

УДК [574.52:556](477)

**ЕКОЛОГІЧНА РЕГЛАМЕНТАЦІЯ РЕЖИМУ РОБОТИ
ДНІПРОВСЬКИХ ГИДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ*****Тімченко В.М., *Тімченко О.В., **Лахай Ю.О., **Іванова Н.О., **Кушнір Н.І.**

*Інститут гідрології НАН України

**Національний авіаційний університет

timol@iptelecom.net.ua

На основі аналізу сучасних досліджень розроблена і пропонується екологічна регламентація режиму роботи Дніпровських гідроелектростанцій (ГЕС).

Based on the analysis of modern researches, the ecological management of operation mode for HEPs is elaborated and proposed.

Вступ

Науково обґрунтована оптимізація режиму експлуатації дніпровських водосховищ і екологічна регламентація режиму попусків ГЕС передбачені Національною програмою екологічного оздоровлення басейну Дніпра та поліпшення якості питної води, прийнятою Верховною Радою України 27 лютого 1997 року.

Регулювання (покращання) екологічного стану і якості води дніпровських водосховищ має передумовою штучне формування в них умов для переважання процесів самоочищення над сумарною дією на екосистеми самозабруднення та надходження забруднювальних речовин ззовні. Для такого регулювання необхідна методична база управління водним режимом, який є найбільш дієвим фактором впливу на внутрішньоводоймові фізичні, хімічні та біологічні процеси, що формують якість водного середовища. На каскадних водосховищах, до яких безумовно відносяться дніпровські, водний режим може значною мірою регулюватися штучно завдяки можливості корегування режиму роботи ГЕС.

Перші розробки в напрямку екологічної регламентації режиму попусків ГЕС на Дніпрі були здійснені Інститутом гідробіології НАН України стосовно Каховської гідроелектростанції [4; 6; 7], яка істотно впливає на стан екосистеми та якість води гирлової ділянки Дніпра. Авторами указаних розробок напрацьована математична модель, котра забезпечує реалізацію розрахункового механізму для прогнозування та управління якістю води в гирловій ділянці Дніпра в літній період за допомогою попусків Каховської ГЕС: екосистемного, екологічного, цільового та екстремального. Нагадаємо, що: *екосистемний попуск* — це середня добова витрата води, при якій процеси самоочищення й самозабруднення збалансовані. В критичний період літньої межени для Каховської ГЕС вона становить 470 м³/с.

Екологічний попуск повинен забезпечувати також нейтралізацію антропогенного забруднення. Він більший за екосистемний, оскільки включає санітарну надбавку, величина якої залежить від антропогенного навантаження. Для

гирлової ділянки Дніпра екологічний попуск становить орієнтовно 530 м³/с.

Цільовий та екстремальний попуски — це такі, при яких забезпечуються нормативні вимоги якості води. Цільовий попуск дає змогу зберігати ці вимоги протягом необмеженого часу; екстремальний — менший за цільовий і допускається на визначений термін, в межах якого якість води ще може відповідати встановленому нормативу.

Проведені також дослідження з метою екологічної оптимізації режиму роботи Київської та Канівської ГЕС [3; 5]. Вони показали, що існуючий режим роботи цих ГЕС у цілому сприятливий для екосистем трьох водосховищ — Київського, Канівського й Кременчуцького і позитивно впливає на процеси формування якості води в них. Найбільш залежними в екологічному відношенні від роботи зазначених гідровузлів є так звані річкові ділянки Канівського та Кременчуцького водосховищ. Їх екосистеми пристосувалися до типового режиму роботи ГЕС, який характеризується дворазовими протягом доби попусками більшу частину року і високим, порівняно рівномірним, стоком у період весняної повені.

Головною метою цього дослідження є аналіз і узагальнення існуючих засобів регулювання якості води і стану екосистем дніпровських водосховищ та розроблення рекомендацій щодо екологічно регламентованого режиму експлуатації каскаду Дніпровських ГЕС.

