перспективних досліджень дозволить більш раціонально використовувати наявний потенціал агресурсів, зокрема вологи.

Бібліографія

1. Ромашенко М.І. Наукові засади розвитку меліорації земель в Україні. // Водне господарство України. 2013. № 1. С. 36–42.
2. Ромашенко М.І. Роль зрошення в забезпеченні сталого ведення аграрного виробництва в умовах природнокліматичних змін [Електронний ресурс] – Джерело доступу: amdi.org.ua/docs/Romaschenko.ppt;
3. Меліоровані агроєкосистеми. Оцінка та раціональне використання агресурсного потенціалу України (зони зрошення і осушення / За ред.: М.І. Ромашенка, Ю.О. Тараріко. – Київ; Ніжин: ПП Лисенко М.М., 2017. 696 с.
4. Бабіченко В.М., Ніколаєва Н.В., Гущина Л.М. Зміни температури повітря на території України наприкінці ХХ та на початку ХХІ століття // Український географічний журнал. Київ. Академперіодика, 2007. № 4. С. 3–12.
5. Осадчий В.І., Бабіченко В.М. Температура повітря на території України в сучасних умовах клімату // Український географічний журнал. Київ: Академперіодика, 2013. № 4. С. 32–39.
6. Особливості змін клімату в Україні на кінець ХХ – початок ХХІ ст. за наземними та супутниковими даними / В.І. Лялько та ін. // Український журнал дистанційного зондування Землі. 2015. № 6. С. 33–84.
7. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2014 році. Київ: Міністерство екології та природних ресурсів України, ФОП Грінь Д.С. 2016. 350 с.
8. Georgeta B., Remus P. Climatic water balance dynamics over the last five decades in Romania's most arid region, Dobrogea. *J. Geogr. Sci.* 2015. № 25(11). P. 1307–1327.
9. Розробка ґрунтозахисних ресурсо- та енергозберігаючих систем ведення сільськогосподарського виробництва з використанням комп'ютерного програмного комплексу: рекомендації. Київ: Нора-Друк, 2002. 122 с.
10. Меліорація ґрунтів (систематика, перспективи, інновації): колективна монографія [за ред. С.А. Балюка, М. І. Ромашенка, Р.С. Трускавецького]. Херсон: Грінь Д.С., 2015. 668 с.
11. Сайдак Р.В. Оцінимо забезпеченість України гідротермічними ресурсами з огляду на сучасні кліматичні зміни // Зерно і хліб. 2015. № 4. – С. 50–53.
12. Broad range of 2050 warming from an observationally constrained large climate model ensemble *Nature Geoscience* volume5, pages256–260 (2012) <https://www.nature.com/articles/ngo1430>
13. <https://istoki.net/klimaticheskie-izmeneniya-globalnyj-prognoz-pogody-na-zemle-do-2100-goda>.
14. Барабаш М.Б., Ткач Л.О. Сценарії режиму температури повітря в перші три десятиріччя ХХІ ст. за фізико-географічними зонами України // Водне господарство України. 2005. № 3. С. 5–12.
15. Звіт про науково-дослідну роботу «Розроблення сценаріїв зміни кліматичних умов в Україні на середньо- і довгострокову перспективу з використанням даних глобальних і регіональних моделей» / УкрГМІ. – 2013 р. – 171 с. <http://uhmi.org.ua/project/rvndr/climate.pdf>.
16. Вплив кліматичних змін на вологозабезпечення території України та виробництво сільськогосподарської продукції / М. І. Ромашенко та ін. // Матеріали Міжн. наук.-практ. конф. «Вода для всіх». Київ: ТОВ «ЦП «КОМПРИНТ», 21 березня 2019 р. С. 179–180.

References

1. Romaschenko, M.I. (2013). *Naukovi zasady rozvitku melioratsiyi zemel v Ukraini* [Scientific principles of land reclamation development in Ukraine]. Kyiv: Vodne gospodarstvo Ukraini, 1, 36–42. [in Ukrainian].

2. Romaschenko, M.I. (2018). Rol zroshennya v zabezpechenni stalogo vedennya agrarnogo virobnitstva v umovah prirodno-klimatichnih zmIn [The role of irrigation in the sustainable management of agricultural production in a changing climate] Retrieved from <http://amdi.org.ua/docs/Romaschenko.ppt>; [in Ukrainian].
3. Romaschenko, M.I., Tarariko, Yu.O. (Ed). (2017). Meliorovani agroekosistemi. Otsinka ta ratsionalne vikoristannya agroresursnogo potentsialu Ukrayini (zoni zroshennya i osushennya) [Reclaimed agroecosystems. Assessment and rational use of Ukraine's agro-resource potential (irrigation and drainage zones)]. Kyiv. [in Ukrainian].
4. Babichenko, V.M., Nikolaeva, N.V. & Guschina, L.M. (2007). Zmini temperaturi povItrya na teritoriyi Ukrayini naprikIntsI XX ta na pochatku XXI stolittya [Changes in air temperature in Ukraine at the end of XX and beginning of XXI century]. Kyiv: Ukrayinskiy geografichniy zhurnal. Akademperiodika, 4, 3–12. [in Ukrainian].
5. Osadchiy, V.I. & Babichenko, V.M. (2013). Temperatura povItrya na teritoriyi Ukrayini v suchasni umovah klimatu [Air temperature in the territory of Ukraine in modern climate conditions] Kyiv: Ukrayinskiy geografichniy zhurnal. Akademperiodika, 4, 32–39. [in Ukrainian].
6. Lyalko, V.I., Ellstratova, L.O., KulbIda, M.I., Apostolov, O.A. & Barabash, M.B. (2015). Osoblivosti zmin klimatu v Ukrayini na kInets XX – pochatok XXI st. za nazemnimi ta suputnikovimi danimi [Features of climate change in Ukraine at the end of XX – beginning of XXI century. by terrestrial and satellite data] Kyiv: Ukrayinskiy zhurnal distantsiynogo zonduvannya Zemli, 6, 33–84. [in Ukrainian].
7. Natsionalna dopovid pro stan navkolishnogo prirodnogo seredovischa v UkrayinI u 2014 rotsi. (2016). [National report on the state of the environment in Ukraine in 2014.] Kyiv: MinIsterstvo ekologiyi ta prirodnih resursiv Ukrayini, FOP Grin D.S. [in Ukrainian].
8. Georgeta B., Remus P. Climatic water balance dynamics over the last five decades in Romania's most arid region, Dobrogea. *J. Geogr. Sci.* 2015. № 25(11). P. 1307–1327.
9. Rozrobka gruntozahisnih resurso- ta energozberigayuchih sistem vedennya silskogospodarskogo virobnitstva z vikoristannyam komp'yuternogo programnogo kompleksu: rekomendatsiyi. [Development of soil protection resource and energy saving systems for agricultural production using computer software: recommendations.]. (2002). Kyiv. [in Ukrainian].
10. Balyuk, S.A., Romaschenko, M.I., Truskavetskiy, R.S. (Ed). (2015). Melioratsiya gruntiv (sistematika, perspektivi, inovatsiyi): kolektivna monografiya [Soil reclamation (systematics, perspectives, innovations): a collective monograph]. Herson. [in Ukrainian].
11. Saydak, R.V. (2015). Otsinimo zabezpechenist Ukrayini gidrotermichnimi resursami z oglyadu na suchasni klimatichni zmini [Let us evaluate Ukraine's hydrothermal resources in view of current climate change] Kyiv: Zerno i hlib, 4, 50–53. [in Ukrainian].
12. Broad range of 2050 warming from an observationally constrained large climate model ensemble. (2012). *Nature Geoscience*. Volume 5, 256–260. Retrieved from: <https://www.nature.com/articles/ngeo1430>.
13. Climate change: global weather forecast for the Earth until 2100. (n.d.). istoki.net. Retrieved from: <https://istoki.net/klimaticheskie-izmeneniya-globalnyj-prognoz-pogody-na-zemle-do-2100-goda>.
14. Barabash, M.B., Tkach, L.O. (2005) Stsenariyi rezhimu temperaturi povitrya v pershI tri desyatirIchchya XXI st. za flziko geografichnimi zonami Ukrayini [Scenarios of air temperature regime in the first three decades of the XXIst century by the physical and geographical zones of Ukraine] Kyiv: Vodne gospodarstvo Ukrayini, 3, 5–12. [in Ukrainian].
15. UkrGMI. (2013). Rozroblennya stsenariyiv zmini klimatichni umov v Ukrayini na seredno- i dovgostrokovu perspektivu z vikoristannyam danih globalnih i regionalnih modeley [Developing climate change scenarios in Ukraine for the medium and long term using global and regional models]: Zvit pro NDR (za 2013 r.). Kyiv. Retrieved from: <http://uhmi.org.ua/project/rvndr/climate.pdf> [in Ukrainian].
16. Romaschenko, M.I., Saydak, R.V., Matyash, T.V. & Knish, V.V. (2019) Vpliv klimatichni zmIn na vologozabezpechennya teritoriyi Ukrayini ta virobnitstvo silskogospodarskoyi produktsiyi [Impact of climate change on the water supply of the territory of Ukraine and agricultural production] Mizhnarodna nauk.-praktich. konf. «Voda dlya vsih». Kyiv, 179–180. [in Ukrainian].

Ю.А. Тарарико, Р.В. Сайдак, Ю.В. Сорока

Итоги и перспективы исследований по оценке и рациональному использованию агро-ресурсного потенциала сельскохозяйственных территорий

Аннотация. Современные глобальные и региональные изменения климата в значительной степени влияют на условия влагообеспечения территории Украины. По сравнению с 1961–1990 гг., территория с дефицитом увлажнения увеличилась с 56 до 60%, а площадь зоны достаточного и

чрезмерного увлажнения наоборот уменьшилась с 33 до 24%. При условии сохранения тенденции часть земель сельскохозяйственного назначения с дефицитным водным балансом до 2050 г. может увеличиться до 67%, а до 2100 г. – до 80% от их общей площади. В зоне Степи при почти ежегодной значительной недостатке влаги производство зерна остается на уровне 1990 года, а в Лесостепи и на Полесье оно выросло на 80-90%. Важно, что даже в гумидной зоне риски возникновения неблагоприятных водно-воздушных режимов почвы, особенно с легким механическим составом, существенно возросли. Таким образом, стабильное ведение высокопродуктивного земледелия без разработки и внедрения эффективных региональных систем мероприятий по улучшению влагообеспечения становится проблематичным на большей части территории Украины. Путем имитационного компьютерного моделирования доказано, что переход отечественного аграрного производства на основы сбалансированного получения «органического» продовольствия, промышленного сырья и биоэнергетических ресурсов кардинально повысит прибыльность, улучшит экологическое состояние и существенно усилит продовольственную безопасность и энергетическую независимость государства. Особенно такой переход актуален для потенциально наиболее продуктивных мелиорированных территорий. Необходимо провести комплекс исследований по переоценке относительно стремительных климатических изменений возможностей рационального использования всех видов водных ресурсов в оптимальном их сочетании с другими составляющими аграрного производства и на этой научной основе создать единую систему управления водными ресурсами.

Ключевые слова: изменение климата, районирование, влагообеспеченность, орошение, производительность земледелия, межотраслевая оптимизация, биоэнергетическое производство, водные ресурсы.

Yu.O. Tararico, R.V. Saidak, Yu.V. Soroka

**Results and prospects of research on the evaluation
and rational use of agro-resource potential of agricultural areas**

Abstract. Current global and regional climate changes significantly impact on the conditions of water supply of the territory of Ukraine. Compared to the period of 1961-1990, the area with a deficit of water supply increased from 56 to 60%, and the area of sufficient and excessive water moisture decreased from 33 to 24%. If the trend persists, the share of agricultural land with scarce water balance may increase up to 67% by 2050, and up to 80% by 2100 of their total area. In the steppe zone, due to the almost annual lack of water supply, grain production remains at the level of 1990, and in the forest-steppe and Polissia zones it has increased by 80-90%. It is important to mention that even in the humid zone, the risk of occurrence of adverse soil-water regimes has increased significantly. Consequently, sustainable high-yield agriculture without the development and implementation of effective regional systems for improving water supply is becoming problematic in the most of Ukraine. The results of simulated computer modeling show that the transition of domestic agricultural production to the principles of balanced production of “organic” food, industrial raw materials and bioenergy resources will dramatically increase profitability, improve the ecological status and significantly strengthen food security and energy independence of the state. This transition is especially actual for potentially productive of reclaimed areas. It is necessary to carry out a comprehensive study on re-evaluation of rapid climate change as to the rational use of all types of water resources in optimal combination with other components of agricultural production and on this scientific basis to create a unified system of water resources management.

Key words: climate change, zoning, water supply, irrigation, agricultural productivity, inter-sectoral optimization, bio-energy production, water resources.

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg201902-193>

Available at: <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/193>

УДК 631.421.2; 631.43

СИСТЕМА ЛАБОРАТОРНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ВОДНО-ФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ҐРУНТІВ

**М.І. Ромащенко¹, докт. техн. наук, С.С. Коломієць², канд. с.-г. наук, докторант,
А.С. Білоброва³, аспірант**

¹ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-9997-1346>; e-mail: mi.romashchenko@gmail.com

² Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-4329-4382>; e-mail: kss2006@ukr.net

³ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-0540-9492>; e-mail: anastasiabilobrova1993@gmail.com

Анотація. У зв'язку із глобальними змінами клімату для всіх ґрунтово-кліматичних зон України зрошення стало визначальним фактором у формуванні біопродукційних процесів нових сортів і гібридів сільськогосподарських культур. За цього ефективність зрошення значною мірою визначається достовірністю водно-фізичних властивостей ґрунтів. Метою комплексних гідрофізичних досліджень було визначення основних водно-фізичних властивостей ґрунтів та констант, що необхідні для створення сприятливих ґрунтових режимів на меліорованих землях та математичного моделювання водного режиму ґрунтів. Комплексні лабораторні гідрофізичні випробування зразків ґрунту непорушеної структури дозволяють визначити для одного зразка ґрунту гідрофізичні функції: водоутримувальної здатності, вологопровідності та водно-фізичні константи повної та найменшої вологомісткості, вологості в'янення і максимальної гігроскопічності, які в силу визначень на одному й тому ж зразку ґрунту розташовуються на одній кривій десорбції ґрунту від повної вологомісткості до максимальної гігроскопічної вологості. Первинне насичення зразка ґрунту під вакуумом до повної вологомісткості, що забезпечує одержання єдиної кривої водоутримувальної здатності з урахуванням структурної макропористості, є головною особливістю даної методики. Одержувана петля капілярного гістерезису за алгоритмом: швидка нерівноважна десорбція від повної вологомісткості та повільна рівноважна сорбція, дозволяє побудувати диференціальну криву розподілу об'єму пор за радіусами, що характеризує структуру порового простору ґрунту. Ці структурні характеристики є чутливими до ґрунтових процесів, за якими визначається напрямок епігенетичних змін структури порового простору ґрунтів та напрямок еволюції ґрунтової матриці. З петлі одержаного капілярного гістерезису за співвідношенням радіусів менісків понад $n = \frac{r_{\text{сорб}}}{r_{\text{десорб}}} \geq 2$ встановлюється поріг утворення структурної макропористості ґрунту.

Загалом запропонована система лабораторного діагностування ґрунтів має переваги перед існуючими методами діагностування, суттєво підвищує інформативність комплексних гідрофізичних випробувань, надає якісно нову інформацію про ґрунти та забезпечує необхідними параметрами математичне моделювання процесів масообміну у ненасичених вологою ґрунтах зони аерації.

Ключові слова: лабораторне діагностування ґрунтів, водно-фізичні властивості та константи, гідрофізичні функції, капілярний гістерезис, структурна макропористість.

Актуальність дослідження. За оцінками Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН агроресурсний потенціал України дає змогу виробляти сільськогосподарську продукцію в обсягах, що забезпечують продуктами харчування не менш як 450–500 млн. осіб. Сьогодні ці можливості використовуються не більше ніж на третину, хоча Україна в повному обсязі забезпечує свою продовольчу безпеку, є найбільшим виробником та експортером соняшникової олії, третім світовим експортером кукурудзи, четвертим – ячменю, шостим – соєвих бобів, сьомим – курятини [16].

Недостатній рівень використання наявного агроресурсного потенціалу обмежується низкою факторів, головними з яких є неоптимальні умови природного вологозабезпечення на більш ніж половині території України, які постійно погіршуються у зв'язку із сучасними глобальними змінами клімату у бік аридизації [16], тому максимальне використання потенціалу нових сортів і гібридів сільськогосподарських культур можливе лише за цілеспрямованого регулювання водного режиму ґрунтів.

Застосування зрошення та дренажу дає змогу незалежно від погодних умов підвищувати врожайність сільськогосподарських

культур у два-три рази, порівняно з богарними землями.

Згідно зі Стратегією зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 р., що була розроблена за участі фахівців ІВПіМ та схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 14 серпня 2019 р. № 688-р, передбачається введення в Україні додаткових площ зрошення понад 1180 тис. гектарів. У зв'язку з цим розроблення підходів до визначення водно-фізичних властивостей ґрунтів, на основі яких створюють сприятливі ґрунтові режими на меліорованих землях, є актуальною проблемою сучасної аграрної науки. Зокрема це стосується вдосконалення методів визначення гідрофізичних функцій: водоутримувальної здатності та вологопровідності ґрунтів, необхідних для кількісного моделювання їх водного режиму на основі ґрунтової термодинаміки.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Системні дослідження вологонасичення і випаровування з пористих середовищ, зокрема ґрунтів, розпочалися на початку минулого століття. Зокрема П.С. Коссовичем [13] на прикладі ґрунту вперше був обґрунтований тристадійний механізм випаровування вологи з капілярно-пористого матеріалу, саме йому належить широко вживаний нині термін «найменша вологомісткість». Надалі основні положення механізму сушіння ґрунту були розвинуті А.Ф. Лебедевим [14], який вперше експериментально довів, що характер пересування вологи у ненасиченому ґрунті визначається формою зв'язку вологи з ґрунтовим каркасом.

Багато вчених займалися дослідженням встановлення категорій зв'язку вологи з ґрунтом та обґрунтуванням водно-фізичних констант і методів їх визначень [3; 4; 15].

Масштабні проекти меліорації в СРСР і Україні у 60–80-ті роки минулого століття зробили затребуваними термодинамічні методи досліджень водно-фізичних властивостей первинно ненасичених водою ґрунтів зони аерації [4; 7].

Важливе значення для цього мала оглядова робота О.М. Глобуса «Експериментальная гидрофизика почв» [4] створена за оглядом публікацій переважно зарубіжних вчених. І хоча сам прилад для вимірювання капілярного потенціалу вологи в ґрунті (тензіометр), який став основою термодинамічних методів, був створений В.Г. Корнєвим ще на початку 20-х років минулого століття у СРСР [12], однак теорія і математичні моделі пересування вологи у ґрунтах розроблялись переважно за рубежом [4,5,8,9,10].

Аналіз існуючих методів та методик визначення основних водно-фізичних характеристик ґрунтів показує, що всі вони мають такі недоліки як значна трудомісткість та довготривалість проведення досліджень, недостатньо компетентні розміри зразків, недосконалість апаратури та ін. Використання водно-фізичних констант, які не мають термодинамічного обґрунтування, у плануванні режимів зрошення із застосуванням великих поливних норм на первинно освоєваних територіях зрошення призводило до великих інфільтраційних втрат поливної води та швидкого зростання рівнів ґрунтових вод з подальшими негативними екологічними наслідками у вигляді осолонцювання і засолення ґрунтів та підтоплення меліорованих територій [7]. Концептуальні засади формування водоощадливих та екологічно безпечних режимів зрошення сільськогосподарських культур були сформовані понад двадцять років тому, де вказано на необхідність коригування водно-фізичних властивостей зрошуваних ґрунтів [19]. Однак на той час було відсутнє кількісне термодинамічне обґрунтування такого коригування [19]. Все це спонукало до пошуку нових методів та розробки точніших та інформативніших методик визначення параметрів термодинамічного взаємозв'язку вологи з пористим середовищем ґрунтів.

Метою комплексних гідрофізичних досліджень є визначення основних водно-фізичних властивостей ґрунтів та констант, необхідних для ефективного проектування і управління водним режимом ґрунтів при вирощуванні сільськогосподарських культур на зрошуваних і осушуваних землях.

Пересування вологи в ґрунті обумовлено сукупністю фізичних і фізико-хімічних властивостей ґрунту. Найважливішими з них є основна гідрофізична характеристика (ОГХ), тобто залежність водоутримувальної здатності ґрунту від капілярного тиску, і функція вологопровідності, оскільки вони детермінують швидкість і напрямок пересування ґрунтової вологи, а отже інтенсивність зволоження і висихання, а також визначають термодинамічну доступність вологи для рослин. Тому важливим є розроблення методів для отримання залежностей, які пов'язують ємкісні властивості та силу стабілізації порового розчину каркасом ґрунтів. ОГХ визначає зв'язок тиску ґрунтової вологи (або еквівалентного термодинамічного потенціалу) з вмістом вологи в ґрунті, а функція вологопровідності визначає зв'язок коефіцієнта вологопровідності з потенціалом ґрунтової вологи, як основи градієнтної структури ґрунту.

Матеріали і методи дослідження.

На основі стандартизованих методів [6; 8; 9] була розроблена удосконалена методика комплексних гідрофізичних досліджень із визначенням петлі капілярного гістерезису, що суттєво розширює інформативність випробувань, зокрема характеризує структуру порового простору досліджуваного ґрунту. Методика визначення гідрофізичних функцій обґрунтована на основі алгоритму розрахунку, здійсненого М.Ю. Дзекуновим та В.М. Солопенком [7], за певних технологічних уточнень проведення випробувань. Зокрема у запропонованій методиці зменшено опір керамічної мембрани зменшенням кількості фазових переходів, замість «рідина-рідина мембрани-повітря» реалізована схема «рідина-рідина мембрани-рідина». Методологія цих досліджень опублікована у [7; 11].

Надзвичайно важливою метою лабораторних досліджень є визначення водно-фізичних констант: повної вологомисткості (ПВ), найменшої вологомисткості (НВ), вологості в'янення (ВВ) та максимальної гігроскопічності (МГ) на єдиній кривій водоутримувальної здатності реальних ґрунтів, що поєднує ємнісні властивості та силу стабілізації води у гетерогенній системі ґрунту. Зокрема визначення цих водно-фізичних констант та ОГХ на одному зразку ґрунту виключає просторову варіабельність властивостей у ґрунтового середовищі, що мінімізує кількість статистичних повторень.

Комплексність досліджень зразка ґрунту суттєво розширює їх інформативність. Визначення на частині порушеного ґрунту МГ у відповідності з вимогами чинного ГОСТ 28268–89 [4] дозволяє розрахувати вологість в'янення, питому поверхню ґрунту (S , м²/г) [2], адже визначення МГ теж носить термодинамічний характер. Тому ці визначення є інтегруючими властивостями ґрунтів і можуть співставляватись з гідрофізичними визначеннями водоутримувальної здатності у діапазоні доступної для рослин вологи. Суттєву перевагу також має методологія визначення петлі капілярного гістерезису при часовій асиметрії взаємодії вологи з ґрунтом на гілках швидкої десорбції від ПВ та повільної рівноважної сорбції. Теоретичною основою цього алгоритму є новостворена фізична модель порового простору ґрунту у вигляді гофрованого еквівалентного капіляра [11], яка

дозволяє отримувати нові знання про властивості ґрунту.

Зокрема окрім кривих водоутримувальної здатності або основної гідрофізичної характеристики (ОГХ) $\theta = f(P)$ на основі петлі капілярного гістерезису дана методика дозволяє оцінити структуру порового простору ґрунту як сумарний об'єм пор певного радіусу, що затискається у ґрунті між кривими десорбції та сорбції $V = f(r_a)$, що візуально відображає крива структурної характеристики. На основі кінетики десорбції є також можливість розрахунку значень вологопровідності ненасиченого ґрунту залежно від капілярного тиску або вологонасичення $K_p = f(P)$ [6], а також визначення на нормованому графіку кінетики десорбції значень найменшої вологомисткості.

Комплексні гідрофізичні дослідження зразків ґрунту непорушеної структури проводяться за радіальною схемою з центральним робочим зондом та двома контрольними тензіометрами на утворюючій циліндра (рис. 1).

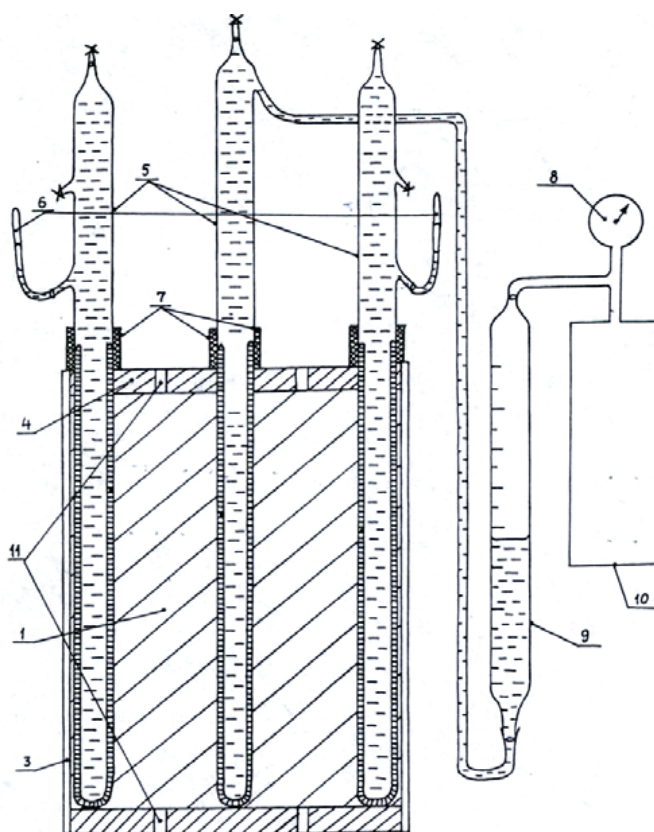


Рис. 1. Схема оснащення моноліту ґрунту:

- 1 – ґрунт; 2 – керамічні зонди; 3 – обойма;
- 4 – парафіно-бітумні корки; 5 – скляні газовловлювачі;
- 6 – індикаційні капіляри; 7 – резинові з'єднувальні кільця;
- 8 – контрольний вакуумметр; 9 – вимірювальна бюретка;
- 10 – баластна ємність; 11 – отвори у корках, для зв'язку з атмосферою та подачі води

Джерело: [11]

Відповідно до поставленої мети у лабораторних дослідженнях визначено такі основні види робіт:

- відбір зразка ґрунту непорушеної структури (моноліту) у циліндричне кільце $\varnothing 12,0$ см і висотою 15,0 см в польових умовах, оснащення в лабораторії зразка ґрунту двома парафіно-бітумними корками, що жорстко фіксують об'єм зразка та вимірювання висоти цього циліндричного зразка, встановлення у зразку трьох керамічних зондів: двох зондів контрольних тензіометрів на боковій поверхні циліндра та центрального робочого зонда, через який проводять сорбцію та десорбцію ґрунту, згідно зі схемою рис. 1;

- насичення зразка у вакуумній камері до повної вологомисткості;

- монтаж системи контролю тиску та забезпечення зміни вологонасичення;

- проведення довготривалих (1–2 місяці) гідрофізичних випробувань за алгоритмом: швидка десорбція від ПВ – повільна рівноважна сорбція – повторна швидка десорбція;

- демонтаж оснащення, відбір з моноліту двох зразків ґрунту у ріжучі кільця та визначення кінцевої вологості і щільності його складення;

- розрахунки кривих водоутримувальної здатності, НВ, коефіцієнтів вологопровідності та побудова графіків $\theta = f(P)$, $K_p = f(P)$ та $V = f(r_a)$.

Результати дослідження і їх обговорення.

У свій час відомий вчений у царині гідрології ґрунтів О.О. Роде написав: «Гистерезис, который в настоящее время при термодинамической трактовке почвенно-гидрологических явлений обычно сознательно исключается из учета, представляет собой явление огромной важности не только в теоретическом отношении, но и при решении вполне практических задач» [17]. Аналіз одержаної у випробуваннях петлі капілярного гістерезису несе інформацію про структуру порового простору ґрунту [19]. Найінформативнішою є крива швидкої десорбції від ПВ, адже кожний поворот цієї кривої характеризує зміну сумарного об'єму певної групи пор.

Комплексні гідрофізичні випробування зразків ґрунту забезпечують визначення коефіцієнта вологопереносу K_p (вологовідності), який базується на кінетиці десорбції ґрунту, розрахунок яких був започаткований М.Ю. Дзекуновим та В.М. Солопенком [7]. При повному насиченні він відповідає коефіцієнту фільтрації – емпіричному параметру, що інтегрально відображає властивості порового простору проводити воду насиченого водою ґрунту.

При проведенні розрахунків використовуються експериментальні дані по циклу десорбції від ПВ, по яких будуються такі графіки:

- графік залежності вологості ґрунту від капілярного тиску вологи $\theta = f(P)$, тобто ОГХ;

- графік кінетики десорбції ґрунту $\theta = f(t)$ та графік $P = f(t)$.

ОГХ для будь-якого зразка ґрунту унікальна, оскільки безпосередньо пов'язана з гранулометричним, мікроагрегатним, агрегатним складом ґрунту, питомою поверхнею ґрунтових частинок і тому інтегрально характеризує структуру порового простору ґрунту і розподіл його за розмірами (радіусами).

Визначення гістерезису водоутримувальної здатності ґрунту за алгоритмом: швидка десорбція від ПВ – повільна рівноважна сорбція, фактично дозволяє побудувати графічно диференційну криву розподілу сумарного об'єму затиснутого повітря у порах певного радіусу. Але це лише один важливий аспект використання параметрів петлі капілярного гістерезису як різниці вологонасичення системи ґрунту за фіксованих значень капілярного тиску. Іншим, не менш важливим, аспектом інформативності гістерезису є використання співвідношення капілярного тиску (або радіусів пористості, згідно з формулою Жюрена) на гілках сорбції та швидкої десорбції за фіксованих значень вологонасичення. Фактично співвідношення $n = \frac{r_{сорб}}{r_{десорб}} \geq$

інтегрально характеризує співвідношення радіусів мінімального, коли дана група пор осушується, розкривається, та максимального радіусу групи пор, коли вони закриваються при сорбції.

За геометричними побудовами модельного простору з дисперсного матеріалу, що утворюють кульки однакового розміру, співвідношення $\frac{r_{max}}{r_{min}}$ становить для кубічної, найпухкішої укладки кульок $n_{куб} = \frac{r_{max}}{r_{min}} = 1,77$,

а для найщільнішої гексогональної упаковки кульок $n_{гекс} = 1,86$. Загалом для такого модельного середовища можна прийняти, що співвідношення радіусів елементарної пористості не перевищує $n \leq 2$. Для реального полідисперсного (складеного частками різних діаметрів) ґрунту може бути прийнято співвідношення $n \leq 2$, що характеризує первинну елементарну пористість між частками. Однак за параметрами гістерезису з певного радіусу (капілярного тиску) значення становить $n \geq 2$, що характеризує вже структурну макропористість.

Для функціонування ґрунту ця структурна макропористість є найціннішою, адже вона відіграє у ґрунті роль центрів термодинамічної нерівноважності і кислотних центрів (ЦТН+КЦ). Фактично значення $n = 2$ може бути прийнято за поріг, з якого поровий простір становить собою структурні макропори. Логічно, що розмір (r) цієї структурної макропористості для різних за дисперсністю ґрунтів (мул, пил, пісок) буде суттєво різним і може бути визначеним інтегрально лише за співвідношенням радіусів $\frac{r_{max}}{r_{min}}$. Це фактично робить непотрібною класифікацію [21], побудовану лише за радіусами пористості, але без врахування розмірів твердих часточок.

Отже іншим важливим аспектом використання петлі капілярного гістерезису, одержаною за пропонованим алгоритмом випробувань, є визначення розміру (радіусу) формування структурної макропористості за розмахом петлі гістерезису по тиску за фіксованої вологості ґрунту.

Процес повторної десорбції необхідний для зниження вологонасичення зразка ґрунту та визначення кінцевої вологості і щільності складення ґрунту без порушення його структури.

Проведення комплексних лабораторних гідрофізичних досліджень за цією удосконаленою методикою є порушуючим методом досліджень, тобто у процесі випробувань порушується структура ґрунту, що підтверджується неспівпадінням кривих першого і другого циклу десорбції.

Значення найменшої вологомісткості ґрунту поділяє нормовану криву кінетики швидкої десорбції $\theta = f(t)$, де перша похідна по часу $\frac{\partial \theta}{\partial t} = 1$, на дві частини: інтенсивного гравітаційного стікання води за значень $\theta_i > НВ$; та гілку повільного зниження вологості, де $\theta_i < НВ$, на якій десорбція відбувається за рахунок всіх можливих способів – пересування плівкової води, пароподібної втрати води, споживання коренями рослин тощо.

Зазвичай одержані таким способом значення НВ є нижчими за одержані польовим способом заливних майданчиків, що загалом підвищує точність визначення НВ та знижує ризик виникнення непродуктивних інфільтраційних втрат поливної води при їх використанні у формуванні режимів зрошення. Нині дана методика визначення значень НВ проходить патентування.

Методика також дозволяє визначити МГ і її похідних характеристик: ВВ, питомої поверхні ґрунту (S), діапазону активної води (ДАВ=ПВ-ВВ), а також встановлення гранулометричного класу ґрунту за значеннями ВВ за [2]. Визначення МГ проводяться відповідно до вимог чинного ГОСТ 28268–89 [6].

На рис. 2–4 та у таблицях 1, 2 наведено приклад представлення результатів комплексних гідрофізичних досліджень ґрунтів ДП «ДГ «Брилівське».

