

А.І. Шерешевський, Л.К. Синицька

**СУЧАСНА ОЦІНКА РОЗРАХУНКОВОГО
ВИПАРОВУВАННЯ З ВОДНОЇ ПОВЕРХНІ
ДНІПРОВСЬКИХ ВОДОСХОВИЩ З МЕТОЮ ЙОГО
ВРАХУВАННЯ ПРИ РОЗРОБЦІ РЕЖИМІВ РОБОТИ ГЕС**

Розглянуто існуючі методи розрахунку випаровування з водної поверхні та по спостереженим метеорологічним характеристикам за період 1976-2004 рр. Виконано розрахунки випаровування з шести водосховищ Дніпровського каскаду. Зроблено висновок про використання для подальших розрахунків випаровування формули УкрНДГМІ. Показано випаровування з водної поверхні різної розрахункової забезпеченості для шести водосховищ Дніпровського каскаду по місяцях та сумарне випаровування за безльодоставний період.

Вступ

Визначення випаровування з водної поверхні водосховищ Дніпровського каскаду має великий практичний інтерес для різних галузей господарства, які тісно пов'язані з використанням водних ресурсів. Особливо важливо це для розробки режиму роботи ГЕС Дніпровського каскаду Міжвідомчою комісією при Держводгоспі України.

Актуальність роботи визначається вимогами сталого використання водних ресурсів, екологічною оптимізацією роботи водосховищ, збалансованим їх використанням. Підвищення вимог до раціонального використання каскаду водосховищ потребує аналогічного ставлення до випаровування з водної поверхні, яке є одним з чинників встановлення оптимального режиму водосховищ у маловодний період року.

Останні дослідження з кількісного визначення характеристик випаровування з водної поверхні Дніпровських водосховищ (місячні значення випаровування за конкретні спостережні періоди) було проведено 40 років назад. За цей період не тільки додалися нові дані для розрахунку випаровування, але і відбулися кліматичні зміни, які спричинили зміни метеорологічних чинників випаровування – швидкості

вітру, температури повітря. Це, в свою чергу, вплинуло на розрахункові величини випаровування.

Питанню оцінки величини випаровування з водної поверхні присвячено багато праць, але до цього часу не знайдено задовільного рішення. Це пов'язано з надзвичайною складністю процесу випаровування, що залежить від багатьох умов випаровуючого середовища та атмосфери над ним, відсутністю чіткої уяви про деталі фізичної структури процесу. Усе це не дозволяє до цього часу одержати повноцінну, всеохоплюючу розрахункову залежність [1-4].

Найбільш точним способом оцінки випаровування вважається інструментальний метод – безпосередній вимір водними випарниками шару води, що випаровується. Однак він не завжди застосовується. Тому, як правило, застосовують непрямі методи, засновані на використанні рівнянь водного і теплового балансів, турбулентної дифузії водяної пари в атмосфері. Але вони є не досить зручними та надійними для практичного використання.

Найближче до еталонного випаровування з водної поверхні визначається за спостереженнями на плавучих випарниках. Встановлення та експлуатація таких випарників пов'язані з великими труднощами, тому вони не одержали широкого поширення. Окрім того, у плавучих випарниках і випарних басейнах природний процес випаровування скривлюється турболізуючим впливом бортків на вітровий потік, відсутністю вітрових хвиль та більш значним, ніж на водоймах, перепадом температури у тонкому поверхневому шарі води. У випарниках, встановлених на суші, з огляду на невеликі їх розміри, вода випаровується під впливом умов, які сформувалися над прилеглою територією, а не над водною поверхнею. У зв'язку з цим точність оцінки випаровування з водної поверхні за наземними випарниками мала. Тому показання випарників і випарних басейнів, встановлених на суші, не можна приймати як еталон природного випаровування з поверхні водойм без введення відповідних редуційних коефіцієнтів. Самі ж перехідні коефіцієнти значно змінюються як у часі, так і у просторі і не можуть бути надійно визначені, особливо за короткі інтервали часу [5].

Методика дослідження

На сьогодні найбільш поширеними у практиці розрахунків є методи водного балансу та емпіричних формул. За допомогою першого методу

випаровування розраховується як залишковий член рівняння водного балансу.