Аналіз сучасного стану екосистем пониззя Дніпра та річкових ділянок дніпровських водосховищ. На гирловій ділянці Дніпра систематично, особливо в період літньої межени, спостерігається погіршення якості води внаслідок антропогенного та біологічного забруднення. Біохімічне споживання кисню (БСК_{повн}) може сягати 10—15 мг О₂/дм³, що в кілька разів перевищує гранично допустиму величину. Це негативно позначається на можливості використання цієї ділянки як джерела питного водопостачання міст Херсона, Миколаєва та інших населених пунктів.

На річкових ділянках Канівського і Кременчуцького водосховищ періодично виникають серйозні проблеми, пов'язані з погіршенням стану їх екосистем та якості води. Причиною є як природні фактори, зокрема надходження води низької якості з

розміщених вище водосховищ, так і сильний антропогенний тиск, зумовлений забрудненням стічними водами та рекреаційним навантаженням.

Критичний стан екосистем річкових ділянок Канівського та Кременчуцького водосховищ зазвичай спостерігається в літню та зимову межени. У ці періоди вміст кисню у воді зменшується до 38—50 % і нижче. Погіршується стан екосистем та якість води, виникають заморні явища. У літній період на річкові ділянки з вище розташованих водосховищ при низьких і середніх попусках надходить вода збіднена киснем (до 4—5 мг $O_2/дм^3$), що істотно знижує інтенсивність процесів самоочищення. На початку річкової (київської) ділянки Канівського водосховища концентрація кисню дещо збільшується в основному за рахунок надходження води з р. Десни і водних об'єктів придаткової мережі (проток, заток, стариць, водойм і заплави), де вміст кисню вищий. Нижче за течією концентрація розчиненого кисню істотно знижується через його споживання при самоочищенні від забруднення, що надходить у водойму в межах міської агломерації. На річковій ділянці Кременчуцького водосховища влітку відбувається поступове збільшення вмісту розчиненого кисню при будь-якій водності. Це обумовлено в основному істотним впливом придаткової мережі і незначним антропогенним забрудненням на ділянці.

У суворі за температурою повітря зими на річкові ділянки водосховищ, надходить вода, збіднена киснем, — його вміст зазвичай коливається в межах від 0,5—1,5 мг $O_2/дм^3$ при низьких попусках ГЕС до 1,0—2,5 мг $O_2/дм^3$ (рідко більше) — при високих.

У межах ополонки, що утворюються в нижніх б'єфах, відбувається деяке збільшення вмісту розчиненого кисню, але, як правило, він не досягає допустимої концентрації — 4 мг $O_2/дм^3$. У середні за суворістю зими вміст кисню у воді, що надходить на ділянки, при низьких попусках становить близько 2,0—2,5, при високих — 3,0—5,5 мг $O_2/дм^3$. Його концентрація на початку ділянок у межах ополонки збільшується, однак при низьких попусках залишається нижче нормативної; при середніх і високих попусках практично перебуває на рівні гранично допустимої чи трохи перевищує її.

Сучасними дослідженнями визначено, що, як у пониззі Дніпра, так і на річкових ділянках дніпровських водосховищ вирішальними елементами водного режиму, котрі значною мірою визначають екологічний стан і якість води, є проточність руслової системи та інтенсивність її водообміну з придатковою мережею. Проточність у цілому залежить від об'ємів попусків ГЕС, а водообмін з придатковою мережею — від діапазону короткотермінових внутрішньодобових коливань рівня води в руслі, тобто від нерівномірності попусків.

Принципові положення методу управління станом екосистем і якістю води річкових ділянок дніпровських водосховищ, що розроблений за

матеріалами указаних досліджень, полягають у такому.

Як інтегральні показники стану водних екосистем правомірно використовуються концентрація легкоокиснюваної органічної речовини (за $BCK_{повн}$) або вміст розчиненого у воді кисню (O_2). Не виключається використання і інших показників.

Динаміка $BCK_{повн}$ і O_2 відображає співвідношення між основними процесами функціонування водних екосистем — первинним продукуванням органічної речовини і зовнішнім забрудненням нею, з одного боку, та її деструкцією, з другого.

Важливо, що величини $BCK_{повн}$ і O_2 характеризують трофосапробіологічний стан водних екосистем і нормуються для різних видів водоспоживання та водокористування. Якщо в процесі перебування у водосховищі або на його ділянці відбувається збільшення вмісту у воді BCK , тобто накопичення органічної речовини — екосистема забруднюється. Якщо навпаки — в екосистемі домінують процеси самоочищення. Це положення є головним критерієм оцінювання результатів дії на екосистему управляючого фактора, котрим є водний режим.

