



Рожко В. І., аспірант, Ковальчук П. І., д.т.н., Балихіна Г. А., к.т.н.
(Інститут водних проблем і меліорації НААН, м. Київ),
Демчук О. С., к.т.н. (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА СЦЕНАРІЇВ ВОДООБМІНУ У ВОДОСХОВИЩАХ СИСТЕМИ КАНАЛУ ДНІПРО – ДОНБАС

Проведено сценарний аналіз чотирьох варіантів водообміну у Краснопавлівському водосховищі у системі каналу Дніпро-Донбас. Розглянута їх ефективність за еколого-економічними критеріями. Як критерій економічної ефективності вибрано витрати води при проведенні водообміну, екологічна ефективність оцінюється за досягнутою величиною жорсткості води в Краснопавлівському водосховищі. Сценарний аналіз показав, що варіанти водообміну мають суперечливий характер за екологічним та економічним критеріями і складають область оптимальних за Парето рішень. Одержано, що найбільш ефективним за екологічним критерієм є варіант двократного водообміну в Орільському водосховищі та скидом вод до рівня робочого спрацювання Краснопавлівського водосховища з наступним його наповненням. Лише даний варіант забезпечує бажану величину жорсткості, що відповідає нормативним значення якості води для питних потреб.

Ключові слова: водообмін, жорсткість води, сценарний аналіз, імітаційна модель, екологічний критерій, економічний критерій, еколого-економічна ефективність.

Вступ. Канал Дніпро – Донбас, загальна довжина якого становить 262,8 км, розташований на території лівобережної частини України в Дніпропетровській та Харківській областях. Основні гідротехнічні споруди каналу: головна водозабірна споруда з рибозагороджувачем і планктонною завісою, 12 насосних станцій, 11 дюкерів і 8 акведуків, водоскидний тунель, регулюючі Орільське (17 млн м³) та Краснопавлівське (410 млн м³) водосховища, 12 гребель-перепадів.

Згідно з проектом передбачається постійна подача води по каналу Дніпро – Донбас в р. Сіверський Донець і наповнення Краснопавлівського водосховища, яке є джерелом питного та комунального водопостачання м. Харків та Харківської області.

Згідно з ст. 76, 78 Водного кодексу України [1], всі учасники во-

догосподарського комплексу зобов'язані дотримуватися встановлених режимів його роботи та правил експлуатації. Однак у зв'язку із відсутністю фінансування на виконання цих заходів, водообмін проводиться раз у два роки. За результатами водообміну, проведеного у 2016 році, до Краснопавлівського водосховища подано 110 млн м³ води. Якість води за показником жорсткості у придонному водовипуску була поліпшена з 8,3 до 7,0 мг-екв/дм³.

За період відсутності проведення чергового водообміну у Краснопавлівському водосховищі жорсткість води досягла величини 9,5 мг-екв./дм³, що перевищує нормативні значення якості води для питних потреб [2; 3]. Це вимагає вдосконалення управління структурою водообміну [4]. Ставиться задача розгляду різних варіантів імітаційного моделювання водообміну, порівняння їх за екологічним та економічним критеріями, вибору структури системи управління і прийняття оптимальних рішень за результатами сценарного аналізу.

Сценарне моделювання варіантів для оптимізації водообміну.

На основі імітаційної моделі пропонується провести розрахунки різних сценаріїв водообміну у Краснопавлівському водосховищі у 2018 році. Математична модель, згідно технологічної схеми водоподачі, включає два основні блоки: моделювання процесів водообміну в Орільському водосховищі та наповнення Краснопавлівського [5]. Для Орільського водосховища розглянуто два варіанти – однократне та двократне спрацювання. Для Краснопавлівського водосховища також розглянуто два режими роботи: наповнення водосховища без попереднього скиду води підвищеної жорсткості; скид вод до рівня робочого спрацювання водосховища з наступним його наповненням. Вихідні дані для проведення розрахунків одержані в Управлінні каналу Дніпро – Донбас.