Висновки. Комплексні лабораторні гідрофізичні випробування зразків ґрунту непорушеної структури, що доповнені визначенням

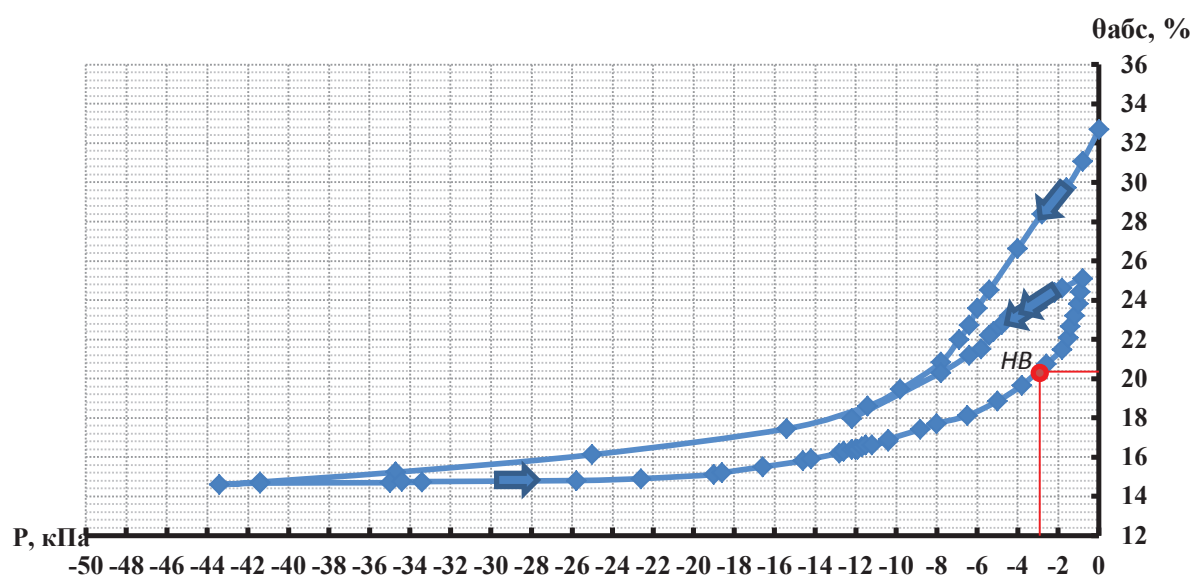


Рис. 2. Крива водоутримувальної здатності темно-каштанового ґрунту, ОГХ $\theta = f(P)$, інтервал 0,05–0,20 м, зразок № 53

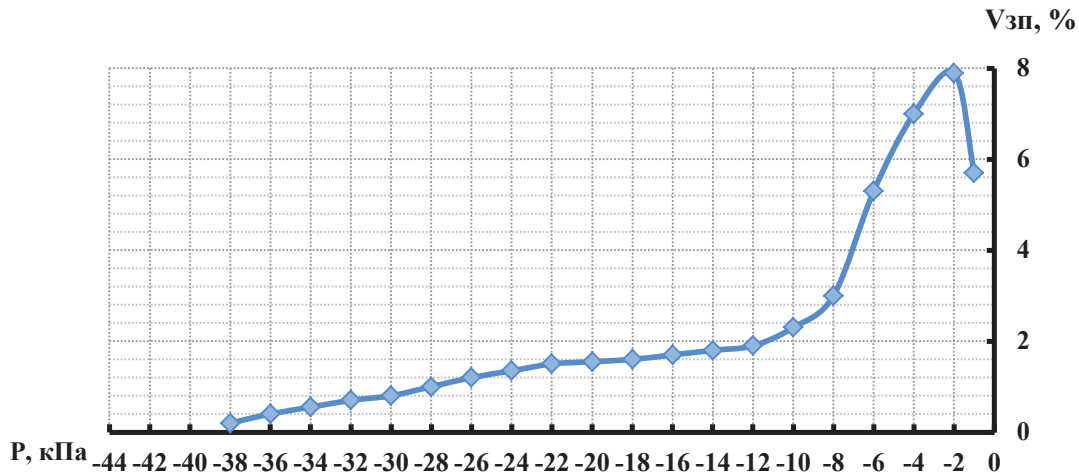


Рис. 3. Структурна характеристика порового простору ґрунту,
 $V_{зп} = f(P) = f(r_d)$, інтервал 0,05–0,20 м, зразок № 53

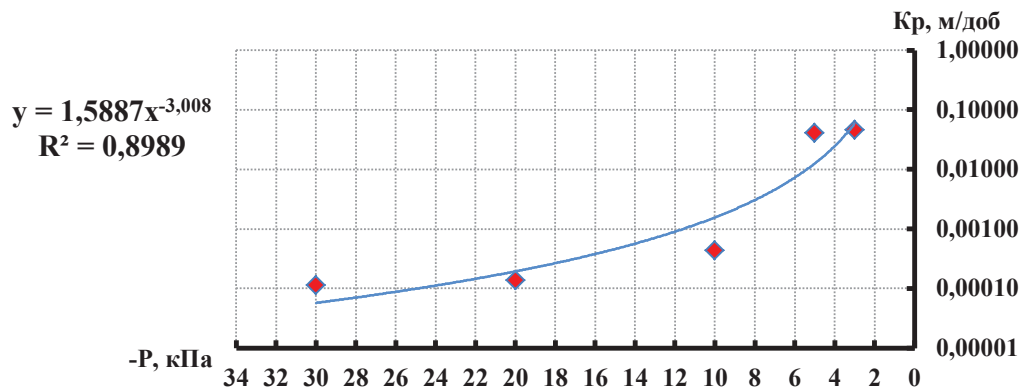


Рис. 4. Залежність вологопровідності ненасиченого ґрунту від капілярного тиску,
 $K_p = f(P)$, інтервал 0,05–0,20 м, зразок № 53

1. Результати лабораторних визначень водно-фізичних властивостей зразків із ґрунтового профілю ДП «ДГ Брилівське» (с. Привітне, Олешківського р-ну, Херсонської області)

Номер зразка	Інтервал, м	Кінцева щільність складення ρ , г/см ³	Питома поверхня S , м ² /г	МГ, % за масою	ВВ, % за масою	ПВ, % за об'ємом	НВ, % за об'ємом	НВ, % за масою	ДАВ=ПВ-ВВ	Гранулометричний клас ґрунту за ВВ
53	0,05-0,20	1,84	10,73	2,68	3,59	32,69	20,38	11,06	26,07	супісок – суглинок легкий
10	0,35-0,50	1,78	11,44	2,86	3,83	39,74	16,72	9,40	32,92	супісок – суглинок легкий
20	0,65-0,80	1,69	14,69	3,67	4,92	32,01	15,19	9,00	23,70	суглинок легкий

2. Залежність вологопровідності ненасиченого ґрунту $\left(K_p, \frac{\text{м}}{\text{доб}}\right)$ від капілярного тиску $K_p = f(P)$ для фіксованих значень P , кПа

Номер зразка	Інтервал, м	Капілярний тиск P , кПа					Регресійне рівняння
		-3	-5	-10	-20	-30	
53	0,05-0,20	$4,5 \cdot 10^{-2}$	$4,1 \cdot 10^{-2}$	$4,4 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$y = 1,5887 \cdot x^{-3,01}$
10	0,35-0,50	$2,3 \cdot 10^{-2}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$	$2,1 \cdot 10^{-3}$	$6,2 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$y = 1,3721 \cdot x^{-2,27}$
20	0,65-0,80	$3,1 \cdot 10^{-2}$	$2,2 \cdot 10^{-2}$	$6,4 \cdot 10^{-3}$	$2,7 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$y = 1,0671 \cdot x^{-2,63}$

максимальної гігроскопічної вологості за чинними методиками, дозволяють отримати для одного зразка ґрунту гідрофізичні функції: водоутримувальної здатності $\theta = f(P)$, вологопровідності $K_p = f(P)$ та водно-фізичні константи повної (ПВ) та найменшої вологомісткості (НВ), вологості в'янення (ВВ) і максимальної гігроскопічності (МГ), які в силу визначень на одному й тому ж зразку ґрунту розташовуються на одній кривій десорбції ґрунту від ПВ до МГ.

Особливістю методики є первинне насичення зразка ґрунту під вакуумом до повної вологомісткості (ПВ), що забезпечує одержання єдиної кривої водоутримувальної здатності з урахуванням структурної макропористості.

Одержання петлі капілярного гістерезису за алгоритмом швидкої нерівноважної десорбції від ПВ та повільної рівноважної сорбції дозволяє отримати нові знання про властивості ґрунту, зокрема побудувати диференційну криву розподілу об'єму пор за радіусами, що характеризує структуру порового простору ґрунту. Ці структурні характери-

стики є чутливими до ґрунтових процесів, за якими визначають напрямок епігенетичних змін структури порового простору ґрунтів та еволюцію ґрунтової матриці. За розмахом петлі капілярного гістерезису по тиску встановлюють пороговий розмір структурної макропористості ґрунту.

Загалом запропонована система лабораторного діагностування ґрунтів суттєво підвищує інформативність комплексних гідрофізичних випробувань та надає нові знання і якісно нову інформацію про ґрунти.

Результати лабораторних досліджень ґрунтів забезпечують одержання необхідних параметрів для процесу математичного моделювання процесів масообміну у ненасичених вологою ґрунтах зони аерації. Використання отриманих термодинамічно обґрунтованих параметрів ґрунтів в сучасній системі управління режимами зрошення, що розробляється в ІВПіМ і проходить тестування у господарствах, підвищує ефективність зрошення за мінімізації негативних екологічних наслідків іригації.

Бібліографія

1. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. Москва : Агропромиздат, 1986. 416 с.
2. Вериго С.А., Разумова Л.А. Почвенная влага (применительно к запросам сельского хозяйства). Ленинград : Гидрометеиздат, 1973. 328 с.
3. Воронин А.Д. Структурно-функциональная гидрофизика почв. Москва : Изд. МГУ, 1984. 204 с.
4. Глобус А.М. Экспериментальная гидрофизика почв. Ленинград : Гидрометеиздат, 1969. 355 с.
5. Глобус А.М. Почвенно-гидрофизическое обеспечение агроэкологических математических моделей. Ленинград : Гидрометеиздат, 1987. 427 с.
6. ГОСТ 28268-89 Почвы. Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений. [Чинний від 1990-06-01]. Изд. офиц. Москва : Издательство стандартов, 1989. 10 с. (Межгосударственный стандарт).
7. Дзекунов Н.Е., Жернов И.Е., Файбишенко Б.А. Термодинамические методы изучения водного режима зоны аерации. Москва : Надра, 1987. 177 с.
8. ДСТУ ISO 11274:2001. Якість ґрунту. Визначання водоутримувальної характеристики. Лабораторні методи (ISO 11274:1998, ІДТ). [Чинний від 2003-07-01]. Вид. офиц. Київ : Держспоживстандарти України, 2003. 37 с. (Національний стандарт України).
9. ДСТУ ISO 11276:2001. Якість ґрунту. Визначання тиску порової води. Метод з використанням тензіометра. [Чинний від 2003-01-01]. Вид. офиц. Київ : Держспоживстандарти України, 2002. 32 с. (Національний стандарт України).
10. ДСТУ ISO 15709:2004 Якість ґрунту. Ґрунтова вода та ненасичена зона. Визначення, позначення та теорія. [Чинний від 2006-04-01]. Вид. офиц. Київ : Держспоживстандарти України, 2006. 14 с. (Національний стандарт України).
11. Коломієць С.С. Екологічна характеристика ґрунту // Вісник аграрної науки. Київ, 1999. № 12. С. 9–13.
12. Корнев В.Г. Всасывающая сила почвы и принципы системы автоматического орошения почвы. Москва : Издание ГИСХМ, 1925. 30 с.
13. Коссович П.С. Журнал опытной агрономии. Специальный журнал т.5, 1904. 84 с.
14. Лебедев А.Ф. Почвенные и грунтовые воды. Москва : АН СССР, 1936. 316 с.
15. Муромцев Н.А. Мелиоративная гидрофизика почв. Ленинград : Гидрометеиздат, 1991. 272 с.

16. Про схвалення Стратегії зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року: схвал. розпор. Кабінету Міністрів України від 14 серпня 2019 р. № 688-р. *Урядовий кур'єр*. 2019. 6 вер. (№ 170) С. 13–14.
17. Роде А.А. Основы учения о почвенной влаге. т. 1. Ленинград : Гидрометеиздат, 1965. С. 663.
18. Ромащенко М.И. Некоторые аспекты обоснования уменьшения оросительных норм // Вестник аграрной науки. Киев, 1992. № 4. С. 35–39.
19. Ромащенко М.И. Концепция формирования водосберегающих экологически безопасных режимов орошения сельскохозяйственных культур. Экологические проблемы при водных мелиорациях : тезисы докладов научно-производственной конференции стран СНГ, г. Киев, 1995. С. 66–68.
20. Спосіб визначення структури порового простору ґрунтів (дисперсних середовищ) : Пат. 45287 Україна: МПК G01N15/08; заявл. 04.12.2008; опубл. 10.11.2009, Бюл. №21. 4 с.
21. Шейн Е.В. Курс физики почв : учебник. Москва : Изд-во МГУ, 2005. 432 с.

References

1. Vadyunyna, A.F., & Korchahyna, Z.A. (1986). *Metody yssledovaniya fizycheskykh svoystv pochv* [Methods of studying the physical properties of soils]. Moskva: Ahropromyzzdat. [in Russian].
2. Veryho, S.A., & Razumova, L.A. (1973). *Pochvennaya vlaha (prymenytel'no k zaprosam sel'skoho khozyaystva)* [Soil moisture (as applied to agricultural needs)]. Lenynhrad: Hydrometeoyzdat. [in Russian].
3. Voronyn, A.D. (1984). *Strukturno-funktsyonal'naya hydrofyzyka pochv* [Structural and functional hydrophysics of soils]. Moskva: Yzd. MHU. [in Russian].
4. Hlobus, A.M. (1969). *Eksperymental'naya hydrofyzyka pochv* [Experimental soil hydrophysics]. Lenynhrad: Hydrometeoyzdat. [in Russian].
5. Hlobus, A.M. (1987). *Pochvenno-hydrofyzicheskoe obespechenye ahroekolohycheskykh matematycheskykh modeley* [Soil hydrophysical information for agro-ecological modelling]. Lenynhrad: Hydrometeoyzdat. [in Russian].
6. *Pochvy. Metody opredeleniya vlazhnosti, maksimal'noy gigroskopicheskoy vlazhnosti y vlazhnosti ustoychivoho zavyadaniya rasteniy* [The soil. Methods for determination of moisture, maximum hygroscopic moisture and wilting moisture plants]. (1990). GOST 28268-89. *Mezhhosudarstvennyi standart*. Moskva: Yzdatel'stvo standartov. [in Russian].
7. Dzekunov, N.E., Zhernov, Y.E., & Faybishenko, B.A. (1987). *Termodynamicheskiye metody yzucheniya vodnoho rezhyma zony aeratsyy* [Thermodynamic methods for studying the water regime of the aeration zone]. Moskva: Nadra. [in Russian].
8. *Yakist' gruntu. Vyznachannya vodoutrymuval'noyi kharakterystyky. Laboratorni metody: GOST* [Soil quality. Determination of water retention characteristics. Laboratory methods]. (2003). (ISO 11274:1998, IDT). DSTU ISO 11274:2001. *Natsionalnyi standart Ukrainy*. Kyiv: Derzhspozhyvstandarty Ukrayiny. [in Ukrainian].
9. *Yakist' gruntu. Vyznachannya tysku porovoyi vody. Metod z vykorystanniam tenziometra*. [Soil quality. Determination of pore water pressure. Method using a tensiometer]. (2002). *Natsionalnyi standart Ukrainy*. Kyiv: Derzhspozhyvstandarty Ukrayiny. [in Ukrainian].
10. *Yakist' gruntu. Gruntova voda ta nenasychena zona. Vyznachannya, poznachannya ta teoriya* (2004). *Natsionalnyi standart Ukrainy*. Kyiv: Derzhspozhyvstandarty Ukrayiny. [in Ukrainian].
11. Kolomiyets', S.S. (1999). *Ekolohichna kharakterystyka gruntu* [Ecological characteristics of the soil]. *Visnyk ahraryoi nauky*, 12, 9–13. [in Ukrainian].
12. Kornev, V.H. (1925). *Vsasyvayushchaya syla pochvy y pryntsyipy systemy avtomatycheskoho orosheniya pochvy* [The suction force of the soil and the principles of the system of automatic irrigation of the soil]. Moskva: Yzdanye HYSKhM. [in Russian].
13. Kossovych, P.S. (1904). *Zhurnal opytной ahronomyy* [Journal of Experimental Agronomy]. *Special journal*, 5. [in Russian].
14. Lebedev, A.F. (1936). *Pochvennye y hruntovye vody* [Soil and groundwater]. Moskva: AN SSSR. [in Russian].
15. Muromtsev, N.A. (1991). *Melyoratyvnaya hydrofyzyka pochv* [Soil reclamation hydrophysics]. Lenynhrad: Hydrometeoyzdat. [in Russian].
16. *Rozporoyadzhennya Kabinetu Ministriv Ukrayiny Pro skhvalennya Stratehiyi zrosheniya ta drenazhu v Ukrayini na period do 2030 roku № 688* [Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine on the Approval of the Irrigation and Drainage Strategy in Ukraine until 2030 year № 688]. (2019, September 6). *Uryadovyy kur'yer*, 170, 13–14. [in Ukrainian].

17. Rode, A.A. (1965). *Osnovy uchenyya o pochvennoy vlahe* [Soil Moisture Basics]. Leningrad: Hydrometeoizdat. [in Russian].
18. Romashchenko, M.Y. (1992) *Nekotorye aspekty obosnovaniya umen'sheniya orosytel'nykh norm*. *Vestnyk ahrarnoy nauky*, 4, 35–39. [in Russian].
19. Romashchenko, M.Y. (1995). *Kontseptsyya formirovaniya vodosberehayushchykh ekolohychesky bezopasnykh rezhymov orosheniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur*. *Ekolohycheskye problemy pry vodnykh melyoratsyyakh : tezysy dokladom nauchno-proyvodstvennoy konferentsyy stran SNH* [The concept of the formation of water-saving environmentally security irrigation regimes of crops]. *Ekolohycheskye problemy pry vodnykh melyoratsyyakh: Nauchno-proyvodstvennoy konferentsyy stran SNH*, Kyev: IHEaLR UAAN, 66–68. [in Ukrainian].
20. Yatsyk, M.V., & Kolomiyets', S.S. (2009). *Sposib vyznachenniya struktury porovoho prostoru gruntiv (dyspersnykh seredovyshch)* [Method for determination of structure of porous space of earths (disperse media)]. Patent of Ukraine. №45287. [in Ukrainian].
21. Sheyn, E.V. (2005). *Kurs fyzyky pochv* [Soil Physics Course]: *uchebnyk*. Moskva: Yzd-vo MNU. [in Russian].

М.И. Ромащенко, С.С. Коломиец, А.С. Белоброва

Система лабораторной диагностики водно-физических свойств почв

Аннотация. В связи с глобальными изменениями климата для всех почвенно-климатических зон Украины орошение стало определяющим фактором в формировании биопродукционных процессов новых сортов и гибридов сельскохозяйственных культур. При этом эффективность орошения в значительной степени определяется достоверностью водно-физических свойств почв. Целью комплексных гидрофизических исследований было определение основных водно-физических свойств почв и констант, необходимых для создания благоприятных почвенных режимов мелиорированных земель и математического моделирования водного режима почв. Комплексные лабораторные гидрофизические испытания образцов почв ненарушенной структуры позволяют определить для одного образца почвы гидрофизические функции: водоудерживающей способности, влагопроводности и водно-физические константы полной и наименьшей влагоемкости, влажности завядания и максимальной гигроскопической влажности, которые в силу определений на одном и том же образце почвы располагаются на одной кривой десорбции почвы от полной влагоемкости до максимальной гигроскопической влажности. Первичное насыщение образца почвы под вакуумом до полной влагоемкости обеспечивает получение единственной кривой водоудерживающей способности с учетом структурной макропористости, что является главной особенностью данной методики. Полученная петля капиллярного гистерезиса за алгоритмом: быстрая неравновесная десорбция от полной влагоемкости и медленная равновесная сорбция позволяет построить дифференциальную кривую распределения объема пор по радиусам, характеризующая структуру порового пространства почвы. Эти структурные характеристики чувствительны к почвенным процессам, по которым определяется направление эволюции структуры порового пространства почв и направление эволюции почвенной матрицы. Из петли капиллярного гистерезиса по соотношению радиусов менисков превышающего $n = \frac{r_{\text{сорб}}}{r_{\text{десорб}}} \geq 2$, устанавливается порог образования структурной макропористости почвы. Предлагаемая система лабораторного диагностирования почв имеет преимущества над существующими методами диагностики, существенно повышает информативность комплексных гидрофизических испытаний, предоставляет качественно новую информацию о почвах и обеспечивает математическое моделирование необходимыми параметрами процессов массообмена в ненасыщенных влагой почвах зоны аэрации.

Ключевые слова: лабораторное диагностирование почв, водно-физические свойства и константы, гидрофизические функции, капиллярный гистерезис, структурная макропористость.

M.I. Romashchenko, S.S. Kolomiets, A.S. Bilobrova

Laboratory diagnostic system for water-physical soil properties

Abstract. Irrigation has become a determining factor in the formation of bioproduction processes of new agricultural crop varieties and hybrids due to global climate change for all soil-climatic zones of Ukraine. Moreover, irrigation efficiency is determined to a significant degree by the reliability of the soil water-physical properties. The purpose of comprehensive hydrophysical studies was to determine the basic soil water-physical properties and constants necessary to create favorable soil regimes of reclaimed lands, and to do mathematical modeling of the soil water regime. Complex laboratory hydrophysical tests of soil samples of undisturbed structure make it possible to determine hydrophysical functions for each soil sample: water holding capacity, water conductivity and water-physical constants of full and minimum moisture capacity, wilting moisture and maximum hygroscopic moisture, which can be determined on the

same soil sample located on the same soil desorption curve from full moisture capacity to maximum hygroscopic humidity. The primary saturation of the soil sample under vacuum to full moisture capacity provides a single curve of water retention capacity taking into account structural macroporosity, which is the main feature of this technique. The resulting capillary hysteresis loop has the algorithm: fast nonequilibrium desorption from full moisture capacity and slow equilibrium sorption enables to build a differential curve of the distribution of pore volume over radii, characterizing the structure of the soil pore space. These structural characteristics are sensitive to soil processes, which determine the direction of epigenetic changes in the structure of the soil pore space and the direction of soil matrix evolution. The threshold of formation of structural soil macroporosity is established from the loop of capillary hysteresis by the ratio of meniscus radii exceeding $n = \frac{r_{\text{cap6}}}{r_{\text{деcap6}}} \geq 2$. The proposed system of soil laboratory diagnostics has advantages over the

existing diagnostic methods, significantly increases the information content of complex hydrophysical tests, provides qualitatively new information on soils as well as the mathematical modeling with the necessary parameters of mass transfer processes in the moisture-saturated soils of the aeration zone.

Key words: soil laboratory diagnostics, water-physical properties and constants, hydrophysical functions, capillary hysteresis, structural macroporosity.

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg201902-188>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/188>

УДК 631.174:631.559:631.95

СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ ПЕСТИЦИДІВ НА ПРОДУКЦІЙНІ ПРОЦЕСИ РОСЛИН ТА ЕКОЛОГІЧНУ БЕЗПЕКУ

Ф.С. Мельничук¹, канд. с.-г. наук, с.н.с, О.А. Марченко², канд. біол. наук, с.н.с.,
А.П. Шатковський³, докт. с.-г. наук, с.н.с., Л.М. Мельничук⁴, М.С. Ретьман⁵, канд. с.-г.
наук, О.М. Ничипорук⁶

¹ Державне підприємство «Центральна лабораторія якості води та ґрунтів» ІВПіМ НААН,
с. Гора, Київська обл., Україна; <https://orcid.org/0000-0003-2711-5185>;
e-mail: melnichukf@ukr.net

² Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-2419-4191>; e-mail: marcol@ukr.net

³ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-4366-0397>; e-mail: andriy-1804@ukr.net

⁴ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-6649-2963>; e-mail: melnichuk_l_m@ukr.net;

⁵ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-6972-2410>; e-mail: retman_m.s@ukr.net;

⁶ Інститут захисту рослин НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-4253-8111>; e-mail: nychporuk_oleksii@ukr.net

Анотація. Застосування засобів захисту рослин (ЗЗР) дає можливість покращити екологічний стан агроценозів, поліпшити умови робочої зони працюючих, підвищуючи за цього продуктивність рослинництва. Наведено способи внесення ЗЗР з поливною водою і комбіновано та схеми захисту просапних культур, які застосовують у системах інтегрованого захисту сільськогосподарських культур. Встановлено, що одним із вагомих недоліків внесення ЗЗР з поливною водою є обмеження строків обробок. Розроблена комбінована схема захисту просапних культур передбачає профілактичне застосування препаратів в стилі строки традиційним способом, залежно від фітосанітарного стану посівів, що забезпечує суттєву прибавку врожайності порівняно з іншими способами внесення. Доведено також, що за різних способів застосування хімічних препаратів ефективність дії ЗЗР неоднакова проти певних цільових об'єктів. Тому зазначається, що при розробці технологічних схем із захисту посівів від шкідливих організмів необхідно досконало вивчати фітосанітарну ситуацію в зоні розташування посівів та визначати цільові об'єкти, проти яких буде застосовано пестициди. Наведені напрями досліджень з вивчення впливу пестицидів на екосистеми, а саме оцінка екологічної безпечності пестицидів для ґрунтової екосистеми (токсична дія на ґрунтових черв'яків та мікроорганізми), водної екосистеми (токсична дія на рибу, дафній, водоростей) та надземної екосистеми (токсична дія на птахів та бджіл). Зазначено, що одним з методів запобігання шкідливому впливу токсичних речовин на нецільові об'єкти екосистем є гігієнічне нормування їх застосування. Проведено еколого-токсикологічну оцінку пестицидів шляхом визначення їх токсичності за одноразового введення в гострому експерименті, що дозволила з'ясувати видову сприйнятливості живого організму до хімічного реагенту. Для розрахунку токсичності при аналізі дії різних препаратів використано метод пробіт-аналізу, який є найбільш точним. Визначено вплив агрохімікатів на структурно-функціональні зміни мікробного ценозу ґрунту за кількісним аналізом агрономічно цінних еколого-трофічних та таксономічних груп мікроорганізмів, оцінкою інтенсивності дихання ґрунту за кількістю виділеного вуглекислого газу. Проаналізовані тенденції пошукових і фундаментальних досліджень у сфері водного господарства і меліорації з метою вдосконалення сучасних підходів до вирощування рослин.

Ключові слова: пестицидація, ефективність дії, шкідливі організми, способи внесення пестицидів, нецільові об'єкти, екологічна безпека.

Постановка проблеми. Досвід сільськогосподарської діяльності останнього століття довів, що вона неможлива без застосування засобів захисту рослин. В Україні питання поводження з пестицидами та агрохімікатами відноситься до сфери, що становить підвищену екологічну та соціально-економічну

небезпеку. Тому вплив хімічних речовин на всю екосистему викликає занепокоєння та потребує всебічного вивчення.

Внесення стимуляторів, добрив і засобів захисту рослин (ЗЗР) з поливною водою дозволяє зменшити токсичний вплив на екосистеми та забезпечити економію коштів.

© Ф.С. Мельничук, О.А. Марченко, А.П. Шатковський, Л.М. Мельничук, М.С. Ретьман, О.М. Ничипорук, 2019

Застосування пестицидів в Україні не завжди проводилось з достатнім вивченням екологічного впливу на нецільові об'єкти, унаслідок цього збільшилось хімічне забруднення навколишнього середовища, що негативно впливає на біорізноманіття, продовольчу та енергетичну безпеку, доступ до чистої води та сировини, а також на здоров'я людей та процеси, які відбуваються в біосфері.

Актуальність дослідження. Сільське господарство України входить до числа світових лідерів з виробництва та експорту продукції.

Станом на 2019 р. асортимент хімічних ЗЗР, які використовують у сільському господарстві, налічує понад дві тисячі препаратів на основі сотень діючих речовин. Така їх кількість вимагає систематизації та узагальнення інформації щодо безпечності для навколишнього середовища. Серед більш як 130 фірм, що працюють в Україні, менше половини є виробниками діючих речовин і володіють вичерпною інформацією про свою продукцію. Решта компаній є постачальниками агрохімікатів, інформація про які є доволі обмеженою.

У сучасних складних кліматичних умовах вирощування сільськогосподарських культур вимагає застосування наукового підходу, використання інноваційної техніки та впровадження новітніх технологій. Однією з таких є пестигація – внесення пестицидів з поливною водою, яка дозволяє забезпечити рівномірний розподіл і точне розміщення хімічних речовин незалежно від погодних або польових умов. Добір сучасного асортименту хімічних речовин, які можливо ефективно використовувати в пестигації проти тих чи інших шкідливих організмів, є на сьогодні одним з актуальних напрямів зрошення і потребує дослідження в різних ґрунтово-кліматичних зонах України.

Мета дослідження – дослідити особливості застосування пестицидів в інтегрованих системах захисту та екологічну безпеку їх використання на прикладі нецільових об'єктів.

Матеріали і методи дослідження. У дослідженні використовували методи наукового аналізу та синтезу, узагальнення отриманих результатів польових та лабораторних аналізів, що передбачали:

- фітоекспертизу насінневого та рослинного матеріалу;
- експрес-аналізи в період вегетації сільськогосподарських культур;
- агрохімічний аналіз ґрунтів;
- розгорнутий аналіз ґрунтів;

- вивчення екологічної небезпечності хімічних препаратів для водної, ґрунтової та наземної екосистем:

- розгорнутий аналіз води.

Результати дослідження та їх обговорення. Дослідження ефективності дії агрохімікатів і регуляторів росту в Інституті водних проблем і меліорації розпочали ще в 90-х роках минулого століття. Значний внесок у розвиток цього напрямку зробили Тараріко Ю.О., Сорока Ю.В., Сайдак Р.В. [1].

З 2009 р. в Інституті почали вивчати ефективність дії пестицидів в зрошуваних умовах. У 2015 р. було розпочато дослідження з особливостей впливу пестицидів на нецільові об'єкти екосистеми. Зокрема, вивчено екологічну безпечність хімічних препаратів для водних екосистем, а саме токсичності для риб, дафній та водоростей. Виконано оцінку з екологічної безпечності пестицидів для ґрунтової екосистеми – токсична дія на ґрунтових черв'яків та мікроорганізми, водної екосистеми – токсична дія на риби, дафнії і водорості та наземної екосистеми – дія на птахів та бджіл.

Дослідження ефективності дії пестицидів і способів їх застосування здійснюють безпосередньо в польових умовах. Основними методичними вимогами до таких дослідів є забезпечення типовості умов для зони випробувань, виконання дослідів на достатньо вирівняній за наявністю фітопатогенів і родючості ґрунту дослідній ділянці, що сприяє одержанню необхідної вірогідності результатів. Єдиний методичний підхід до випробувань ЗЗР на посівах і насадженнях проти шкідливих організмів дає можливість провести аналіз і порівняння результатів дослідів в різних кліматичних зонах та отримати достовірні висновки щодо препаратів з урахуванням міжнародних вимог. Точність проведення дослідів є узагальненим статистичним показником, який базується на кількісній оцінці мінливості результатів досліджень. У 1985 р. ФАО вперше опубліковано «Керівні принципи щодо оцінки ефективності для реєстрації пестицидів на рослинах» [2]. Метою розроблення цих керівних принципів було надання консультацій органам реєстрації та виробникам пестицидів для перевірки ефективності ЗЗР. Документ згодом став частиною технічних рекомендацій, що підтримують «Міжнародний кодекс поведінки в галузі розповсюдження та використання пестицидів» [3].

Для випробування ефективності пестицидів та реєстраційних випробувань сучасних ЗЗР в Україні нами розроблено методичні

рекомендації на основі методик, які прийняті у Всесоюзному інституті захисту рослин (1956–1985 рр.) та рекомендацій ЄОЗР (1977–1997 рр.) [4].

З технічним розвитком систем зрошення з'явилися нові можливості для внесення розчинних агрохімреагентів – безпосередньо через напірну систему краплинного зрошення чи мікродощування. Спосіб внесення ЗЗР з поливною водою вимагає від використовуваних препаратів наявності певних властивостей, насамперед – сильновираженої коренево-системної дії препарату. У світовій і вітчизняній практиці такий спосіб застосування пестицидів отримав розповсюдження, починаючи ще з середини 80-х років минулого століття. Його досить широко використовують за вирощування просапних культур (овочів, картоплі, кукурудзи на зерно, сої, буряку цукрового тощо) [5; 6; 7]. Хімічні речовини системної дії в рослинах рухаються по апопласту або ксилемі разом із водою та розчиненими солями та транслокаторно – по флоемі разом із розчиненими органічними речовинами. Ці механізми зумовлюють акропїтальний (висхідний) або базипїтальний (низхідний) рух пестицидів по рослині. Для більшості системних препаратів характерне переміщення діючої речовини по ксилемі, а в окремих випадках відбувається рух по флоемі. В умовах мікрозрошення найчастіше застосовують препарати, які рухаються по ксилемі. За краплинного зрошення препарати системної дії легко поглинаються кореневою системою за внесенні їх з поливною водою й швидко розповсюджуються по всій рослині, включаючи молоді органи. Накопичення в цитоплазмі діючих речовин сприяє ефективному знищенню шкідливих організмів, особливо це позначається на тривалості захисної дії.

Зокрема, багатьма дослідженнями доведено ефективність використання низки діючих речовин в умовах краплинного зрошення (табл. 1).

Основними напрямками пестицидації – внесення препаратів із поливною водою є:

- гербігація (внесення гербіцидів);
- інсектигація (внесення інсектицидів);
- фунгігація (внесення фунгіцидів).

Технологічний процес внесення добрив, засобів захисту рослин і хімреагентів

з поливною водою в системах краплинного зрошення регламентується нормативним документом ДСТУ 7937:2015 «Зрошення. Внесення добрив і ЗЗР з поливною водою в системах мікрозрошення. Загальні вимоги». Нормативний документ розроблено Інститутом водних проблем і меліорації НААН спільно з Національним університетом біоресурсів і природокористування КМ України та ННЦ «Інститут ґрунтознавства і агрохімії імені О.М. Соколовського НААН» [9].

Застосування на практиці описаного способу внесення засобів захисту рослин забезпечує покращення екологічного стану посівів, поліпшення санітарно-гігієнічних умов робочої зони працюючих і, одночасно, вирощування екологічно чистої продукції рослинництва. Крім того, такий спосіб внесення ЗЗР є більш економічно доцільним порівняно з традиційним обприскуванням посівів – економія коштів складає в середньому від 60 до 75%.

Сучасні технології контролю точного внесення води і агрохімікатів забезпечують отримання вищої врожайності, якості та однорідності кінцевої продукції в певних кліматичних умовах вирощування [10].

Протягом 2015–2018 рр. нами виконано оцінку ефективності внесення ґрунтових гербіцидів, системних фунгіцидів та інсектицидів за краплинного зрошення комбінованим способом та за традиційною технологією – методом наземного обприскування культур томата, кукурудзи і соя. Оцінку виконано за такими параметрами: розвиток та поширення хвороб; чисельність шкідників і бур'янів; метеопказники; строки і норми внесення ЗЗР. Ефективність дії пестицидів вивчали за різних рівнів вологозабезпеченості ґрунту, які формували за допомогою різних систем зрошення (рис. 1).

Отримані результати показали, що одним із вагомих недоліків внесення ЗЗР з поливною водою є обмеження строків обробок. Тому нами було застосовано комбіновану схему захисту просапних культур, яка передбачає профілактичне застосування препаратів в стислі строки традиційним способом, залежно від фітосанітарного стану посівів (табл. 2).

Результати аналізу врожайності досліджуваних культур показали, що найбільшу

1. Кількість ефективних для застосування з поливною водою діючих речовин

Інсектициди	Фунгіциди		Гербіциди
	хімічні	біологічні	
15	9	2	5

Джерело: [8]



Рис. 1 Формування різних умов вологозабезпечення ґрунту

2. Способи захисту просапних культур

Культура	Традиційна	Пестигація	Комбінована
кукурудза	ґрунтові гербіциди	ґрунтові гербіциди	ґрунтові гербіциди: традиційна система + пестигація
соя	системні та контактні інсектициди	системні інсектициди	інсектициди: традиційна система + пестигація
томат	системні та контактні фунгіциди	системні фунгіциди	фунгіциди: традиційна система + пестигація

ефективність проти основних патогенів на кукурудзі, томати і сої спостерігали за комбінованого способу внесення пестицидів.

Застосування такого способу внесення забезпечувало суттєвий приріст урожайності порівняно з іншими способами внесення (табл. 3).

Крім того, було доведено, що за різних способів застосування хімічних препаратів

ефективність дії ЗЗР неоднакова проти певних цільових об'єктів (табл. 4). Отже, при розробленні технологічних схем із захисту посівів від шкідливих організмів потрібно досконало вивчити фітосанітарну ситуацію в зоні розташування посівів та визначити цільові об'єкти, проти яких будуть застосовуватись пестициди.