Щодо методу емпіричних формул, то різними авторами запропоновано багато формул випаровування, які за своєю структурою відрізняються тільки емпіричними коефіцієнтами.

Існуючі емпіричні формули, як правило, ураховують найбільш значимі фактори, що впливають на випаровування, такі, як різниця пружності водяної пари приводного шару і повітря на висоті 2 м, а також швидкість вітру. У деяких випадках ураховується різниця між температурою води і повітря над водоймою. Фактор різниці між температурою води і повітря впливає на турбулентність повітряних мас над водоймою і, як наслідок, на режим виносу водяної пари із випаровуючої поверхні в атмосферу [2].

Вид і параметри розрахункових формул встановлюються майже завжди емпірично, на основі аналізу даних спостережень на різного типу випарниках.

Реалізація методу розрахунку випаровування за допомогою емпіричних формул передбачає вибір і обґрунтування формули та використання метеорологічних характеристик, виміряних на суші та перерахованих на поверхню водойми.

Нижче наведено найбільш поширені емпіричні формули: формула Браславського-Вікуліної [6, 7]:

$$E = 0,14n (1+0,72u_2) \cdot (e_0-e_2); \quad (1)$$

формула УкрНДГМІ 2001 р. [8]:

$$E = 0,37n (e_0-e_{200}) \cdot (1+0,14W_{200}); \quad (2)$$

формула Римші-Донченко [6, 7]:

$$E = 0,104n(k_0+u_2) \cdot (e_0-e_2); \quad (3)$$

формула Браславського-Нургалієва 1 [6, 7]:

$$E = 0,11[1+0,8u_2+f(\delta t)](e_0-e_2)n1000/L; \quad (4)$$

формула Браславського-Нургалієва 2 [9]:

$$E = 0,14(1 + 0,8W_2 + K_2) \cdot (e_0 - e_2); \quad (5)$$

формула Шуляковського [9]:

$$E = (0,15 + 0,112w_2 + 0,094(t_n - t_в)^{1/3}) \cdot (e_0 - e_2). \quad (6)$$

У формулах (1-3): n - число діб; u , W_{200} і e_2 , e_{200} - швидкість вітру (м/с) і пружність водяної пари повітря (мбар) на висоті 2 м (200 см) над водною поверхнею, середнє для всієї акваторії водоймища; e_0 - максимальна пружність водяної пари при температурі водної поверхні (мбар); L - прихована теплота випаровування, Мкал/т (Дж/кг).

У формулах (5-6) e_0 і e_2 - відповідно пружність водяної пари біля водної поверхні і на висоті 2 м; κ_0 , $f(\delta t)$, κ_2 - коефіцієнти, що залежать від різниці температур вода-повітря:

$$\text{при } \delta t \geq 0 \quad f(\delta t) = 1,9[1 - \exp(-0,085\delta t)]; \quad (7)$$

$$\text{при } \delta t < 0 \quad f(\delta t) = \exp(0,18\delta t) - 1. \quad (8)$$

У формулі (6) ($t_n - t_в$) – різниця між температурою повітря та води.

Ураховуючи наявність великої кількості емпіричних формул для оцінки випаровування, у даній роботі розрахунки виконано за декількома формулами (1-6).

Результати дослідження

Для розрахунків випаровування за емпіричними формулами необхідні дані про температуру води, пружність водяної пари та швидкість вітру на висоті 2 м. Спостереження за цими елементами над водною поверхнею, як правило, не проводяться, тому вони визначаються шляхом приведення швидкості вітру та пружності водяної пари, отриманих за спостереженнями на берегових метеостанціях, до умов водної поверхні, використовуючи відповідні методики. В даній роботі для цього перерахунку використано методику Державного гідрологічного інституту (ДГІ) [6].

Метеорологічні дані, що використані у формулах, прийняті осередненими над водною поверхнею шляхом перерахування даних спостережень на найближчих до кожного водосховища метеостанціях.

Середню швидкість вітру над водоймою обчислено за даними спостережень на флюгері та декількох коефіцієнтів за формулою:

$$U_{200} = K_1 * K_2 * K_3 * U_{фл.}, \quad (9)$$

де K_1 - коефіцієнт, який ураховує ступінь захищеності метеорологічної станції на суші; K_2 - коефіцієнт, який ураховує характер рельєфу у пункті спостережень; K_3 - коефіцієнт, який ураховує середню довжину розгону повітряного потоку над водоймою при різній його захищеності; $U_{фл.}$ - швидкість вітру на рівні флюгера за розрахунковий інтервал часу.