Під час однократного водообміну в Орільському водосховищі проводиться спрацювання вод підвищеної жорсткості через греблю з водоскидом у р. Орілька середньодобовою витратою 2,50 м³/с протягом 24 діб. Об'єм водосховища знижується з 16,106 до 10,922 млн м³. В процесі наповнення закачується 5,26 млн м³ води, внаслідок чого об'єм водосховища збільшується до 16,181 млн м³. Один насосний агрегат насосної станції (НС) № 10 працює цілодобово з витратою 20,3 м³/с. Жорсткість води знижується до 12 мг-екв/дм³. Під час наповнення Краснопавлівського водосховища в Орільському водосховищі вода одночасно подається НС № 10 та відкачується НС № 11 витратами 20,3 м³/с. Протягом 50 діб жорсткість води знижується до 3,8 мг-екв./дм³ (рис. 1).

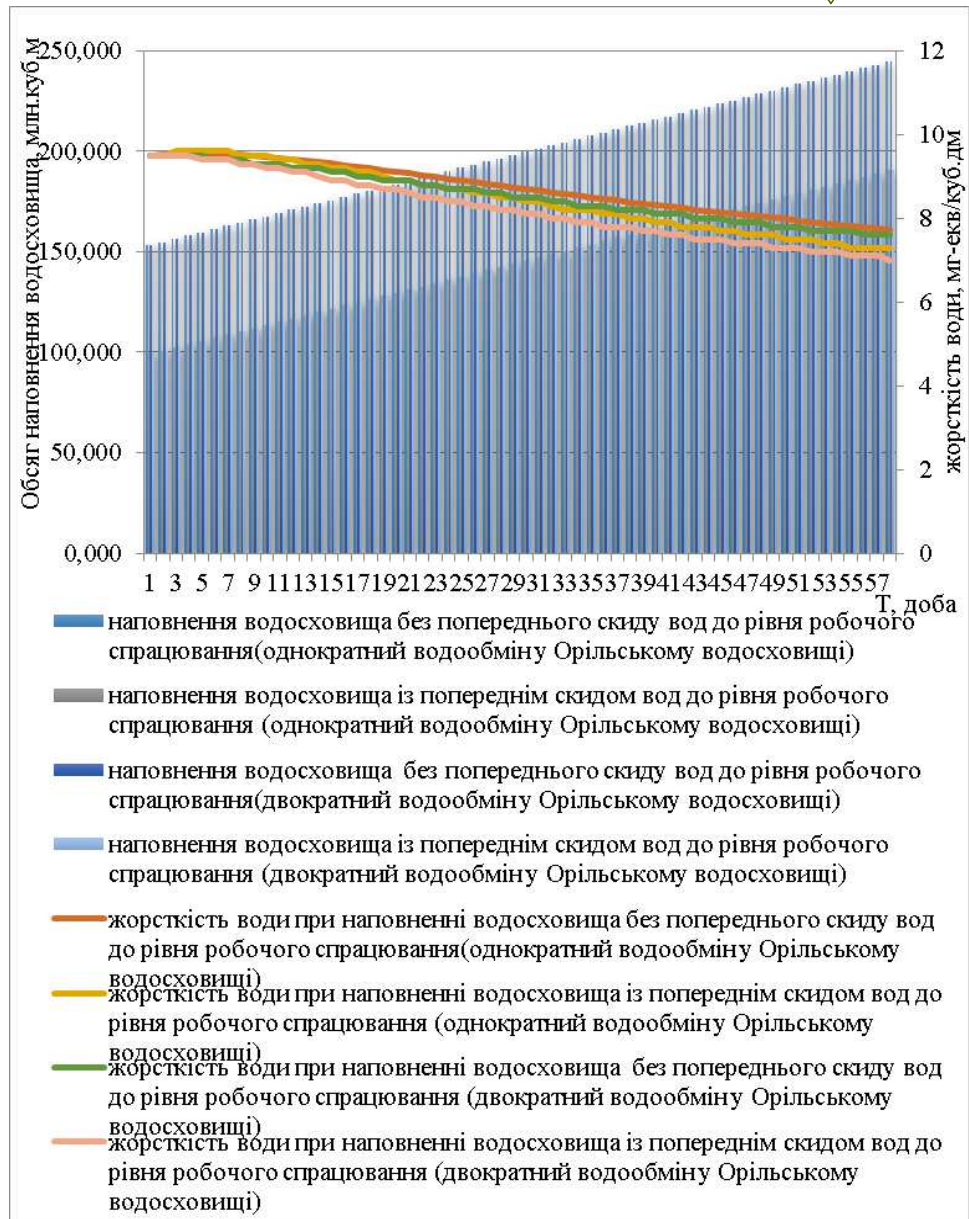


Рис. 2. Варіанти сценаріїв водообміну у Краснопавлівському водосховищі у 2018 році