Застосування пестицидів в умовах інтенсивних агротехнологій має низку негативних

3. Вплив різних систем захисту просапних культур на їх урожайність, т/га

Культура	Система захисту	Урожайність, т/га	Приріст урожайності, %
Кукурудза	контроль	14,65	-
	традиційна	18,49	27,0
	пестигація	18,26	25,4
	комбінована	18,76	28,8
Соя	контроль	4,84	-
	традиційна	5,96	23,1
	пестигація	5,67	17,1
	комбінована	6,12	26,4
Томат	контроль	72,61	-
	традиційна	96,38	32,7
	пестигація	95,23	31,2
	комбінована	98,81	36,1

4. Характеристика способів захисту просапних культур за цільовими об'єктами

Пестициди	Традиційна система	Пестигація	Комбінована система
грунтові гербіциди	однодольні та дводольні однорічні бур'яни	однодольні однорічні бур'яни	однодольні та дводольні однорічні бур'яни
системні та контактні інсектициди	сисні та листогризучі шкідники	сисні шкідники	сисні та листогризучі шкідники
системні та контактні фунгіциди	кореневі гнилі та листові хвороби	кореневі гнилі та деякі листові хвороби	кореневі гнилі та листові хвороби

наслідків, одним з яких є токсичний вплив на нецільові об'єкти – представників водних, наземних та ґрунтових екосистем. Вплив пестицидів на нецільові об'єкти екосистем недостатньо вивчено, тому метою наших досліджень було також виявлення гострої токсичності ЗЗР на представників водної, ґрунтової та наземної біоти. Одним із методів запобігання шкідливому впливу токсичних речовин на нецільові об'єкти екосистем є гігієнічне нормування їх застосування. Основою для нормування хімічних речовин і розробки профілактичних заходів є проведення експериментальних досліджень з метою встановлення токсикологічної характеристики речовин і допустимих порогових концентрацій. У зв'язку з різною токсичністю застосовуваних препаратів аналіз залишків вмісту пестицидів у воді, ґрунті та в живих організмах не дає змоги точно оцінити їх безпечність для агроценозів.

Тому, загальноприйнятим є експериментальне визначення концентрацій препарату, що викликають найбільш значимі та помітні порушення життєдіяльності у тест-об'єктів – смертність, виживання, фізіологічні чи патологічні порушення [11; 12].

Основним етапом еколого-токсикологічної оцінки пестицидів було визначення їх токсичності за одноразового введення в гострому експерименті, що дозволяє з'ясувати видову сприйнятливості живого організму – напівлетальну дозу (ЛД₅₀) препарату. У токсикологічних дослідженнях при аналізі дії різних препаратів розраховували ефективні дози, що діють в 50% випадків (ЕД₅₀), а також ЕД₁₆ і ЕД₈₄ і токсичні дози: ЛД₁₆, ЛД₅₀, ЛД₈₄ і ЛД₁₀₀.

На практиці ці величини часто визначаються за методами Беренса, Кербера, Першина, Беренса і Шлоссер, а також графічно, використовуючи методи пробіт-

аналізу за допомогою великого набору номограм [13]. Найточнішим методом розрахунку є на сьогодні метод пробіт-аналізу.

Оцінку впливу агрохімікатів на структурно-функціональні зміни мікробного ценозу ґрунту проводили за кількісним аналізом агрономічно цінних еколого-трофічних та таксономічних груп мікроорганізмів [11]. Також проводили аналіз інтенсивності дихання ґрунту за кількістю виділеного вуглекислого газу, який є показником активізації біохімічних процесів у ґрунті внаслідок зростання чисельності мікроорганізмів та інтенсифікації процесів їх життєдіяльності.

Висновки. Застосування пестицидів за краплинного зрошення передбачає використання ЗЗР, які характеризуються транслярним та акропетальним рухом по рослині та мають системний характер дії. Отримані результати багаторічних досліджень показали, що обмеження строків внесення пестицидів поливними режимами вирішується комбінованою системою захисту.

На основі отриманих даних було розроблено технології застосування пестицидів на посівах кукурудзи, томата і сої, які передбачають внесення ЗЗР разом із поливною водою та додаткову обробку хімічними препаратами протягом вегетації традиційними методами.

Проведені дослідження з вивчення гостротоксичної дії ЗЗР на нецільові об'єкти водної, ґрунтової та наземної біоти довели, що мінімізувати небезпечний вплив токсичних хімічних речовин на екосистему можливо за допомогою гігієнічного нормування та профілактичних заходів. Застосування цих заходів необхідно проводити керуючись результатами експериментальних досліджень із встановлення токсикологічної характеристики діючих речовин і визначення їх допустимих порогових концентрацій.

Бібліографія

1. Тараріко Ю.О. Формування сталих агроекосистем: теорія і практика / Київ: Аграрна наука, 2005. 508 с.
2. Guidelines on efficacy data for the registration of pesticides for plant protection // Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy: FAO, .2006. 61 p.

3. International Code of Conduct on Pesticide Management Annotated list of Guidelines for the implementation of the International Code of Conduct on Pesticide Management // Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy: FAO, 2014. 12 p.
4. Реєстраційні випробування фунгіцидів у сільському господарстві / С.В. Ретьман та ін. Київ: Колоб'їг, 2013. 296 с.
5. Siebert S., Doll P. Quantifying blue and green virtual water contents in global crop production as well as potential production losses without irrigation // *J. Hydrol.* 2010. 384. P. 198–217.
6. Troy T.J, Kipgen C., Pal I. The impact of climate extremes and irrigation on US crop yields *Environ. Res. Lett.* // 2015. 10 p.
7. Угрюмов А.В., Лапшин Л.В., Кушхов Х.М. Внесение гербицидов с поливной водой // *Гидротехника и мелиорация.* 1984. № 4. С. 49–51.
8. Оптимізація систем захисту сільськогосподарських культур за краплинного зрошення / Мельничук Ф.С. та ін. // *Матеріали ІІ науково-практичної конференції «Краплинне зрошення як основна складова інтенсивних агротехнологій ХХІ століття» (Київ, 4 грудня 2014 р.)*, К.: Інститут водних проблем і меліорації НААН : тези доп. Київ, 2014. С. 91–92.
9. ДСТУ 7937:2015 Зрошення. Внесення добрив з поливною водою в системах мікрозрошення. Загальні вимоги. Київ: Держспоживстандарт України, 2016. 10 с. (Національний стандарт України).
10. National Research Council. *A New Era for Irrigation.* Washington, DC: The National Academies Press. 1996. <https://doi.org/10.17226/5145>.
11. *Методы почвенной микробиологии и биохимии.* Звягинцев, Д.Г. ред. М.: Издат МГУ, 1980. 223 с.
12. Биотестовый анализ – интегральный метод оценки качества объектов окружающей среды: учебно-методическое пособие / А.Г. Бубнов [и др.]; под. общ. ред. В.И. Гриневича; ГОУ ВПО Иван. гос. хим.-технол. ун-т. Иваново, 2007.
13. Бельский М.Л. *Элементы количественной оценки фармакологического эффекта.* 2-е изд., перераб. и доп. Ленинград: Медгиз. 1963. 146 с.

References

1. Tarariko, Yu.O. (2005). *Formuvannya stalih agroekosistem: teoriya i praktika* [Formation of sustainable agroecosystems: theory and practice]. Kyiv: Agrarna nauka. [in Ukrainian].
2. Guidelines on efficacy data for the registration of pesticides for plant protection. (2006). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Italy: FAO.
3. International Code of Conduct on Pesticide Management Annotated list of Guidelines for the implementation of the International Code of Conduct on Pesticide Management. (2014). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Italy: FAO.
4. Retman, S.V. (2013). *Reyestracijni viprobuvannya fungicidiv u silskomu gospodarstvi* [Registration tests of fungicides in agriculture]. Kyiv: Kolobig. [in Ukrainian].
5. Siebert, S., & Doell, P. (2010). Quantifying Blue and Green Virtual Water Contents in Global Crop Production as Well as Potential Production Losses Without Irrigation. *Journal of Hydrology*, 384, 198–217. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.07.031>.
6. Troy, Tara & Kipgen, Chinpihoi & Pal, Indrani. (2015). The impact of climate extremes and irrigation on US crop yields. *Environmental Research Letters*, Vol.10(5), 1–10. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/5/054013>.
7. Ugryumov, A.V., Lapshin, L.V., & Kushhov H.M. (1984). *Vnesenie gerbicidov s polivnoj vodoj* [Application of herbicides with irrigation water]. *Gidrotehnika i melioraciya*, Vol. 4, 49–51. [in Russian].
8. Melnychuk F., Marchenko O., Semenko L., & Retman M. (2014). *Optimizaciya sistem zahistu silskogospodarskih kultur za kraplinnogo zroshennya* [Optimization of agricultural crops protection systems under the drip irrigation]. *Materiali II naukovo-praktichnoyi konferenciyi «Kraplinne zroshennya yak osnovna skladova intensivnih agrotehnologij XXI stolittya.* Kyiv: Institut vodnih problem i melioraciyi NAAN, 91–92. [in Ukrainian].
9. *Zroshennya. Vnesennya dobriv z polivnoyu vodoju v sistemah mikro-zroshennya. Zagalni vimogi* [Irrigation. Application of nutrients with irrigation water in the microirrigation systems]. (2016). DSTU 7937:2015. *Natsionalnyi standart Ukrainy.* Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy. [in Ukrainian].
10. National Research Council. (1996). *A New Era for Irrigation.* Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/5145>.

11. Zvyaginets, D.G. (Ed.). (1980). *Metody pochvennoj mikrobiologii i biohimii* [Methods of soil microbiology and biochemistry]. Moscow: Izdat MGU. [in Russian].

12. Bubnov, A.G., Bujmova, S.A., & Gushin A.A. et al. (2007). *Biotestovyy analiz – integralnyj metod ocenki kachestva obektov okruzhayushej sredy* [Biotest analysis is an integral method for assessing the quality of environmental objects]. Ivanovo: GOU VPO Ivan. state chemical technol. university. [in Russian].

13. Belenkij, M.L. (1963). *Elementy kolichestvennoj ocenki farmakologicheskogo effekta* [Elements for quantifying the pharmacological effect]. Leningrad: Medgiz. [in Russian].

**Ф.С. Мельничук, О.А. Марченко, А.П. Шатковский,
Л.М. Мельничук, М.С. Ретьман, А.Н. Ничипорук**

Состояние и перспективы изучения влияния пестицидов

на продукционные процессы растений и экологическую безопасность

Аннотация. Применение средств защиты растений (СЗР) дает возможность улучшить экологическое состояние агроценоза, условия рабочей зоны работающих, повышая при этом продуктивность растениеводства. Представлены способы внесения СЗР с поливной водой и комбинированно и схемы защиты пропашных культур, которые применяются в системах интегрированной защиты сельскохозяйственных культур. Установлено, что одним из весомых недостатков внесения СЗР с поливной водой является ограничение сроков обработок. Разработана комбинированная схема защиты пропашных культур, которая предусматривает профилактическое применение препаратов в сжатые сроки традиционным способом в зависимости от фитосанитарного состояния посевов, что обеспечивает существенную прибавку урожайности по сравнению с другими способами внесения. Доказано, что при различных способах применения химических препаратов эффективность действия СЗР неодинакова против определенных целевых объектов. Поэтому при разработке технологических схем по защите посевов от вредных организмов необходимо досконально изучать фитосанитарную ситуацию в зоне расположения посевов и определять целевые объекты, в отношении которых применяются пестициды. Приведены направления исследований по изучению влияния пестицидов на экосистемы, а именно – оценка экологической безопасности пестицидов для почвенной экосистемы – токсическое действие на грунтовых червей и микроорганизмы, водной экосистемы – токсическое действие на рыб, дафний, водорослей и наземной экосистемы – токсическое действие на птиц и пчел. Отмечено, что одним из методов предотвращения вредного воздействия токсических веществ на нецелевые объекты экосистем является гигиеническое нормирование их применения. Проводилась эколого-токсикологическая оценка пестицидов путем определения их токсичности при однократном введении в остром эксперименте, которая позволила выяснить видовую восприимчивость живого организма к химическому реагенту. Для расчета токсичности при анализе действия различных препаратов использовали метод пробит-анализа, который является наиболее точным в настоящее время. Определяли влияние агрохимикатов на структурно-функциональные изменения микробного ценоза почвы по количественному анализу агрономически ценных эколого-трофических и таксономических групп микроорганизмов, оценке интенсивности дыхания почвы по количеству выделенного углекислого газа. Проанализированы тенденции фундаментальных исследований в области водного хозяйства и мелиорации с целью совершенствования современных подходов к выращиванию растений.

Ключевые слова: пестициды, эффективность воздействия, вредные организмы, способы внесения пестицидов, нецелевые объекты, экологическая безопасность.

**F.S. Melnychuk, O.A. Marchenko, A.P. Shatkovskiy,
L.M. Melnychuk, M.S. Retman, O.M. Nichiporuk**

Status and aspects of studying the pesticides influence on plants productive processes and environmental safety

Abstract. The application of plant protection products makes it possible to improve the ecological condition of agrocenosis, the conditions of the working area, while increasing crop productivity. Application methods of plant protection reagents with irrigation water and combined protection schemes for row crops, which are used in integrated crop protection systems, are presented. It has been established that one of the significant disadvantage of plants protection reagents' application with irrigation water is the limitation of the treatment time. The developed combined scheme for the row crops protection provides for the prophylactic treatment of pesticide in a short time by the traditional way, depending on the phytosanitary condition of the crops, which provides a significant increase of yield compared to other methods of application. It has also been proven that effectiveness of plant protection reagents is not the same against certain targets upon application different methods of pesticides treatment. It has also been proven that, the effectiveness of plant protection reagents is not the same against certain targets under the various methods of their

application. Therefore, it is noted that for developing technological schemes for protecting crops against harmful organisms, it is necessary to thoroughly study the phytosanitary situation in the area where crops are located and to determine the targets for which pesticides are applied. The directions of research on the influence of pesticides on ecosystems are given, namely, the environmental safety of pesticides for the soil ecosystem (toxic effects on ground worms and microorganisms), the aquatic ecosystem (toxic effects on fish, daphnia, and algae) and the terrestrial ecosystem (toxic effects on birds and bees). It is noted that one of the methods to prevent the harmful effects of toxic substances on non-target objects of ecosystems is hygienic regulation of their use. Ecological and toxicological assessment of pesticides was carried out by determining their toxicity after a single injection in a sharp experiment, which allows determining the species susceptibility of a living organism to a chemical reagent. Probit' analysis method was used to calculate the toxicity in the analysis of the various drugs effects which is the most exact at the present time. The influence of agrochemicals on the structural and functional changes in the microbial cenosis of the soil was determined by a quantitative analysis of agronomical valuable ecological and trophic and taxonomic groups of microorganisms, by assessing the rate of respiration of the soil by the amount of carbon dioxide released. The tendencies of search and fundamental research in the water management field and land reclamation were analyzed in order to improve modern approaches to plant growing.

Key words: pestigation, effectiveness, harmful organisms, methods of pesticides application, non-target objects, environmental safety.

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg201902-184>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/184>

УДК 699.8; 691.175

ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД ПОЛІМЕРНИМИ ТА ПОЛІМЕРЦЕМЕНТНИМИ КОМПОЗИЦІЙНИМИ МАТЕРІАЛАМИ

О.В. Коваленко, канд. техн. наук

Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна

<https://orcid.org/0000-0002-2047-8859>; e-mail: aleksandr55kovakenko@gmail.com

***Анотація.** У статті розглянуто основні характеристики та рекомендації з технологій підвищення експлуатаційної надійності та довговічності гідротехнічних споруд водогосподарсько-меліоративного комплексу із застосуванням полімерних та полімерцементних композиційних матеріалів. Проаналізовано технологічні напрямки підвищення протифільтраційної здатності облицювань зрощувальних каналів із застосуванням полімерних плівкових екранів та геомембран. Наведено інформацію про започаткування та розвиток досліджень зі створення модифікованих полімерцементних гідротехнічних бетонів з підвищеними фізико-механічними властивостями для будівництва, ремонту та реконструкції гідротехнічних споруд, технологічних заходів з підвищення якості збірних та монолітних залізобетонних конструкцій. Висвітлено результати досліджень з розробки різних конструкцій деформаційних швів, полімерних та бітумно-полімерних герметиків для їхнього улаштування. Узагальнено результати досліджень з розробки нових полімерних та полімерцементних композиційних матеріалів для захисту бетонних конструкцій гідротехнічних споруд від кавітації та спрацювання, створення бетонополімерів, полімербетонів та полімерцементів. Розглянуто питання технологічних основ підвищення ефективності гідроізоляції гідротехнічних споруд, захисту бетону і металу від корозії. Систематизовано результати досліджень з розробки наукових основ та практичних засад ведення ремонтно-відновлювальних робіт на гідротехнічних спорудах водогосподарсько-меліоративного комплексу, захисту їх від фільтрації та аварійних пошкоджень із застосуванням полімерних та полімерцементних композиційних матеріалів. Розглядаються основні напрямки розвитку подальших досліджень в області створення та застосування новітніх технологій підвищення ефективності експлуатації, експлуатаційної надійності та довговічності гідротехнічних споруд водогосподарсько-меліоративного комплексу*

***Ключові слова:** водогосподарсько-меліоративний комплекс, гідротехнічні споруди, експлуатаційна надійність, довговічність, ремонтно-відновлювальні роботи, гідроізоляція, протифільтраційний захист, композиційні матеріали.*

Актуальність теми. Ефективне функціонування водогосподарсько-меліоративних систем значною мірою залежить від експлуатаційної надійності та довговічності гідротехнічних споруд (ГТС). Рівень експлуатаційної надійності споруд є найбільш суттєвим фактором, який впливає на ефективність фондovіддачі водогосподарських і меліоративних систем. Стабільне та довговічне функціонування ГТС забезпечує загальну їх надійність та ефективність роботи. Академік Ц.Є. Мірцхулава розглядає надійність та довговічність споруд як їх безвідмовне функціонування з позиції теорії вірогідності: вірогідність безвідмовної роботи на певному відрізку часу споруди є функція вірогідностей безвідмовної роботи його складових конструктивних елементів за цей же час [1]. Підвищити надійність та довговічність ГТС можливо за рахунок зниження інтенсивності відмов елементів споруд у часі. Такі відмови

виникають як на початковій стадії експлуатації (на цій стадії функціонування споруди проявляються основні дефекти в конструкціях), так і в період спрацювання споруд. Конструктивні елементи ГТС водогосподарсько-меліоративного комплексу з моменту введення в експлуатацію піддаються агресивному впливу оточуючого середовища. Агресивні фактори (гідростатичний тиск води, навперемінне заморожування та відтавання, зволоження та висушування, корозійна дія розчинених у воді солей, динамічна дія льоду та інші) постійно діють на залізобетонні конструкції, поступово руйнуючи їх. Отже, розробка заходів, які направлені на забезпечення високої опірності споруд агресивним факторам оточуючого середовища, є актуальною.

Безвідмовна робота споруд при довготривалій дії на них агресивних факторів оточуючого середовища можлива лише у випадку забезпечення їх захисту (підсилення) ефективними

ізоляційними, антикорозійними, високоміцними, зносо- та кавітаційностійкими композиційними матеріалами [2]. Низка специфічних характеристик полімерних та полімерцементних композиційних матеріалів (висока міцність, корозійна стійкість, морозостійкість, адгезія до різних основ) дозволяють створювати ефективні технології відновлення функціональної здатності ГТС та підвищувати їх стійкість на майбутнє. Потреба підсилення бетонних та залізобетонних конструкцій ГТС за рахунок їх поєднання або часткової заміни сучасними композиційними матеріалами і конструкціями, зокрема на основі полімерів та полімерцементів, визначається виходячи з умов підвищення захищеності, класності, надійності та довговічності споруд. Ці матеріали повинні стати нормованими на стадії проектування, будівництва, ремонту та реконструкції споруд, у результаті чого їх експлуатаційна надійність та довговічність в умовах дії агресивного середовища буде забезпечена.

Мета досліджень – проаналізувати основні розробки, проведені в Інституті, які направлені на підвищення експлуатаційної надійності та довговічності ГТС водогосподарсько-меліоративного комплексу, узагальнити результати досліджень та накреслити основні напрямки подальших досліджень з даної проблематики.

Результати досліджень. Технологічні основи підвищення експлуатаційної надійності та довговічності ГТС водогосподарсько-меліоративного комплексу з використанням полімерних композиційних матеріалів були закладені проф. І.М. Йолшиним, який вважав, що технічний прогрес у будівництві неможливий без нових технічних рішень, широкого використання нових ефективних будівельних матеріалів, серед яких насамперед потрібно назвати полімерні матеріали [3]. На важливу роль полімерних матеріалів в підвищенні експлуатаційної надійності та довговічності гідроспоруд звертав увагу і В.Б. Резнік [4]. Ним же обґрунтовано термін «оптимальна полімероємність» ГТС як критерій експлуатаційної надійності.

Результати досліджень, проведених в Інституті (І.М. Йолшин, О.Р. Гвенетадзе), розвіяли уявлення, яке було на той час, про низьку надійність та довговічність полімерних матеріалів, а також безперспективність їх застосування для складних умов експлуатації ГТС [5]. Доведена ефективність застосування полімерних плівкових екранів в протифільтраційних конструкціях зрошувальних каналів: з ґрунтовим захисним шаром, моно-

літних бетоно-плівкових облицювань, бетоноплівкового покриття із збірних залізобетонних плит (В.О. Власенко, А.І. Левченко). Результати досліджень стану поліетиленової стабілізованої плівки в облицюваннях на каналах Криму та Одеської області показали, що основна властивість плівки – деформативність – зберігається при знаходженні її під шаром ґрунту або бетону. Дослідження показали, що стабілізована поліетиленова плівка з часом не знижує свої фізико-механічні показники. Такі покриття знайшли широке застосування при будівництві Північно-Кримського каналу, Азовського, Красногвардійського, Каховського та інших каналів. Фільтраційні втрати води з каналів через ґрунто-плівкове облицювання складають не більше 0,5...1 л/добу, через монолітне бетоно-плівкове облицювання – 1...3 л/добу, через збірне бетоно-плівкове облицювання 2...20 л/добу з 1 м² змоченої поверхні (П.А. Сухоруков, С.Н. Ворошнов, Я.В. Шевчук) [6].

Для будівництва облицювань каналів в складних інженерно-геологічних умовах розроблена технологія будівництва гнучких покриттів без захисного шару із застосуванням бутилкаучукової плівки товщиною 0,8 мм [7]. Протифільтраційні бутилкаучукові облицювання можна експлуатувати в різних кліматичних зонах. Вони відрізняються високою ремонтпридатністю, їх вартість – у межах вартості облицювання із монолітного бетону.

Поєднання високих протифільтраційних властивостей полімерних матеріалів з традиційними бетонними сумішами реалізовано в технології відновлення протифільтраційних облицювань зрошувальних каналів з використанням поліетиленових геомембран товщиною 1,0...4,0 мм (В.Д. Крученко, Г.Ф. Мартинюк, Я.В. Шевчук). Технологія призначена для оперативного ремонту застарілих бетонних (залізобетонних) облицювань, які характеризуються високими фільтраційними втратами (більше 200 л/добу з 1 м² змоченої поверхні). До того ж забезпечується високий протифільтраційний ефект (середній коефіцієнт фільтрації такого облицювання становить 10⁻¹⁰...10⁻¹⁴ м/с). Зазначена технологія пройшла виробничу перевірку при відновленні протифільтраційного облицювання на ділянці магістрального каналу Інгулецької зрошувальної системи [8].

У збірних та монолітних бетонних і залізобетонних облицюваннях каналів втрати води на фільтрацію відбуваються найбільше через деформаційні шви, що часто зводять до мінімуму ефект від облаштування

дорогих і трудоміжких облицювань із бетону та залізобетону. Тому актуальним є питання конструювання швів та їх герметизації. Досвід будівництва та експлуатації конструкції швів, які передбачали б їх герметизацію бітумом або бітумними мастиками, вказав на їх недостатню надійність. Через такі шви в результаті відшарування, розтріскування відбуваються значні протікання води. Тому в Інституті були розроблені (І.М. Йолшин, О.Р. Гвенетадзе) вимоги до герметизуючих матеріалів для водогосподарського будівництва та методика випробувань таких герметиків. За основні показники герметизуючих мастик прийняті деформативність (відносна подовження при розриві) та адгезія мастики до бетону. З-поміж інших вимог прийнято положення про здатність герметиків довготривало чинити опір зовнішнім діям у напруженому стані. Такий підхід залишається актуальним і до тепер.

В Інституті виконані дослідження властивостей тіолових, бутилкаучукових та силіконових мастик як матеріалу для герметизації деформаційних швів. Оптимізація рецептурно-технологічних параметрів приготування та застосування тіолових герметиків (Є.В. Чумаков, Ю.М. Гризан) дозволила значно підвищити ефективність експлуатації деформаційних швів [9]. З метою здешевлення герметизуючих матеріалів на основі полімерних мастик розроблено тіолобітумний (В.Я. Вашук, З.С. Сирота) та епоксиретан-бітумний герметики (О.В. Коваленко, Н.Д. Брюзгіна), а також конструкція шва на їх основі [10; 11]. Герметики характеризуються високими показниками деформативності, адгезії до бетону та міцності на розрив. Конструкція епоксиретан-бітумного шва передбачає застосування пороізолу під шаром мастики для зменшення її витрати та покращення умов роботи герметика.

Основою конструкцій ГТС традиційно залишаються «матеріали ХХ століття» – бетон та залізобетон. Позитивні якості цих матеріалів добре відомі. У той же час цементні бетони мають низку недоліків: вони недостатньо пружні, недостатньо міцні на розтяг, мають недостатні показники зносостійкості, кавітаційної стійкості, ударної стійкості та корозійної стійкості. В Інституті проведені дослідження із створення нових видів композиційних матеріалів – П-бетонів, які володіють підвищеними фізико-механічними властивостями. Вони призначені для застосування в технологіях, які направлені на підвищення експлуатаційної надійності та довговічності ГТС. До П-бетонів відносяться

бетонополімери, полімербетони та полімерцементні бетони.

Бетонополімери – бетони, які отримують просоченням цементних бетонів складами, що полімеризуються (мономерами). Результати досліджень показали, що після такого просочення міцність бетону на стиск та на розтяг збільшується в 3...4 рази, модуль пружності – у 1,5 рази, зносостійкість – у 6...8 раз, кавітаційна стійкість – у 5...10 разів, морозостійкість – у 6...10 разів, ударна міцність – у 1,5...3 рази, водонепроникність – у 3...4 рази [12]. Водопоглинання бетону при цьому знижується в 4...5 раз, матеріал стає стійким у водних середовищах із вмістом сульфат-іонів до 60 г/л, стійким до вилуговування. Доведена перспективність застосування бетонополімерів для напірних трубопроводів та захисних облицювань ГТС (В.Я. Вашук, А.І. Левченко, В.П. Долюк), корозійностійких трубофільтрів скважин вертикального дренажу (О.В. Коваленко, А.І. Левченко) [13; 14]. За результатами досліджень бетонополімерні облицювання на площі 800 м² виконано на р. Туполанг в Узбекистані. На півдні України побудовано близько 100 свердловин вертикального дренажу з бетонополімерними фільтрами, які працюють в умовах високої мінералізації ґрунтових вод.

Полімербетони – різновид П-бетону, в'язучим в яких є полімерні смоли, а заповнювачем – неорганічні (мінеральні) матеріали. В Інституті проведено цикл робіт із створення та дослідження полімербетонів як матеріалу для зносо- та кавітаційностійких облицювань ГТС (І.М. Йолшин, В.Б. Резнік, В.П. Корецький, І.І. Слободяник). Результати проведених досліджень показали, що полімербетони володіють підвищеною міцністю, морозостійкістю, зносо- та кавітаційною стійкістю, водонепроникністю, хімічною стійкістю [15]. За розробками Інституту облицювання з монолітного полімербетону площею 1000 м² виконано на Якобазькому гідровузлі в Узбекистані. Збірні полімербетонні плити площею 220 м² застосовано для облицювання на гідровузлі р. Бешарю в Азербайджані площею 650 м²- на водопропускній споруді селища Міраки в Узбекистані. Міцність полімербетону на стиск на даних об'єктах досягла 60...80 МПа.

В Інституті розроблено технологічний процес виробництва труб із дрібнозернистого полімербетону, армованого скловолокном (М.Г. Кисиленко), та базальтополімерних фільтрів для дренажних свердловин (О.О. Дехтяр). Указані конструкції володіють підвищеною

міцністю та корозійною стійкістю в агресивних середовищах. Апробація дослідної партії полімербетонних труб в умовах середовища, яке по корозійній агресивності значно перевищує рівень агресивності середовища водогосподарського будівництва (вміст сульфат-іонів – до 120 г/л, хлор-іонів – до 40 г/л, рН = 2,4, температура 75 °С), показала їх високу надійність та перспективність застосування на водогосподарсько-меліоративних об'єктах [16].

Одним із різновидів П-бетонів є полімерцементний бетон, утворений цементним в'язучим, органічним полімером та мінеральним заповнювачем. Порівняно зі звичайним цементним бетоном залежно від виду полімерної добавки ці бетони володіють підвищеною міцністю на розтяг і вигин, високою водонепроникністю, тріщиностійкістю, зносостійкістю, підвищеною адгезійною міцністю до багатьох будівельних матеріалів, а також корозійною стійкістю. На можливість застосування полімерцементних бетонів у водогосподарському будівництві вказував І.М. Йолшин [15]. Ним же окреслено основні області застосування полімерцементних бетонів і розчинів: при улаштуванні покриттів або облицювань напірних граней гребель та інших конструкцій ГТС, де від матеріалу вимагається висока водонепроникність, зносостійкість, наприклад при улаштуванні облицювань гідроспоруд на гірських річках, н і для зароблення тріщин та відновлення пошкоджених ділянок в бетонних та залізобетонних облицюваннях каналів, для гідроізоляції підземних частин гідроспоруд, при улаштуванні робочих швів в бетонних та залізобетонних конструкціях. Полімерцементні бетони, отримані модифікацією цементного бетону полімерними латексами, застосовано як стійкі проти зносу і кавітації при омонолічуванні збірних залізобетонних елементів, зокрема плит облицювання каналів, а також у технологіях ремонтно-відновлювальних робіт на водозаборі р. Башарю в Азербайджані та на зрошувальних каналах на півдні України.

В Інституті обґрунтовано застосування полімерцементного бетону в комплексі з інгібіторами корозії сталі та кремнійорганічними сполуками для підвищення корозійної стійкості залізобетонних труб зі сталним сердечником (Л.М. Зголіч, В.Т. Караєв) [17]. Застосування полімерцементного інгібірованого бетону для зовнішнього захисного шару труб дозволило підвищити їх стійкість в умовах високої сульфатно-хлоридної мінералізації ґрунтів.

Дослідно-промислова апробація таких труб проведена на Ірклівській зрошувальній системі в Черкаській області. У розвиток досліджень за даною тематикою було створено нові види композиційного матеріалу – дрібнозернистий полімерцементний фібробетон (О.В. Коваленко, О.Ю. Сакара) [18] та самоущільнювальний полімерцементний фібробетон (О.В. Коваленко, О.Ю. Юзюк) [19]. Ці матеріали отримані шляхом модифікації цементного бетону полімерними латексами та поліпропіленовою фіброю в комплексі з полікарбоксилатним суперпластифікатором та активною мінеральною добавкою (мікрокремнезем, метакаолін). У розроблених композитах цементна матриця армована сіткою полімеру та полімерними волокнами, що дозволило значно покращити міцність бетону на згин та розтяг, тріщиностійкість, ударну та адгезійну міцність. Дрібнозернистий полімерцементний фібробетон призначений для конструкційного ремонту залізобетонних конструкцій ГТС, які втратили геометричну форму та несучу здатність. Самоущільнювальний полімерцементний фібробетон поєднує високу рухомість бетонної суміші (не потребує віброущільнення) та високі фізико-механічні властивості. Матеріал перспективний для бетонування конструкцій складної конфігурації, густоармованих конструкцій та таких, які розміщені у віддалених та важкодоступних місцях.

Для створення нормальних умов твердіння бетону в конструкціях його зволожують. Постійно підтримувати вологий режим твердіння бетону шляхом поливу або застосуванням вологоутримуючих покривів (пісок, мішковина) трудоємко і дорого. В Інституті розроблена технологія безволого догляду за монолітним бетоном із застосуванням полімерних плівкоутворюючих речовин (І.М. Йолшин, В.О. Власенко) [20]. Плівкоутворюючі склади наносять методом набризку на свіжеукладений бетон через 20 хв. після завершення бетонування. Покриття бетону плівкоутворюючими складами (стирол-бутадієновий латекс, лаки на основі полімерних смол) виключає пошкодження свіжеукладеного бетону, а роботи по нанесенню покриття можуть бути повністю механізовані. Цей метод застосовувався на будівництві зрошувальних каналів з монолітним бетонним облицюванням Північнокримської, Білгородської, Татарбунарської, Каховської зрошувальних систем України, зрошувальних систем Голодного і Каршинського Степу в Узбекистані, а також на сучасному етапі при проведенні ремонтно-відновлювальних

робіт на ГТС ряду об'єктів Держводагентства України.

У процесі довготривалої експлуатації конструкції ГТС водогосподарсько-меліоративного комплексу під дією агресивних факторів зовнішнього середовища зазнали різного роду пошкоджень і потребують проведення ремонтно-відновлювальних робіт. В Інституті розроблені наукові основи та практичні засади ведення ремонтно-відновлювальних робіт (РВР) на бетонних та залізобетонних ГТС. Ремонтно-відновлювальні роботи пропонується розглядати не як подію, пов'язану з хаотичним усуненням дрібних та крупних пошкоджень, які кваліфікуються як випадкові та аварійні, а як систему заходів, що базується на науково-обґрунтованих методах визначення умов виникнення пошкоджень, системного аналізу причин їх виникнення, призначення методів їх усунення та профілактики на майбутнє (В.Б. Резнік). Здатністю споруд ефективно піддаватися профілактиці в часі є ремонтпридатність, яка забезпечує критерій надійності – ймовірність безвідмовної роботи. Підхід до створення такої системи повинен базуватися на вимогах до технологій та засобів механізації по забезпеченню оперативного усунення пошкодження, ймовірність якого досить висока. Аналіз частоти утворення однотипних пошкоджень ГТС дозволив класифікувати їх, сформулювати основні вимоги до основних технологічних систем ремонту, засобів їх реалізації та основні вимоги до ремонтних матеріалів. Ключова роль у системі РВР на ГТС відводиться полімерним та полімерцементним композиційним матеріалам. Застосування вказаних матеріалів дозволяє усувати практично всі види пошкоджень, які характерні для бетонних та залізобетонних ГТС: руйнування бетону водопропускних споруд унаслідок кавітації або гідроабразивного зносу; корозійні ураження, обумовлені контактом з агресивною водою або фільтрацією води; руйнування бетону надводних частин унаслідок поперемінного заморожування/відтавання, а також дії сонячної радіації; руйнування бетону в зоні перемінного рівня води унаслідок поперемінного заморожування/відтавання; механічні пошкодження (відколи кутів елементів, роздроблення в окремих зонах, вибоїни і т.п.); розкриття швів унаслідок температурних дій, просідання основ, землетрусу та інші; тріщини, які обумовлені силовими навантаженнями або температурними діями та орієнтовані вздовж та поперек осі споруди; тріщини, обумовлені усадкою

або реакцією лугів цементу із заповнювачами, які містять активний кремнезем; деструктивні зміни унаслідок корозії арматури (тріщини в захисному шарі вздовж стержнів арматури, відшарування захисного шару); втрата захисних властивостей по відношенню до арматури (карбонізація на всю товщину захисного шару, вилугування).

