

Є.В. Обухов, д. економ. н., **О.С. Корягіна**, бакалавр.

Одеський державний екологічний університет

Є.П. Корецький

Каховська гідрометеорологічна обсерваторія

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРНОГО ФАКТОРА НА ПОКАЗНИКИ ВИПАРОВУВАННЯ З ВОДНОЇ ПОВЕРХНІ КАХОВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА

На основі реальної гідрометеорологічної інформації за 55 років експлуатації водосховища узагальнені і вдосконалені методичні підходи щодо визначення показників випаровування з його водної поверхні.

Ключеві слова: випаровування, водна поверхня, водосховище, показники, розподіл, температура, інформація, спостереження.

Вступ та постановка проблеми. Випаровування – це процес переходу води із рідкої або твердої фази в газоподібну (пара). У відповідності із законом Дальтона швидкість випаровування з одиниці поверхні води прямопропорційна дефіциту насичення в приземному шарі атмосфери та оберненопропорційна атмосферному (барометричному) тиску [1-4]. Звідси основними факторами, що визначають випаровування з водної поверхні є різниця тиску насичення водяної пари, яка насичує простір при температурі поверхні води, та парціального тиску водяної пари, яка фактично є в повітрі, температура води і повітря, швидкість вітру [5-10].

Існуючі сьогодні методи практичної оцінки випаровування з водосховищ мають недостатню точність, яка спричинена неможливістю прямо визначити необхідні для розрахунків вихідні дані та складністю перерахунку випаровування на всю акваторію водойми. Для розрахунку випаровування з водної поверхні застосовують досить прості емпіричні формули, які засновані на стаціонарній гідрометеорологічній інформації [1, 11-19].

Загальний вигляд формули для розрахунку випаровування такий

$$E = An(e_0 - e_{200})(1 + \alpha\omega_{200}), \quad (1)$$

де:

E – випаровування з водної поверхні за місяць, мм;

A – числовий коефіцієнт, який сумарно враховує вплив на процес випаровування деяких факторів випаровування;

n – кількість днів у місяці;

e_0 – тиск насичення водяної пари, який розраховується по температурі води на його поверхні (мм; гПа);

e_{200} – парціальний тиск водяної пари в повітрі на висоті 2 м над водною поверхнею (мм; гПа);

α – числовий коефіцієнт;

ω_{200} – середньомісячне значення швидкості вітру на висоті 2 м, м/с.

Дослідженнями випаровування займалися В.В. Шулейкин, М.І. Будико, О.Р.Константинов, Б.Д. Зайков, О.П. Браславський та З.О. Вікуліна, М.В. Чеботарьов, С.М. Крицький і М.Ф. Менкель, М.С. Каганер, В.К. Давидов, В.І. Кузнецов, В.С. Голубев, Т.Г. Федорова, В.О. Римшей та Р.В. Донченко, С.М. Нургалиєв, В.П. Кожевников, Р.І. Гета, а також Д.Л. Лайхтман, Хортон, Міллер, Пенман, Торнтвейт, А. Майер (США).

Відзначимо, що надійність розрахунків за різними емпіричними формулами значно залежить від надійності вихідних даних, які визначаються для водної поверхні, але в більшості випадків така інформація відсутня. Це спонукає використовувати дані з континентальних станцій з наступним перерахунком їх на водойму [2].

Основним визначним вихідним фактором при розрахунках випаровування є температурний фактор, який суттєво впливає на інші вихідні дані. Так тиск насичення водяної пари e_0 залежить від температури води і парціального тиску водяної пари в повітрі над водною поверхнею на висоті 2 м. Середня температура повітря над водоймою на висоті 2 м також залежить від температур повітря та води [5-10].

Деякі автори пропонували для розрахунків випаровування прості залежності (В.В. Шулейкин), емпіричний метод (О.П. Браславський і З.О. Вікуліна), рекомендації М.В. Чеботарьова для попередніх розрахунків на ранніх стадіях проектування [1], рекомендації М.С. Каганера щодо спрощеного підходу при визначенні вихідних даних для розрахунків випаровування [14], а також наближений метод розрахунків Майєра [1]. Крім цього в практиці інженерних розрахунків використовують також карти ізоліній середньобогаторічного випаровування з водної поверхні та схему районування України на основі визначення внутрішньорічного ходу випаровування [4, 11, 15, 19].