- при двократному водообміні в Орільському водосховищі та наповненні водосховища без попереднього скиду води підвищеної жорсткості – 120 млн м³;
- при однократному водообміні в Орільському водосховищі та скидом вод до рівня робочого спрацювання Краснопавлівського водосховища – 163 млн м³;

– при двократному водообміні в Орільському водосховищі та скидом вод до рівня робочого спрацювання Краснопавлівського водосховища – 173 млн м³.

Сценарний аналіз показав, що варіанти водообміну мають суперечливий характер за екологічним та економічним критеріями (рис. 3). За чотирма сценаріями водообміну у Краснопавлівському водосховищі екологічний критерій спадає, а економічний зростає. Вони складають область оптимальних за Парето рішень [6]. Тому виникає необхідність двокритеріальної оптимізації, яка здійснюється для досягнення компромісних рішень за економічним та екологічним критеріями. Для вибору оптимального рішення здійснюється мінімізація критеріїв в області Парето Ω :

$$(W, C) \rightarrow \min, \quad (1)$$

де W – величина витрат водних ресурсів, млн м³; C – величина жорсткості води, мг-екв./дм³ після проведення водообміну у Краснопавлівському водосховищі.

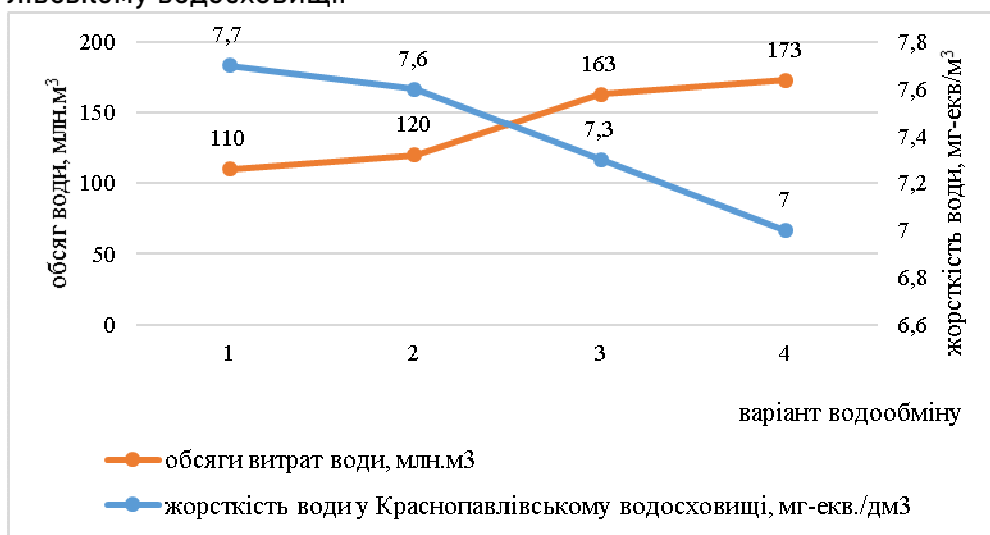


Рис. 3. Область Парето-оптимальних рішень за екологічним та економічним критеріями ефективності для варіантів водообміну:

1 – однократний водообмін в Орільському водосховищі та наповнення водосховища без попереднього скиду води підвищеної жорсткості у Краснопавлівському водосховищі; 2 – двократний водообмін в Орільському водосховищі та наповнення водосховища без попереднього скиду води підвищеної жорсткості у Краснопавлівському водосховищі; 3 – однократний водообмін в Орільському водосховищі та скид вод до рівня робочого спрацювання Краснопавлівського водосховища; 4 – двократний водообмін в Орільському водосховищі та скид вод до рівня робочого спрацювання Краснопавлівського водосховища



Оптимальне рішення знаходять на основі експертних оцінок або за додатковим критерієм. В даному випадку можна вибрати варіант за умови забезпечення екологічних нормативів :

$$C \leq C_{ГДК} , \quad (2)$$

де $C_{ГДК}$ – встановлена нормативом гранично допустима концентрація.