Різноманітність та різний ступінь пошкоджень бетону ГТС обумовили необхідність розробки комплексу технологічних процесів ведення ремонтно-відновлювальних робіт за різними технологічними напрямками (В.Б. Резнік, О.Р. Гвенетадзе, В.О. Власенко, Є.В. Чумаков, О.В. Коваленко, А.Б. Шаршунов, О.О. Дехтяр, Н.Д. Брюзгіна, С.М. Дмитерко, Ю.А. Вітковський, Л.М. Бурцев). Для реалізації обґрунтованої системи ремонту на ГТС в Інституті було створено агрегат ремонтно-відновлювальних робіт (АРВР), який забезпечує механізоване виконання комплексу технологій ремонту із застосуванням полімерних та полімерцементних композиційних матеріалів: усунення локальних структурних пошкоджень конструкцій методом напірної ін'єкції полімерних композицій; ремонт конструкцій, які отримали пошкодження у вигляді тріщин (включаючи ремонт стиків та деформаційних швів); відновлення захисного шару в конструкціях торкрет-бетоном, торкрет-полімерцементом, торкрет-полімербетоном; підсилення залізобетонних конструкцій методом поверхневого просочування малов'язкими мономерами; ремонт гідроізоляційних та антикорозійних покриттів (включаючи сталеві конструкції споруд); ремонт окремих ділянок бетонуванням дрібнозернистим цементним бетоном із забезпеченням безвологого догляду за ним полімерними латексами.

Технологія поверхневого просочування композиціями, що полімеризуються, може слугувати додатковим або вторинним захистом бетону ГТС. Поверхнєве просочування бетону на глибину від 15 до 35 мм композиціями, які здатні полімеризуватися під дією різних ініціаторів полімеризації та каталітичних систем, застосовують для підвищення стійкості до стирання бетону, зміцнення його верхнього шару та підвищення морозостійкості, а також для захисту конструкцій від впливів агресивних середовищ, біологічних факторів і атмосферних втручань. Просочувальні матеріали це рідкі композиції, які частково або повністю заповнюють мікротріщини, капіляри і пори в бетоні з наступним їх перетворенням у тілі бетону (полімеризацією)

у твердий високомолекулярний продукт (полімер). Таке просочування дозволяє значно зменшити пористість бетону та підвищити його фізико-механічні показники. Для реалізації технології поверхневого просочування композиціями, що полімеризуються, на ГТС розроблено стирол-ізоціанатні, стирол-олігоефіракрилатні, стирол-полістирольні композиції та способи відновлення конструкцій ГТС з їх застосуванням (О.В. Коваленко, Ю.А. Вітковський) [21; 22].

Технологія напірної ін'єкції – нагнітання в дефекти бетону під тиском полімерних клеїв – розроблена для ліквідації локальних структурних пошкоджень у бетоні з підвищеною пористістю розміром більше 500...1000 мкм та окремих розгалужених тріщин у щільному бетоні. Для реалізації технології напірного ін'єктування розроблено фурано-епоксидні композиції (І.М. Йолшин, І.І. Слободяник), силікат-ізоціанатні та епоксид-ізоціанатні композиції (О.В. Коваленко, А.Б. Шаршунов) [23; 24] та розроблено способи укріплення і захисту будівельних конструкцій методом ін'єктування із застосуванням епоксидних та поліуретанових композицій (О.В. Коваленко, В.Д. Крученюк) [25; 26].

При активних фільтраціях великих об'ємів води розроблена технологія напірного ін'єктування з використанням гідроактивних поліуретанів [27; 28]. Залежно від геометричних розмірів, структури пошкоджень, інтенсивності фільтрації призначають вид ін'єкційного матеріалу. Поліуретанові композиції містять сполуки з кінцевими ізоціанатними (NCO) групами, які визначають їх водореакційну здатність. У процесі ін'єктування NCO-групи активно зв'язують воду, яка знаходиться в тріщинах, порах, порожнинах та дефектах бетону з утворенням міцних і водостійких структур. При цьому в умовах контакту з водою пор бетону зв'язування призводить до пониження тиску в порожнинах, що своєю чергою сприяє заповненню цих порожнин ін'єкційною композицією. На реакції ізоціанатних груп з водою базується застосування поліуретанових композицій для ліквідації активних протікань води через конструкції гідротехнічних споруд.

1. В Інституті розроблено робочі проекти з ін'єкційної гідроізоляції докових частин Бортницької, Ірпінської, Трубізької насосних станцій та насосної станції Конча-Заспа-Плюти Дніпровського басейнового управління водних ресурсів (О.В. Коваленко, Н.Д. Брюзгіна, О.О. Дехтяр.). Проектами

передбачено ін'єктування поліуретанових смол для виконання таких робіт: усунення протікань через деформаційні шви бетонування, а також через усадочні та конструктивні тріщини; усунення протікань у зонах примикань «стіна-підлога», «стіна-стеля»; герметизація протікань через місця вводу інженерних комунікацій (трубопроводів); улаштування відсічної та вуальної гідроізоляції в залізобетонних стінах (нагнітання смол у стіну). Згідно з розробленими проектами були виконані РВР, у результаті яких було повністю відновлено водонепроникність докових частин насосних станцій.

Для усунення пошкоджень у вигляді активних тріщин розроблена технологія їх омонолічування еластомерними герметиками, яка передбачає попередню розробку тріщини у вигляді П-образного пазу, спеціальну підготовку поверхонь у зоні контакту бетон-герметик та внесення герметика в зону дефекту (В.Б. Резнік, О.Р. Гвенетадзе) [2]. Геометрія розробки пазу та стан адгезійного контакту герметик-бетон забезпечують рівномірний по розрізу потенціал напруг, що точно дотримується при рівності адгезійних та когезійних напруг.

У процесі ремонту бетонних конструкцій з пошкодженнями у вигляді пасивних тріщин для омонолічування рекомендується застосовувати полімерні ремонтні композиції (ПРК) на основі епоксидних, фурано-епоксидних, поліуретанових смол з відповідними затверджувачами (І.М. Йолшин, В.Б. Резнік, І.І. Слободяник, Р.М. Окопова, В.О. Власенко). Вибір складу ПРК залежить від ширини ремонтного пазу та кута нахилу поверхні, що ремонтується. Із збільшенням цих показників необхідно застосовувати більш високий ступінь їх наповнення мінеральним наповнювачем.

Полімерні дрібнозернисті бетони та розчини рекомендовано застосовувати в ремонтних роботах на ГТС в технологіях омонолічування конструкцій, які отримали пошкодження у вигляді вибоїн, сколів та інших видів втрати геометричної форми та монолітності конструкцій. Як в'язуче для таких композицій запропонована смола ФАЕД-15 з поверхнево-активною добавкою (І.М. Йолшин, Р.М. Окопова, І.І. Слободяник) [29]. Наповнювачем для ремонтних композицій рекомендована андезитова мука або цемент. Композиції на основі смоли ФАЕД-15 були застосовані в Україні при ремонті тріщин та інших дефектів в бетоні в монолітному облицюванні каналів. Багаторічний досвід

експлуатації облицювань показав повне збереження відремонтованих ділянок.

За даними Л.М. Зголїч та Р. Мустафаєва композиції на основі полімерцементів володіють підвищеною ударною міцністю, стійкістю до стирання, міцністю на розтяг і згин, корозійною стійкістю, тріщиностійкістю [30]. Підвищені адгезійні властивості полімерцементних композицій – одна з основних переваг цього матеріалу (І.М. Йолшин). У зв'язку з високою адгезією полімерцементних композицій (бетонів, розчинів) до звичайних бетонів вони досить перспективні для зароблення тріщин та відновлення пошкоджених ділянок в бетонних та залізобетонних облицюваннях каналів, лотках та інших спорудах замість більш дорогих полімерних композицій.

Для відновлення конструкцій, які під впливом агресивного навколишнього середовища в процесі експлуатації втратили свої проектні показники і несучу здатність, розроблено технологію конструкційного ремонту із застосуванням полімерцементних сухих будівельних сумішей (ПСБС) (О.В. Коваленко, А.О. Агеєв) [31]. ПСБС становить собою суміш портландцементу, піску та модифікуючих добавок: редиспергуючого полімерного порошку, порошкового полікарбоксилатного суперпластифікатора, мікрокремнезему та поліпропіленової фібри [32]. Крім того, розроблено ряд полімерцементних розчинів та фібробетонних сумішей для відновлення та захисту ГТС, які отримують модифікацією звичайних цементних розчинів водними суспензіями латексів [33; 34]. Виконано комплекс досліджень для оцінки технічних властивостей матеріалу та визначено області його застосування. Оптимізовано рецептури та розроблено систему ремонтних матеріалів на основі ПСБС, яка складається з адгезійного праймеру та ремонтної композиції.

Результати проведених досліджень показали, що за своїми фізико-механічними показниками розроблені в Інституті ремонтні суміші не поступаються кращим світовим зразкам, а вартість їх у 2,5 рази менша за зарубіжні аналоги. Розроблена технологія використання при конструкційному ремонті бетонних плит облицювання аванкамери та ліквідації фільтрації води в докову частину Кочурської насосної станції МУВГ, а також на об'єктах меліоративного комплексу в Черкаській, Кіровоградській, Полтавській, Херсонській, Луганській та Одеських областях. Розроблені технологічні прийоми ведення РВР на основі ПСБС були використані при розробці робочих проектів «Капітальний ремонт

мосту греблі Смілянського водосховища на р. Тясмин в м. Сміла Черкаської області» та «Оцінка технічного стану та паспортизація ГТС Кіровоградського водосховища. Обґрунтування технологій ремонтно-відновлювальних робіт Кіровоградського водосховища м. Кіровоград» (І.В. Войтович, О.В. Коваленко, Я.В. Шевчук, Г.Ф. Мартинюк, О.М. Козицький).

Конструкції із цементного бетону та залізобетону, з яких побудовані ГТС, у деяких випадках потребують улаштування спеціальних захисних гідроізоляційних покриттів для запобігання їх руйнування при впливі агресивного водного середовища. Тому у розв'язанні проблем підвищення експлуатаційної надійності та довговічності споруд питанням гідроізоляції, захисту бетону і металу від корозії надається особливе значення. При незначній вартості гідроізоляційних покриттів по відношенню до вартості споруд доля їх відповідальності в частині забезпечення довговічності та експлуатаційної надійності споруд достатньо висока (В.Б. Резнік). Гідроізоляційні покриття служать бар'єром для агресивного середовища і, таким чином, захищають споруди від руйнування. Для цих цілей запропоновано низку композиційних матеріалів: бітумно-полімерних, епоксидних, фурано-епоксидних, поліуретанових, композицій на основі відходів виробництва полістиролу, полісульфідних каучуків (В.Я. Ващук, В.П. Долук, В.О. Власенко, Е.І. Некрасова, І.І. Слободяник, Р.М. Окопова, О.В. Коваленко) [35]. Ці матеріали було впроваджено на зрошувальних системах України. Підвищена водонепроникність, адгезійна міцність, тріщиностійкість та корозійна стійкість полімерцементних композицій зумовили успішне їх застосування в якості захисних покриттів. В Інституті розроблено полімерцементні сухі будівельні суміші для ремонтних гідроізолюючих розчинів (О.В. Коваленко, В.Д. Крученко, А.О. Агеєв) та способи ремонту та захисту конструкцій з їх застосуванням [36]. Досліджено та вдосконалено технологічні параметри приготування ремонтно-гідроізолюючих полімерцементних сумішей, підготовки поверхні, нанесення системи матеріалів та догляду за відновленою поверхнею зазізобетонних ГТС.

Розробка та реалізація технічних рішень, які підвищують експлуатаційну надійність та довговічність ГТС ВМК при зниженні їх матеріалоемкості залишається одним із важливих напрямків діяльності Інституту. Необхідність різкого підвищення ефективності

та модернізації різних ГТС особливо актуальна зараз, коли після довготривалої експлуатації під дією агресивних факторів зовнішнього середовища вони втрачають свої проектні показники. Стратегія відновлення та розвитку зрошення в Україні, яка розроблена в Інституті, передбачає досягнення високих техніко-економічних показників ГТС водогосподарсько-меліоративного призначення з урахуванням умови підвищення класності споруд з тенденціями удосконалення (модернізації) споруд на стадії їх проектування, будівництва чи реконструкції. Підвищення експлуатаційної надійності споруд повинно проводитись в рамках сучасних вимог у частині підвищення їх пропускної здатності, водонепроникності та монолітності.

Описані в роботі полімерні та полімерцементні композиційні матеріали, технології їх застосування при будівництві, ремонті та реконструкції ГТС водогосподарсько-меліоративного призначення забезпечують підвищення експлуатаційної надійності та довговічності, однак не вичерпують найбільш сучасні технічні рішення. Сучасний розвиток виробництва хімічної продукції, в тому числі полімерних матеріалів, ставить перед нами нові задачі по використанню досягнень хімії. Прикладом може служити вирішення питання створення високоефективних протифільтраційних облицювань на зрошувальних каналах та водоймах, де зараз уже неможливо без застосування полімерних матеріалів. Однак створення ефективних конструкцій облицювань із застосуванням геосинтетичних матеріалів у вигляді геомембран, геотекстилей, геосіток, геоматів, геокомпозитів потребує подальших досліджень. Актуальною залишається розробка технології облицювання каналів у випадку їх повного або часткового заповнення водою. У цьому випадку необхідна розробка та оптимізація протифільтраційного покриття, яке складається з полотен геомембрани, захисного шару геотекстилю та шару швидкотвердіючого бетону. Проблемою залишається створення міцних мембран, які могли б функціонувати у відкритому вигляді, без будь-якого покриття (товсті текстуровані плівки).

Питання герметизації швів в бетонних та залізобетонних облицюваннях зрошувальних каналів також потребує подальших досліджень. Аналіз досвіду експлуатації зрошувальних систем, застосування та апробація різних матеріалів для герметизації показали, що мастичні еластомерні герметики на полімерній основі дають позитивні результати. Однак на сучасному етапі ці технічні розробки дещо застаріли, не дають відповіді на питання

в яких умовах застосовувати ті чи інші герметики з чітким формулюванням вимог до них, їх широке застосування стримується високою вартістю матеріалу. Крім того, герметизація мастичними герметиками дає можливість проводити тільки поверхневу обробку швів. Тому потрібні дослідження з розробки нових технологій гідроізоляційної герметизації швів, наприклад із застосуванням гідрофільних набухаючих полімерних профілей, інжектошнурів із подальшим їх ін'єктуванням полімерними композиціями і т.п.

Складно вирішується питання улаштування гідроізоляційних та антикорозійних покриттів по бетону. Добре вивчені натеппер та позитивно зарекомендували себе наповнені композиції на основі епоксидних та модифікованих епоксидних смол. Удосконалення технології гідроізоляції повинно бути направлено на пошук більш дешевих та недефіцитних композиційних матеріалів, а також матеріалів, які здатні утворювати міцні адгезійні зв'язки в умовах вологого та водонасиченого бетону. Найбільш перспективними, на наш погляд, для цих цілей є полімерцементні гідроізоляційні суміші. Можливість їх застосування для захисту ГТС потребує додаткового вивчення.

Актуальним залишається питання створення та широкого застосування високоефективних бетонів нового покоління для водогосподарсько-меліоративного будівництва. Як показують результати досліджень можливість зміни основних фізико-механічних властивостей бетону в сторону збільшення наукою повністю не реалізована. На часі розробка багатокомпонентних модифікованих гідротехнічних бетонів та заміщення ними звичайних традиційних бетонів. У таких бетонах використовуються як індивідуальні хімічні модифікатори, які покращують легкоукладальність бетонних сумішей та підвищують фізико-механічні показники бетону, так і комплексні добавки, які часто включають до декількох десятків хімічних добавок різного функціонального призначення. Залежно від рецептури можна отримувати модифіковані бетони для різних умов експлуатації.

Одним із невирішених питань є визначення раціональних областей застосування П-бетонів у водогосподарсько-меліоративному будівництві. Висока вартість полімербетонів та бетонополімерів, а в деякій мірі складність технології виготовлення, стримують їх широкомасштабне впровадження у гідромеліоративне будівництво. Однак високі фізико-механічні показники вказаних матеріалів дозволяють прогнозувати

можливість їх застосування для локального ремонту та відновлення конструкцій ГТС, які експлуатуються в складних умовах: як матеріал для захисних покриттів від корозії, зносу та кавітаційної ерозії. Потрібна розробка та оптимізація рецептури полімербетонних композицій, направлена на їх здешевлення та з урахуванням діючих агресивних факторів зовнішнього середовища.

Бетонополімерна технологія відрізняється певною складністю та багатостадійністю. Вона потребує глибокого висушування бетону, його вакуумування, просочення та термокаталітичної полімеризації. Крім того, більшість просочувальних складів відрізняються токсичністю. Тому необхідне удосконалення даної технології в напрямку зменшення кількості технологічних операцій за рахунок застосування просочувальних складів, які здатні глибоко проникати в структуру бетону, утворювати міцні адгезійні зв'язки з вологим бетоном та полімеризуватися при звичайних температурах.

Одним із перспективних напрямків досліджень залишається розробка полімерцементних композиційних матеріалів для гідромеліоративного будівництва. З появою на будівельному ринку редиспергуючих полімерних порошоків (порошкових полімерних латексів) різної хімічної природи з'явилась можливість створення полімерцементних сумішей різного призначення: для отримання бетонів підвищеної водонепроникності, проникаючої гідроізоляції, ін'єкційної гідроізоляції, обмазувальних та штукатурних гідроізоляційних покриттів, швидкотвердіючих тампонажних розчинів, ремонтних розчинів. Таке різноманіття сфер застосування полімерцементних композицій можливе шляхом сполучення полімерних латексів з новими високоефективними суперпластифікаторами на карбоксилатній, поліакрилової та вінілсополімерній основі, а також з активними мінеральними добавками в комплексі з дисперсним армуванням полімерним та вуглецевим волокном.

Ін'єкційна гідроізоляція із застосуванням гідроактивних поліуретанів – ефективний метод зупинки протікань різної інтенсивності через конструкції ГТС та відновлення їх водонепроникності. Проблема полягає у виборі матеріалів з регульованою швидкістю піноутворення та регульованою еластичністю залежно від інтенсивності фільтрації (крапельна чи струменева) та визначення основних сфер їх застосування (зони з прямою фільтрацією, обводнені шви, стикові сполучення, місця вводу інженерних комунікацій).

Перспективною буде розробка технології ін'єктування, яка базується на застосуванні матеріалів, що спінуються, в комплексі з матеріалами, які не змінюються в об'ємі після затвердіння для запобігання усадки та зміцнення конструкцій.

Не вивченим залишається питання застосування гідрофільних гелей для гідроізоляції швів та тріщин у спорудах з вологим режимом експлуатації. У затверділому стані вони становлять собою еластичні полімери, а при наявності води збільшуються в об'ємі.

Відновлення несучої здатності конструкцій ГТС є однією з актуальних проблем на сучасному етапі. Для вирішення даної проблеми перспективно є розробка комплексної технології відновлення конструкцій, яка включала б ін'єктування епоксидними ін'єкційними смолами та підсилення вуглепластиковими пластинами. Дана технологія дозволила б, з одного боку, ефективно заповнити волосні тріщини та дрібні пори бетону і, таким чином, відновити його монолітність, а з іншого – значно підсилити несучу здатність конструкцій.

Висновки. Розробка та реалізація технічних рішень, які підвищують експлуатаційну надійність та довговічність ГТС водогосподарсько-меліоративного призначення при зниженні їх матеріало- та металоємкості, є одним із головних напрямків наукових досліджень в області будівництва, ремонту та реконструкції водогосподарсько-меліоративних систем. Досягнення високих техніко-економічних показників ГТС з урахуванням активного впливу на них агресивних факторів зовнішнього середовища можливо лише при науково-обґрунтованому сполученні бетонних та залізобетонних конструкцій з полімерними та полімерцементними композиційними матеріалами. Найбільший ступінь надійності будуть мати споруди, які забезпечені захистом від руйнувань, корозії та фільтрації новітніми високоефективними композиційними матеріалами. Оптимізація технічних рішень з підвищення експлуатаційної надійності та довговічності ГТС можлива лише за умови всебічного вивчення властивостей сучасних композиційних матеріалів, визначення їх відповідності вимогам водогосподарсько-меліоративного будівництва з урахуванням екстремальних експлуатаційних умов, створення на їх базі нових ефективних технологій, які дозволяють відновлювати та зберігати на майбутнє необхідні експлуатаційні показники споруд. Поряд із розширенням масштабів застосування полімерних та полімерцементних композиційних

матеріалів, вишукування нових різновидів полімерних добавок та отримання достовірних даних про довговічність цих матеріалів в різних умовах експлуатації межі їх застосу-

вання будуть розширюватися і слід очікувати, що ГТС водогосподарсько-меліоративного призначення немислимі без полімерної та полімерцементної складової.

Бібліографія

1. Мирцхулава Ц.Е. Надежность гидромелиоративных сооружений. Москва: Колос, 1974. 279 с.
2. Резник В.Б. Новые материалы и конструкции на основе полимеров в водохозяйственном строительстве. Киев: Будівельник, 1987. 173 с.
3. Елшин И.М. Полимерные материалы в ирригационном строительстве. Москва: Колос, 1974. 191 с.
4. Резник В.Б. Повышение долговечности и эксплуатационной надежности гидросооружений за счет применения полимерных материалов. Москва: Обзор. информ, 1985. Сер. 5, Вып. 2. 66 с.
5. Елшин И.М., Гвенетадзе А.Р. Бетоно-пленочные композиции для облицовки каналов // Гидротехника и мелиорация. № 9. 1968. С. 71–73.
6. Сухоруков П.А., Ворошнов С.Н., Шевчук Я.В. Эффективность современных противофильтрационных конструкций облицовок оросительных каналов с применением полимерных материалов // Технология и механизация гидроизоляционных работ, промышленных, гражданских и энергетических сооружений. Ленинград: Энергоиздат, 1983. С. 102–103.
7. Гвенетадзе А.Р., Резник В.Б., Левченко А.И. Рациональные конструкции противофильтрационных облицовок для пучинистых и просадочных оснований // Вопросы строительства и эксплуатации мелиоративных систем. Киев, УкрНИИГиМ, 1979. С. 24–28.
8. Мартинюк Г.Ф., Музика О.П., Бойко Г.Я., Савоченко В.В. Технологія відновлення проти-фільтраційних властивостей каналів із використанням геосинтетичних матеріалів // Аграрна наука виробництву, 2016. Вип. 4. С. 26.
9. Чумаков Е.В., Резник В.Б., Гризан Ю.М. // Изв. вузов. Стр-во и архитектура, 1985. № 2. С. 79–82.
10. Полімерна герметизуюча композиція: пат. 38113 Україна. № u 200808454; заявл. 24.06.2008; Опубл. 25.12.2008, Бюл. № 24.
11. Деформаційний шов: пат. 46976 Україна. № u 200907958; заявл. 28.07.2009; Опубл. 11.01.2010. Бюл. № 1.
12. Ващук В.Я., Левченко А.И., Долук В.П. Свойства бетонополимеров и перспективы их применения в гидромелиоративном строительстве // Мелиорация и водное хозяйство. Вып. 75. 1979. С. 53–56
13. Ващук В.Я., Левченко А.И., Долук В.П. Исследования технологии бетонополимеров для напорных труб и защитных облицовок гидротехнических сооружений. В кн.: Перспективы применения бетонополимеров и полимербетон в строительстве. Москва: Стройиздат. 1976. С. 95–96.
14. О.В. Коваленко, А.И. Левченко, В.П. Стеценко, Ф.В. Брага. Бетонополимерные сварные фильтры для высокоминерализованных вод // Гидротехника и мелиорация. 1986. № 10. С. 72–73.
15. Елшин И.М. Полимербетоны в гидротехническом строительстве. Москва: Стройиздат. 1980. 191 с.
16. Reznik V., Kisilenko M., Kovalenko A., Sharshunov A., Strokon D. Efficient repair polymer compositins and technologiesir of their use // International Congress on polymers in concrete. Moscow, 1992. P. 572–578.
17. Зголич Л.М., Караев В.Т. Применение полифункциональных модификаторов для бетона наружного слоя железобетонных напорных труб со стальным сердечником. В кн.: Гидротехнические сооружения на мелиоративных системах. Киев: Сб. науч. тр. УкрНИИГиМ, 1986. С. 25–30.
18. Коваленко О.В. Полімерцементний фібробетон – новий композиційний матеріал для ремонту та реконструкції гідротехнічних споруд // Меліорація і водне господарство. Вип. 99. 2011. С. 311–322.
19. Самоущільнювальна фібробетонна суміш: пат. 124130 Україна. № u 201709466; заявл. 27.09.2017; Опубл. 26.03.2018. Бюл. № 6.
20. Елшин И.М., Власенко В.А. Безвлажностный уход за монолитным бетоном в условиях жаркого климата юга УССР. В сб.: Водное хозяйство. Вып. 6. Киев: Урожай, 1967. С. 53–57.
21. Просочувальна полімерна композиція: пат. 46974 Україна. № u 200907953; заявл. 28.07.2009; Опубл. 11.01.2010. Бюл. № 1.

22. Спосіб захисту та ремонту поверхні залізобетонних конструкцій: пат. 44450 Україна. № u 200902189; заявл. 13.03.2009; Опубл.12.10.2009. Бюл. № 19.
23. Композиция для пропитки фильтрующего бетона: а.с. СССР 1715791. № 4774400/334; заявл. 26.12.1989; Опубл. 29.02.1992. Бюл. № 8.
24. Композиция для пропитки фильтрующего бетона: а.с. СССР 1825768. № 4907251/05; заявл.04.02.1991; Опубл. 07.07.1993. Бюл. № 25.
25. Спосіб захисту та ремонту залізобетонних конструкцій: пат. 76451 Україна. № u 2012057736; заявл. 11.05.2012; Опубл.10.01.2013. Бюл. № 1.
26. Спосіб укріплення і захисту будівельних конструкцій: пат. 76452 Україна. № u 2012057737; заявл. 11.05.2012; Опубл.10.01.2013. Бюл. № 1.
27. Спосіб укріплення та захисту будівельних конструкцій: пат. 130335 Україна. № u 201804688; заявл. 27.04.2018; Опубл.10.12.2013. Бюл. № 23.
28. Спосіб укріплення та захисту будівельних конструкцій: пат. 130336 Україна. № u 2012057737; заявл. 27.04.2018; Опубл.10.12.2018. Бюл. № 23.
29. Окопова Р.М. Опыт ремонта бетонных и железобетонных облицовок мелиоративных систем полимерными материалами. Экспресс информация ЦБНТИ Минводхоза СССР. Серия 5. Вып. 4. Москва. 1976. С. 6-9.
30. Зголич Л.М. Полимерцементные растворы для защитных покрытий цилиндрических труб малых диаметров // Мелиорация и водное хозяйство. Вып. 44. 1978. С. 93–96.
31. Спосіб захисту та ремонту залізобетонних конструкцій: пат. 94287 Україна. № u 201404897; заявл. 07.05.2014; Опубл.10.11.2014. Бюл. № 21.
32. Суха будівельна суміш для ремонту та відновлення споруд: пат. 93583 Україна. № u 201403984; Заявл. 14.04.2014; Опубл. 10.10.2014. Бюл. № 19.
33. Полімерцементний розчин: пат. 76448 Україна. № u 201205732. Заявл. 11.05.2012; Опубл. 10.01.2013. Бюл. № 1.
34. Фібробетонна суміш: пат. 93579 Україна. № u 201403975. Заявл. 14.04.2014; Опубл. 10.10.2014. Бюл. № 19.
35. Шаршунов А.Б., Зголич Л.М., Власенко В.О., Литвиненко П.Є. Будівельні матеріали для підвищення експлуатаційної надійності гідротехнічних споруд // Меліорація і водне господарство. Вип. 90. 2004. С. 237–245.
36. Суха будівельна суміш для ремонтних гідроізолюючих розчинів: пат. 93586 Україна. № u 201403989; заявл.14.04.2014; Опубл. 10.10.2014. Бюл. № 19.

References

1. Myrskhulava, T.E. (1974). Nadezhnost hydromelyorativnykh sooruzheniy [Reliability of irrigation and drainage facilities]. Moskva: Kolos.[in Russian].
2. Rezyk, V.B. (1987). Novue materyalu y konstruktsyy na osnove polymerov v vodokhoziaistvennom ystroitelstve [New materials and designs on the basis of polymers in water management and construction]. Kyev: Budivelnik. [in Russian].
3. Elshyn, Y.M. (1974). Polymernue materyalu v yrryhatyonom stroitelstve. [Polymer materials in irrigation construction]. Moskva: Kolos. [in Russian].
4. Rezyk, V.B. (1985). Povushenye dolhovechnosty y ekspluatatsyonnoi nadezhnosty hydrosooruzheniy za schet pryumeneniya polymernukh materyalov [Increased durability and operational reliability of hydraulic structures through the use of polymeric materials]. (Ser. 5, Vol. 2.) Moskva: Obzor. Ynform. [in Russian].
5. Elshyn, Y.M., & Hvenetadze, A.R. (1968). Betono-plenochnye kompozytsyy dlia oblytsovky kanalov [Concrete film compositions for channel lining]. Hydrotekhnika y melioratsiya, 9, 71–73. [in Ukrainian].
6. Sukhorukov, P.A., Voroshnov, S.N., & Shevchuk Ya.V. (1983). Effektivnost sovremennukh protyvofyltratsyonnykh konstruktsiy oblytsovok orosytelnukh kanalov s pryumeneniyem polymernukh materyalov [Efficiency of modern antifiltration constructions of lining of irrigation canals using polymeric materials]. Tekhnolohiya y mekhanizatsiya hydrozoliatsyonnykh rabot, promyshlennukh hrazhdanskykh y enerhetycheskykh sooruzheniy. Lenynhrad: Enerhoizdat, 102–103. [in Russian].
7. Hvenetadze, A.R., Rezyk, V.B., & Levchenko, A.Y. (1979). Ratsyonalnye konmstruktsyy protyvofyltratsyonnykh oblytsovok dlia puchynystukh y prosadochnukh osnovaniy [Rational designs of impervious linings for heaving and subsiding bases]. Voprosy stroitelstva y ekspluatatsyy meliorativnykh system. Kyev, UkrNYUHyM, 24–28. [in Russian].

8. Martyniuk, H.F., Muzyka, O.P., Boiko, H.Ia., & Savochenko, V.V. (2016). Tekhnolohiia vidnovlennia protyfiltratsiinykh vlastyvoitei kanaliv iz vykorystanniam heosyntetychnykh materialiv [Technology of renewal of the power of the channels from vikristanniam geosynthetic materials]. *Ahrarna nauka vyrobnytstvu*, 4, 26. [in Ukrainian].
9. Chumakov, E.V., Rezyk, V.B., & Hryzan, Yu.M. (1985). Vlyanye osobukh ekspluatatsyonno-tekhnolohycheskykh faktorov na svoistva tyokolovoho hermetyka [Influence of special operational and technological factors on the properties of thiokol sealant]. *Yzv. Vuzov. Str-vo y arkhitektura*, 2, 79–82. [In Ukrainian].
10. Kovalenko, O.V., & Bruzgina, N.D. Polimerna hermetyzuiucha kompozytsiia [Polymer sealing composition]. Patent of Ukraine № 38113. [In Ukrainian].
11. Kovalenko, O.V., & Bruzgina, N.D. Deformatsiinyi shov [Strain seam]. Patent of Ukraine № 46976. [In Ukrainian].
12. Vashchuk, V.Ia., Levchenko, A.Y., & Doliuk, V.P. (1979). Svoistva betonopolymerov y perspektyvu ykh pryomeneniya v hydromelyoratyvnom stroitelstve [Properties of concrete copolymers and prospects for their use in hydro-meliorative construction]. *Melyoratsiya y vodnoe khoziaistvo*. 75. 53–56. [in Russian].
13. Vashchuk, V.I., Levchenko, A.Y., & Doliuk, V.P. (1976). Yssledovaniya tekhnolohyy betonopolymerov dlia napornukh trub y zashchytnukh oblytsovok hidrotekhnicheskyykh sooruzheniy [Research of technology of concrete copolymers for pressure pipes and protective facings of hydraulic structures]. *Perspektyvy pryomeneniya betonopolymerov y polymerbetonov v stroitelstve*, 95–96. [in Russian].
14. Kovalenko, O.V., Levchenko, A.I., Stetsenko, V.P., & Braha, F.V. (1986). Betonopolymernue svarnue fyltru dlia vusokomyneralizovannukh vod [Concrete welded filters for highly mineralized waters]. *Hydrotekhnika y melioratsiya*, 10, 72–73. [In Ukrainian].
15. Elshyn, Y.M. (1980) Polymerbetonu v hidrotekhnicheskoy stroitelstve [Polymer concrete in hydraulic engineering]. Moskva: Stroiyzdat. [in Russian].
16. Reznik, V., Kisilenko, M., Kovalenko, A., Sharshunov, A., & Strokon, D. (1992). Efficient repair polymer composites and technologies of their use. International Congress on polymers in concrete. Moscow, 572–578. [in Russian].
17. Zgholych, L.M., & Karaev, V.T. (1986). Prymenenye polyfunkttsionalnykh modyfikatorov dlia betona naruzhnogo sloia zhelezobetonnykh napornukh trub so stalnum serdechnykom [The use of polyfunctional modifiers for concrete outer layer of reinforced concrete pressure pipes with steel core]. *Sb. Nauch. tr. UkrNYYHyM*, 25–30. [in Russian].
18. Kovalenko, O.V. (2011). Polimertsementnyi fibrobeton – novyi kompozytsiinyi material dlia remontu ta rekonstruktsii hidrotekhnichnykh sporud [Polymer cement concrete is a new composition material for repair and reconstruction of the building machinery structure]. *Melioratsiia i vodne hospodarstvo*, 99, 311–322. [in Ukrainian].
19. Kovalenko, O.V. (2018). Samoushchilniuvalna fibrobetonna sumish [Self-compacting fibrous concrete mixture]. Patent of Ukraine № 124130. [in Ukrainian].
20. Elshyn, Y.M., & Vlasenko V.A. (1967). Bezvlazhnostnui ukhod za monolytnum betonom v usloviakh zharkoho klymata yuha USSR [Humid care of monolithic concrete in a hot climate in the south of the Ukrainian SSR]. *Vodnoe khoziaistvo*, 6, 53–57. [in Russian].
21. Kovalenko, O.V., & Vitkovsky, Yu.A. (2010). Prosochuvalna polimerna kompozytsiia [Immersion polymer composition]. Patent of Ukraine. № 46974. [in Ukrainian].
22. Kovalenko, O.V., & Vitkovsky, Yu.A. (2009). Sposib zakhystu ta remontu poverkhni zalizobetonnykh konstruktsii [Method of protection and repair of the surface of reinforced concrete structures]. Patent of Ukraine. № 44450 Ukraine. [in Ukrainian].
23. Kovalenko, A.V., & Sharshunov, A.B. (1992). Kompozytsiia dlia propytty fyltruiushcheho betona [Composition for filter concrete impregnation]. USSR author's certificate № 1715791. [in Russian].
24. Kovalenko, A.V., & Sharshunov, A.B. (1993). Kompozytsiia dlia propytty fyltruiushcheho betona [Composition for filter concrete impregnation]. USSR author's certificate № 1825768. [in Russian].
25. Kovalenko O.V., Kruchenyuk V.D. (2013). Sposib zakhystu ta remontu zalizobetonnykh konstruktsii [Method of protection and repair of reinforced concrete structures]. Patent of Ukraine. № 76451. [in Ukrainian].
26. Kovalenko O.V., Kruchenyuk V.D. (2013). Sposib ukriplennia i zakhystu budivelnykh konstruktsii [A method of strengthening and protecting building structures]. Patent of Ukraine. № 76452. [in Ukrainian].
27. Kovalenko, O.V. (2018). Sposib ukriplennia ta zakhystu budivelnykh konstruktsii [A method of strengthening and protecting building structures]. Patent of Ukraine № 130335. [in Ukrainian].