Емпіричні формули і методи, спрощені та наближені методи тільки підкреслюють трудомісткість розрахунків випаровування з водної поверхні.

Метою даної роботи є узагальнення даних натурних спостережень за 1956-2010рр. на Каховському водосховищі та удосконалення розрахункових підходів при визначенні показників випаровування з водної поверхні водосховища як складової водобалансових розрахунків.

Основними матеріалами досліджень є систематизована гідрометеорологічна інформація з Каховської гідрометеорологічної станції за 55 років її експлуатації (1956-2010 рр.), складові водних балансів за аналогічний період, розраховані за методом теплового балансу показники випаровування, результати досліджень за минулі роки та їх аналіз [12-15, 17-21].

Результати досліджень та їх аналіз. На термічний та льодовий режим дніпровських водосховищ впливають свої індивідуальні чинники, які визначають тепловий баланс водотоку протягом року, морфометричні характеристики водосховищ, антропогенний вплив. Термічний режим водосховищ Дніпровського каскаду підпорядкований закону широтної зональності, а водосховища характеризуються різноманітними фізико-географічними умовами, різними площею дзеркала, шириною, глибиною, приточністю, береговою лінією, наявністю мілководь, інтенсивністю вітрового впливу, регулюючою спроможністю, швидкостями течії води, промисловими скидами підігрітих вод.

Враховуючи те, що дані спостережень за температурою води Каховського водосховища є тільки за 1981-2010 рр. на рис.1 наведений розподіл річних показників температур та випаровування за відповідний період. На рис.1 проілюстроване загальне зростання шару та об'єму випаровування, починаючи з 1987 р. (за винятком другого за період експлуатації мінімуму – 2004 р.). Щодо температури, то за вказаний період середня температура води вища за температуру повітря, а за 2001-2010 роки величини температур води і повітря значно зростають.

В табл.1 наведені характерні температури води і повітря за 30 років спостережень та повітря за 55 років, а також максимальна різниця середніх температур води і повітря. Аналіз максимальних температур повітря за 55 років показав, що за виключенням жовтня та грудня вони відносяться до останнього тридцятирічного періоду і навіть більше – до двадцятирічного (1991-2010 рр.). Це вказує на відповідне

потепління за цей період. Більшість мінімальних температур за 55 років спостережень належить до періоду 1956-1981 рр.

В табл.2 показаний внутрішньорічний розподіл середніх температур поверхні води на Каховському водосховищі за різні періоди.

Із табл.2 видно, що за останні 30 років середні місячні температури води у порівнянні з іншими періодами підвищились, особливо в першому кварталі року, тобто відбувається загальне потепління клімату. Відзначимо, що середні місячні температури води протягом року за 1981-2010 рр. змінюються від 1,1 до 23,9 °С. В окремі роки під впливом погодних умов можуть спостерігатись деякі відхилення температур від наведеного річного ходу. При порівнянні температур в табл.2 звернімо увагу на переміщення максимуму температур з липня на серпень.