Висновки. Застосування сценарного аналізу процесів водообміну дозволило оцінити чотири варіанти водообміну у Краснопавлівському водосховищі за екологічним (показник жорсткості) та економічним (об'єм витрат води на проведення водообміну) критеріями.

Проведена еколого-економічна оцінка варіантів сценаріїв водообміну в системі каналу Дніпро-Донбас у 2018 році надає об'єктивну інформацію для прийняття оптимальних рішень в області Парето. Прийняття рішень здійснюється на основі експертних оцінок або за додатковим критерієм забезпечення екологічних нормативів.

Досягти нормативної якості вод за показником жорсткості (7,0 мг-екв./дм³) можна лише за варіантом проведення двократного водообміну в Орільському водосховищі та скидом вод до рівня робочого спрацювання Краснопавлівського водосховища.

Проте, з урахуванням економічного критерію, більш ефективним є компромісний варіант однократного водообміну в Орільському водосховищі та скидом вод до рівня робочого спрацювання Краснопавлівського водосховища. При цьому зменшуються затрати водних ресурсів на проведення водообміну, а екологічний критерій 7,3 мг-екв./дм³ наближається до нормативних значень.

1. Водний кодекс України : прийнятий Верховною Радою України від 06.06.1995 р. № 213/95 – ВР. *Відомості Верховної Ради України*. 1995. № 24. С. 76, 78. **2.** ДСТУ 4808:2007. Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні та екологічні вимоги щодо якості води і правила вибирання. К. : Держспоживстандарт України, 2007. **3.** Рожко В. І., Ковальчук П. І. Аналіз якості води для питного водопостачання в системі каналу Дніпро – Донбас. *Меліорація і водне господарство*. 2016. № 103. С. 32–36. **4.** Згуровський М. З., Панкратова Н. Д. Основи системного аналізу : підручник / за заг. ред. М. З. Згуровського. К. : Видавнича група ВНУ, 2007. 544 с. **5.** Ковальчук П. І., Рожко В. І., Балихіна Г. А., Демчук Д. О. Імітаційне моделювання водообміну в системі каналу Дніпро – Донбас. *Природа для води* : Міжнародна науково-практична конференція, присвячена Всесвітньому дню води, ІВПІМ, м. Київ, 22 березня 2018. С. 211–212. **6.** Подиновский В. В., Ногин В. Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач : монография. М. : Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1982. 256 с.

REFERENCES:

1. Vodnyi kodeks Ukrainy : pryiniaty Verkhovnoiu Radoiu Ukrainy vid 06.06.1995 r. № 213/95 – VR. *Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy*. 1995. № 24. S. 76, 78.
2. DSTU 4808:2007. Dzherela tsentralizovanoho pytnoho vodopostachannia. Hihienichni ta ekolohichni vymohy shchodo yakosti vody i pravyla vybyrannia. K. : Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2007.
3. Rozhko V. I., Kovalchuk P. I. Analiz yakosti vody dlia pytnoho vodopostachannia v systemi kanalu Dnipro-Donbas. *Melioratsiia i vodne hospodarstvo*. 2016. № 103. S. 32–36.
4. Zghurovskiy M. Z., Pankratova N. D. Osnovy systemnoho analizu : pidruchnyk / za zah. red. M. Z. Zghurovskoho. K. : Vydavnycha hrupa BHV, 2007. 544 s.
5. Kovalchuk P. I., Rozhko V. I., Balykhina H. A., Demchuk D. O. Imitatsiine modeliuvannia vodoobminu v systemi kanalu Dnipro-Donbas. *Pryroda dlia vody : Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia, prysviachena Vsesvitnomu dniu vody, IVPiM, m. Kyiv, 22 bereznia 2018*. S. 211–212.
6. Podinovskii V. V., Nohin V. D. Pareto-optimalnye resheniia mnohokriterialnykh zadach : monohrafiia. M. : Nauka. Hlavnaia redaktsiia fizikomatematicheskoi literatury, 1982. 256 s.