28. Kovalenko, O.V. (2018). Sposib ukriplennia ta zakhystu budivelnykh konstruksii [A method of strengthening and protecting building structures]. Patent of Ukraine. № 130336. [in Ukrainian].
29. Okopova, R.M. (1976). Oput remonta betonnykh y zhelezobetonnykh oblytsovok melyorativnykh system polymernymy materyalami [Experience in repairing concrete and reinforced concrete linings of reclamation systems with polymeric materials]. Moskva: Ekspress informatsiia TsBNTY Minvodkhoza SSSR, 4, 6-9. [in Russian].
30. Zgholych, L.M. (1978). Polymertsementnye rastvory dlia zashchytnykh pokrytyi tsylyndrovukh trub malukh dyametrov [Polymer-cement solutions for protective coatings of small diameter cylinder tubes]. Melyoratsiia y vodnoe khoziaistvo, 44, 93–96. [in Russian].
31. Kovalenko, O.V., & Ageev, A.O. (2014). Sposib zakhystu ta remontu zalizobetonnykh konstruksii [Method of protection and repair of reinforced concrete structures]. Patent of Ukraine. № 94287. [in Ukrainian].
32. Kovalenko, O.V., & Ageev, A.O. (2014). Sukha budivelna sumish dlia remontu ta vidnovlennia sporud [Dry building mix for repair and renovation of buildings]. Patent of Ukraine. № 93583 [in Ukrainian].
33. Kovalenko, O.V., & Kruchenyuk V.D. (2013). Polimertsementnyi rozchyn [Polymercement solution]. Patent of Ukraine. № 76448. [in Ukrainian].
34. Kovalenko, O.V., Sakara O.Yu. (2014). Fibrobetonna sumish [Fiber-concrete mixture]. Patent of Ukraine. № 93579. [in Ukrainian].
35. Sharshunov, A.B., Zgholich, L. M., Vlasenko, V.O., & Lytvynenko, P.Ie. (2004). Budivelni materialy dlia pidvyshchennia ekspluatatsiinoi nadiinosti hidrotekhnichnykh sporud. [Building materials for improving the operational reliability of hydraulic structures]. Melioratsiia i vodne hospodarstvo, 90, 237–245. [in Ukrainian].
36. Kovalenko, O.V., & Ageev, A.O. (2014). Sukha budivelna sumish dlia remontnykh hidroizoliuiuchykh rozchyniv. [Dry construction mixture for repair waterproofing solutions]. Patent of Ukraine. № 93586. [In Ukrainian].

А.В. Коваленко

Повышение эксплуатационной надежности гидротехнических сооружений полимерными и полимерцементными композиционными материалами

***Аннотация.** В статье рассмотрены основные характеристики и рекомендации по технологиям повышения эксплуатационной надежности и долговечности гидротехнических сооружений водохозяйственно-мелиоративного комплекса с применением полимерных и полимерцементных композиционных материалов. Проанализированы технологические направления повышения противифльтрационной способности облицовок оросительных каналов с применением полимерных пленочных экранов и геомембран. Приведена информация о начале и развитии исследований по созданию модифицированных полимерцементных гидротехнических бетонов с повышенными физико-механическими свойствами для строительства, ремонта и реконструкции гидротехнических сооружений, технологических мероприятий по повышению качества сборных и монолитных железобетонных конструкций. Представлены результаты исследований по разработке различных конструкций деформационных швов, полимерных и битумно-полимерных герметиков для их устройства. Обобщены результаты исследований по разработке новых полимерных и полимерцементных композиционных материалов для защиты бетонных конструкций гидротехнических сооружений от кавитации и износа, создания бетонополимеров, полимербетонов и полимерцементов. Рассмотрены вопросы технологических основ повышения эффективности гидроизоляции гидротехнических сооружений, защиты бетона и металла от коррозии. Систематизированы результаты исследований по разработке научных и практических основ ведения ремонтно-восстановительных работ на гидротехнических сооружениях водохозяйственно-мелиоративного комплекса, защиты их от фильтрации и аварийных повреждений с применением полимерных и полимерцементных композиционных материалов. Рассматриваются основные направления развития дальнейших исследований в области создания и применения новейших технологий повышения эффективности эксплуатации, эксплуатационной надежности и долговечности гидротехнических сооружений водохозяйственно-мелиоративного комплекса*

***Ключевые слова:** водохозяйственно-мелиоративный комплекс, гидротехнические сооружения, эксплуатационная надежность, долговечность, ремонтно-восстановительные работы, гидроизоляция, противифльтрационная защита, композиционные материалы.*

O.V. Kovalenko

**Improving the operational reliability of hydraulic facilities
when using polymer and polymer-cement composites**

Abstract. *The article describes the main characteristics and recommendations on technologies of improving the operational reliability and durability of hydraulic structures of water management and drainage complex using polymer and polymer-cement composite materials. The technological areas of increasing the antifiltration ability of irrigation canal linings using polymer film screens and geomembranes were analyzed. Information is given on the beginning and development of the research on making modified polymer-cement hydraulic structures with improved physical and mechanical properties for the construction, repair and reconstruction of hydraulic structures, technological measures to improve the quality of precast and monolithic reinforced concrete structures. The results of the research on the development of various designs of expansion joints, polymer and bitumen-polymer sealants for their device are presented. The results of studies on the development of new polymer and polymer-cement composite materials for the protection of concrete structures of hydraulic facilities against cavitation and wear; the creation of concrete polymers, polymer concretes and polymer cement were summarized. The issues of technological increasing the efficiency of waterproofing hydraulic structures, protecting concrete and metal against corrosion were considered. The results of research on the development of scientific and practical foundations of repairing and restoring works at hydraulic structures of water management and drainage complex, their protection against filtration and accidental damage using polymer and polymer-cement composite materials were systematized. The main areas of further research in the field of creation and application of the latest technologies to improve the efficiency of operation, operational reliability and durability of hydraulic structures of water management and drainage complex were considered*

Key words: *water management and land reclamation complex, hydraulic structures, operational reliability, durability, repair and restoration work, waterproofing, antifiltration protection, composite materials.*

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg201902-191>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/191>

УДК 532.5:539.4:626/627

ІННОВАЦІЙНИЙ РОЗВИТОК ТЕХНОЛОГІЙ БУДІВНИЦТВА ПРОТИФІЛЬТРАЦІЙНИХ СПОРУД

В.І. Петроченко¹, канд. техн. наук, О.В. Петроченко², канд. техн. наук, О.П. Куліков³, канд. юрид. наук

¹ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0001-7035-219X>; e-mail: v_petr47@ukr.net

² Київський національний університет будівництва і архітектури МОН України, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-0551-935X>; e-mail: a_petr89@i.ua

³ Київський національний університет будівництва і архітектури МОН України, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-5400-4133>; e-mail: alexeykulikov24@gmail.com

Анотація. У статті обґрунтовано пріоритетні напрямки рішення однієї з актуальних проблем гідротехнічного будівництва – проблеми захисту від фільтрації та наведено основні науково-технічні досягнення ІВПіМ НААН у вирішенні цієї проблеми. Зазначається, що за останні 60 років у зв'язку з розвитком хімічної промисловості та можливістю широкого використання полімерних матеріалів у гідротехнічному будівництві технології будівництва протифільтраційних споруд набули значного розвитку. Підвищення технологічного рівня будівництва протифільтраційних споруд відбувалось шляхом якісного удосконалення та кількісного збільшення варіантів протифільтраційних матеріалів, конструктивних рішень протифільтраційних споруд, технологічних рішень будівництва протифільтраційних споруд, конструктивних рішень засобів механізованого укладання протифільтраційних матеріалів. За результатами системного аналізу визначена ієрархічна підпорядкованість конструктивних і технологічних рішень будівництва протифільтраційних споруд, а за результатами їх функціонально-вартісного аналізу встановлені аналітичні залежності для визначення пріоритетних напрямків інноваційного розвитку технологій будівництва протифільтраційних споруд. Наведено нові найбільш значущі конструктивні і технологічні рішення та науково-технічні розробки з будівництва протифільтраційних споруд, які були створені в ІВПіМ НААН за минулий період, у тому числі безтраншейний спосіб укладання вертикальних екранів з полімерної плівки та касетно-циклічний спосіб будівництва протифільтраційних споруд. Наведено також нові конструктивні і технологічні рішення земляних споруд з протифільтраційними діафрагмами та екранами, засновані на застосуванні зібраних у пакет полотниць полімерної плівки. Відзначено, що більшість створених в Інституті інноваційних конструктивних і технологічних рішень може бути використано при будівництві нових зрошувальних систем, а також їх реконструкції і модернізації.

Ключові слова: гідротехнічне будівництво, протифільтраційні споруди, конструктивні і технологічні рішення, функціонально-вартісний аналіз, інноваційний розвиток.

Проблема захисту від фільтрації та її актуальність. За функціональним призначенням гідротехнічні споруди можна поділити на дві основні групи.

Споруди першої групи призначені для отримання певного ефекту від споживання води або використання водних ресурсів. До цих споруд належать зрошувальні канали, трубопроводи, греблі, насосні станції тощо, що призначені для регулювання руху води від природних або штучних водних об'єктів до об'єктів споживання або використання води (зрошувані земельні ділянки, населені пункти, промислові об'єкти, об'єкти гідроенергетики тощо).

До другої групи відносять споруди відведення зайвої або забрудненої води від об'єктів,

на які вона шкідливо впливає. Це споруди захисту від шкідливої дії вод, а саме: споруди для затримання, збирання і відведення води з перезволожених сільськогосподарських земель (нагірні та осушувальні канали, колектори, дрени); споруди для захисту від паводків (берегоукріплювальні покриття, захисні дамби, протипаводкові водосховища); споруди для захисту від підтоплення населених пунктів; споруди для відведення стічних вод тощо.

У процесі функціонування гідротехнічних споруд першої, а в деяких випадках і другої групи виникає потреба захисту споруд та прилеглих до них територій від фільтрації, яку слід розглядати як окремий вид шкідливої дії вод. Фільтрація води з каналів та ставків-накопичувачів призводить до вторинного

підтоплення, засолення та заболочування земель. Фільтрація води на земляних дамбах за певних умов призводить до руйнування дамб та створення на прилеглих територіях зон надзвичайної ситуації.

У гідротехнічному будівництві проблема захисту від фільтрації завжди була актуальною. За реформування економіки України особливо важливого значення набуває використання в гідротехнічному будівництві технічно надійних, екологічно безпечних та економічно доцільних споруд захисту від фільтрації.

Мета дослідження – визначити пріоритетні напрямки інноваційного розвитку технологій будівництва протифільтраційних споруд та навести основні досягнення ІВПіМ НААН у вирішенні проблеми захисту від фільтрації в гідротехнічному будівництві за минулий період.

Методика дослідження. У дослідженні використано метод узагальнення та аналізу конструктивно-технологічних рішень складних систем.

Результати дослідження. У гідротехнічному будівництві для захисту від фільтрації здавна використовували важку глину, бутовий камінь. Пізніше стали використовувати асфальт, цемент, бетон, рідке скло. Але найбільшого розвитку будівництво протифільтраційних споруд набуло на початку 60-х років минулого століття, коли з розвитком хімічної промисловості в багатьох країнах світу стали виробляти полімерні плівки гідротехнічного призначення. Саме в цей період в колишньому СРСР була прийнята масштабна програма «Про широкий розвиток меліорації земель для одержання високих врожаїв зерна та інших сільськогосподарських культур» (1966 рік), за якою завершувалось будівництво та здійснювалась реконструкція окремих ділянок Північно-Кримського каналу, каналу Сіверський Донець-Донбас, каналу Дніпро-Кривий Ріг. Тоді ж почалось проектування та будівництво Каховського магістрального каналу, каналу Дніпро-Донбас, каналу Дніпро-Інгулець.

Будівництво та реконструкція магістральних і розподільчих зрошувальних каналів здійснювалось із використанням протифільтраційних матеріалів: монолітного бетону, збірного залізобетону, полімерних плівок. Канали, які раніше будували в земляному руслі, почали проектувати та будувати з бетонним та бетоноплівковим облицюванням. На водоймах і магістральних каналах набули широкого використання ґрунтоплівкові екрани.

За тих часів Інститут працював за двома головними напрямками наукових досліджень:

будівельним і меліоративним. Будівельна тематика досліджень була пріоритетною. Серед інших науково-дослідних інститутів, підпорядкованих Міністерству меліорації і водного господарства СРСР, Інститут був визнаний головним за будівельним напрямом досліджень. За будівельною тематикою, крім відділів та лабораторій, працювало проектно-технологічне бюро Інституту, яке налічувало понад тисячу працівників.

Дослідження і впровадження протифільтраційних споруд на каналах, водоймах та інших гідротехнічних об'єктах України проводили: відділ технології збірного залізобетону; відділ будівельних матеріалів; відділ технології, механізації та організації будівництва гідромеліоративних систем.

Основним науково-технічним досягненням відділу технології збірного залізобетону, який на той час тісно співпрацював із Київським інженерно-будівельним інститутом, була конструкція плит НПК та технологія їх виготовлення. Плити НПК за розробленими Інститутом рекомендаціями і технічними умовами виготовляли в м. Нова Каховка на заводах ЗБВ тресту Укрводзалізобетон Міністерства меліорації і водного господарства УРСР. Плити НПК широко використовували для облицювання зрошувальних каналів.

Відділ будівельних матеріалів працював над розробкою полімерних добавок до бетону для підвищення їх протифільтраційних властивостей, а також матеріалів для герметизації деформаційних швів бетонних облицювань каналів, проводив дослідження конструктивних параметрів полімерних плівок та технологічних режимів їх використання в гідротехнічному будівництві.

Відділ технології, механізації та організації будівництва гідромеліоративних систем розробляв інноваційні технології та засоби механізації будівництва протифільтраційних споруд. Найбільш значущим досягненням відділу був укладальник комбінованих облицювань каналів (УКО), в основу якого було покладено технічне рішення [1]. Укладальник УКО був використаний при спорудженні комбінованих (бетоноплівкових) облицювань розподільчих та внутрішньогосподарських каналів. На основі технічного рішення [2] у відділі була розроблена та впроваджена під час будівництва ґрунтоплівкового екрану на Каховському магістральному каналі технологія будівництва ґрунтоплівкових екранів.

Розробку заходів захисту від фільтрації на гідромеліоративних системах в Інституті проводили шляхом створення, дослідження

та впровадження в практику гідротехнічного будівництва інноваційних ієрархічно підпорядкованих конструктивних рішень протифільтраційних споруд, технологічних рішень будівництва протифільтраційних споруд, конструктивних рішень засобів механізованого укладання протифільтраційних матеріалів. Ефективність цих заходів оцінювалась показником I_{nz} за функціонально-вартісним принципом. В основу управління інноваційним розвитком протифільтраційних заходів була покладена цільова функція:

$$I_{nz} = \frac{\Phi ПЗ}{B_{ФПЕ}} = \frac{Ц_г \Delta G_1 + (BZ_1^{сч} + BZ_1^{екл} + BZ_1^{екн})}{\frac{B_{нфм} + B_{ем} + B_{зн}}{T} + B_1^e} \rightarrow \max, \quad (1)$$

де I_{nz} – показник ефективності протифільтраційного заходу; $\Phi ПЗ$ – річний позитивний функціональний ефект від здійснення цього заходу, тис. грн./рік; $B_{ФПЕ}$ – витрати на здійснення протифільтраційного заходу, приведені до одного року експлуатації протифільтраційної споруди, тис. грн./рік; $Ц_г$ – ціна товарної води, грн./м³; ΔG_1 – об'єм відвернених протягом року фільтраційних втрат з водного об'єкту внаслідок здійснення протифільтраційного заходу, тис. м³/рік; $BZ_1^{сч}$, $BZ_1^{екл}$ і $BZ_1^{екн}$ – відвернені здійсненням заходу річні соціальні, екологічні і економічні збитки на прилеглий до водного об'єкту території, тис. грн./рік; $B_{нфм}$ – вартість використаного протифільтраційного матеріалу, тис. грн.; $B_{ем}$ – вартість експлуатації машин протягом періоду будівництва протифільтраційної споруди, тис. грн.; $B_{зн}$ – витрати на заробітну плату виконавців робіт, тис. грн.; T – розрахунковий строк експлуатації протифільтраційної споруди, рік; B_1^e – річні витрати на експлуатацію споруди, тис. грн./рік.

За результатами досліджень основних варіантів протифільтраційних споруд та факторного аналізу параметрів цільової функції (1) встановлено, що найбільшу перспективу мають протифільтраційні споруди, побудовані з використанням полімерних матеріалів, зокрема плівок. За умови якісного укладання полімерних плівок досягається максимальне значення показника I_{nz} . Полімерні плівки водонепроникні, що забезпечує досягнення максимальної величини параметра ΔG_1 і розміру відвернених протифільтраційними заходами збитків від фільтрації, а отже і максимального значення чисельника функції (1). Завдяки таким властивостям полімерних плівок як відносно невелика їх вартість ($B_{нфм} \rightarrow \min$), зручність укладання ($B_{зн} \rightarrow \min$), зручність в експлуатації ($B_1^e \rightarrow \min$), морозостійкість, стійкість до агресивного середовища, довго-

вічність ($T \rightarrow \max$) забезпечується відносно невелике значення знаменника функції (1).

Впровадження полімерних плівок у гідротехнічному будівництві вимагало удосконалення технологічних процесів їх використання, яке за кордоном та в Україні велось за двома пріоритетними напрямками.

За першим напрямком, характерним переважно для будівельних компаній розвинених капіталістичних країн, здійснювали пошук, наукове обґрунтування та впровадження нових, більш надійних та стійких до механічних пошкоджень полімерних плівок, які зараз, у зв'язку з їх значним удосконаленням, більш відомі як геомембрани. За цим напрямком досягалось збільшення параметра T , але вартість плівок $B_{нфм}$ також збільшувалась.

Оскільки в Україні тільки в останні роки стали впроваджувати імпорتنі геомембрани, а на той час широко використовували вітчизняну гідротехнічну плівку з поліетилену та полівінілхлориду товщиною переважно 0,2 мм, в Інституті було обрано другий напрямок удосконалення технологій будівництва протифільтраційних споруд із використанням плівок, за яким здійснювали пошук, наукове обґрунтування та впровадження нових конструктивних рішень протифільтраційних споруд, ефективних технологічних рішень їх будівництва, високопродуктивних засобів механізованого укладання полімерних плівок та нових засобів контролю якості будівництва протифільтраційних споруд.

Так, для утворення герметичних деформаційних швів бетонних облицювань каналів було запропоновано та досліджено два нових технічних рішення [3; 4], в яких наведено два варіанти ущільнюючих профілів з полімерної плівки та схеми формування ущільнюючих профілів з рулонної плівки (рис. 1). Експериментальний зразок робочого органу для утворення деформаційних швів із використанням полімерної плівки за технічним рішенням [3] був випробуваний та впроваджений під час будівництва бетонного облицювання каналу Р-9 Каховської зрошувальної системи (рис. 1д).

Для контролю якості деформаційних швів бетонних облицювань було запропоновано пристрій для визначення фільтраційних втрат води через деформаційні шви [5]. Відмінною особливістю пристрою є те, що він містить дві камери: вимірювальну і компенсаційну (рис. 2а, б). Воду в них подають двома роздільними системами, але під однаковим тиском. Використання компенсаційної камери перешкоджає витoku води з вимірювальної камери

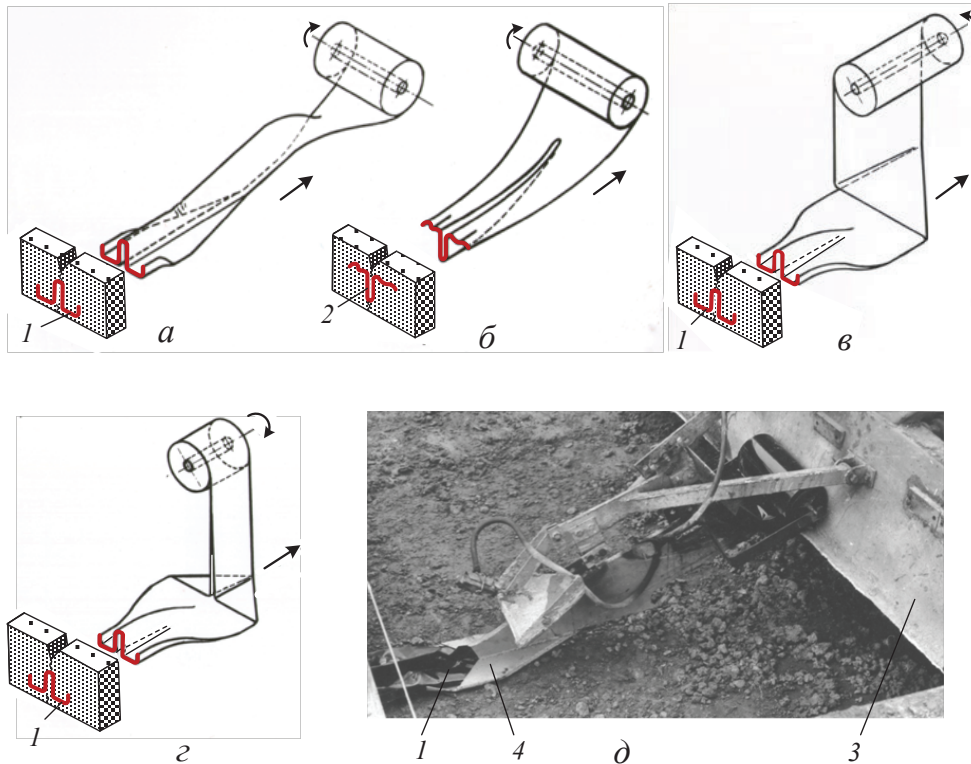


Рис. 1. Технічні рішення утворення деформаційних швів бетонних облицювань каналів з ущільнюючими елементами з рулонної полімерної плівки шляхом формування ущільнюючих профілів в процесі укладання бетонної суміші: а, б, в, г – схеми формування ущільнюючих профілів деформаційних швів з полімерної стрічки; д – робоче обладнання для утворення деформаційних швів з ущільнюючим профілем з полімерної стрічки на каналі Р-9 Каховської зрошувальної системи; 1, 2 – конструктивні варіанти ущільнюючого профілю деформаційних швів з полімерної стрічки; 3 – бетоноукладальник фірми «Рахко»; 4 – робочий орган для утворення деформаційних швів з ущільнюючим профілем, сформованим за схемою а

Джерело: [3; 4]

у бокових напрямках, що забезпечує проходження фільтраційного потоку води тільки через деформаційний шов, а отже високу точність вимірювання фільтраційних втрат через вимірювальну ділянку шва.

Водопроникність деформаційного шва визначають за формулою:

$$k_{\phi} = \xi \frac{W_{\phi}}{l p t_{\phi}}, \quad (2)$$

де k_{ϕ} – коефіцієнт фільтраційних втрат через деформаційний шов, м/с; ξ – коефіцієнт, що враховує в'язкість води ($\xi=1,0$ при $t^0 = 20^{\circ}\text{C}$); W_{ϕ} – об'єм фільтрату, що пройшов через вимірювальну камеру, м³; l – довжина вимірювальної ділянки шва (база прибору), м; p – тиск води у вимірювальній камері, м; t_{ϕ} – час вимірювання фільтраційних втрат, с.

Пристрій за технічним рішенням [5] було виготовлено і використано для контролю якості деформаційних швів бетонних облицю-

вань розподільчих каналів Каховської зрошувальної системи [6] (рис. 2в).

Однією з найбільш вагомих науково-технічних розробок Інституту в галузі гідротехнічного будівництва був безтраншейний спосіб укладання вертикальних протифільтраційних екранів з полімерної плівки [7] (рис. 3а).

Запропоновано декілька нових технічних рішень безтраншейних укладальників протифільтраційних екранів з плівки та виготовлено два експериментальних робочих органа укладальників: УВПЕ-2,0 і УВПЕ-1,5 [8]. УВПЕ-2,0 був використаний для спорудження протифільтраційних завіс із плівки глибиною 2,0 м на Зноб-Новгородському торфопідприємстві Сумської області. Завіси споруджували в ґрунтах легкого механічного складу по контуру осушуваних ділянок видобутку торфу для уповільнення надходження до них ґрунтових вод з прилеглих вищерозташованих територій.

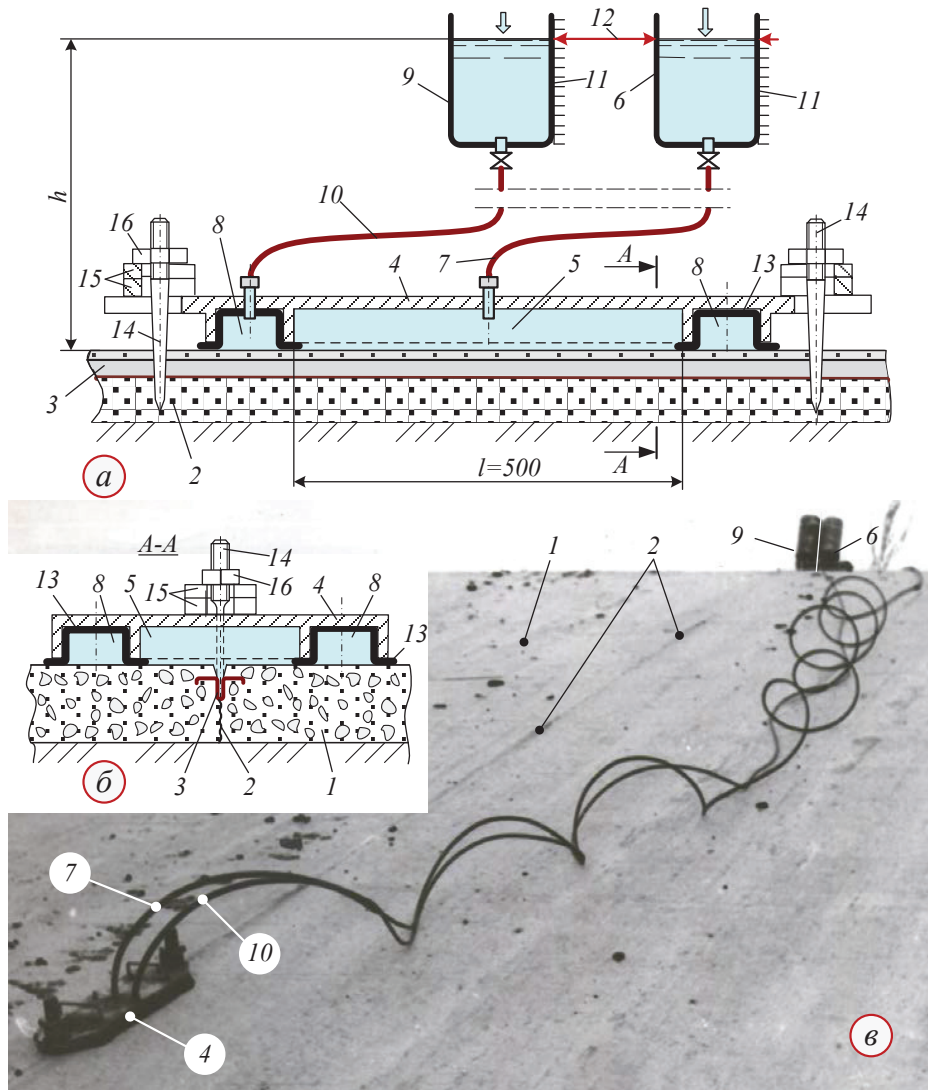


Рис. 2. Пристрій для визначення фільтраційних втрат води через деформаційні шви бетонних облицювань зрошувальних каналів: *a* і *б* – схема пристрою (розріз вздовж і поперек шва); *в* – використання пристрою під час будівництва каналу Р-9 Каховської зрошувальної системи; 1 – облицювання каналу; 2 – деформаційний шов; 3 – ущільнюючий профіль; 4 – корпус пристрою; 5 – робоча вимірювальна камера; 6 і 7 – резервуар і трубопровід подачі води у камеру 5; 8 – кільцева компенсаційна камера; 9 і 10 – резервуар і трубопровід подачі води у камеру 8; 11 – шкала рівнів води; 12 – штучно підтримуваний рівень води у резервуарах 6 і 9; 13 – еластична прокладка; 14 – анкер; 15 – розрізна шайба; 16 – гайка

Джерело: [5; 6]

Укладальник УВПЕ-1,5 (рис. 3б) використовувався в Одеській області при спорудженні протифільтраційних завіс із плівки глибиною 1,5 м на рисових системах, а також у Чернігівській області для захисту від суфозійного руйнування укосів осушувальних каналів та при спорудженні дамб із протифільтраційною діафрагмою за схемою, наведеною на рис. 3в [9].

Було встановлено, що основною перешкодою широкого використання безтраншей-

ного способу укладання вертикальних протифільтраційних екранів з ролонної плівки є потенційно невелика глибина укладання екранів, що зумовлено недостатнім тяговим зусиллям базових тракторів. Ця проблема вирішувалась двома шляхами: оптимізацією параметрів землерийного робочого органу укладальника; пошуком нових конструктивно-технологічних рішень будівництва гідротехнічних споруд з використанням безтраншейного способу укладання вертикальних

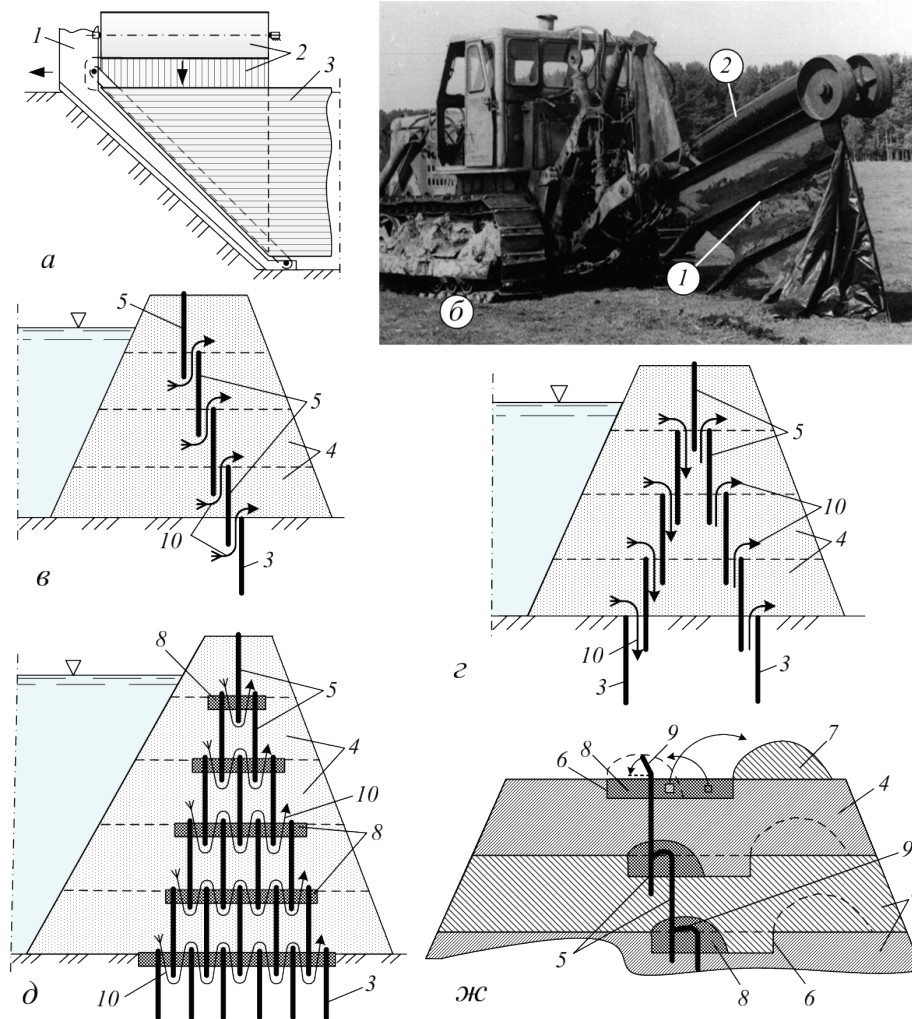


Рис. 3. Безтраншейний спосіб укладання вертикальних протифільтраційних екранів з рулонної полімерної плівки та варіанти його використання при будівництві земляних дамб з протифільтраційними діафрагмами:

- а* – схема безтраншейного укладання вертикального протифільтраційного екрану з полімерної плівки [7]; *б* – безтраншейний укладальник вертикальних протифільтраційних екранів [8]; *в* – дамба з однорядною протифільтраційною діафрагмою [9]; *г* – дамба з дворядною протифільтраційною діафрагмою [10]; *д* – дамба з протифільтраційним ядром з рулонної плівки [11]; *жс* – дамба з удосконаленою однорядною протифільтраційною діафрагмою [12]; 1 – робочий орган укладальника вертикальних протифільтраційних екранів УВПЕ-1,5; 2 – рулонна плівка; 3 – вертикальний екран з плівки; 4 – ярус дамби; 5 – секції діафрагми; 6 – технологічна прорізь у ґрунті; 7 – ґрунт, вийнятий з прорізі; 8 – глиняний замок; 9 – верхня кромка секції діафрагми; 10 – обмежена фільтрація

протифільтраційних екранів з полімерної плівки.

За результатами досліджень з оптимізації параметрів землерийного робочого органу укладальника вертикальних екранів було запропоновано ступеневе розміщення ріжучих елементів на робочому органі укладальника та виконані дослідження з визначення їх оптимальних конструктивних параметрів.

За результатами досліджень з пошуку нових конструктивно-технологічних рішень

використання безтраншейного способу укладання екранів з рулонної плівки було знайдено і запатентовано чотири нові способи будівництва земляних дамб з протифільтраційними діафрагмами [9–12]. Будівництво дамб запропоновано виконувати шляхом відсіпки ярусів дамб, на поверхні яких укладати безтраншейним способом одну чи декілька завіс з плівки (рис. 3*в-жс*).

Ярусний спосіб покладено також в основу двох нових технологічних варіантів

будівництва земляних дамб з протифільтраційними діафрагмами з полімерної плівки: центральною зигзагоподібною [13] (рис. 4а) і похилою [14] (рис. 4б). На відміну від технічних рішень [9–12], за якими протифільтраційну діафрагму споруджують окремими секціями безтраншейним способом з рулонної плівки, за технічними рішеннями [13–14] протифільтраційну діафрагму споруджують

з використанням складених в пакет крупногабаритних полотнищ плівки, послідовно перекладаючи пакет з поверхні раніше відсипаного ярусу на поверхню наступного ярусу дамби. За результатами досліджень [15] встановлена ефективність діафрагми, яка була побудована за технічним рішенням [13].