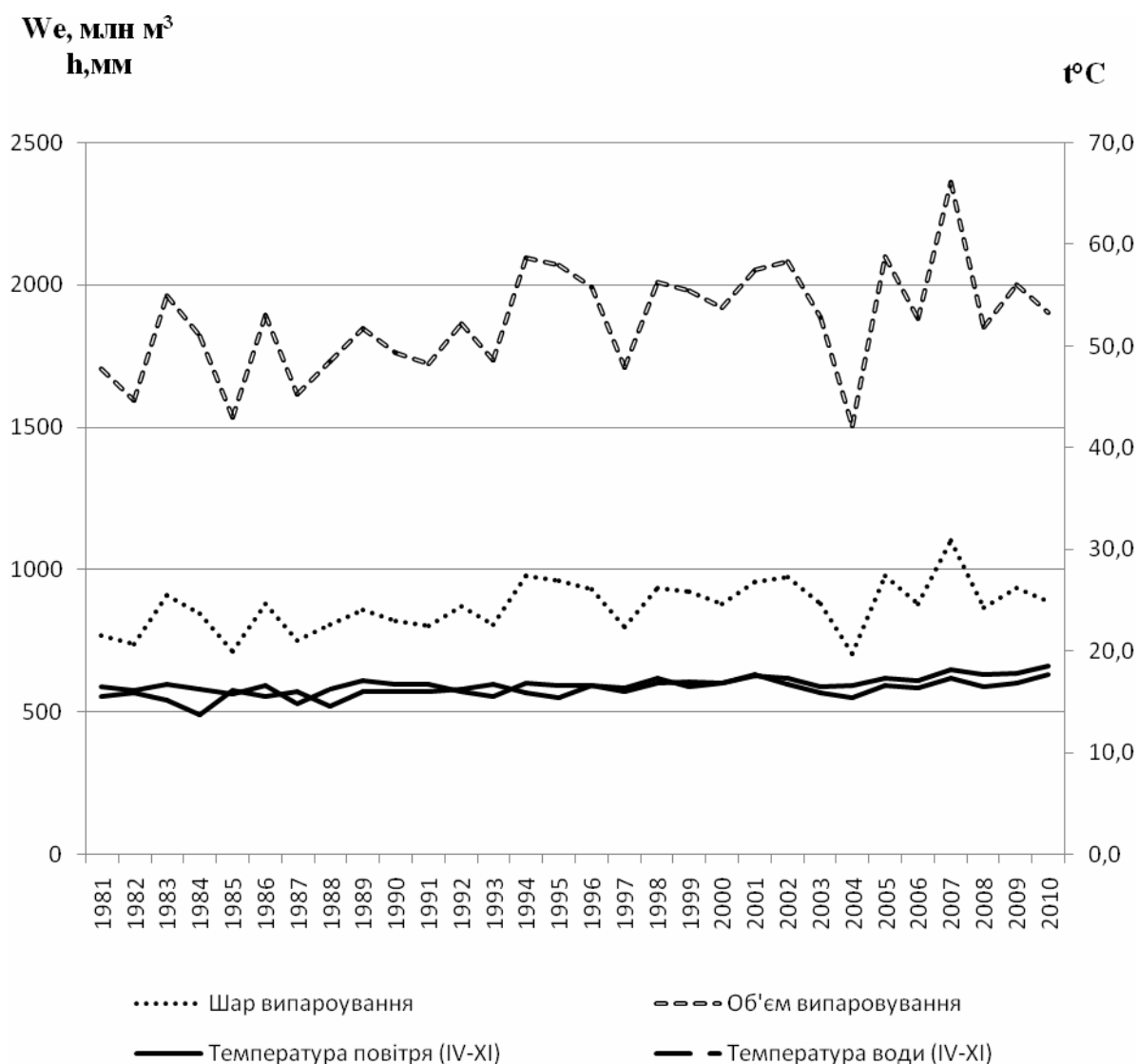


Рис. 1 - Хронологічний графік показників випаровування та температур Каховського водосховища

Температура води – найбільш мінлива характеристика термічного режиму як в часі, так і в просторі.

В акваторії Каховського водосховища максимальні місячні температури різні за величиною і по термінах [18]: у пункті Верхня Тарасівка - 24°С у першій половині серпня, біля Золотої балки – 23,8°С у другій половині липня та першій половині серпня,

біля Нової Каховки – 23,2°C у першій і другій половинах серпня. Звідси і одержуємо загальний максимум температур води по водосховищу у серпні. А взагалі температура води біля греблі (Н.Каховка) вища, ніж у верхній частині водосховища тільки з другої половини серпня до початку квітня, тобто в прохолодні місяці.

Добовий хід температури води повторює різкі зміни температури повітря під впливом погодних умов [18].

Абсолютний максимум добової температури води в полагіалі дніпровських водосховищ [18] досягав 32°C тільки в Кременчуцькому водосховищі, а в Каховському був в межах від 28,8 до 31,6°C.

За дослідженнями [21] у 2010 р. температура води по акваторії Каховського водосховища змінювалась з червня до вересня від 18 до 32°C. Максимальні значення температури води були зареєстровані у першій та другій декадах серпня і досягли 30-32°C. Саме у цей період у Каховському водосховищі спостерігалися явища задухи риб.