Рецензент д.т.н., Мартинюк П. М. (НУВГП)

Rozhko V. I., Post-graduate Student, Kovalchuk P. I., Doctor of Engineering, Balykhina H. A., Candidate of Engineering (Ph.D.)

(Institute of Water Problems and Land Reclamation, Kyiv),

Demchuk O. S., Candidate of Engineering (Ph.D.) (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

ECOLOGICAL AND ECONOMIC ESTIMATION OF WATER EXCHANGE SCENARIOS IN THE RESERVOIRS OF THE DNIPRO – DONBASS CHANNEL SYSTEM

During the absence of regular water exchange in the Krasnopavliv reservoir, the water hardness reached a value of 9.5 mEq/dm³ and it exceeded the normative values of water quality for drinking needs. In 2018, the tasks involved examination for various option of water exchange simulation modeling, comparison of their environmental and economic criteria, the choice of the structure of the control system and the adoption of optimal solutions based on the results of the scenario analysis. According to the technological scheme of water supply, the mathematical model includes two main blocks: the modeling of water exchange processes in the Orilske reservoir and



the filling of Krasnopavliv reservoir. A scenario analysis of four water exchange options within the Dnipro-Donbass channel system was carried out. Their effectiveness was considered on the base environmental and economic criteria. As a criterion of economic efficiency, the amount of water was chosen during the water exchange, the environmental efficiency is estimated by the achievement of the water hardness content in the Krasnopavliv reservoir.

Scenario analysis showed that water exchange options are contradictory in terms of environmental and economic criteria and have the Pareto-optimal region. Decision is made on the basis of expert assessments for optimal region. It was established that the most effective by ecological criterion is the variant of the double water exchange in the Orilske reservoir and the water discharge to the operating level of the Krasnopavliv reservoir with storage water. Only this option provides the desired content of hardness, which corresponds to the standard content for drinking water. However, taking into account the economic criterion, an effective compromise variant of one-time water exchange in the Orilsky reservoir and discharging the water to the operating level of the Krasnopavliv reservoir is proposed. At the same time, water volume for water exchange is reduced, and the environmental criterion come to 7.3 mEq/dm³. This variant is recommended for water exchange within the channel system in 2018.

***Keywords:* water exchange, water hardness, scenario analysis, simulation model, environmental criterion, economic criterion, environmental and economic efficiency.**

Рожко В. И., аспирант, Ковальчук П. И., д.т.н., Балыхина А. А., к.т.н.
(Институт водных проблем и мелиорации НААН, г. Киев)

Демчук Е. С., к.т.н. (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СЦЕНАРИЕВ ВОДООБМЕНА В ВОДОХРАНИЛИЩАХ СИСТЕМЫ КАНАЛА ДНЕПР – ДОНБАСС

Проведен сценарный анализ четырех вариантов водообмена в Краснопавловском водохранилище в системе канала Днепр – Донбасс. Рассмотрена их эффективность по эколого-экономическим

критериям. В качестве критерия экономической эффективности выбраны затраты воды при проведении водообмена, экологическая эффективность оценивается по достигнутой величине жесткости воды в Краснопавловском водохранилище. Сценарный анализ показал, что варианты водообмена имеют противоречивый характер по экологическому и экономическому критериям и составляют область оптимальных по Парето решений. Установлено, что наиболее эффективным по экологическому критерию является вариант двухкратного водообмена в Орельском водохранилище и сбросом вод до уровня рабочего срабатывания Краснопавловского водохранилища с последующим его наполнением. Только данный вариант обеспечивает желаемую величину жесткости, которая соответствует нормативным значениям качества воды для питьевых нужд.
Ключевые слова: водообмен, жесткость воды, сценарный анализ, имитационная модель, экологический критерий, экономический критерий, эколого-экономическая эффективность.