Проте ярусний спосіб не може бути використаний для спорудження протифільтраційних

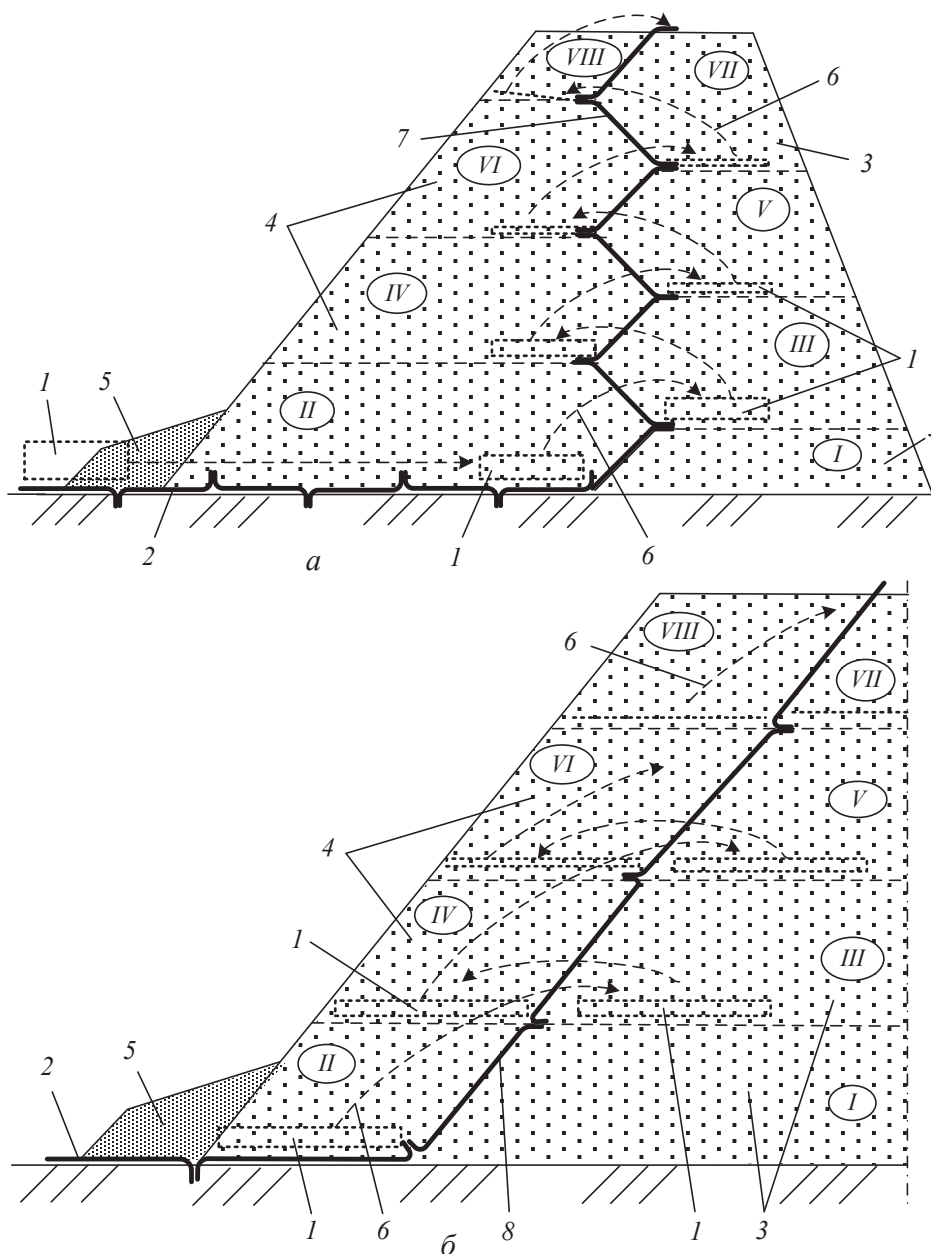


Рис. 4. Ярусний спосіб спорудження земляних дамб

з протифільтраційною діафрагмою з полімерної плівки:

- a* – схема спорудження дамби із зигзагоподібною діафрагмою [13]; *б* – схема спорудження дамби з похилою діафрагмою [14]; I–VIII – послідовність відсипки ярусів дамби; 1 – пакет з плівкою; 2 – екран в основі дамби; 3 – ярус дамби з боку низового укосу; 4 – ярус дамби з боку верхового укосу; 5 – понур; 6 – напрям технологічного переміщення пакету з плівкою; 7 – центральна зигзагоподібна діафрагма; 8 – похила діафрагма

діафрагм з плівки в тілі вже побудованих дамб, а також протифільтраційних завіс глибокого закладання. Такі споруди будують способом «стіна в ґрунті» шляхом занурення в траншею з тиксотропним глинистим розчином полотнищ полімерної плівки, до нижніх кінців яких прикріплюють грузило. За традиційною технологією полотнище з плівки при його зануренні займає довільне положення в траншеї. Потім, в момент заповнення порожнини траншеї грудковою глиною, яку відсипають з однієї сторони полотнища, глинистий розчин, що знаходиться з протилежної сторони полотнища, не встигає швидко витіснитись, а грудкова глина нерівномірно тисне на полотнище, що призводить до утворення зморшків, змінання полотнища та натягування його верхнього краю у траншею.

Для усунення цього недоліку та підвищення якості спорудження протифільтраційних завіс з плівки способом «стіна в ґрунті» запропоновано нове технічне рішення [16], за яким замість грузил одноразового використання застосовують підвишену на канаті монтажну

траверсу з решітчастими ребрами, які забезпечують можливість укладання полотнища з плівки впритул до однієї з стінок траншеї. На ребрах змонтовані зуби, на які наколюють нижній край полотнища в момент його занурення в траншею. У кінці занурення полотнища в траншею відсипають грудкову глину, яка звільняє нижній край полотнища від зубів і фіксує його положення в траншеї (рис. 5).

Нове технічне рішення [16] передано до впровадження будівельним організаціям ВАТ «Укргідроспецфундаментбуд» (м. Дніпро).

Одним із найбільш перспективних нових технічних рішень, створених в Інституті, є касетно-циклічний спосіб будівництва протифільтраційних споруд: бетоноплівкових екранів (рис. 6а); ґрунтоплівкових екранів (рис. 6б); протифільтраційних завіс (рис. 6в). За цим способом полімерну плівку збирають у пакет, а будівництва протифільтраційної споруди виконують циклами. У межах кожного циклу перед пакетом з плівкою розробляють смугу ґрунтової основи (рис. 6а, б) або ділянку

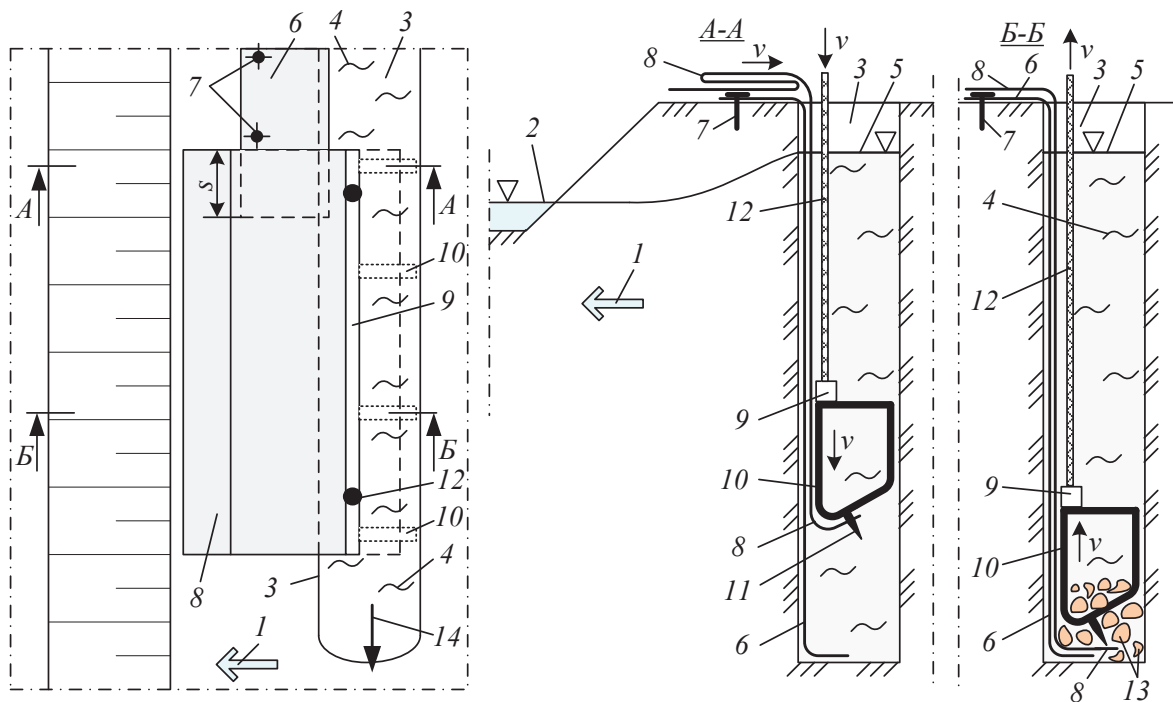


Рис. 5. Удосконалення традиційної технології будівництва способом «стіна в ґрунті» протифільтраційних завіс з полімерної плівки:

- а – схема укладання в траншею полотнища плівки, вид зверху; б – вид по А-А в момент занурення в траншею полотнища; в – вид по Б-Б в момент витягання з траншеї технологічного обладнання;
 1 – напрям руху ґрунтових вод; 2 – рівень ґрунтових вод; 3 – траншея; 4 – тиксотропний глинистий розчин; 5 – рівень заповнення траншеї глинистим розчином; 6 – раніше укладене полотнище плівки; 7 – анкерний фіксатор плівки; 8 – полотнище плівки, що укладають;
 9 – монтажна траверса; 10 – дистанційні ребра; 11 – зуб; 12 – канат; 13 – грудкова глина;
 14 – напрям руху технологічного потоку

Джерело: [16]

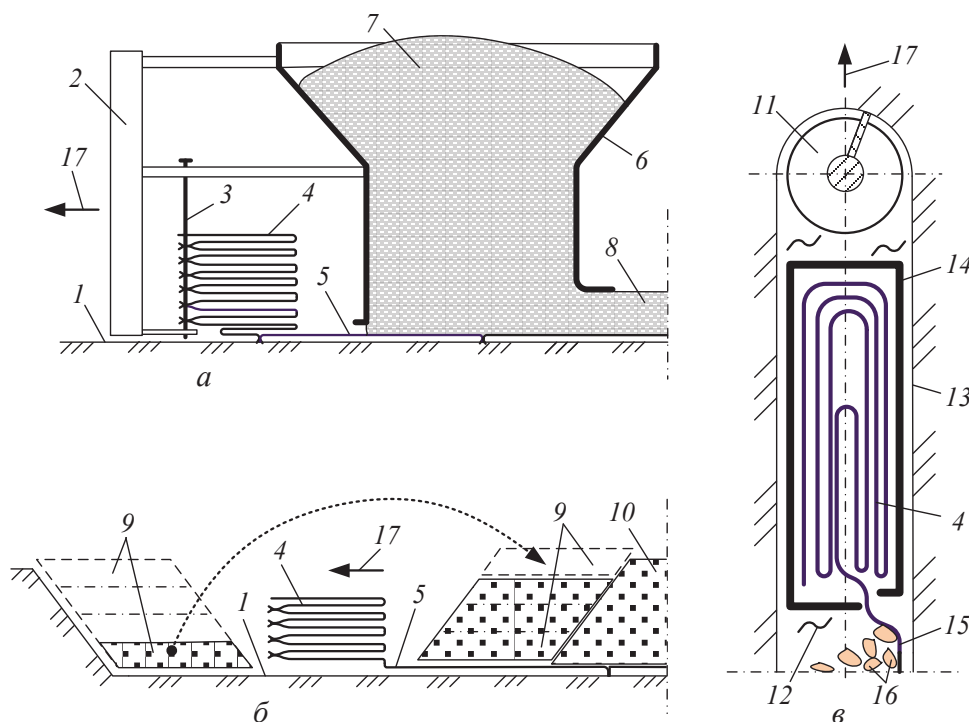


Рис. 6. Перспективні технологічні рішення будівництва протифільтраційних споруд із використанням складених у пакет полотнищ полімерної плівки:

- a* – бетоноплівкового екрану; *б* – ґруноплівкового екрану; *в* – завіси [17]; 1 – ґрунтова основа; 2 – рама бетоноукладальника; 3 – спиця; 4 – пакет з плівки; 5 – плівковий екран; 6 – бункер; 7 – бетонна суміш; 8 – бетоноплівковий екран; 9 – смуга ґрунту, що зрізують з основи і укладають на плівковий екран; 10 – ґруноплівковий екран; 11 – робочий орган для утворення траншеї; 12 – тиксотропний глинистий розчин; 13 – траншея; 14 – касета; 15 – завіса з плівки; 16 – грудкова глина; 17 – напрям руху технологічного потоку

траншеї (рис. 6в), переміщують на смугу ґрунтової основи або ділянку траншеї пакет, розгортаючи з нього плівку у вигляді протифільтраційного екрана чи завіси, яку потім захищають бетоном, ґрунтом або грудковою глиною. Цей спосіб може бути використаний як при будівництві нових, так і реконструкції існуючих протифільтраційних споруд.

У зв'язку зі зменшенням об'ємів споживання води на зрошувальних системах у пострадянський період водогосподарські організації зіткнулись з проблемою визначення технологічно виправданих втрат води на каналах, основну частину яких (90–98%) складають втрати води на фільтрацію. За результатами проведених в ІВПіМ НААН досліджень було встановлено, що коефіцієнт корисної дії каналу не є його виключно технічною характеристикою, залежною від фільтраційних властивостей русла каналу. Коефіцієнт корисної дії зрошувального каналу було запропоновано розглядати як його техніко-експлуатаційну характеристику, залежною також і від режиму споживання води з каналу. Розроблено

та рекомендовано для застосування водогосподарськими організаціями формулу корегування коефіцієнта корисної дії каналів [18]:

$$K_k^T = \frac{Q_{um}^\phi / Q_{um}^{np}}{Q_{um}^\phi / Q_{um}^{np} + \frac{1 - K_k^{np}}{K_k^{np}}}, \quad (3)$$

де K_k^T – відкоригований технологічно виправданий коефіцієнт корисної дії каналу; Q_{um}^ϕ і Q_{um}^{np} – витрата води в каналі нетто фактична і визначена за проектом каналу, м³/с; K_k^{np} – коефіцієнт корисної дії каналу за проектом.

Висновки. За останні 60 років, у зв'язку з розвитком хімічної промисловості та можливістю широкого використання полімерних матеріалів у гідротехнічному будівництві, технології будівництва протифільтраційних споруд в Україні та за кордоном набули значного розвитку.

За результатами системного аналізу визначено два пріоритетних напрямки інноваційного розвитку ієрархічно підпорядкованих конструктивно-технологічних рішень будівництва протифільтраційних споруд:

створення нових більш надійних та стійких до механічних пошкоджень полімерних матеріалів; удосконалення технологічних процесів та розробка засобів механізованого укладання полімерних протифільтраційних матеріалів.

За тематикою захисту від шкідливої дії фільтрації в ІВПіМ НААН за останні 60 років створено комплекс перспективних конструктивно-технологічних рішень та розробок з удосконалення технологічних процесів укладання протифільтраційних матеріалів, головним чином полімерних плівок.

В Інституті науково обґрунтовано та розроблено: безтраншейний спосіб укладання вертикальних протифільтраційних екранів та нові конструктивно-технологічні рішення і технологічні процеси будівництва протифільтра-

ційних споруд із використанням безтраншейного способу; нові конструктивно-технологічні рішення будівництва земляних дамб, бетоноплівкових екранів, ґрунтоплівкових екранів, протифільтраційних діафрагм і завіс з використанням складених у пакет полотниць полімерної плівки; удосконалена технологія будівництва способом «стіна в ґрунті» протифільтраційних завіс з полімерної плівки; рекомендації з обґрунтування технологічних нормативів втрат води на зрошувальних каналах в умовах зменшення корисної витрати води в них.

Більшість створених в Інституті конструктивно-технологічних рішень і розробок з будівництва протифільтраційних споруд може бути використано також в умовах реконструкції і модернізації зрошувальних систем України.

Бібліографія

1. Устройство для образования противофильтрационных облицовок оросительных каналов / А.И. Харин, П.И. Григоренко, Г.М. Куделя: А.с. 488892 СССР; заявл. 04.02.74; опубл. 25.10.74, Бюл. № 39.
2. Способ образования грунтопленочного экрана русла канала / В.В. Варваров, Е.А. Богатов: А.с. 599006 СССР; заявл. 02.06.76; опубл. 25.03.78, Бюл. № 11.
3. Устройство для образования деформационных швов в бетонных покрытиях / В.И. Петроченко, Е.А. Богатов, В.В. Варваров: А.с. 775216 СССР; заявл. 25.14.78; опубл. 30.10.80, Бюл. № 40.
4. Устройство для укладки пленочных уплотнительных элементов в деформационные швы бетонных покрытий / В.И. Петроченко, Е.А. Богатов: А.с. 983167 СССР; заявл. 02.10.80; опубл. 23.12.82, Бюл. № 47.
5. Устройство для измерения фильтрации / В.М. Бойко, В.И. Петроченко: А.с. 804758 СССР; заявл. 18.06.79; опубл. 25.02.81, Бюл. № 6.
6. Петроченко В.И. Устройство для определения фильтрационных потерь воды через деформационные швы облицовок каналов. Москва: Экспресс-информация ЦБНТИ Минводхоза СССР. 1984. Сер. 5. Вып. 3. С. 8–10.
7. Устройство для образования вертикальной противофильтрационной завесы / В.И. Петроченко: А.с. 685749 СССР; заявл. 06.01.78; опубл. 15.09.78, Бюл. № 34.
8. Укладчик вертикального противофильтрационного экрана / В.И. Петроченко: А.с. 1211378 СССР; заявл. 16.08.84; опубл. 15.02.86, Бюл. № 6.
9. Способ сооружения грунтовой дамбы с пленочной диафрагмой / В.И. Петроченко: А.с. 1133331 СССР; заявл. 18.07.83; опубл. 07.01.85, Бюл. № 1.
10. Грунтовая дамба с противофильтрационным ядром / В.И. Петроченко, Л.Ю. Гальчинский: А.с. 1168653 СССР; заявл. 14.10.83; опубл. 23.07.85, Бюл. № 27.
11. Грунтовая плотина с противофильтрационным ядром / В.И. Петроченко: А.с. 1386695 СССР; Заявлено 04.09.86; опубл. 07.04.88, Бюл. № 13.
12. Способ сооружения грунтовой дамбы с пленочной диафрагмой / В.И. Петроченко: А.с. 1209749 СССР; заявл. 16.08.84; опубл. 07.02.86, Бюл. № 5.
13. Способ сооружения земляной плотины / В.И. Петроченко: А.с. 1585438 СССР; заявл. 17.03.88; опубл. 15.08.90, Бюл. № 30.
14. Способ возведения насыпного сооружения с пленочной диафрагмой / В.И. Петроченко, Т.В. Рунова, Ю.В. Бунча: А.с. 1701792 СССР; заявл. 09.02.90; опубл. 30.12.91, Бюл. № 48.
15. Зверев А.О., Саинов М.П. Работоспособность зигзагообразной полимерной диафрагмы высокой грунтовой перемычки // *Вестник МГСУ*. 2016. т. 12. Вып. 5(104). С. 490–495.
16. Обладнання для укладання в траншею протифільтраційної завіси з плівки. / В.І. Петроченко, О.В. Петроченко: пат. на корисну модель 86864 Україна; заявл. 31.07.2013; опубл. 10.01.2014, Бюл. № 1.
17. Спосіб будівництва підземних дренажно-протифільтраційних споруд. / В.І. Петроченко: пат. на винахід 92544 Україна; заявл. 13.03.2009; опубл. 10.11.2010, Бюл. № 21.

18. Петроченко В.І., Розгон В.А., Петроченко О.В. Обґрунтування технологічних нормативів втрат води на зрошувальних каналах в умовах зменшення корисної витрати води в них // Меліорація і водне господарство. 2015. №102. С. 62–69.

References

1. 'Kharin, A.I., Grigorenko, P.I., & Kudelia, G.M. (1974). *Ustroystvo dlya obrazovaniya protivofil'tratsionnykh oblitsovok orositel'nykh kanalov* [Device for the formation of impervious lining of irrigation canals]. Author's certificate of the USSR. № 488892. [in Russian].
2. Varvarov, V.V., & Bogatov, E.A. (1978). *Sposob obrazovaniya gruntoplechnogo ekrana rusla kanala* [The method of formation of a soil-film screen channel bed]. Author's certificate of the USSR. № 599006. [in Russian].
3. Petrochenko, V.I., Bogatov, E.A., & Varvarov, V.V. (1980). *Ustroystvo dlya obrazovaniya deformatsionnykh shvov v betonnykh pokrytyakh* [Device for the formation of expansion joints in concrete coatings]. Author's certificate of the USSR. № 775216. [in Russian].
4. Petrochenko, V.I., & Bogatov, E.A. (1982). *Ustroystvo dlya ukladki plenochnykh uplotnitel'nykh elementov v deformatsionnyye shvy betonnykh pokrytiy* [Device for laying film sealing elements in expansion joints of concrete coatings]. Author's certificate of the USSR. № 983167. [in Russian].
5. Boiko, V.M., & Petrochenko, V.I. (1981). *Ustroystvo dlya izmereniya fil'tratsii* [Filtration Measurement Device]. Author's certificate of the USSR. № 804758. [in Russian].
6. Petrochenko, V.I. (1984). *Ustroystvo dlya opredeleniya fil'tratsionnykh poter' vody cherez deformatsionnyye shvy oblitsovok kanalov* [Device for determining filtration losses of water through deformation seams of channel liners]. Moskva: Express information TsBNTI Ministry of water economy of the USSR. [in Russian].
7. Petrochenko, V.I. (1978). *Ustroystvo dlya obrazovaniya vertikal'noy protivofil'tratsionnoy zavesy* [Device for the formation of a vertical impervious curtain]. Author's certificate of the USSR. № 685749. [in Russian].
8. Petrochenko, V.I. (1986). *Ukladchik vertikal'nogo protivofil'tratsionnogo ekrana*. [Vertical Screen Stacker]. Author's certificate of the USSR. № 1211378. [in Russian].
9. Petrochenko, V.I. (1985). *Sposob sooruzheniya gruntovoy damby s plenochnoy diafragmoy* [The method of construction of a soil dam with a film diaphragm]. Author's certificate of the USSR. № 1133331 USSR. [in Russian].
10. Petrochenko, V.I., & Galchinskii, L.Iu. (1985). *Gruntovaya damba s protivofil'tratsionnym yadrom* [Dirt core with antifiltration core]. Author's certificate of the USSR. № 1168653. [in Russian].
11. Petrochenko, V.I. (1988). *Gruntovaya plotina s protivofil'tratsionnym yadrom* [Dirt core with anti-seepage core]. Author's certificate of the USSR. № 1386695. [in Russian].
12. Petrochenko, V.I. (1986). *Sposob sooruzheniya gruntovoy damby s plenochnoy diafragmoy* [The method of construction of a soil dam with a film diaphragm]. Author's certificate of the USSR. № 1209749. [in Russian].
13. Petrochenko, V.I. (1990). *Sposob sooruzheniya zemlyanoy plotiny* [The method of construction of the earthen dam]. Author's certificate of the USSR. № 1585438. [in Russian].
14. Petrochenko, V.I., Runova, T.V., & Buncha, Iu.V. (1990). *Sposob vozvedeniya nasypnogo sooruzheniya s plenochnoy diafragmoy* [The method of construction of an embankment with a film diaphragm]. Author's certificate of the USSR. № 1701792. [in Russian].
15. Zverev A.O., & Sainov M.P. (2016). *Rabotosposobnost' zigzagoobraznoy polimernoy diafragmy vysokoy gruntovoy peremychki* [Performance of the zigzag polymer diaphragm of a high soil bridge]. Moskva. Bulletin of MGSU, 2016, Vol. 5 (104), 490–495. [in Russian].
16. Petrochenko, V.I., & Petrochenko, O.V. (2014). *Obladnannya dlya ukladannya v transheyu protyfil'tratsionnoi zavisy z plivky* [Equipment for laying in a trench of anti-filtration veil of film.]. Patent of Ukraine. № 86864. [in Ukrainian].
17. Petrochenko, V.I. (2010). *Sposib buduvannya pidzemnykh drenazhno-protyfil'tratsionnykh sporud* [Method of constructing underground drainage and anti-filtration structures]. Patent of Ukraine. № 92544. [in Ukrainian].
18. Petrochenko V.I., Rozgon V.A., & Petrochenko O.V. (2015). *Obgruntuvannya tekhnolohichnykh normatyviv vtrat vody na zroshuval'nykh kanalakh v umovakh zmenshennya korisnoyi vytraty vody v nykh* [Substantiation of technological norms of water losses on irrigation channels in the conditions of reduction of useful water consumption in them]. *Melioratsiya i vodne hospodarstvo*, 102, 62–69. [in Ukrainian].

В.И. Петроченко, А.В. Петроченко, А.П. Куликов

Инновационное развитие технологий строительства противофильтрационных сооружений

Аннотация. В статье обоснованы приоритетные направления решения одной из актуальных проблем гидротехнического строительства - проблемы защиты от фильтрации и приведены основные научно-технические достижения ИВПиМ НААН в решении этой проблемы. Отмечается, что за последние 60 лет, в связи с развитием химической промышленности и возможностью широкого использования полимерных материалов в гидротехническом строительстве, технологии строительства противофильтрационных сооружений получили значительное развитие. Повышение технологического уровня строительства противофильтрационных сооружений происходило путем качественного совершенствования и количественного увеличения вариантов противофильтрационных материалов, конструктивных решений противофильтрационных сооружений, технологических решений строительства противофильтрационных сооружений, конструктивных решений средств механизированной укладки противофильтрационных материалов. По результатам системного анализа определена иерархическая подчиненность конструктивно-технологических решений строительства противофильтрационных сооружений, а по результатам их функционально-стоимостного анализа установлены аналитические зависимости для определения приоритетных направлений инновационного развития технологий строительства противофильтрационных сооружений. Приведены новые, наиболее значимые конструктивные и технологические решения и научно-технические разработки по строительству противофильтрационных сооружений, созданные в ИВПиМ НААН за прошедший период, в том числе бестраншейный способ укладки вертикальных экранов из полимерной пленки и кассетно-циклический способ строительства противофильтрационных сооружений. Приведены также новые конструктивные и технологические решения земляных сооружений с противофильтрационными диафрагмами и экранами, основанные на применении собранных в пакет полотнищ полимерной пленки. Отмечено, что большинство созданных в Институте инновационных конструктивных и технологических решений может быть использовано при строительстве новых оросительных систем, а также их реконструкции и модернизации.

Ключевые слова: гидротехническое строительство, противофильтрационные сооружения, конструктивные и технологические решения, функционально-стоимостный анализ, инновационное развитие.

V.I. Petrochenko, O.V. Petrochenko, O.P. Kulikov

Innovative development of technologies for the construction of antifiltration facilities

Abstract. The article substantiates the priority areas for solving one of the urgent problems of hydraulic engineering - the problems of protection against filtration and presents the main scientific and technical achievements of the Institute of Water Problems and Land Reclamation NAAS in solving this problem. It is noted that over the past 60 years, in connection with the development of the chemical industry and the possibility of widespread use of polymeric materials in hydraulic engineering, construction technologies for anti-filtration facilities have received significant development. An increase in the technological level of construction of antifiltration facilities occurred through a qualitative improvement and a quantitative increase in options for antifiltration materials, structural solutions for antifiltration structures, technological solutions for the construction of antifiltration structures, and structural solutions for mechanized installation of antifiltration materials. Based on the results of the system analysis, the hierarchical subordination of structural and technological solutions for the construction of anti-filter structures was determined, and based on the results of their functional-cost analysis, analytical dependencies were established to determine priority areas for the innovative development of technologies for the construction of antifiltration structures. The new most significant design and technological solutions and scientific and technical developments for the construction of anti-filtration structures, created at the of Institute of Water Problems and Land Reclamation NAAS in the past, including the trenchless method of laying vertical screens made of polymer film and the cassette-cyclic method of building anti-filtration structures, are presented. Also, new structural and technological solutions of earth structures with anti-filtration diaphragms and screens are presented based on the application of polymer films collected in the package. It is noted that most of the innovative design and technological solutions created at the Institute can be used in the construction of new irrigation systems, as well as during their reconstruction and modernization.

Key words: hydrotechnical construction, anti-filtration structures, structural and technological solutions, functional-cost analysis, innovative development.

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg201902-192>

Available (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/192>

УДК 631.674.5:631.171

ОБҐРУНТУВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ВОДОПОДАЧЕЮ НА ЗАКРИТИХ ЗРОШУВАЛЬНИХ СИСТЕМАХ

В.М. Попов¹, докт. техн. наук, М.М. Таргоній²

¹ Інститут водних проблем і меліорації НААН України, 03022, м. Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0003-2024-0290>; e-mail: v_porov15@ukr.net

² Інститут водних проблем і меліорації НААН України, 03022, м. Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-6200-7633>; e-mail: nick.tar991@ukr.net

Анотація. Дослідження спрямовані на підвищення енергоефективності машинної водоподачі на зрошувальних системах. Метою досліджень є зменшення питомих витрат електроенергії на перекачування води насосними станціями (НС) закритих зрошувальних систем (ЗЗС). Поставлено завдання обґрунтування ефективності способу автоматизованого управління машинною водоподачею на ЗЗС при регулюванні напору на виході НС, який задають за сумою гідравлічних витрат у мережі від НС до поливної техніки (ПТ), статичного та вільного напору на диктуючому гідранті ЗЗМ. Наведено логіко-математичну модель та технологічні умови енергоефективного управління водоподачею «за потребою» на закритих зрошувальних системах (ЗЗС). Представлено технічні вимоги до насосних агрегатів (НА) та допоміжного технологічного обладнання підкачувальних насосних станцій (НС) при застосуванні автоматизованого управління водоподачею із застосуванням перетворювачів частоти (ПЧ). Обґрунтування доцільності впровадження автоматизованого електропривода з ПЧ, як одного із заходів підвищення енергоефективності, проведено за результатами енергетичних обстежень (енергоаудиту) НС і ЗЗМ із застосуванням засобів вимірювальної техніки на замовлення міжрайонного управління водного господарства. Об'єктом енергоаудиту є ЗЗС, яка експлуатується з 1979р. НС оснащена чотирма НА з відцентровими секційними насосами 150-CVE-350-23/3 ($D_{\text{рк}} = 350\text{мм}$) та приводними електродвигунами марки MAF315SK-4 з номінальною потужністю 132 кВт. За період експлуатації відбулася реконструкція та відновлення ЗЗМ. ДМФ «Дніпро» замінили на сучасні низьконапірні ДМ та системи краплинного зрошення. Із заміною поливної техніки проведено заміну азбестоцементних польових трубопроводів з діаметрами $D=400\text{мм}$ на пластмасові з $D=200\text{мм}$, змінилась конфігурація, гідравлічні характеристики ЗЗМ та режими роботи НА. ККД насосів 150-CVE-350-23/3, за тривалої експлуатації НС, зменшились на 10-15%. Для енергоефективного управління водоподачею запропоновано: замінити чотири зношені насоси 150-CVE-350-23/3 на три насоси вітчизняного виробництва ЦН400-105б; впровадити систему автоматизованого управління водоподачею на НС із застосуванням ПЧ. Доведена ефективність застосування нового способу управління водоподачею на ЗЗС, що передбачає автоматичне регулювання напору на виході НС, заданим за сумою гідравлічних витрат у мережі від НС до поливної техніки (ПТ), статичного та вільного напору на диктуючому вхіді працюючої ПТ, із застосуванням НА з ПЧ. Впровадження автоматизованого електропривода з ПЧ на НСП-4 Репінської ЗС дозволяє зменшити добове споживання електроенергії від 12% до 25%.

Ключові слова: математична модель, автоматизований електропривод, насосний агрегат, управління водоподачею, енергетичні обстеження, енергоефективність, перетворювач частоти.

Актуальність. Основні напрями підвищення енергоефективності водо-подачі на зрошувальних системах для забезпечення їх сталого функціонування визначені Програмою підвищення енергоефективності водогосподарських систем України на 2010–2014 роки [1]. Одним із пріоритетних організаційно-технічних енергозберігаючих заходів на ЗЗС, передбачених Програмою, є застосування автоматизованого частотно-керованого електропривода НА.

Аналіз досліджень і публікацій. Проведений аналіз режимів роботи НС з авто-

матизованим частотним електроприводом НА показав, що розробка та впровадження систем автоматизованого управління водоподачею (САУВ) на ЗЗС проводились без належного врахування гідравлічних характеристик ЗЗМ з поливною технікою, а також статистичних характеристик процесів водоподачі на ЗЗС як об'єктів управління з розосередженими параметрами. Енергетичні обстеження об'єктів водогосподарських систем, що виконуються за відомою методикою [2], стосуються лише НС і не передбачають обґрунтування застосування ПЧ на НС.

Обґрунтування вибору способу енергоефективного управління водоподачею на ЗЗС в умовах випадкових процесів водоподачі наведено в [3]. Для аналізу процесів автоматизованого управління водоподачею із застосуванням ПЧ використовується математичне моделювання [4].

Постановка завдання. Ставиться завдання обґрунтування енергоефективного управління машинною водоподачею на ЗЗС із застосуванням ПЧ на НС за результатами проведення енергетичних обстежень, спрямованих на визначення технічних, гідравлічних та енергетичних характеристик НС, гідравлічних характеристик ЗЗМ та статистичних характеристик процесів водоподачі на ЗЗС.

Вирішення завдання. Енергоефективність управління водоподачею із застосуванням на НС автоматизованого електропривода оцінюється за результатами енергетичних обстежень, проведених на Респінській ЗС [5]. Запропоновано застосування нового способу управління НС на ЗЗС [6].

Управління водоподачею на ЗЗС здійснюється за потребою водоспоживачів в межах оперативного плану добових заявок водокористування та норм витрат електроенергії на перекачування води НС [7,8].

Логіко-математична модель енергоефективного управління водоподачею «за потребою» на існуючих ЗЗС може бути представлена у вигляді логічних співвідношень:

$$f = Q_{НС} \geq \frac{k_n}{\eta} \sum_{i=1}^n q_i \cap E \geq e_B \sum_{j=1}^n W_j \cap H_K \geq H_p \cap K_{зн} \geq 0,8, \quad (1)$$

де f – технологічна умова; \cap – символ логічного множення; $Q_{НС}$ – загальна продуктивність НС; k_n – коефіцієнт потреби; η – ККД ЗЗМ; q_i – максимальні витрати i -ї ДМ; E – план витрат електроенергії на перекачування води НС зрошувальної системи; e_B – загальнопромислова норма питомих витрат елект-роенергії на перекачування води НС; W_j – об'єм води, перекачаної НС; H_K – напір води в колекторі підкачувальної НС; H_p – розрахунковий напір для забезпечення надійної роботи ДМ на ЗЗМ; $K_{зн}$ – коефіцієнти завантаження насосів.

Коефіцієнт потреби k_n враховує випадкову кількість одночасно працюючих ДМ на ЗЗС, заявлених для подачі води на зрошення, що визначається на основі добових графіків водоподачі [8].

Напір насосів визначають за формулою:

$$H_k = H_r + h_v + H_B, \text{ м} \quad (2)$$

де H_r – геометричний (статичний) напір, який визначають за топографічними умовами

території; h_v – динамічний напір визначається гідравлічними втратами напору по довжині трубопроводів та місцевими втратами; H_B – вільний напір на гідранті ДМ.

Гідравлічні характеристики існуючої ЗЗМ отримують за методикою [9]. При проведенні натурних обстежень визначають загальний технічний стан та стан внутрішніх стінок трубопроводів після їхньої тривалої експлуатації. Проводять натурні експерименти, результати яких порівнюються із розрахунковими. Розробляється та корегується схема ЗЗМ. На схемі повинні бути зазначені конструктивні параметри ЗЗМ: довжини, діаметри, матеріали трубопроводів, місця зміни їх діаметрів, розташування запірнорегулювальної арматури та ДМ.