Слід відзначити також, що термін процесу охолодження води в Каховському водосховищі від максимальної температури до 4°C на сьогодні становить 144 доби, середня тривалість безльодоставного періоду поступово збільшилась до 309 діб, а в окремих випадках він продовжується цілий рік [18]. На охолодження води від 4°C до температури льодоставу на Каховському водосховищі необхідно 24 доби.

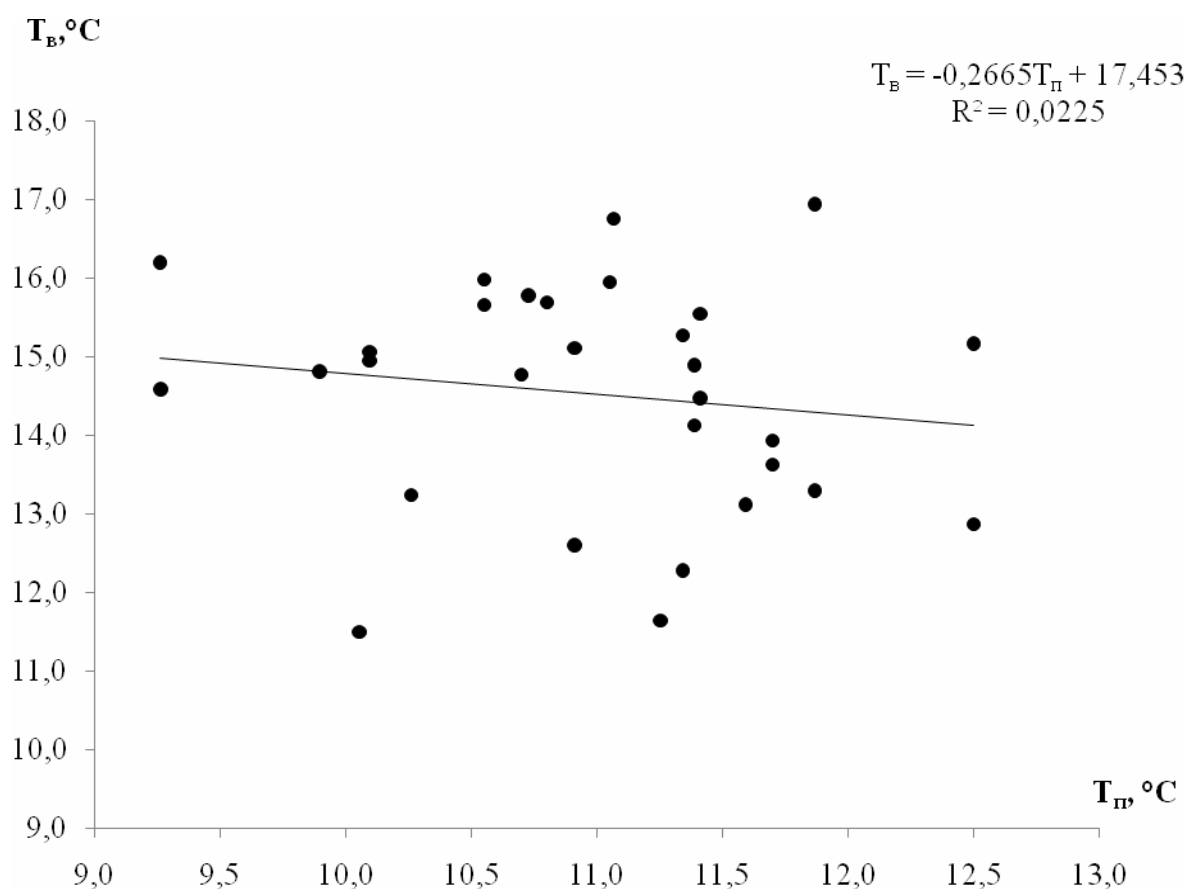
Таблиця 1 – Температури води та повітря на акваторії Каховського водосховища