Екосистеми річкових ділянок дніпровських водосховищ складаються з декількох підсистем: руслової мережі, приток, заплави, водойм і самої заплави. Кожна з цих підсистем бере участь у формуванні стану екосистем в цілому і якості води в ній. Ступінь цієї участі залежить від функціональних характеристик підсистем і інтенсивності обміну водними масами між ними та русловою мережею.

В основу методу управління станом екосистем і якістю води річкових ділянок дніпровських водосховищ покладено рівняння, що враховує зміну балансу легкоокиснюваної органічної речовини чи розчиненого кисню в елементарному об'ємі води за час його переміщення по ділянці. Як елементарний зручно використовувати добовий об'єм попуску розміщеної вище ГЕС. При цьому визначається баланс інтегрального показника на всій річковій ділянці і на кожній із підділянок, на які вона попередньо ділиться за гідрологічними, гідробіологічними та гідрохімічними показниками.

Зміна вмісту легкоокиснюваної органічної речовини чи кисню в елементарному об'ємі при переміщенні його від створу ГЕС до n -ої підділянки (мг $O_2/дм^3$) представляється у вигляді суми:

$$\sum_{i=1}^n \Delta C_n = \sum_{i=1}^n \Delta C_{p,i} + \sum_{i=1}^n \Delta C_{oz,i} + \sum_{i=1}^n \Delta C_{запл,i} + \sum_{i=1}^n \Delta C_{бок,i},$$

де $\sum_{i=1}^n \Delta C_n$ — зміна концентрації вибраного інгредієнта на ділянці від нижнього б'єфа ГЕС

до n -ої підділянки, $\text{мг O}_2/\text{дм}^3$; $\sum_{i=1}^n \Delta C_{p,i}$ — частка цієї зміни, обумовлена впливом внутрішньоводоймових процесів у русловій мережі; $\sum_{i=1}^n \Delta C_{oz,i}$ — те саме в елементах придаткової мережі; $\sum_{i=1}^n \Delta C_{запл,i}$ — те саме у заплавлених масивах, якщо вони затоплюються; $\sum_{i=1}^n \Delta C_{бок,i}$ — те саме при надходженні на ділянку бокового притоку.

Участь, наприклад, підсистеми руслової мережі в зміні концентрації органічної речовини оцінюється рівнянням:

$$\sum_{i=1}^n \Delta C_{p,i} = \sum_{i=1}^n \frac{\tau_i W_{p,i}}{W_i} (A_{p,i} - R_{p,i} + F_{p,i}),$$

де i — номер підділянки; n — кількість підділянок до розрахункового створу τ_i — тривалість перебування води (час добігання) на i -й підділянці, доба; $W_{p,i}$ — стік води по русловій мережі, $\text{м}^3/\text{доба}$.

Багаточлен у дужках є результат спільної дії процесів продукції ($A_{p,i}$) і деструкції ($R_{p,i}$) легкоокиснюваної органічної речовини в русловій мережі (визначається за відомими в гідробіології способами [5—7]), а також антропогенно обумовленого надходження її безпосередньо в руслово мережу ззовні ($F_{p,i}$).

У такий же спосіб оцінюється участь елементів придаткової мережі у формуванні вмісту органічної речовини на річковій ділянці водосховища. Тільки як показники внутрішньоводоймових продукційно-деструкційних процесів і антропогенного впливу в цьому випадку необхідно враховувати інтенсивність валової продукції, деструкції і антропогенного навантаження безпосередньо в водних об'єктах придаткової мережі.