Будується поздовжній профіль розрахункової ділянки між НС і диктуючим гідрантом ДМ та визначаються місця проведення вимірювань напору на ЗЗМ із застосуванням манометрів або ресстраторів тиску з автономним живленням, а також місце вимірювання витрати води із застосуванням мобільного ультразвукового витратоміра з накладними датчиками на напірному трубопроводі на виході із НС.

За випадкових процесів водоподачі на ЗЗС $K_{зн}$ змінюються від 0,4 до 0,95, а питоми витрати електроенергії на перекачування води НС, як правило, перевищують їхні нормативні значення [10]. Енергоефективне управління водоподачею на ЗЗС, в умовах випадкових процесів подачі води, спрямоване на збільшення $K_{зн}$, шляхом застосування на НС НА з автоматизованим електроприводом [6; 8] або удосконалених саморегулювальних ЗЗС [11].

Спосіб енергоефективного управління водоподачею на ЗЗС повинен передбачати оперативну зміну водоподачі НС відповідно до напору в диктуючій точці ЗЗМ, що змінюється залежно від місця розташування працюючих ДМ та загальних витрат води на зрошення. Даним вимогам відповідає спосіб управління НС на ЗЗС з ДМ [6].

При створенні САУВ повинні бути задіяні НА з максимальними ККД та з мінімальними рівнями вібрації. Засувки або поворотні дискові затвори на напірних трубопроводах насосів обладнують виконавчими механізмами з електроприводами. На виходах насосів встановлюють датчики тиску або електродатчики манометри, а в шафах керування приводними асинхронними електродвигунами – датчики струму. На напірному трубопроводі на виході НС здійснюють

вимірювання об'ємних витрат води і тиску із застосуванням сучасних засобів виміральної техніки (ЗВТ). На входах ДМ ЗЗМ проводять вимірювання напору та об'ємних витрат води із застосуванням розосередженої автоматизованої системи контролю технологічних параметрів [6; 12].

НА з автоматизованим електроприводом повинні створювати об'ємну витрату води більшу ніж інші агрегати НС, а відцентрові насоси повинні мати монотонні напірні характеристики $H(Q)$.

Обґрунтування енергоефективного управління водоподачею проводиться за результатами енергетичних обстежень із застосуванням методик [2; 9] та математичного моделювання процесів водоподачі та електроспоживання на прикладі Репінської ЗС.

НСП-4 Репінської ЗС побудована у 1979 р. Для подачі води у ЗЗМ з ДМФ «Дніпро» НС оснащена чотирма НА з відцентровими секційними насосами 150-CVE-350-23/3 ($D_{\text{рк}} = 350\text{мм}$) та асинхронними електродвигунами марки МАФ315СК-4 з номінальною потужністю 132кВт.

За період експлуатації ЗС відбулася реконструкція та відновлення ЗЗМ. ДМФ «Дніпро» замінили на сучасні низьконапірні ДМ та системи краплинного зрошення. Проведено заміну азбестоцементних польових трубопроводів з діаметрами $D = 400\text{мм}$ на пластмасові з $D = 200\text{мм}$. Із заміною поливної техніки (ПТ) та польових трубопроводів змінилась і конфігурація ЗЗМ.

НС забезпечує водою водокористувачів, які вирощують кукурудзу та овочі на загальній площі 200 га. При поливі фермерське господарство (СФГ) «Дружба» використовує ДМ Linestar Bauer фронтальної дії та краплинне зрошення на західній ділянці ЗЗМ. Інший водокористувач – ТОВ «Агрозерноресурс» для поливу овочів застосовує сучасну низьконапірну ДМ «Фрегат» фронтальної дії з дизель-генератором, а також краплинне зрошення на східній ділянці ЗЗМ.

НС повинна забезпечувати необхідну подачу води і напір на диктуючому гідранті ЗЗМ. Напори насосів визначають за формулою (2), а статичний напір – за формулою:

$$H_r = \text{абс.}H - \text{абс.}H_{\text{ОН}}, \text{ м} \quad (3)$$

де $\text{абс.}H$ – абсолютна відмітка місця під'єднання ДМ до диктуючого гідранту; $\text{абс.}H_{\text{ОН}}$ – абсолютна відмітка осі насоса, $\text{абс.}H_{\text{ОН}} = 109,55\text{м}$.

Відмітка диктуючого гідранта на західній ділянці ЗЗМ, на якій працює ДМ «Linstar

Bauer», становить 129,5м, а статичний напір для даної ділянки ЗЗМ, що розрахований за формулою (3), складає 19,95м.

Для східної ділянки ЗЗМ абсолютна відмітка диктуючого гідранта ДМ «Фрегат» становить 130м, а статичний напір – 20,45м.

Для підвищення енергоефективності водоподачі на Репінській ЗС обґрунтовано заходи [5], серед яких: заміна насосів 150-CVE-350-23/3 на насоси ЦН400-1056, оптимізація режимів машинної водоподачі із застосуванням автоматизованого електропривода та ін.

Фактичні ККД насосів 150-CVE-350-23/3 після їхньої тривалої експлуатації зменшились на 10–15%. Заміна чотирьох насосів 150-CVE-350-23/3 на три насоси вітчизняного виробництва ЦН400-1056 забезпечує зменшення питомих витрат електроенергії на перекачування води від 20 до 23%, а також підвищує ефективність управління машинною водоподачею на ЗЗС.

Режими сумісної роботи НА з регульованою і нерегульованою водоподачею до східної ділянки ЗЗМ наведено на рис. 1.

Для забезпечення надійної роботи ДМ «Linstar Bauer» та системи краплинного зрошення із загальною об'ємною витратою 504 м³/год задіяно два НА. Частота обертів НА з регульованим електроприводом становить 1380 об/хв. При водоподачі до ДМ «Linstar Bauer» та двох систем краплинного зрошення із загальною об'ємною витратою 720 м³/год частота обертів НА з регульованим електроприводом збільшується до 1450 об/хв.

Режими сумісної роботи НА з регульованою та нерегульованою водоподачею до західної ділянки ЗЗМ наведено на рис. 2.

Для створення об'ємної витрати 576 м³/год до західної ділянки ЗЗМ задіяно два НА, при цьому насос з регульованим електроприводом змінює частоту обертів до 1313 об/хв.

Сумісна робота НА з регульованим та нерегульованим електроприводом дозволяє зменшити питомі витрати електроенергії на перекачування води до ділянок ЗЗМ з ПТ: ДМ «Linstar Bauer» та однією системою краплинного зрошення – на 18,3%; ДМ «Linstar Bauer» та ДМ «Фрегат» – на 12,3%.

Основні режими сумісної роботи агрегатів з регульованою і нерегульованою водоподачею до ЗЗМ представлено в табл. 1.

Працюючий автономно НА з ПЧ на НСП-4 дозволяє зменшити питомі витрати електроенергії на перекачування води до ділянок ЗЗМ з ПТ від 17,5 до 69,8% залежно від місця розташування ПТ.

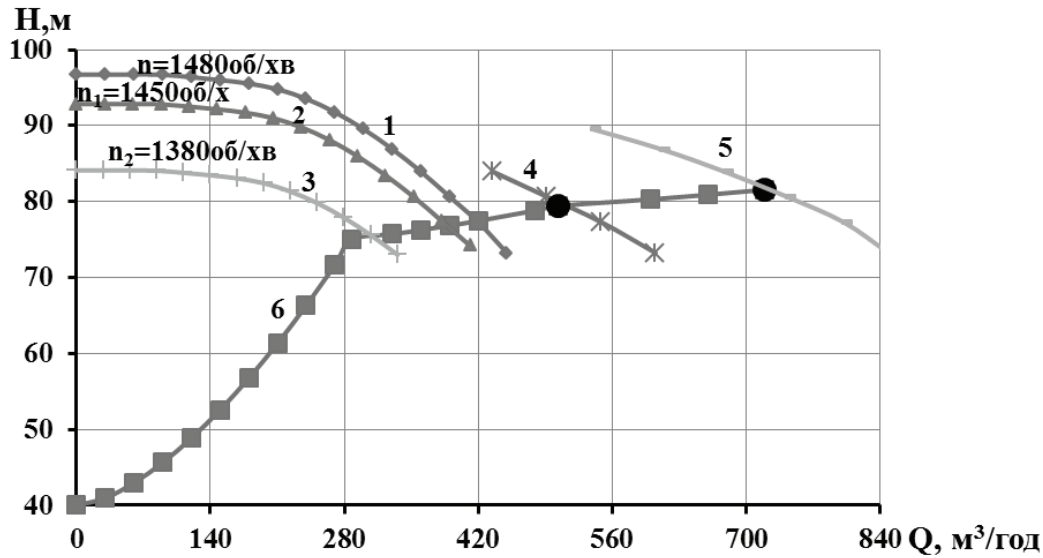


Рис. 1. Режими сумісної роботи НА з регульованою і нерегульованою водоподачею до східної ділянки ЗЗМ
1 – напірна характеристика насоса ЦН400–1056; 2, 3 – напірні характеристики НА з регульованим електроприводом; 4, 5 – напірні характеристики НА при їх суміській роботі; 6 – гідравлічна характеристика західної ділянки ЗЗМ з ПТ.

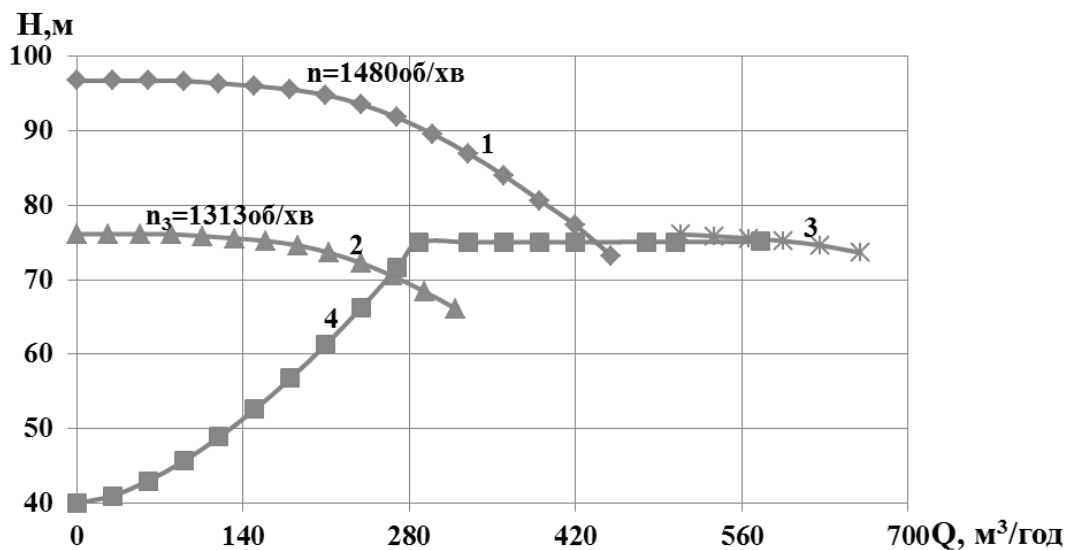


Рис. 2. Режими сумісної роботи агрегатів з регульованою та нерегульованою водоподачею до західної ділянки ЗЗМ
1 – напірна характеристика насоса з нерегульованим електроприводом; 2 – напірна характеристика насоса з регульованим електроприводом; 3 – напірна характеристика при суміській роботі двох НА; 4 – гідравлічна характеристика західної ділянки ЗЗМ з ДМ «Linestar Bauer»

Основні гідравлічні та енергетичні характеристики працюючого автономно НА з ПЧ наведені в табл. 2.

Обґрунтування автоматизованого управління НА на НС в умовах випадкових процесів водоподачі проведено із застосуванням імітаційного моделювання [3] за вихідними даними, отриманими при проведенні енерге-

тичних обстежень [5]. Техніко-енергетичні показники існуючого ручного та автоматизованого режимів управління водоподачею на НСП-4 наведено в табл. 3 та табл. 4.

Добове споживання електроенергії на перекачування води НС при застосуванні автоматизованого управління водоподачею порівняно з ручним зменшується від 12% до 25%.

1. Основні характеристики режимів сумісної роботи агрегатів з регульованою і нерегульованою водоподачею до ЗЗМ

Працююча поливна техніка на ЗЗМ	Напір насоса, м	Подача, м ³ /год.	Питомі витрати електроенергії на перекачування води, кВт·год/тис. м ³
ДМ «Linestar Bauer» та система краплинного зрошення	79,42	504	304,1
ДМ «Linestar Bauer» та дві системи краплинного зрошення	81,56	720	321,7
ДМ «Linestar Bauer» та ДМ «Фрегат»	75,2	576	306,8

2. Основні гідравлічні та енергетичні характеристики працюючого автономно НА ЦН400-105б з ПЧ

Назва ПТ та місце її розташування	Напір насоса, м	Подача, м ³ /год.	ККД НА	Потужність, кВт	Питомі витрати електроенергії на перекачування води, кВт·год/тис. м ³
ДМ «Linestar Bauer», 1Кр-1-3	75,01	288	0,707	83,27	288,8
ДМ «Фрегат», Кр-1	63,4	288	0,711	69,95	242,6
Краплинне зрошення від МТ	28,7	252	0,694	28,36	112,4
Краплинне зрошення від 1Кр-1-4	55,67	216	0,694	47,15	218,0
Краплинне зрошення від 1Кр-1-1	41,8	216	0,685	35,88	166,0

3. Осереднені добові показники ручного управління водоподачею

1	Осереднений добовий графік водоподачі за місяці	Квітень	Травень	Вересень
2	Середньозважений напір на виході НС, м	91,0	92,0	90,9
3	Об'єм води, перекачаної НА, тис.м ³	5,57	8,4	9,03
4	Середньозважені питомі витрати електроенергії на перекачування води НА, кВт·год/тис.м ³	397,5	371,3	360,5
5	Спожита електроенергія, кВт·год	2212,9	3103,8	3253,7

4. Осереднені добові показники автоматизованого управління водоподачею

1	Осереднений добовий графік водоподачі за місяці	Квітень	Травень	Вересень
2	Середньозважений напір на виході НС, м	61,8	69,9	76,6
3	Об'єм води, перекачаної НА, тис.м ³	5,57	8,4	9,03
4	Середньозважені питомі витрати електроенергії на перекачування води НА, кВт·год/тис.м ³	300,7	303,4	314,4
5	Спожита електроенергія, кВт·год	1674,0	2536,1	2837,7

Висновки. Доведена ефективність застосування нового способу управління водоподачею на ЗЗС, що передбачає автоматичне регулювання напору на виході НС заданим за сумою гідравлічних втрат у мережі від НС до ПТ, статичного та

вільного напору на диктуючому вході працюючої ПТ, із застосуванням НА з ПЧ. Запровадження автоматизованого електропривода з ПЧ на НСП-4 Репінської ЗС дозволяє зменшити добове споживання електроенергії від 12% до 25%.

Бібліографія

1. Програма підвищення енергоефективності водогосподарських систем України на 2010–2014 роки. Київ: Держводгосп України, 2010. 71 с.
2. Методика проведення енергоаудиту на об'єктах водогосподарських систем: НД 33-6.2-01-2006. Київ: Держводгосп України, 2006. 46 с.
3. Попов В.М., Таргоній М.М. Обґрунтування технології автоматизованого управління водоподачею на зрошувальних системах // Меліорація і водне господарство. 2016. Вип. 103. С. 69–73.
4. Попов В.М., Таргоній М.М. Моделювання динамічних процесів водоподачі та електроспоживання на зрошувальному технологічному комплексі // Меліорація і водне господарство. 2014. Вип.101. С. 179–189.

5. Звіт про створення науково-технічної продукції «Розробка рекомендацій з підвищення енергоефективності водоподачі на Респінській зрошувальній системі». Київ: ІВПіМ, 2016. 54 с.
6. Спосіб управління насосною станцією на закритій зрошувальній системі з дощувальними машинами: пат. 118413 Україна. № у 201701188; заявл. 09.02.2017; опубл. 10.08.2017, Бюл. № 15.
7. Коваленко П.І, Попов В.М. Управління водорозподільними системами за принципами ресурсо- та енергоощадження. Київ: Аграрна наука, 2011. 368с.
8. Методичні рекомендації з ефективного управління водокористуванням на зрошувальних системах Київ: ІВПіМ, 2015. 61 с.
9. Методологія експериментальних досліджень на закритих зрошувальних системах / Попов В.М. та ін. // Вісник НУВГП. 2016. № 4(76): Технічні науки. С. 10–30.
10. Нормування питомих витрат електроенергії на перекачування води насосними станціями. Методичні вказівки: ВНД 33-3.1-08-2004. Київ: Держводгосп України, 2004. 30 с.
11. Зрошувальна система. 120012 Україна. № у 201701190; заявл. 09.02.2017; опубл. 25.10.2017, Бюл. № 20.
12. Правила експлуатації автоматизованої системи контролю технологічних параметрів на зрошувальному технологічному комплексі. Київ: ІВПіМ, 2014. 14 с.

References

1. Programa pidvyzchennya energoefektyvnosti vodogospodarskih system Ukrainy na 2010–2014 roky [Program for energy efficiency of water-cospodar systems of Ukraine for 2010–2014 years]. (2010). Kyiv: Dergvodgosp. [in Ukrainian].
2. Metodyka provedennya energoaudytu na obektah vodogospodarskih system [Methodology for conducting energy audits on the objects of water-giving systems]. Derzvodgosp Ukrainy ND 33-6.2-01-2006. (2006). Kyiv. [in Ukrainian].
3. Popov, V.M., & Targoniy, M.M. (2016). Obgruntuvannya tehnologiyi avtomatyzovanogo upravlinnya vodopodacheyu na zroshuvalnyh systemah [Substantiation of the technology of automated control of automatic feeding on irrigation systems]. Melioraciya i vodne gospodarstvo, 103, 69–73. [in Ukrainian].
4. Popov, V.M., & Targoniy, M.M. (2014). Modelyuvannya dynamichnyh procesiv vodopodachi ta elektro-spozivannya na zroshuval'nomu tehnologichnomu kompleksi [Modeling of dynamic processes of water supply and power consumption at the irrigation technological complex]. Melioraciya i vodne gospodarstvo, 101, 179–189. [in Ukrainian].
5. IWPaLM NAAN. (2016). Zvit pro stvorennya naukovo-tehnichnoyi produkciyi “Rozrobka rekomendacij z pidvyzchennya energoefektyvnosti vodopodachi na Repinskiy zroshuvalniy systemi” [Report on Creation of Scientific and Technical Products “Development of Recommendations for Improving the Energy Efficiency of Water Supply on the Repin Irrigation System”]. Kyiv. [in Ukrainian].
6. Popov, V.M., & Targoniy, M.M. (2017). Sposib upravlinnya nasosnoyu stanciyeyu na zakrytyy zroshuvalniy systemi z dozchuvalnyimi mashynami [A method of controlling a pumping station on a closed irrigation system with sprinklers]. Patent of Ukraine. № 118413. [in Ukrainian].
7. Kovalenki, P.I., & Popov, V.M. (2011). Upravlinnya vodorozpodil'nyimi systemami za pryncypamy resurso- ta energooshchadzennya [Management of water distribution systems according to the principles of resource and energy saving]. Kyiv: Agrarni nauky. [in Ukrainian].
8. IWPaLM NAAN. (2015). Metodychni rekomendaciyi z efektyvnogo upravlinnya vodokorystuvanniam na zroshuval'nyk systemah [Guidelines for effective water management on irrigation systems]. Kyiv. [in Ukrainian].
9. Popov, V.M., Vnukova, K.V., Targoniy, M.M., Soroka, N.V., & Shlikhta, V.V. (2016). Metodologiya eksperymental'nyh doslidzen' na zakrytyh zroshuval'nyh systemah [Methodology of experimental studies on closed irrigation systems]. Bulletin of NUWM, 4(76), 10–30. [in Ukrainian].
10. Normuvannya pytomyh vytrat elektroenergiyi na perekachuvannya vody nasosnyimi stanciyami [Rationing of specific costs of electricity for pumping water by pumping stations. Methodical instructions]. Derzvodgosp Ukrainy VND 33-3.1-08-2004. (2004). Kyiv. [in Ukrainian].
11. Popov, V.M., & Targoniy, M.M. (2017). Zroshuval'na systema [Irrigation system]. Patent of Ukraine. № 120012. [in Ukrainian].
12. IWPaLM NAAN. (2014). Pravyly ekspluatatsiyi avtomatyzovanoyi systemy kontroly tehnologichnyh parametriv na zroshuval'nomu tehnologichnomu kompleksi [Rules of operation of the automated control system of technological parameters on the irrigation technological complex]. Kyiv. [in Ukrainian].

В.Н. Попов, Н.Н. Таргоний

Обоснование энергоэффективного управления водоподачей на закрытых оросительных системах

Аннотация. Исследования направлены на повышение энергоэффективности машинной водоподачи на оросительных системах. Для уменьшения удельного расхода электроэнергии на перекачивание воды НС поставлена задача обоснования энергоэффективного способа автоматизированного управления водоподачей на закрытых оросительных системах (ЗОС). Представлена логико-математическая модель и технологические условия энергоэффективного управления водоподачей «за потребностью» на закрытых оросительных системах (ЗОС). Представлены технические требования к насосным агрегатам (НА) и вспомогательному оборудованию подкачивающих насосных станций (НС) при использовании автоматизированного управления водоподачей на ЗОС с использованием преобразователя частоты (ПЧ). Обосновано использование способа автоматизированного управления машинной водоподачей на ЗОС при регулировании напора на выходе НС, который задают за суммой гидравлических потерь в сети от НС до поливной техники, статического и свободного напора на диктующем гидранте закрытой оросительной сети (ОС). Обоснование целесообразности внедрения автоматизированного электропривода с ПЧ, как одного из способов повышения энергоэффективности, проведено на основании энергетических обследований (энергоаудита) НС и ОС с использованием средств измерительной техники по заказу межрайонного управления водного хозяйства и водопользователей. Объектом энергоаудита является ЗОС, которая эксплуатируется с 1979 г. НС оборудована четырьмя НА с центробежными секционными насосами 150-CVE-350-23/3 (Дрк=350мм) с приводными электродвигателями марки МАФ315СК-4 с номинальной мощностью 132кВт. За время эксплуатации проведена реконструкция ЗОС. ДМФ «ДНЕПР» заменили на современные низконапорные ДМ и системы капельного орошения. С заменой поливной техники произведена замена асбестоцементных трубопроводов на пластмассовые. Изменилась конфигурация, гидравлические характеристики оросительной сети и режимы работы НА. В результате длительной эксплуатации НС, ККД насосов 150-CVE-350-23/3 уменьшились на 10-15%. Для энергоэффективного управления водоподачей предложено: заменить четыре насоса 150-CVE-350-23/3 на три насоса отечественного производства ЦН400-1056; внедрить систему автоматизированного управления водоподачей с использованием преобразователя частоты (ПЧ). Оптимизация режимов работы насосных агрегатов путем использования автоматизированного электропривода с ПЧ позволяет уменьшить суточное потребление электроэнергии на 12-25%, в зависимости от количества, типа и места расположения поливной техники на оросительной сети.

Ключевые слова: математическая модель, автоматизированный электропривод, насосный агрегат, управление водоподачей, энергетические обследования, энергоэффективность, преобразователь частоты.

V.M. Popov, M.M. Targoni

Substantiation of energy efficient water supply in closed irrigation systems

Abstract. The logical-mathematical model and technological conditions of energy-efficient water supply management “when it needs” on closed irrigation systems (CIS) are given. The technical requirements for pumping units (PU) and auxiliary technological equipment of pumping stations (PS) are presented in the application of automated water supply control with the use of frequency converters (FC). It justifies the use of a method of automated control of machine water supply to the CIS when regulating the pressure at the outlet of the PS, which is set for the sum of hydraulic losses in the network from the PS to irrigation equipment, static and free pressure at the dictating hydrant of a closed irrigation network (CIN). Substantiation of the feasibility of introducing automated electric drive with the FC as one of the energy efficiency measures was carried out based on the results of energy audits of the PS and CIS with the use of measuring equipment at the request of inter-district water management administration (IDWMA) and water users. The object of the energy audit is the CIS, which has been in operation since 1979. The PS is equipped with four PUs with centrifugal section pumps 150-CVE-350-23/3 (D = 350 mm) and drive motors of МАФ-315СК-4 brand with a nominal power of 132 kW. During the period of operation the reconstruction and restoration of the CIS took place. “Dnepr” sprinkling machines have been replaced by modern low pressure SM and drip irrigation systems. With the replacement of irrigation equipment, asbestos-cement field pipelines with the diameters D = 400 mm were replaced with the plastic ones with D = 200 mm, the configuration, hydraulic characteristics of the CIS and modes of operation of the PU have also been changed. The efficiency of the pumps 150-CVE-350-23/3 decreased by 10-15% during the long-term operation of the CIS. For energy-efficient water management, it is proposed to replace four worn-out pumps 150-CVE-350-23/3 with three pumps of domestic production ЦН400-1056, which ensure a reduction of the specific energy consumption for pumping water from 20 to 23%. Optimization of the operating modes of the PS by the use of an automated electric drive with FC on one PU, enables to reduce the daily consumption of electricity for pumping water at PS-4 from 13% to 25%, depending on the number, type and location of the operating irrigation equipment on the CIS.

Key words: mathematical model, automated electric drive, pumping unit, water supply control, energy audits, energy efficiency, frequency converter.

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg201902-181>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/181>

УДК 528.422.2 : 631.6.02

ОБЧИСЛЕННЯ ОБ'ЄМІВ ЗЕМЛЯНИХ РОБІТ ДЛЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПЛАНУВАННЯ РЕЛЬЄФУ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ІНЖЕНЕРНО-МЕЛІОРАТИВНИХ ЗАХОДІВ

Г.В. Гапіч¹, канд. техн. наук, А.В. Зуска², канд. техн. наук

¹ Дніпровський державний аграрно-економічний університет, Дніпро, Україна;
<https://orcid.org/0000-0001-5617-3566>; e-mail: gapichgennadii@gmail.com

² Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-5693-6647>; e-mail: ada54ka@gmail.com

Анотація. У статті представлена актуальна проблема точності обчислення об'єму земляних робіт, що надає можливість зменшити вартість реалізації проекту вертикального планування рельєфу території при проведенні інженерно-меліоративних заходів. Проаналізовані навчальні та наукові публікації, де розглядаються класичні методи розрахунку об'ємів земляних мас за відомими геодезичними формулами. На основі аналітичного огляду публікацій сформульовано завдання – одержати найбільш достовірні розрахункові значення об'єму земляних робіт за допомогою автоматизованого метода визначення. Для вирішення поставленої задачі реалізований приклад обчислення об'єму земляних мас для вертикального планування із застосуванням програмного комплексу Golden Software Surfer8, який є галузевим стандартом побудови графічних зображень функцій двох змінних та однією з кращих програм для побудови тривимірних поверхонь та їх обробки. У даній публікації розглянуто послідовність розрахунку об'єму ґрунтових мас для вертикального планування рельєфу горизонтальної та нахиленої ділянок і визначена відносна похибка обчислень. Достовірність отриманих значень об'єму оцінена шляхом порівняння результатів різними розрахунковими методами («Трапеції», «Сімпсона», «Сімпсона 3/8» та «Квадратів») та по балансу «ввіймки-насіпу». За результатами розрахунків встановлено, що відносна похибка обчисленого об'єму горизонтальної і похилої ділянок знаходиться в межах від 0,03–0,06%, а баланс земляних робіт 1,65–4,6%, що не перевищує регламентованих стандартами 5,0%. Переваги застосування програми Surfer 8 обґрунтовуються зменшенням обсягу та тривалості робіт при складанні проекту вертикального планування та перенесенні його в натуру, а також економічністю реалізації у зв'язку з меншою відносною та допустимою похибкою розрахунків і вимірювань.

Ключові слова: вертикальне планування, об'єм земляних робіт, сітка квадратів, цифрова модель поверхні.

Постановка проблеми. При проектуванні складових елементів меліоративних систем використовують топографічні карти і плани масштабів 1:10000–1:5000 з висотою перетину рельєфу 0,5–1,0 м. Топографічною основою для складання проектів вертикального планування служать плани масштабу 1:500–1:2000 з висотою перетину рельєфу 0,25–0,5 м, побудовані за результатами нівелювання поверхні по квадратах 20×20 м [1]. Рельєф місцевості має виняткове значення для зрошувальних і осушувальних меліорацій. Детальне вивчення і відображення рельєфу на плані дозволяє уникати похибок у проектуванні та розрахунках інженерних мереж, визначити оптимальні техніко-економічні параметри та режими їх роботи. Характер рельєфу і ухил зрошуваної території є однією з головних умов для вибору способу поливу та вертикального планування поля, тобто

приведення природного рельєфу до стану, що забезпечує найбільш сприятливі умови для загального плану осушення або зрошення. Разом з цим, вертикальне планування меліоративних ділянок є невід'ємною складовою забезпечення сталого еколого-меліоративного режиму функціонування території шляхом збереження ґрунтового покриву та захисту його від водної ерозії [2; 3].

Основна вимога для розробки проекту вертикального планування – це мінімальний об'єм земляних робіт. Планування, як правило, виконують в єдиному комплексі з будівництвом споруд меліоративної системи і з дотриманням балансу ґрунтових мас, тобто коли ґрунт перерозподіляється на території ділянки без його завезення чи вивезення. При лазерному контролі в процесі виробництва земляних робіт відхилення відміток поверхні (чорних) від проектних (червоних)

допускаються в межах ± 3 см. Відхилення насипу родючого шару ґрунту допускається в межах $\pm 10\%$ від проектної. Відхилення відміток планування від проектних допускається в межах ± 5 см за умови, що ці відхилення не створюють зворотних ухилів, що ускладнюють виконання поливів [4].

Для розрахунку об'ємів земляних робіт існує декілька різних методів і формул обчислення. Доцільність методу обґрунтовується в кожному конкретному випадку з урахуванням рельєфу місцевості, розмірів поля, конфігурації та інших особливостей гідромеліоративної системи, способів та засобів виробництва робіт і необхідної розрахункової точності об'ємів.

Актуальність дослідження. Задача визначення трудомісткості земляних робіт (який об'єм ґрунту потрібно розробити або насипати) є досить актуальною для фахівців різних галузей – маркшейдерів, гідротехніків, будівельників авто- та залізничних доріг тощо. Достовірність визначення об'ємів насипу та виїмки ґрунтових мас надає можливість зменшити вартість виконання проекту вертикального планування.

Мета дослідження. Обґрунтування точності і порівняння розрахунків об'ємів земляних робіт для вертикального планування горизонтальної та нахиленої земельних ділянок із застосуванням класичних математичних методів та програмного комплексу *Surfer8*.

Методи дослідження. У багатьох джерелах науково-технічної літератури досить широко представлені методи розрахунків об'ємів земляних робіт (мас) у вигляді формул. При розрахунку об'ємів земляних робіт для вертикального планування розглядаються в основному методи проектних горизонталей, проектних відміток нівелюванням поверхні за квадратами, проектних профілів і графічні методи [5]. Під час використання методу проектних горизонталей об'єми земляних робіт розраховують за сіткою квадратів. Сторону квадратів вибирають 5, 10 або 20 м, залежно від масштабу плану та необхідної точності розрахунку об'ємів.

Графічні методи вертикального планування ґрунтуються на нанесенні червоних (проектних) горизонталей на план зрошуваної (осушуваної) ділянки. Для цього план меліорованої території з горизонталями розмічують на низку квадратів, які потім розділяють діагоналями на прямокутні трикутники. Сторона квадрата залежно від рельєфу приймається у 10–50 м для пересічного і до 100 м – для спокійного рельєфу.

Розв'язання задачі вертикального планування за допомогою складання системи рівнянь основних параметрів на основі математичної статистики за результатами експериментального моделювання рішень на майданчиках різного функціонального призначення представлено в [6].

На сучасному етапі розвитку комп'ютеризації для проектування рельєфу використовують методи найменших квадратів і квадратичного програмування. У публікації [7] запропоновано методику аналітичного проектування поверхні будівельних майданчиків із дотриманням балансу земляних мас. Отримані аналітичні залежності на основі методів найменших квадратів і квадратичного програмування. Описано приклад вертикального проектування будівельного майданчика.

Об'єми земляних робіт для проекту вертикального планування на великих площах обчислюються за тригранними або чотиригранними призмами [7].


Поряд з класичними методами розрахунку об'ємів земляних мас (котлованів, траншей, геологічних покладів і т.п.) на сьогодні широко застосовуються автоматизовані методи визначення об'єму з використанням стандартних програм *Excel*, *Gredo*, *AutoCAD*, *ArcGIS* та інших.

Результати та їх обговорення. У роботі розглянуто обчислення об'єму ґрунтових мас для вертикального планування рельєфу з використанням геоінформаційної системи *Surfer8*, яка зараз час є галузевим стандартом побудови графічних зображень функцій двох змінних. Відмінною перевагою програми є закладені в неї алгоритми інтерполяції, які дозволяють з високою якістю створювати цифрові моделі поверхні за нерівномірно розподіленими в просторі даними. Крім основних функцій в програмі реалізовано набір додаткових можливостей перетворення поверхонь і різних операцій з ними, зокрема обчислення об'єму між двома поверхнями, побудова профілю, обчислення площі поверхні та інші функції.


Цифрова модель поверхні традиційно представляється у вигляді значень у вузлах прямокутної регулярної сітки, дискретність якої визначається залежно від конкретної задачі. Для зберігання таких значень *Surfer* використовує власні файли типу *Grd* (двійкового або текстового формату), які вже давно стали стандартом для пакетів математичного моделювання [8, 9].

1. Створення нового файлу з даними XYZ. Побудова будь-якого зображення

поверхні в *Surfer* починається з підготовки файлу, що містить дані за координатами. *XYZ* – це числова інформація, яка складається з не менш ніж трьох стовпців, перші два з яких є аргументи *X* і *Y*, а третій (або інші) – як функція(ї) *Z* цих аргументів. Не допускається робити пропусків при введенні таких даних, тобто для кожної пари значень *X* і *Y* обов'язково повинні бути присутніми значення всіх функцій *Z*. Для кожного стовпця можна задавати короткі текстові коментарі. Значення топографічної поверхні в точках задаються в таблиці. При цьому можна використовувати вбудовану в пакет таблицю або скористатися електронною таблицею *Excel* з пакету *Microsoft Office* [8]. В електронну таблицю заносяться вихідні дані. У перші два стовпці зручніше занести координати *X* і *Y* (саме там *Surfer* шукає їх за замовчуванням). У третій стовпчик заносяться значення абсолютних відміток вершин квадратів (в ній за замовчуванням програма шукає значення *Z* (рис. 1а).

Створення нового файлу виконується командою *File / New* або кнопкою  на панелі інструментів. Після цього з'явиться діалогове вікно *New (Створити)*. Якщо вибрати пункт *Worksheet (Робочий лист)* і клацнути кнопкою *OK*, тоді з'явиться нове порожнє вікно робочого листа. Відповідно табличний файл записують в підкаталог *Dat* (рис. 1, б).

2. Відкриття існуючого файлу з даними XYZ. Для того щоб відкрити готовий файл (*.dat) з даними *XYZ* в окреме вікно робочого листа необхідно:

1. Виконати команду *File/Open* або використовувати кнопку  на панелі інструментів *Main*. З'явиться стандартне діалогове вікно *Open (Відкрити)*.