Коефіцієнти захищеності метеостанцій (K_1) залежать від їх розміщення у різних фізико-географічних умовах (лісова, степова зони, узбережжя морів, озер тощо) та їх захищеності. Коефіцієнти захищеності метеостанцій (K_1) визначено з урахуванням опису метеостанцій та місця розташування флюгера відносно перешкод повітряному потоку (високі дерева та споруди). З огляду на ці дані визначено коефіцієнти захищеності кожної метеостанції за відповідною таблицею [6].

При розрахунку швидкості вітру над водною поверхнею водосховищ використано дані про швидкість вітру лише по тих метеостанціях, захищеність яких по основних напрямках становила не менше за 3^0 та не більше за 10^0 (найменш та найбільш захищених). Винятком є метеостанція Дніпропетровськ, дані якої враховано для того, щоб відобразити збільшення швидкості вітру в цьому районі, на відміну від його зменшення практично по всій Україні, яке відмічається протягом останніх 30 років і пояснюється зміною у макроциркуляційних процесах [10].

Майже всі розглянуті метеостанції розміщені на рівнині, тому коефіцієнт, який ураховує характер рельєфу у пункті спостережень (K_2), за відповідною таблицею для усіх водосховищ дорівнює 1,0 [6].

Крім названих вище коефіцієнтів визначається коефіцієнт, який ураховує довжину розгону повітряного потоку (K_3).

Згідно з [6] для обчислення середньої довжини повітряного потоку, для 6 водосховищ Дніпровського каскаду побудовано дві системи прямокутних сіток з паралельних профілів, які орієнтовані з півночі на

південь, з заходу на схід, а також з північного заходу на південний схід та з північного сходу на південний захід. Відстань між профілями встановлено з таким розрахунком, щоб вони перетинали ділянки водойми з характерними для неї звуженнями та розширеннями.

Середня довжина розгону для даного напрямку обчислюється, як середнє арифметичне, з довжин усіх профілів цього напрямку.

Для усієї акваторії водойми середня довжина розгону обчислюється за формулою:

$$L_{сер} = \frac{1}{100} * [L_{півн-півд} (N_{півн} + N_{півд}) + L_{зах-сх} * (N_{зах} + N_{сх}) + L_{півн.зах-півд.сх} (N_{півн.зах} + N_{півд.сх}) + L_{півн.сх-півд.зах} (N_{півн.сх} + N_{півд.зах})], \quad (10)$$

де $L_{півн-півд}$, $L_{зах-сх}$ і т.д. – середня довжина розгону повітряного потоку за відповідним напрямом профілів, в км; $(N_{півн}+N_{півд})$, $(N_{зах}+N_{сх})$ і т.д. – сума повторюваності напрямів вітру для двох взаємно протилежних румбів, у %.

Середню довжину розгону повітряного потоку за основними напрямками для кожного водосховища наведено у табл. 1.

З таблиці 1 видно, що найдовший розгін повітряного потоку спостерігається на Кременчуцькому водосховищі. При цьому довжина розгону у напрямі північний захід-південний схід становить більше за 30,0 км, а середня по всіх напрямках – 21,0 км.

Таблиця 1

Середня довжина розгону повітряного потоку за основними напрямками, км

Водосховище	Напрямок повітряного потоку			
	північ-південь	захід-схід	північний захід-південний схід	північний схід-південний захід
Київське	16,5	8,1	10,8	10,4
Канівське	8,1	6,7	9,9	5,5
Кременчуцьке	15,9	20,2	33,6	13,1
Дніпродзержинське	6,8	9,1	12,0	5,5
Дніпровське	5,3	4,0	4,3	3,3
Каховське	13,5	14,5	11,7	15,0

Значна довжина розгону має місце на Каховському та Київському водосховищах, де середня довжина на усіх напрямках дорівнює 14,0 та 11,0 км (відповідно), найдовший розгін на Київському водосховищі спостерігається у напрямку північ-південь (16,5 км), на Каховському - північний схід-південний захід (15,0 км). Це пов'язано з орієнтацією водосховищ відповідно сторін світу.