Вплив бокового притоку на формування вмісту легкоокиснюваної органічної речовини у воді на ділянці ($\Delta C_{бок}$) залежить від об'єму цього притоку ($W_{бок,i}$) і від різниці концентрації органічної речовини у воді притоку ($C_{бок,i}$) і руслової мережі (C_{i-1}):

$$\sum_{i=1}^n \Delta C_{бок,i} = \sum_{i=1}^n \frac{W_{бок,i}}{W_i} (C_{бок,i} - C_{i-1}).$$

Отже, якщо як інтегральний показник стану екосистеми річкової ділянки водосховища використовується концентрація легкоокиснюваної органічної речовини, розрахункове рівняння для визначення його динаміки має такий загальний вигляд:

$$\sum_{i=1}^n \Delta C_n = C_n - C_0 = \sum_{i=1}^n \frac{\tau_i W_{p,i}}{W_i} (A_{p,i} - R_{p,i} + F_{p,i}) + \sum_{i=1}^n \frac{\tau_i W_{оз,i}}{W_i} (A_{оз,i} - R_{оз,i} + F_{оз,i}) +$$

$$+ \sum_{i=1}^n \frac{\tau_i W_{запл,i}}{W_i} (A_{запл,i} - R_{запл,i} + F_{запл,i}) + \sum_{i=1}^n \frac{\tau_i W_{бок,i}}{W_i} (C_{бок,i} - C_{i-1}). \quad (4)$$

У цьому рівнянні: W_i — добовий об'єм стоку води, що надходить до i -ої підділянки і який дорівнює сумі об'ємів попусків ГЕС і бокового притоку ($W_{бок}$), $\text{м}^3/\text{доба}$; $W_{оз,i}$ — водообмін між руслом і придатковою мережею, $\text{м}^3/\text{доба}$; $W_{запл,i}$ — водообмін між руслом і заплавленими масивами, $\text{м}^3/\text{доба}$.

Усі перераховані гідрологічні характеристики є вихідними даними, що вимірюються або розраховуються відомими в гідрології способами [3].

У тому разі, коли для оцінювання реакції екосистеми річкової ділянки водосховища на штучну зміну водного режиму більш інформативною є динаміка вмісту у воді розчиненого кисню, рівняння балансу цього газу повинно включати два додаткових компоненти.

Перший з них — надходження у воду кисню за рахунок атмосферної аерації, другий — витрата кисню на хімічне окиснення речовин [3; 5].

Отже, суть управління станом екосистем річкових ділянок дніпровських водосховищ складається в регулюванні попусками ГЕС величин стоку і водообміну: W_i , W_p , $W_{оз}$, $W_{запл}$, а через них інтегральних показників — БСК_{повн} і O_2 . Так, для поліпшення показників розчиненого у воді кисню на річкових ділянках водосховищ у літній період пропонується збільшення стоку води (об'ємів попусків) через греблі ГЕС та активізація внутрішньодобової нерівномірності попусків. Несталий режим стоку зумовлює посилення водообміну між основним руслом та придатковою мережею. Оскільки в літній період у придатковій водній мережі за рахунок процесів фотосинтезу водної рослинності вміст кисню у воді, як правило, більший, то зазначений водообмін сприяє поліпшенню кисневого режиму в основній русловій мережі (до $1,5$ — $2 \text{ мг O}_2/\text{дм}^3$ за термін перебування води на ділянці).

Методика допомагає оцінювати, моделювати і прогнозувати вплив роботи ГЕС на стан екосистем річкових ділянок дніпровських водосховищ та якість води в них у будь-яких гідрометеорологічних умовах. Її пропонується приймати за основу екологічної регламентації режиму експлуатації каскаду дніпровських ГЕС.

На основі подібної балансової моделі може вирішуватися і проблема управління станом екосистем озерних ділянок водосховищ. При цьому, в розрахунках за вихідні варто приймати показники так званих «активних» зон водосховищ, через які відбувається основний транзит водного стоку (аналог — руслова мережа на річкових ділянках). Іншу частину акваторій водосховищ («пасивні» зони) можна рахувати як придаткову мережу. За умови особливо низьких показників вмісту кисню у воді озерних ділянок водосховищ покращення кисневого режиму влітку досяга-

ється несинхронною роботою вище і нижче розміщених ГЕС, що призводить до коливання рівня води і посилення водообміну між збагаченими на кисень мілководдями і основною акваторією. Розрахунки показують, що вміст кисню у воді основної акваторії може збільшуватися на 0,1—0,2 мг/дм³ за один цикл підйому рівня.