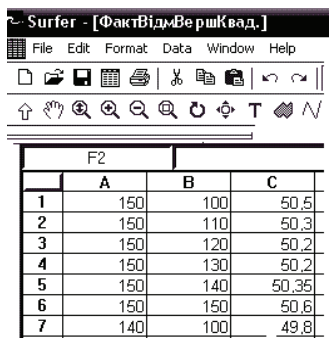
2. У списку файлів вибрати ім'я файлу .dat і клацнути кнопку *Open*. Ім'я цього файлу з'явиться в заголовку вікна робочого листа.

3. Необхідно зауважити, що в стовпці *A* знаходяться значення координат *X* (*Easting*, східне положення), в стовпці *B* – значення координат *Y* (*Northing*, північне положення), в стовпці *C* – значення *Z* (*Elevation*, висота). Текст заголовків стовпців не є обов'язковим, але допомагає ідентифікувати тип даних в стовпчиках. До того ж, ця інформація використовується в різних діалогових вікнах, де потрібно вибирати стовпці робочого листа.

Файл з табличними даними зберігається в файлі з заданим ім'ям, наприклад «*ФактВідмВершКвад*» або «*Фактичні відмітки вершин*». Розширення файлу за замовчуванням вибирають *Excel Spreadsheet (*.xls)*. *File > Save > ФактВідмВершКвад.xls*. Назва файлу задається на свій розсуд. Для збереження результатів бажано створити на локальному диску окремий каталог і всередині нього створити підкаталоги: *Dat* – для збереження файлів з даними, *Set* – для збереження файлу налаштувань *Surfer*, *Grid* – для збереження сіткових файлів, *SRF* – для збереження *Plot* вікон, *Bln* – для збереження файлів меж, *Clr* – для збереження заливок карт [9].

3. Створення інтерпольованої регулярної сітки в Surfer. Для створення інтерпольованої регулярної сітки в *Surfer* (основа для всіх подальших дій в цій програмі) потрібно мати заздалегідь підготовлені дані у вигляді трьох значень *X*, *Y*, *Z*, де *X* і *Y* – координати точки, *Z* – значення висоти в точці, представлені в одному з нижчезказаних форматів (рис. 1).

4. Виведення на екран карти вихідних точок (Post Map). Для візуалізації у вікні *Plot1* розташування вершин проекту сітки квадратів на карті необхідно вибрати відповідне вікно *Plot*: меню *> Window > Plot1*. Коли програма створює нове вікно *Plot*, вона привласнює цьому вікну наступний за своєю чергою номер. У нашому випадку буде декілька вікон



	A	B	C
1	150	100	50.5
2	150	110	50.3
3	150	120	50.2
4	150	130	50.2
5	150	140	50.35
6	150	150	50.6
7	140	100	49.8

а)



б)

Рис. 1. Приклад робочого інтерфейсу та вихідних даних для створення інтерпольованої регулярної сітки у програмі *Surfer*

Plot, і послідовність дій буде така: Window > Plot1 > Map > PostMap > NewPostMap > C: \ Surfer \ Dat \ ФактВідмВершКвад.xls (рис. 2).

5. Обчислення об'ємів в Surfer. Для підрахунку об'єму за ЦМР користуються стандартною функцією програми Surfer – Volume. Наприклад, об'єм, обмежений поверхнею, у якій значення Z задані у вигляді аналітичної функції $Z = (x^2 + y^2)$ і площиною $Z = 0$. Сітку розраховують: Grid > Function і дають їй ім'я за замовчуванням out.grd > OK (рис. 2б).

Після натискання клавіші OK відкривається вікно Grid – Volume (рис. 3) в якому в верхньому рядку Upper Surface (Верхня поверхня) обраний файл grd.out, в нижньому рядку Lower Surface (Нижня поверхня) за замовчуванням площина $Z = 0$ (рис. 4) або довантажити зазда-

легідь створену і програма проводить розрахунки і видає звіт про обчислення. За верхню (Upper Surface) поверхню вибирають вихідну сітку. Нижньою (Lower Surface) поверхнею буде площина з максимальним значенням висоти. Програма видає повідомлення для обчислених трьома чисельними методами: трапеції, Сімпсона і 3/8 Сімпсона (табл. 1).

У таблиці 1 представлені значення об'ємів земляних робіт для вертикального планування горизонтальної та нахиленої ділянок за допомогою програми Surfer. Загальний об'єм ґрунту є сумою позитивного (насип) і від'ємного (виїмка). Чистий об'єм є різниця між виїмкою та насипом, яка показує точність розрахунків.

Різниця в об'ємі за трьома різними методами показує точність його розрахунку.

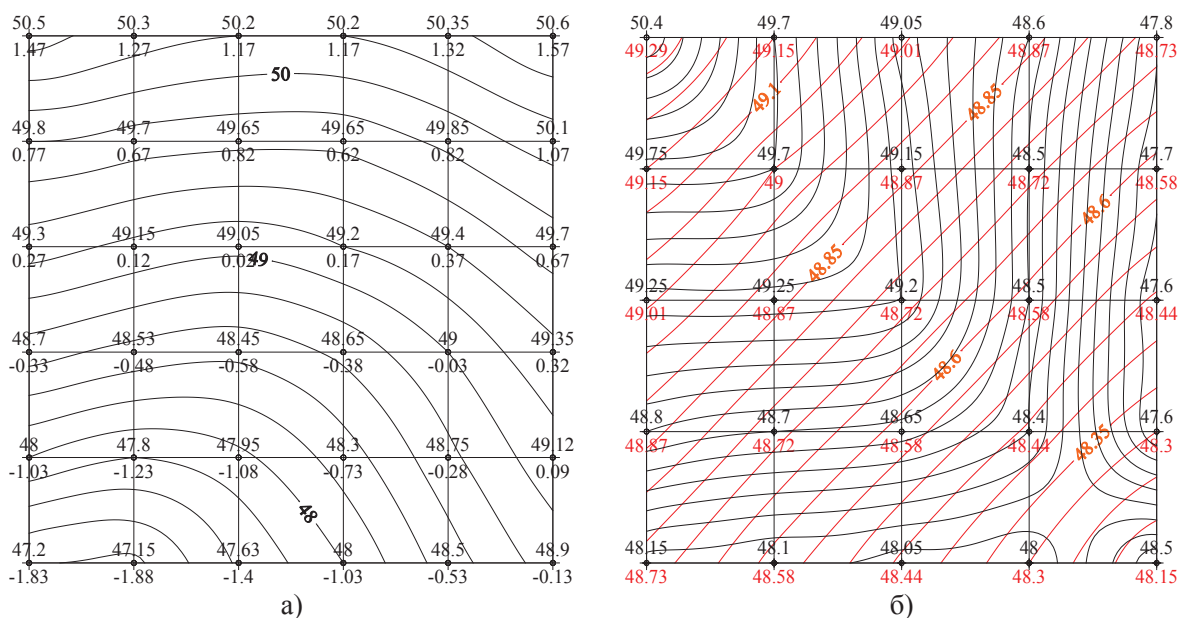


Рис. 2. Проект регулярної сітки квадратів вертикального планування:
а – горизонтальна ділянка; б – ділянка з нахилом

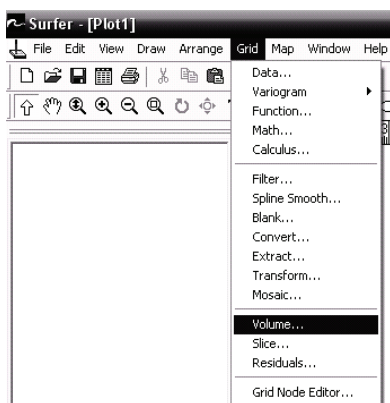


Рис. 3. Розташування функції Volume (об'єм)

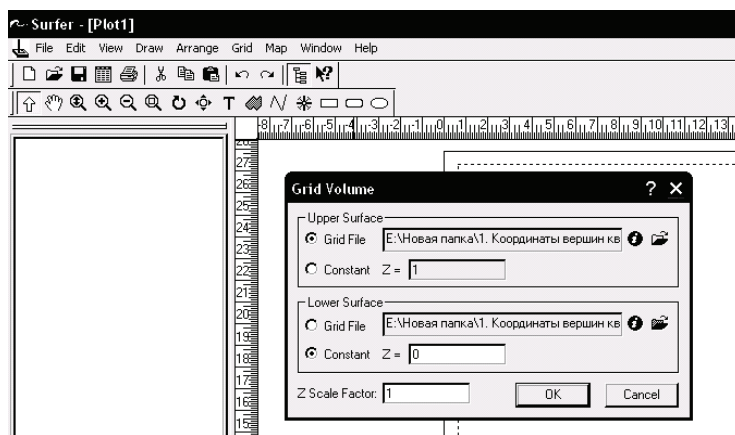


Рис. 4. Вибір поверхні

1. Приклад визначення об'ємів земляних мас у програмі Surfer

Горизонтальна ділянка	Ділянка з похилою поверхнею
Lower Surface Level Surface defined by Z = 0 Volumes	Lower Surface Level Surface defined by Z = 0 Volumes
Z Scale Factor: 1	Z Scale Factor: 1
Total Volumes by:	Total Volumes by:
Trapezoidal Rule: -8,7814210443983	Trapezoidal Rule: 50,722579354471
Simpson's Rule: -8,8356792212153	Simpson's Rule: 50,903631349091
Simpson's 3/8 Rule: -8,8325371152976	Simpson's 3/8 Rule: 50,897422006906
Cut & Fill Volumes	Cut & Fill Volumes
Positive Volume [Cut]: 819,44797257464	Positive Volume [Cut]: 1137,4157699233
Negative Volume [Fill]: 828,19538348396	Negative Volume [Fill]: 1086,5870789475
Net Volume [Cut-Fill]: -8,7474109093189	Net Volume [Cut-Fill]: 50,828690975732
Areas	Areas
Planar Areas	Planar Areas
Positive Planar Area [Cut]: 1277,2458737076	Positive Planar Area [Cut]: 3184,0179700975
Negative Planar Area [Fill]: 1222,7541262924	Negative Planar Area [Fill]: 3215,9820299025
Blanked Planar Area: 0	Blanked Planar Area: 0
Total Planar Area: 2500	Total Planar Area: 6400
Surface Areas	Surface Areas
Positive Surface Area [Cut]: 1279,1791085406	Positive Surface Area [Cut]: 3184,721919804
Negative Surface Area [Fill]: 1224,8624920731	Negative Surface Area [Fill]: 3217,1971296648

Якщо всі три значення об'єму досить близькі, то істинний об'єм близький до цих значень, але коли ці значення відрізняються, то використовують новий файл з більшою щільністю сітки, перш ніж повторити розрахунок об'єму. Чистий об'єм може бути представлений як середнє з трьох значень. Основною складовою проекту вертикального планування територій є картограма земляних робіт (рис. 5, 6).

6. Розрахунок точності обчисленого об'єму. Достовірність об'єму земляних робіт

характеризує відносна похибка у відсотках, яка визначається формулою [10]:

$$\frac{1}{m} = \frac{(V_{\max} - V_{\min}) \cdot 100\%}{V_{cp}}$$

де $1/m$ – відносна похибка; V_{\max} і V_{\min} – найбільший і найменший розрахований об'єм; V_{cp} – середньоарифметичне значення об'ємів із трьох результатів.

Достовірність обчисленого об'єму оцінюється шляхом порівняння результатів трьох розрахункових методів та по балансу виїмки-

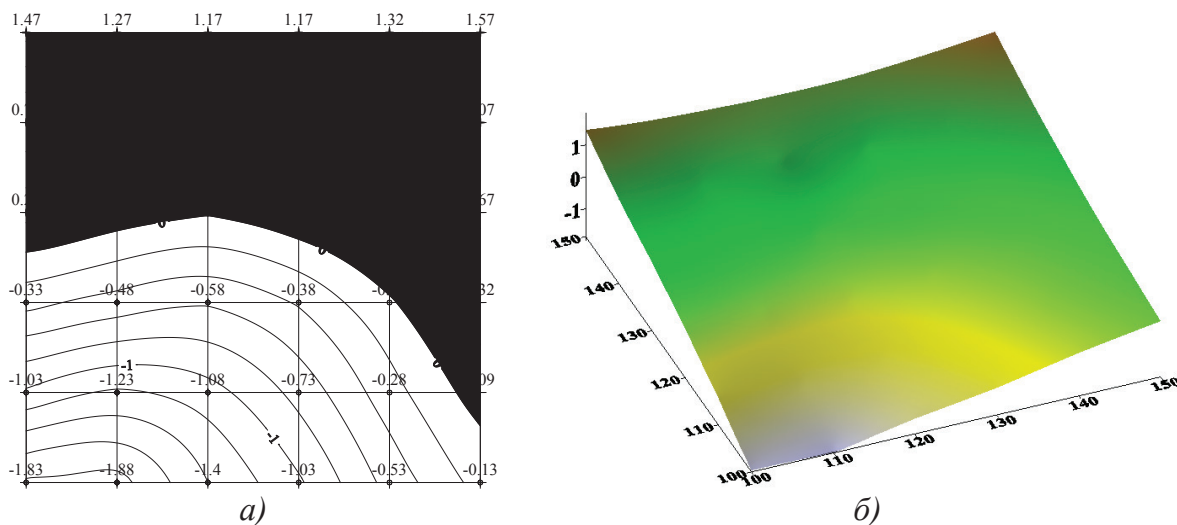


Рис. 5. Вертикальне планування рельєфу:
а – картограма земляних робіт горизонтальної ділянки;
б – тривимірна поверхня горизонтальної ділянки

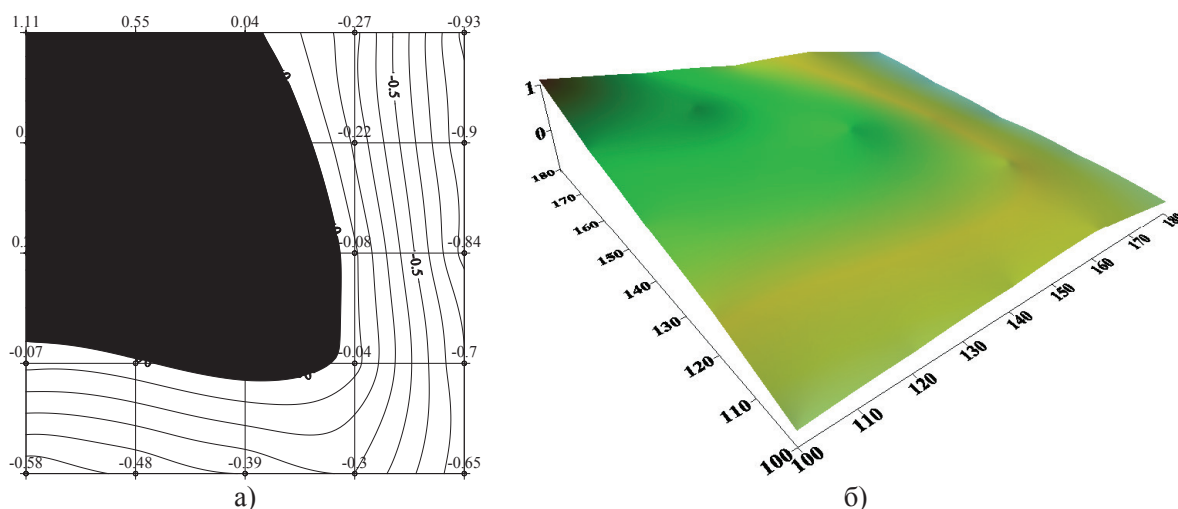


Рис. 6. Вертикальне планування рельєфу:

а – картограма земляних робіт нахиленої ділянки; б – тривимірна поверхня нахиленої ділянки

насипу. Порівняємо його з об'ємом, розрахованим за відомими в геодезії формулами (табл. 2).

Висновки. За результатами розрахунків встановлено, що відносна похибка обчисленого об'єму горизонтальної ділянки за трьома методами склала 0,06%. Баланс земляних робіт такий: за програмним комплексом *Surfer* – 1,01%, за розрахунковими формулами – 1,65%, що є менше регламентованих 5,0%.

Відносна похибка обчисленого об'єму нахиленої ділянки за трьома методами становить 0,03%. Баланс земляних робіт відповідно складає: програма *Surfer* – 4,6%, за формулами – 0,8%, що не перевищує регламентованих 5,0%.

Отже, застосування програми *Surfer 8* дає можливість обчислювати не тільки об'єми земляних мас між двома поверхнями планування, але і площі цих поверхонь. Достовірність розрахованого об'єму підтверджує величина відносної похибки балансу земляних робіт. Переваги застосування програми *Surfer8* обґрунтовуються зменшенням обсягу та тривалості робіт при складанні проекту вертикального планування та перенесенні його в натуру під час виконання інженерно-меліоративних заходів, а також економічністю реалізації у зв'язку з меншою відносною та допустимою похибкою розрахунків та вимірювань.

2. Визначення відносної похибки об'ємів земельних робіт

Значення об'єму	Виїмка, м ³	Насип, м ³	Чистий об'єм, м ³	Середній об'єм, м ³	Відносна похибка обчисленого об'єму, %
Методи обчислення:	Горизонтальна ділянка				
Трапеції;	-	-	-8,781	-	-
Сімпсона	-	-	-8,835	-8,800	0,06 %
Сімпсона 3/8	-	-	-8,832	-	-
Виїмка та насип	819,448	828,195	-8,747	823,822	1,01 %
За формулами:					
за квадратами	800,4	813,7	- 13,3	-	1,65 %
Методи обчислення:	Нахилена ділянка				
Трапеції;	-	-	50,722	-	-
Сімпсона;	-	-	50,904	50,840	0,04 %
Сімпсона 3/8	-	-	50,897	-	-
Виїмка та насип	1137,416	1086,587	50,829	1112,002	4,6 %
За формулами:					
за квадратами	1088,7	1080,3	8,4	1084,5	0,8 %

Бібліографія

1. Батраков Ю.Г. Геодезические сети сгущения. Москва: Недра. 1987. 255 с.
2. Рудаков Л.М., Гапич Г.В. Сучасний стан, динаміка змін та перспективи розвитку гідротехнічних меліорацій у Дніпропетровській області // Меліорація і водне господарство. 2019. № 1. С. 54–60.
3. Панасюк Ю.А., Ліщинський А.Г. Проблеми управління меліорованими територіями // Геодезія, картографія і аерофотознімання. 2011. № 75. С. 135–138.
4. Меліоративні системи та споруди. ДБН В.2.4-1-99. Держбуд України. Київ. 2000. [Введені в дію з 01.01.2000 р.].
5. Баран П.І. Інженерна геодезія: монографія. Київ: ПАТ «ВПОЛ». 2012. 618 с.
6. Вибранець Ю.М., Тарасюк І.Г. Методика розрахунку вертикального планування // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». 2000. № 409: Теорія і практика будівництва. С. 31–34.
7. Баран П.І. Методи вертикального планування для будівельних майданчиків // Вісник геодезії та картографії. 2011. № 6(75). С. 9–15.
8. Силкин К.Ю. Геоинформационная система Golden Software Surfer 8. Воронеж. 2008. 66 с.
9. Иванова И.А., Чеканцев В.А. Решение геологических задач с применением программного пакета Surfer: практикум. Томск. 2008. 92 с.
10. Зуска А.В. Кинематическая модель оползневых склонов: монография / Национальный горный университет. Днепропетровск: НГУ. 2014. 140 с.

References

1. Batrakov, Yu.G. (1987). Geodezicheskie seti sghuscheniya [Geodetic networks of condensation]. Moskva: Nedra. [in Russian].
2. Rudakov, L.M., & Napich, H.V. (2019). Suchasniy stan, dinamika zmin ta perspektivi rozvitku gidrotehnicnih melioratsiy u Dniproperetrovskiy oblasti [Modern state, dynamics of changes and prospects for the development of hydrotechnical reclamations in Dnipropetrovsk region]. Reclamation and water management, 1, 54–60. [in Ukrainian].
3. Panasyuk, Yu.A., & Lischinsky, A.G. (2011). Problemi upravlinnya meliorovanimi teritoriyami [Problems of Management of Reclaimed Territories]. Geodesy, Cartography and Aerial Photography, 75, 135–138. [in Ukrainian].
4. Meliorativni sistemi ta sporudi. [Reclamation systems and structures].(2000). DBN B.2.4-1-99. State building of Ukraine. Kiev. [Entered into force on 01.01.2000]. [in Ukrainian].
5. Baran, P.I. (2012). Inzhenerna geodeziya [Engineering geodesy]. Kiev: Vipol. [in Ukrainian].
6. Vibranets, Yu.M., & Tarasyuk, I.G. (2000). Metodika rozrahunku vertikalnogo planuvannya [Method of calculation of vertical planning]. Bulletin of the National University «Lviv Polytechnic», 409, 31–34. [in Ukrainian].
7. Baran, P.I. (2011). Metodi vertikalnogo planuvannya dlya budivelnih maydanchikiv [Vertical planning methods for construction sites]. Bulletin of geodesy and cartography, 6(75), 9–15. [in Ukrainian].
8. Silkin, K.Yu. (2008). Geoinformatsionnaya sistema Golden Software Surfer 8 [Geographic Information System Golden Software Surfer 8]. Voronezh. [in Russian].
9. Ivanova, I.A., & Chekantsev, V.A. (2008). Reshenie geologicheskikh zadach s primeneniem programmnogo paketa Surfer [Solving geological problems using the Surfer software package]. Tomsk. [in Russian].
10. Zuska, A.V. (2014). Kinematischeeskaya model opolznevyih sklonov: monografiya [Kinematic model of landslide slopes: monograph]. Dnepropetrovsk: National Mining University. [in Russian].

Г. В. Гапич, А. В. Зуска**Вычисление объемов земляных работ для вертикальной планировки рельефа при проведении инженерно-мелиоративных мероприятий**

Аннотация. Представлена актуальная проблема точности вычисления объема земляных работ, что позволяет уменьшить стоимость реализации проекта вертикальной планировки рельефа при проведении инженерно-мелиоративных мероприятий. Проанализированы учебные и научные публикации, где рассматриваются различные классические методы расчета объемов земляных масс. На основании аналитического обзора публикаций сформулирована задача – получить наиболее достоверные расчетные значения объема земляных работ с помощью автоматизированного метода определения. Реализован пример вычисления объема земляных масс для вертикальной

планировки с применением программного комплекса Surfer8, который является отраслевым стандартом построения графических изображений функций двух переменных и одной из лучших программ для построения трехмерных поверхностей и их обработки. Рассмотрена последовательность расчета объемов грунта для вертикальной планировки рельефа горизонтального и наклонного участков и определена относительная погрешность вычислений. Достоверность полученных значений объема оценивается сравнением результатов различными расчетными методами («Трапеции», «Симпсона», «Симпсона 3/8» и «квадратов») и по балансу «выемки-насыпи». Установлено, что относительная погрешность вычисленного объема земляных масс горизонтального и наклонного участков находится в пределах от 0,03–0,06%, а баланс земляных работ – 1,65–4,6%, что не превышает регламентированных стандартами 5,0%. Применение программы Surfer8 обосновывается уменьшением объема и продолжительности работ при составлении проекта вертикальной планировки и переносе его в натуру; экономичностью реализации в связи с меньшей относительной и допустимой погрешностью расчетов и измерений.

Ключевые слова: вертикальная планировка, объем земляных работ, сетка квадратов, цифровая модель поверхности.

H.V. Hapich, A.V. Zuska

Calculation of volume of excavation works for vertical planning of relief at engineering and reclamation activities

Abstract. The article presents the urgent problem of the accuracy of calculating the volume of excavation works, which allows reducing the cost of the project of vertical planning of the relief of the territory during the implementation of land reclamation measures. Educational and scientific publications are analyzed, where classical methods of calculating the volumes of earth masses are considered. The task was formulated to obtain the most reliable calculated values of the volume of excavation using an automated method of determination based on an analytical review of publications. An example of calculating the volume of earth masses for vertical planning was implemented using the Surfer8 software package, which is the industry standard for constructing graphic images of the functions of two variables and one of the best programs for constructing three-dimensional surfaces and processing them. Discusses the sequence of calculating the volume of soil masses for the vertical planning of the relief of the horizontal and inclined sections and determines the relative error of the calculations. The reliability of the obtained volume values was estimated by comparing the results with various calculation methods («Trapezium», «Simpson», «Simpson 3/8», and «Squares») and the balance of the «embankment». According to the calculation results, it was found that the relative error of the calculated volume of the horizontal and inclined sections is in the range from 0.03–0.06%, and the balance of excavation work is 1.65–4.6%, which does not exceed 5.0% regulated by standards. The advantages of using the Surfer8 program are justified by the reduction in the volume and duration of work during the preparation of the vertical planning project and its transfer to nature, as well as the cost-effectiveness of implementation due to the smaller relative and permissible error of calculations and measurements.

Key words: vertical planning, volume of excavation works, grid of squares, digital surface model.

ЗМІСТ

Вступне слово головного редактора..... 5

ЗРОШЕННЯ – ОСУШЕННЯ

- Yu.O. Mikhailov, A.M. Shevchenko, Iu.Yu. Danylenko,
S.M. Liutnytskyi, I.L. Goncharuk, V.O. Bohaienko**
Development of scientific basis for water management in agrolandscapes..... 9
- М.І. Ромашенко, Т.В. Матяш, В.О. Богасєнко, В.П. Ковальчук,
О.П. Войтович, А.В. Крученюк, В.В. Книш, В.В. Шліхта**
Досвід розробки та шляхи удосконалення систем управління зрошенням..... 17
- Г.В. Воропай, М.В. Яцик, Н.В.Мозоль**
Сучасний стан та перспективи розвитку осушувальних меліорацій в умовах змін клімату..... 31
- О.О. Дехтяр, І.В. Войтович, Г.В. Воропай,
С.В. Усатий, Н.Д. Брюзгіна, Я.В. Шевчук**
Історія розвитку, перспективи будівництва,
реконструкції та відновлення меліоративних систем..... 40
- О.І. Жовтоног, В.В. Поліщук, Л.А. Філіпенко,
А.Ф. Салюк, Я.О. Бутенко, М.В. Гофман**
Оперативне планування зрошення: сучасні виклики, реалії та бачення..... 55
- М.І. Ромашенко, А.П. Шатковський, В.В. Васюта, С.В. Усатий, Л.Г. Усата,
С.В. Рябков, О.В. Журавльов, Р.А. Купедінова, В.В. Безрук, Ю.О. Черевичний**
Наукова школа мікрозрошення: досягнення та перспективи розвитку..... 68
- А.М. Шевченко, О.В. Власова, В.В. Удовенко, Р.П. Боженко**
Розвиток науково-методичних основ оцінювання
екологічного стану меліорованих земель і водних об'єктів..... 78
- Д.П. Савчук, О.А. Бабіцька, О.І. Харламов, І.В. Котикович,
Д.П. Землянська, Р.П. Боженко, О.М. Беліков, О.О. Медведєва**
Підсумки натурних досліджень ефективності інженерного дренажу..... 87
- С.С. Коломієць, О.М. Нечай, О.В. Турасва, О.В. Гнелиця**
Метод вивчення водоспоживання сільськогосподарських
культур у польових вегетаційних дослідках..... 96
- О.О. Дехтяр**
Альтернативні джерела енергії для підвищення
енергоефективності зрошувальних систем..... 105
- О.П. Войтович, В.П. Ковальчук**
Розвиток моніторингових досліджень вологості ґрунту для забезпечення
керування зрошенням експериментально-розрахунковим методом..... 113
- Ф.А. Мінза, А.П. Шатковський, О.В. Журавльов**
Адаптація методу «Penman–Monteith» за краплинного
зрошення яблуні на підщепі М-9 в умовах Степу України..... 121
- В.П. Ковальчук, Т.В. Матяш, В.В. Книш, О.П. Войтович, А.В. Крученюк**
Застосування інтернету речей (IoT) за використання
протоколу LORAWAN для моніторингу зрошуваних земель..... 130

ВОДНІ РЕСУРСИ

- П.Д. Хоружий, Є.М. Мацелюк, Д.В. Чарний**
Створення та впровадження високоефективних і ресурсозберігаючих
технологій в системах сільськогосподарського водопостачання та водовідведення..... 140

С.А. Шевчук, В.І. Вишневський, І.А. Шевченко, О.М. Козицький Дослідження водних об'єктів України з використанням даних дистанційного зондування Землі.....	146
О.М. Козицький, С.А. Шевчук, І.А. Шевченко Моніторинг і управління гідрологічними ризиками в басейнах річок України.....	157
Д.В. Чарний, Ю.А. Онанко Аналіз електростатичних властивостей пінополістирольного фільтрувального завантаження.....	167
В.В. Нор, Т.П. Хомуцька Забезпечення економічної та надійної роботи систем сільськогосподарського водопостачання (на прикладі системи водопостачання села Тарасівка Київської області).....	175
АГРОРЕСУРСИ	
Ю.О. Тараріко, Р.В. Сайдак, Ю.В. Сорока Підсумки та перспективи досліджень з оцінки та раціонального використання агросесурсного потенціалу сільськогосподарських територій.....	186
М.І. Ромащенко, С.С. Коломієць, А.С. Білоброва Система лабораторного діагностування водно-фізичних властивостей ґрунтів.....	199
Ф.С. Мельничук, О.А. Марченко, А.П. Шатковський, Л.М. Мельничук, М.С. Ретьман, О.М. Ничипорук Стан та перспективи вивчення впливу пестицидів на продукційні процеси рослин та екологічну безпеку.....	209
ГІДРОТЕХНІКА	
О.В. Коваленко Підвищення експлуатаційної надійності гідротехнічних споруд полімерними та полімерцементними композиційними матеріалами.....	217
В.І. Петроченко, О.В. Петроченко, О.П. Куліков Інноваційний розвиток технологій будівництва протифільтраційних споруд.....	231
В.М. Попов, М.М. Таргоній Обґрунтування енергоефективного управління водоподачею на закритих зрошувальних системах.....	243
Г.В. Гапіч, А.В. Зуска Обчислення об'ємів земляних робіт для вертикального планування рельєфу при проведенні інженерно-меліоративних заходів.....	250

CONTENTS

Speech of welcome of the editor-in-chief..... 5

IRRIGATION-DRAINAGE

- Yu.O. Mikhailov, A.M. Shevchenko, Iu.Yu. Danylenko, S.M. Liutnytskyi, I.L. Goncharuk, V.O. Bohaienko**
Development of scientific basis for water management in agrolandscapes.....9
- M.I. Romashchenko, T.V. Matiash, V.O. Bohaienko, V.P. Kovalchuk, O.P. Voitovich, A.V. Krucheniuk, V.V. Knysh, V.V. Shlikhta**
Development experience and ways of improvement of irrigation management systems.....17
- G.V. Voropay, M.V. Yatsyk, N.V. Mozol**
Current state and the prospects of development of drainage reclamation in a changing climate.....31
- O.A. Dekhtyar, I.V. Voitovich, S.V. Usatyi, G.V. Voropai, N.D. Briuzghina, Y. V. Shevchuk**
History of development, prospects of construction, reconstruction and rehabilitation of reclamation systems..... 40
- O.I. Zhovtonog, V.V. Polishchuk, L.A. Filipenko, A.F. Saliuk, Ya.O. Butenko, M.W. Hoffmann**
Operational irrigation management: modern challenges, realities and visions..... 55
- M.I. Romashchenko, A.P. Shatkovskiy, V.V. Vasiuta, S.V. Usatyi, L.G. Usata, S.V. Riabkov, O.V. Zhuravlov, R.A. Kupiedinova, V.V. Bezruk, Yu.O. Cherevychnyi**
Scientific school of microirrigation: achievements and development prospects..... 68
- A.M. Shevchenko, O.V. Vlasova, V.V. Udovenko, R.P. Bozhenko**
Development of scientifically-methodological frameworks of the reclaimed lands and water bodies' ecological state's assessment.....78
- D.P. Savchuk, O.A. Babitska, O.I. Kharlamov, I.V. Kotikovych, D.P. Zemlyanska, R.P. Bozhenko, O.M. Belikov, O.O. Miedviedieva**
Results of field observations of engineering drainage efficiency..... 87
- S.S. Kolomiets, O.M. Nechaj, O.V. Turaieva, O.V. Hnelytsia**
The method of studying water consumption of crops in field vegetation experiments..... 96
- O.O. Dekhtiar**
Alternative energy sources for increasing energy efficiency of irrigation systems..... 105
- O.P. Voitovich, V.P. Kovalchuk**
Monitoring research of field soil moisture to provide irrigation management on the base of an experimental and calculation method.....113
- F.A. Minza, A.P. Shatkovskiy, O.V. Zhuravlov**
Adaptation of the "Penman - Monteith" method when using drip irrigation for apple trees on the rootstock M-9 in the conditions of the Steppe zone.....121
- V.P. Kovalchuk, T.V. Matiash, V.V. Knysh, O.P. Voitovich, A.V. Kruchenyuk**
Internet of Things (IoT) applications using the LORAWAN protocol for monitoring irrigated land.....130

WATER RESOURCES

- P.D. Khoruzhyi, E.M. Matseliuk, D.V. Charnyi**
Development and implementation of high-efficiency and resource-saving technologies for agricultural water supply and wastewater disposal.....140

S.A. Shevchuk, V.I. Vyshnevskiy, I.A. Shevchenko, O.M. Kozytskyi Research of water objects of Ukraine using the data of remote sensing of the Earth.....	146
O.M. Kozytskyi, S.A. Shevchuk, I.A. Shevchenko Monitoring and management of hydrological risks in the river basins of Ukraine.....	157
D.V. Charnyi, Yu.A. Onanko Analysis of electrostatic properties of polystyrene foam filtration load.....	167
V.V. Nor, T.P. Khomutetska Ensuring cost-effective and reliable operation of agricultural water supply systems (as in the case of water supply system of Tarasovka village in Kyiv region).....	175

AGRO RESOURCES

Yu.O. Tararico, R.V. Saidak, Yu.V. Soroka Results and prospects of research on the evaluation and rational use of agro-resource potential of agricultural areas.....	186
M.I. Romashchenko, S.S. Kolomiets, A.S. Bilobrova Laboratory diagnostic system for water-physical soil properties.....	199
F.S. Melnychuk, O.A. Marchenko, A.P. Shatkovskiy, L.M. Melnychuk, M.S. Retman, O.M. Nichiporuk Status and aspects of studying the pesticides influence on plants productive processes and environmental safety.....	209

HYDRAULIC ENGINEERING

O.V. Kovalenko Improving the operational reliability of hydraulic facilities when using polymer and polymer-cement composites.....	217
V.I. Petrochenko, O.V. Petrochenko, O.P. Kulikov Innovative development of technologies for the construction of antifiltration facilities.....	231
V.M. Popov, M.M. Targoniy Substantiation of energy efficient water supply in closed irrigation systems.....	243
H.V. Hapich, A.V. Zuska Calculation of volume of excavation works for vertical planning of relief at engineering and reclamation activities.....	250

Наукове видання

Меліорація
і водне господарство

№ 2 • 2019

Журнал
Заснований у 1965 році

(випуск 110)

Виконавчі редактори – Т.І. Трошина, Н.В. Логунова, К.Б. Шатковська, О.П. Войтович

Підписано до друку 12.12.2019 року.
Формат 60x84/8. Гарнітура Times New Roman.
Папір офсет. Цифровий друк.
Ум.-друк. арк. 30,46. Обл. вид. арк. 24,40.
Замов. № 11/1219. Наклад 100 прим.

Видавництво та виготовлення: «ОЛДІ-ПЛЮС»
73034, м. Херсон, вул. Паровозна, 46-а
E-mail: <mailto:office@oldiplus.com>
Свід. ДК № 6532 від 13.12.2018 р.