Надалі від довжини розгону повітряного потоку залежить коефіцієнт трансформації (M), який урахує середню зміну вологості та температури повітря.

На сьогодні існує декілька варіантів визначення коефіцієнта трансформації.

Згідно з [6] коефіцієнт трансформації визначається в залежності від середньої довжини розгону повітряного потоку над водоймою ($L_{сер}$), а також різниці між температурою води у водоймі та у повітрі, яку зафіксовано на метеостанції. У подальшому за цими даними з відповідної таблиці, де надано три градації значень різниці між температурою води та повітря ($t_0 - t'_{200}$), визначається коефіцієнт трансформації.

Як зазначено у [11], при криволінійній залежності $M_{сер} = \varphi(L)$ не можна знаходити середнє значення функції за осередненою величиною аргументу. Необхідно осереднювати не довжину профілів, а значення коефіцієнтів $M_{сер}$, отриманих за цими даними. Окрім того, необхідно обчислювати середні значення $M_{сер}$ для даного напрямку вітру не як середнє арифметичне, а як середнє зважене по довжині профілів. Це твердження витікає з того, що середній коефіцієнт $M_{сер}$ визначається для того, щоб з його допомогою знайти середню вологість повітря над водоймою, а потім обчислити середній для усієї водойми шар випаровування. Чим довший профіль, тим більша площа водної поверхні, випаровування з якої відбувається у відповідності до вологості повітря, яка обчислена за даним коефіцієнтом $M_{сер}$.

Тобто, осереднення коефіцієнтів $M_{сер}$ для кожного напрямку вітру виконано з урахуванням довжини профілів при однаковій відстані між профілями за формулою:

$$M_{сер} = \frac{M_{сер\ 1} L_1 + M_{сер\ 2} L_2 + M_{сер\ n} L_n}{\Sigma L}. \quad (11)$$

Ця методика визначення коефіцієнта трансформації відрізняється від попередньої тим, що спочатку визначається коефіцієнт трансформації

для одного профілю, а потім обчислюється середньозважене за довжиною профілів значення для кожного напрямку вітру, і тільки після цього визначається середньозважена величина коефіцієнта трансформації з урахуванням повторюваності усіх напрямів вітру.

В даній роботі визначення коефіцієнта трансформації виконано за вищеназваними методиками. Оскільки одержано різні величини коефіцієнтів, для розрахунків прийнято середні значення.

Максимальну пружність водяної пари (e_0) визначено за температурою поверхневого шару води по акваторії кожного водосховища за відповідною таблицею.

Середню вологість повітря над водоймою на висоті 200 см (e_{200} , мб) обчислено за формулою:

$$e_{200} = e'_{200} + (0,8e_0 - e'_{200}) * M, \quad (12)$$

де e'_{200} – середня за розрахунковий інтервал часу вологість повітря, спостережена на континентальних метеостанціях, у мб; e_0 – максимальна пружність водяної пари за той же інтервал часу, визначений за температурою води у водоймі, у мб; M – коефіцієнт трансформації, який ураховує середню зміну вологості та температури повітря у залежності від розміру водойми.

Розрахунки випаровування з водної поверхні кожного водосховища Дніпровського каскаду виконано за формулами (1-6) по місяцях та узагальнено для безльодоставного періоду за 1976–2004 рр.

У табл. 2 наведено результати розрахунку середнього за вказаний період випаровування з водної поверхні водосховищ Дніпровського каскаду для безльодоставного періоду за різними формулами.

З табл. 2 видно, що найменші значення величин випаровування з водної поверхні усіх водосховищ одержано за формулою Браславського-Нургалієва 1 (4) найбільші – за формулою Шуляковського Л.Г. (6).

На даний час нормативна база для розрахунку випаровування на території України відсутня, тому використовують “Указания по расчету испарения с поверхности водоемов”, розроблені Валдайською науково-дослідною лабораторією Державного гідрологічного інституту за часів Радянського Союзу та розповсюджені на всю його територію. В основу документу покладено формулу Брацлавського-Вікуліної (1).