Місяць	Температура, °C															Максимальна різниця середньобагаторічних температур
	вода					повітря										
	1981-2010 рр.					1981-2010 рр.					1956-2010 рр.					
	максимальна	рік	середньо багаторічна	мінімальна	рік	максимальна	рік	середньо багаторічна	мінімальна	рік	максимальна	рік	середньо багаторічна	мінімальна	рік	
I	2,5	2007	1,3	0,3	1983	3,9	1998 2007	-1,4	-6,5	1997 2006	3,9	1998 2007	-2,0	-9,6	1963	3,6
II	2,6	2005	1,1	0,1	1982	4,3	1993 2002	-0,6	-6,0	1994 2003	4,3	1993 2002	-1,3	-12	1976	2,4
III	5,4	1989	3,2	1,2	2005	6,9	1981	3,9	0,1	1987	6,9	1981	3,1	-4,8	1978	-1,1
IV	10,7	1989	8,5	4,0	1987	13,1	1991	10,4	7,6	1988	13,1	1991	10,2	5,6	1956	-2,3
V	18,5	1996	16,0	12,8	1987	20,0	2003	16,7	13,7	1990	20,0	1994 2003	16,5	13,7	1990	-1,3
VI	24,3	2007	21,6	19,6	1990	23,6	2007	21,0	18,7	1985	23,6	1966 1998 2007	20,6	18,4	1957	0,3
VII	27,1	2010	24,2	22,1	1985	26,7	1992	23,8	20,7	1984	26,7	1992	23,1	20,2	1976	0,3
VIII	27,3	2010	24,0	22,0	1987 1983	26,7	2001 2010	23,3	20,7	1988	26,7	2001 2010	22,6	19,2	1976	1,3
IX	20,3	2007	19,3	17,2	1996	21,3	1985	17,6	13,9	1988	21,3	1985	17,3	13,9	1988	2,5
X	15,4	2009	13,4	11,6	1992	13,0	1982 1998 2006	11,3	8,4	2001 2010	14,5	1965	10,9	6,7	1967	2,9
XI	9,8	2010	6,7	3,4	1988	10,8	2001 2010	5,4	-2,3	1984	10,8	2001 2010	5,0	-2,3	1984	2,6
XII	4,6	1996	3,2	1,1	1983	3,4	1990	0,4	-5,6	1993 2002	3,9	1998 2007	0,4	-5,6	1993 2002	3,1

Таблиця 2 – Середні температури поверхні води

Період	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1960-1970 рр. [15]			1,9	6,2	14,9	20,7	23,3	22,7	19,0	13,2	7,7	3,0
до 1986 р. [18]	0,7	0,4	1,4	6,9	14,9	20,7	23,1	22,9	19,0	13,2	7,4	2,9
1981-2010 рр.	1,3	1,1	3,2	8,5	16,0	21,6	24,2	24,0	19,3	13,4	6,7	3,2

Відсутні дані спостережень за температурою води у 1956-1980 рр. можуть бути відновлені на основі емпіричної залежності між температурою води та повітря за спостереженнями на Каховському водосховищі у 1981-2010 рр. Така залежність базується на накопичених за 30 років спостережень даних температури і для річних температур повітря над водною поверхнею та поверхні води $T_e^0 = f(T_n^0)$ наведена на рис.2.

Рис. 2 - Залежність $T_e^0 = f(T_n^0)$

Залежність $t_e^0 = f(t_n^0)$ між середньобогаторічними місячними температурами повітря над водосховищем $t_n, ^\circ\text{C}$ і поверхні води $t_b, ^\circ\text{C}$ показана на рис.3 і представляє собою дві лінії: для періоду нагрівання (I-VIII) і періоду охолодження водойми (VIII-XII).

Відзначимо, що зв'язок між місячними температурами повітря і води значно тісніший ніж на рис.2.

По аналогії з [14] знайдемо залежність $e_0 = f(t_n^0)$ між середніми місячними температурами повітря $t_n, ^\circ\text{C}$ та величиною тиску насичення водяної пари e_0 в гПа (рис.4). Оскільки залежність між температурою повітря над водоймою і температурою поверхні води виражається двома лініями, то очевидно і зв'язок між температурою повітря над Каховським водосховищем $t_n, ^\circ\text{C}$ та величиною тиску насичення водяної пари e_0 також повинен бути окремим для періоду нагрівання (I-VII) та періоду охолодження (IX-XII) водойми. При наявності такої залежності можна розрахувати тиск насичення водяної пари e_0 не за температурою поверхні води, як рекомендують в [16], а тільки за температурою повітря над поверхнею води Каховського водосховища. Але такий спосіб розрахунків e_0 можливий для оперативних попередніх розрахунків. За дослідженнями [14] середня похибка отриманих таким способом величин випаровування становила 10%.