Поліпшення кисневого режиму річкових ділянок водосховищ у зимовий період може бути досягнуто збільшенням розмірів ополонки у нижніх б'єсах ГЕС. Розроблено технологію регулювання довжини ополонки, яка базується на врахуванні основних складових теплового балансу. Визначено величини приросту вмісту кисню за рахунок атмосферної аерації в межах ополонки та необхідні об'єми й витрати попусків ГЕС [3]. Чергування протягом тижня високих попусків, що формують значну довжину ополонки, з низькими попусками, котрі забезпечують необхідний час перебування води в межах цих ополонки, є обов'язковою складовою запропонованої технології.

Висновки. Аналіз результатів досліджень указує на важливу екологічну роль попускового (нерівномірного) режиму роботи гідровузлів на каскадних, у тому числі дніпровських, водосховищах. Генеруючи коливання рівня води в нижніх б'єсах і в цілому на річкових ділянках водосховищ, що розміщені нижче, нерівномірні попуски ГЕС забезпечують істотний водообмін між основним руслом та придатковою мережею. Остання в літній період має великі потенційні можливості збагачення води основного русла киснем.

Конкретні рекомендації щодо екологічної оптимізації режиму роботи Дніпровських гідроелектростанцій можуть формулюватися так:

1) у зв'язку з тим, що сучасний режим роботи ГЕС у цілому сприятливий для функціонування екосистем дніпровських водосховищ, рекомендується при нормальних гідрометеорологічних умовах такий режим зберігати;

2) в літньо-осінній період рекомендується витримувати максимально можливу амплітуду добових коливань витрат (рівнів) у нижніх б'єсах ГЕС, для чого необхідно:

а) внести корективи в Правила експлуатації дніпровських водосховищ [2], котрі зобов'язували б гідроелектростанції підтримувати в нижніх б'єсах неусталений режим стоку;

б) внести зміни в Правила експлуатації дніпровських водосховищ в частині обмеження добового регулювання потужності ГЕС в літньо-осінній період;

3) у зимовий період для покращення кисневого режиму та поліпшення якості води у водосховищах при концентрації розчиненого кисню в створах ГЕС нижче 4 мг О₂/дм³ рекомендується чергування протягом тижня високих і низьких попусків.

У цілому екологічна регламентація режиму експлуатації каскаду дніпровських ГЕС є принципово важливою проблемою і потребує комплексного наукового вивчення.

Методичні підходи, що викладені вище, використані для розроблення екологічних вимог до Правил експлуатації водосховищ Дніпровського каскаду [1], діючих правилах [2] вони частково враховані.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Тімченко В.М.* Екологічні вимоги до правил експлуатації дніпровських водосховищ (наукові засади та проблеми) / В.М. Тімченко, О.П. Оксуюк, В.Д. Романенко та ін. — К.: Ін-т гідробіології НАН України, 2002. — 36 с.
2. *Правила експлуатації водосховищ Дніпровського каскаду.* — К.: Генеза, 2003. — 176 с.
3. *Тімченко В.М.* Экологическая гидрология водоемов Украины / В.М. Тимченко. — К.: Наук. думка, 2006. — 383 с.
4. *Timchenko, V.M., Oksiyuk, O.P., Gore, I.A.* model for ecosystem state and water quality management in the Dnieper River delta // *Ecological Engineering.* — 2000. — V. 16, № 1. — P. 259—264.
5. *Timchenko V.M., Oksiyuk O.P.* Ecosystem condition and water quality control at impounded sections of rivers by the regulated hydrological regime // *Ecology and Hydrobiology.* — 2002. — V. 2, № 1—4. — P. 259—264.
6. *Оксуюк О.П.* Управление состоянием экосистемы и качеством воды в устьевом участке Днепра. Ч. 1. / О.П. Оксуюк, В.М. Тимченко, В.С. Полищук и др. — К.: Ин-т гидробиологии НАНУ, 1996. — 64 с.
7. *Оксуюк О.П.* Управление состоянием экосистемы и качеством воды в устьевом участке Днепра. Ч. 2. / О.П. Оксуюк, В.М. Тимченко, В.С. Полищук и др. — К.: Ин-т гидробиологии НАНУ, 1997. — 48 с.

Стаття надійшла до редакції 23.03.09