В Українському науково-дослідному інституті (УкрНДГМІ) в 1960 р. М.С. Каганер розробив формулу розрахунку випаровування з водної поверхні на базі спостережень на випарних басейнах, розміщених безпосередньо на території України. Ця формула мала таку ж структуру, як в “Указаннях” і відрізнялася тільки чисельними коефіцієнтами [12].

Таблиця 2

Зіставлення результатів розрахунку випаровування з водної поверхні водосховищ Дніпровського каскаду за безльодоставний період за різними формулами, мм

Водосховище	Середнє випаровування за формулами:					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Київське	592	704	675	545	693	798
Канівське	664	774	768	619	786	898
Кременчуцьке	667	756	755	612	778	878
Дніпродзержинське	718	812	801	651	842	924
Дніпровське	876	966	1002	753	1031	1152
Каховське	842	907	931	759	966	1069

Примітка: (1) – Браславського-Вікуліної; (2) – УкрНДГМІ 2001 р.; (3) – Римші-Донченко; (4) – Брацлавського-Нургалієва 1; (5) – Брацлавського-Нургалієва 2; (6) – Шуляковського

У результаті досліджень формулу Каганера було уточнено авторами статті і вона має такий вигляд [8,13]:

$$E = 0,37n \cdot (1 + 0,14W_{200}) (e_0 - e_{200}) . \quad (13)$$

У зв'язку з тим, що величини випаровування, одержані за формулою УкрНДГМІ 2001 р., близькі до величин, розрахованих за формулою СНіП, для подальших розрахунків використано обидві формули. Різниця у величинах випаровування, розрахованого за цими формулами, становить від 8 до 19%. Нормативна точність розрахунку випаровування - 30%.

Таким чином, обчислення випаровування з водної поверхні Дніпровських водосховищ різної забезпеченості виконано за формулами УкрНДГМІ 2001р. та СНіП за період з 1976 до 2004 рр. у місячному інтервалі часу з узагальненням для безльодоставного періоду (квітень-листопад).

Розрахунки показали, що найбільші величини випаровування спостерігаються у найтепліший період року – липні та серпні,

коливаючись від 133 мм на Київському водосховищі до 180-188 мм – на Каховському (за формулою УкрНДГМІ). За формулою СНіП ці величини дещо менші - 109-169 мм (відповідно).

Найбільші величини випаровування мають місце на Дніпровському водосховищі, що пов'язано з найкоротшою довжиною розгону повітряного потоку по усіх напрямках у порівнянні з іншими водосховищами.

Найбільші значення коефіцієнтів варіації випаровування (0,33-0,42) спостерігаються у весняні місяці, коли має місце найбільша строкатість температури води. У літні місяці величини метеоелементів більш стабільні. У цей період відмічається найменша варіація випаровування (0,11-0,15).

За визначеними параметрами аналітичних кривих отримано величини випаровування забезпеченістю 5%, 50% та 95% для кожного водосховища по місяцях та за безльодоставний період.

У табл. 4 наведено розрахункові величини випаровування з водної поверхні Дніпровських водосховищ різних забезпеченостей, отримані за формулою УкрНДГМІ.

Розрахункове випаровування забезпеченістю 5%, яке спостерігається у посушливі, маловодні роки, становить від 700-800 мм по Київському водосховищу і до 1000-1100 мм по Каховському. Випаровування забезпеченістю 95% (вологі, багатоводні роки) становить 500-600 мм.

На рисунку показані сумісні графіки ходу випаровування для Київського та Каховського водосховищ, розрахованого за різними формулами, а в табл. 3 наведено їх внутрішньорічний розподіл.

Таблиця 3

Внутрішньорічний розподіл випаровування з водної поверхні, (%)

Водосховища	Місяці							
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
Київське	6	15	18	19	19	12	8	4
Канівське	5	13	17	19	19	13	9	5
Кременчуцьке	5	12	16	19	20	14	9	5
Дніпродзержинське	5	11	15	20	20	14	10	5
Дніпровське	4	10	15	19	20	15	10	5
Каховське	5	11	15	20	20	14	10	5

Таблиця 4

Розрахункові величини випаровування (мм) з водної поверхні дніпровських водосховищ різних забезпеченостей (формула УкрНДГМІ, 2001 р.)