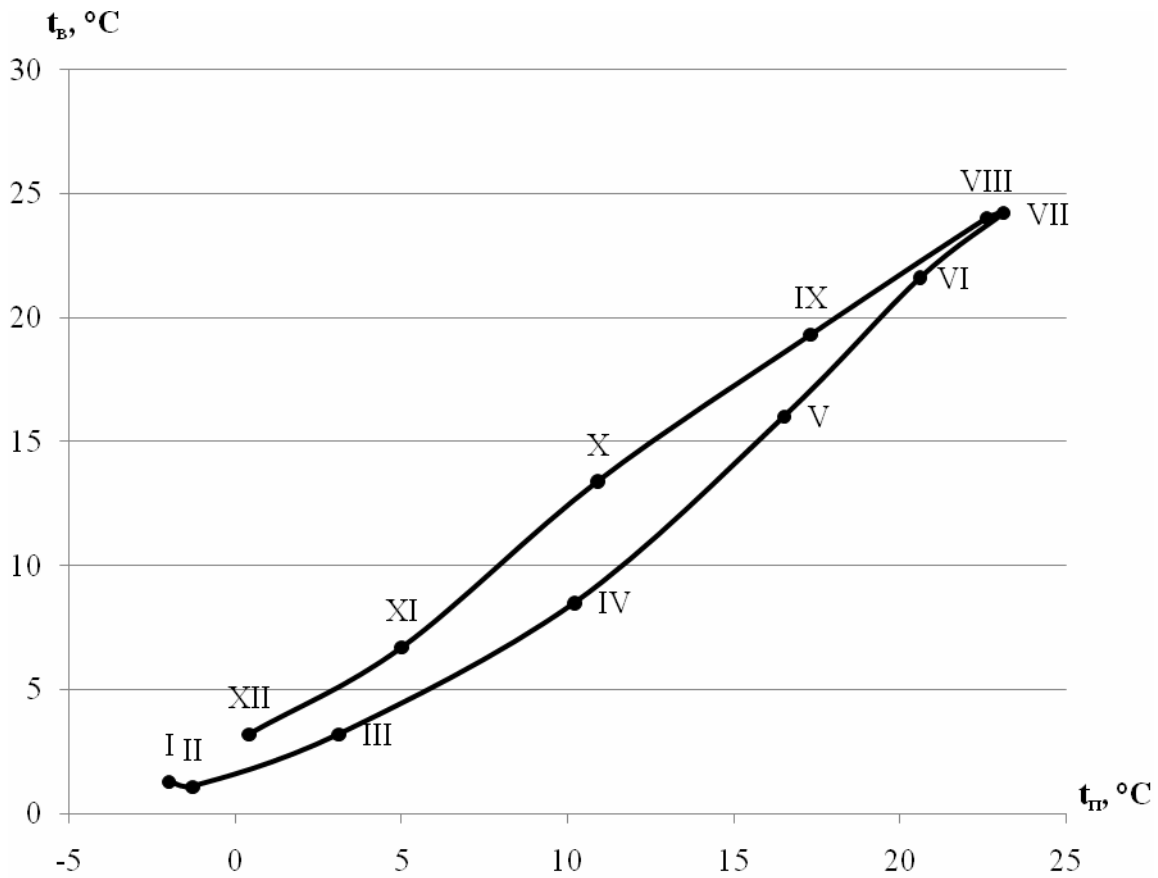
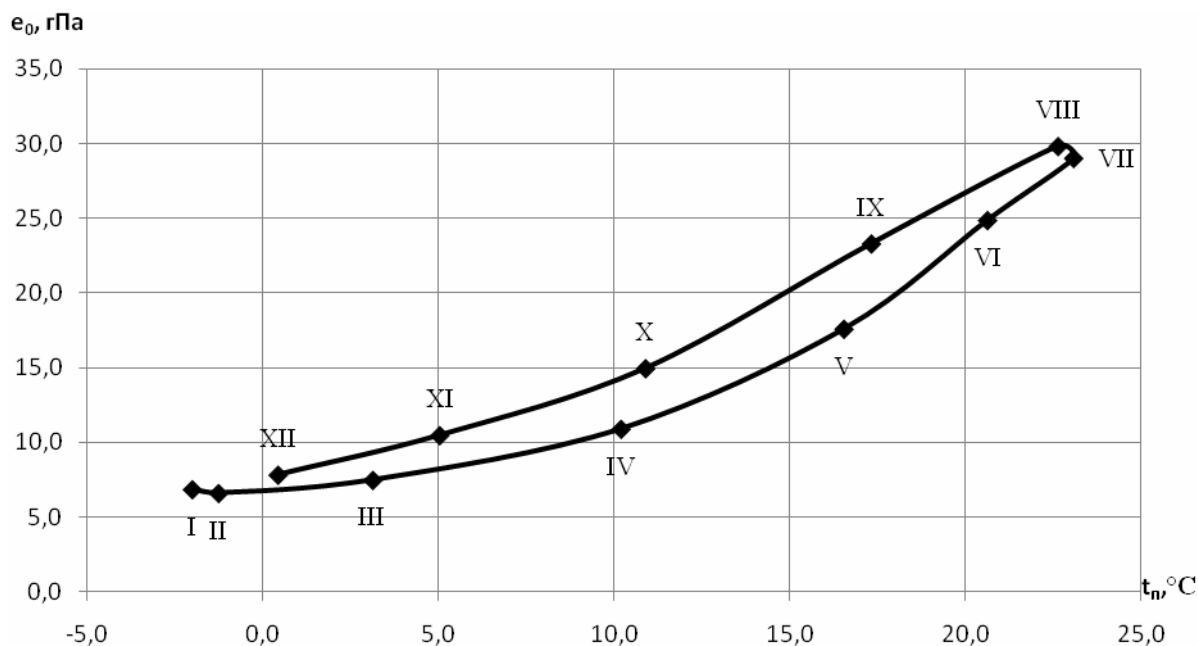