Забезпеченість, Р %	Місяці								Сума випаровування за безльодоставний період
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Київське водосховище

5	65,0	133	165	168	164	106	75,0	45,0	810
25	55,7	115	136	152	140	93,0	59,6	34,1	746
50	47,0	103	120	139	129	85,0	52,0	28,0	703
75	36,2	91,1	107	124	122	78,0	46,1	23,0	660
95	17,0	74,1	93,1	100	114	69,1	40,0	17,0	598

Канівське водосховище

5	61,8	130	178	181	185	129	92,1	58,1	880
25	50,2	116	144	165	158	109	75,9	43,6	826
50	41,0	105	126	150	145	100	67,0	36,0	780
75	30,9	92,1	111	132	134	93,5	59,7	29,9	726
95	14,8	70,0	94,2	100	123	87,1	51,1	23,1	633

Кременчуцьке водосховище

5	59,1	118	170	192	179	128	89,9	56,0	866
25	47,6	107	138	160	159	109	76,0	43,9	805
50	38,0	97,0	121	144	147	100	68,0	37,0	760
75	27,1	84,4	107	131	137	93,1	61,1	31,1	712
95	9,1	61,9	91,1	117	125	86,0	52,9	24,0	639

Дніпродзержинське водосховище

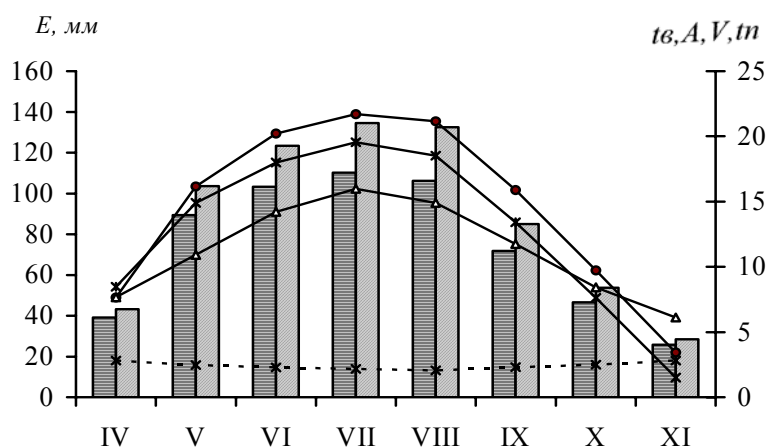
5	61,0	112	171	209	158	151	100	58,0	928
25	48,2	99,1	140	178	139	127	85,7	44,8	867
50	39,0	89,0	122	159	130	115	77,0	38,0	818
75	28,6	77,9	107	141	123	105	69,4	32,7	764
95	12,0	59,9	87,9	119	115	95,1	60,0	27,0	678

Дніпровське водосховище

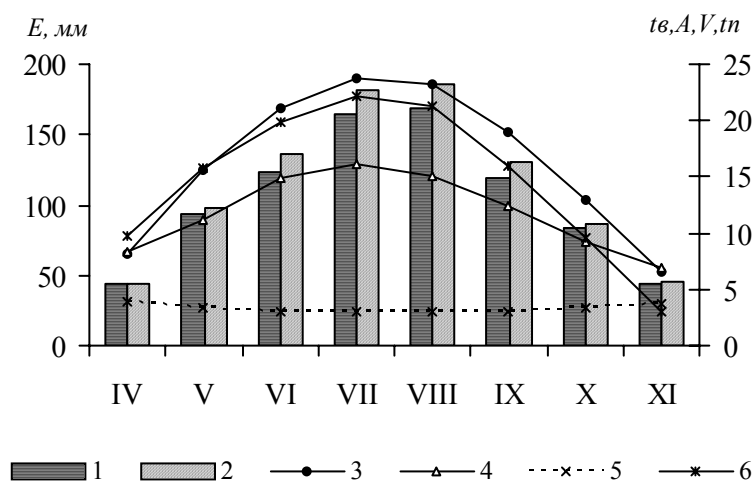
5	67,8	137	208	240	237	190	131	75,0	1103
25	52,8	116	158	202	213	161	111	56,6	1028
50	52,0	101	135	183	198	145	98,0	47,0	968
75	30,7	86,6	118	168	183	131	86,6	39,4	902
95	13,1	66,0	99,8	153	163	115	72,0	31,0	797

Каховське водосховище

5	66,9	130	193	224	229	168	111	65,0	1028
25	55,1	111	152	133	199	141	95,3	49,6	959
50	46,0	98,0	132	177	182	128	86,0	42,0	907
75	36,2	85,6	117	164	167	118	77,9	36,1	851
95	20,9	68,0	102	148	150	107	68,0	30,0	765



a)



б)

Рис. 1. Сумісні графіки ходу випаровування з водної поверхні Київського (а) та Каховського (б) водосховищ за формулами СНіП (1) та УкрНДГМІ (2) і метеоелементів (3 – температура води ($t_{\text{в}}$), 4 – абсолютна вологість водяної пари (A), 5 – швидкість вітру (V), 6 – температура повітря ($t_{\text{п}}$))

Висновки

Висновки базуються на вихідних даних про гідрометеорологічні характеристики, які вимірюються на гідрометричній мережі Гідрометеорологічної служби України і характеризують гідрометеорологічну обстановку каскаду Дніпровських водосховищ за період 1976-2004 рр. (за цей період спостерігаються зміни метеорологічних характеристик у порівнянні з попереднім періодом).

Аналіз метеорологічних даних показав, що середня багаторічна температура повітря за безьодоставний період характеризується чітким збільшенням з півночі на південь від 12,7 до 14,7⁰С.

Абсолютна вологість, яка повторює хід температури повітря, характеризується незначною зміною з півночі на південь - від 11,3 гПа в районі Київського водосховища до 11,8 – в районі Каховського. Максимальні значення обох характеристик спостерігаються у липні.

Швидкість вітру посилюється у південному напрямі і досягає максимальних значень в районі Каховського водосховища. Найбільша швидкість вітру спостерігається у весняно-осінній період.

Швидкість вітру, яку фіксують на метеостанціях, характеризується строкатістю як у просторі, так і в часі. Це залежить переважно від місцевих умов, особливо від захищеності метеостанції. Чим вищий показник захищеності МС, тим менша швидкість, і навпаки.

Слід відмітити, що при розрахунку швидкості вітру над водною поверхнею водосховищ використано дані про швидкість вітру лише по тих метеостанціях, захищеність яких по основних напрямках становила не менше за 3⁰ та не більше за 10⁰ (найменш та найбільш захищених). Винятком є метеостанція Дніпропетровськ, дані якої враховано для того, щоб відобразити збільшення швидкості вітру в цьому районі, на відміну від його зменшення практично по всій Україні, яке відмічається протягом останніх 30 років і пояснюється зміною у макроциркуляційних процесах.

Основними напрямками повітряного потоку для усіх водосховищ є північний та західний. При цьому для Київського та Канівського водосховищ чітко виражений західний напрям, для Кременчуцького та Дніпродзержинського водосховищ – майже однакова повторюваність північного та західного напрямку, для Дніпровського та Каховського водосховищ – північний.

Середня багаторічна температура поверхневого шару води за безьодоставний період коливається від 14,5⁰С по акваторії Київського водосховища до 16,3⁰С – Каховського. Найвища температура води, аналогічно температурі повітря, спостерігається у липні місяці на акваторії усіх водосховищ каскаду, найнижча фіксується у листопаді місяці.

Поступове підвищення середньої за безьодоставний період температури води спостерігається від одного водосховища до другого, при цьому на акваторіях Канівського, Кременчуцького та

Дніпродзержинського водосховищ середня багаторічна температура води майже однакова.

Аналіз зміни величин метеоелементів по каскаду водосховищ показав, що температура повітря та абсолютна вологість плавно змінюються з півночі на південь, температура поверхневого шару води та швидкість вітру характеризуються строкатістю між водосховищами, що при відповідному сполученні визначає строкатість величин випаровування.

Реалізація методу розрахунку випаровування за допомогою емпіричних формул передбачає вибір і обґрунтування формули та використання метеорологічних характеристик, виміряних на суші та перерахованих на поверхню водойми.

Розрахунок випаровування декількома способами показав, що результати розрахунків за формулою УкрНДГМІ, яку розроблено за даними про випаровування випарними басейнами за період 1976-2004 рр., розміщеними безпосередньо на території України, близькі до одержаних за формулою ДГІ, яка раніше була нормативною базою (СНіП).

У зв'язку з тим, що величини випаровування, одержані за формулою УкрНДГМІ 2001 р., близькі до величин, розрахованих за формулою ДГІ, для одержання розрахункових величин випаровування використано обидві формули. Різниця у величинах випаровування, розрахованого за цими формулами, становить від 8 до 19%. Нормативна точність розрахунку випаровування – 30%.

Сполученість різних за впливом гідрометеорологічних умов призводить до того, що не спостерігається послідовного збільшення випаровування по каскаду водосховищ. Так, у найбільш посушливих умовах, випаровування з водної поверхні Київського водосховища (за формулами СНіП та УкрНДГМІ) становить 700-800 мм, Дніпровського – 1000-1100 мм, Каховського – 950-1030 мм.

Аналіз внутрішньорічного розподілу величин випаровування показав, що за обома формулами він практично однаковий, 40% випаровування приходить на липень-серпень місяці.

Зіставлення величин розрахункового випаровування з величинами випаровування, спостереженого випарниками ДГІ-3000, показало, що величини, одержані за формулою переходу від місячних значень випаровування, спостереженого наземними випарниками ДГІ-3000, до випаровування з водойми різняться на 6-20%.

Розрахунками підтверджено висновки інших дослідників про те, що в даний час майже не існує методики, яка б забезпечувала найкращі результати визначення випаровування.

* *

Рассмотрены существующие методы расчета испарения с водной поверхности и выполнены расчеты испарения с шести водохранилищ Днепровского каскада. По наблюдаемым метеорологическим характеристикам наблюдений за период 1976-2004 гг. сделан вывод об использовании формулы УкрНИГМИ для дальнейших расчетов испарения. Представлено испарение с водной поверхности различной расчетной обеспеченности для шести водохранилищ Днепровского каскада по месяцам и суммарное испарение за безледоставный период.

* *

1. Руденко С.И. Испарение водной поверхности и потери на испарение с больших водохранилищ // Труды ГГИ, – 1948. – Вып. 3(57).
2. Браславский А.П., Шергина К.Б. Потери воды на испарение из водохранилищ засушливой зоны Казахстана. – Алма-Ата: Наука, 1965. – С. 23-27.
3. Браславский А.П., Остроумова Л.П. Оценка точности современных формул, предложенных для расчета слоя испарения с поверхности водных объектов // Труды КазНИГМИ. – 1991. – Вып. 107. – С. 16-27.
4. Костин А.Г., Доманов В.Н. Анализ существующих методик расчета теплоотдачи испарением // Известия ВНИИГ. – Т. 210. – 1988. – С. 12-17.
5. Остроумова Л.П. Расчет испарения с поверхности водных объектов в устьевых областях рек южных морей России // Метеорология и гидрология. – 2004, № 9.
6. Указания по расчету испарения с поверхности водоемов. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 83 с.
7. Браславский А.П., Викулина З.А. Нормы испарения с поверхности водохранилищ. – Л.: Гидрометеиздат, 1954. – 212 с.
8. Шерешевський А.І., Синицька Л.К. Випаровування з водної поверхні на території України // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – Т. 3. – К.: – Ніка-Центр. – 2002. – С. 65-71.
9. Винников С.Д., Проскуряков Б.В. Гидрофизика (физика вод суши). – Л.: Гидрометиздат, 1988. – 248 с.
10. Клімат України / За ред. В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.Н. Бабіченко. – К.: Вид-во Раєвського, 2003. – С. 108-112.

11. *Браславский А.П., Чистяева С.П.* Расчет испарения с поверхности оз. Балхаш по усовершенствованной методике // Труды КазНИГМИ. – 1978. – Вып. 68. – С. 3-43.
12. *Каганер М.С.* Испарение с водной поверхности Днепровских водохранилищ // Труды УкрНИГМИ. – Л.: Гидрометеоздат, 1960. – Вып. 24. – С. 3-14.
13. *Шерешевський А.І., Синицька Л.К.* Оцінка змін випаровування з водної поверхні на території України // Труды УкрНДГМІ, – 2000. – Вип. 248. – С. 67-76.

*Український науково-дослідний
гідрометеорологічний інститут, Київ*