Рис.3 - Залежність середньобагаторічної температури води від середньобагаторічної температури повітря $t_v = f(t_n)$ Каховського водосховища

А. Майер (США) [1] запропонував наближений спосіб розрахунку випаровування з водної поверхні за графіком зв'язку між місячним випаровування в мм та середньою місячною температурою поверхні води $t_v, ^\circ\text{C}$.

Рис. 4 - Залежність $e_0=f(t_n^0)$ для Каховського водосховища

По аналогії нами побудовані для умов Каховського водосховища графіки зв'язку між температурою поверхні води $t_b, ^\circ\text{C}$ за період 1981-2010 рр. та шаром випаровування h в мм - $h = f(t_b^0)$ (рис.5) і температурою поверхні води $t_b, ^\circ\text{C}$ та об'ємом втрат води на випаровування W_e млн м^3 , тобто $W_e = f(t_b^0)$ (рис.6), а також графіки залежності $h = f(t_n^0)$ між температурою повітря над водною поверхнею $t_n, ^\circ\text{C}$ за період 1956-2010 рр. і шаром випаровування h в мм (рис.7) та між температурою повітря над водною поверхнею $t_n, ^\circ\text{C}$ і об'ємом втрат води на випаровування W_e млн м^3 , тобто $W_e = f(t_n^0)$ (рис.8). За вказаними графіками (рис.5-8) також можливо оперативно визначити необхідні наближені показники випаровування з водної поверхні Каховського водосховища.

Перспективним буде розрахунок і побудова універсального узагальненого графіка залежності між площею водного дзеркала водосховища F , шаром випаровування h і об'ємом втрат води на випаровування W_e , тобто $W_e=f(F, h)$.

На рис.9 показані інтегральні криві шарів випаровування для місяців 2007 року з максимальним шаром випаровування за рік - 1104 мм, для середньобогаторічних місячних шарів випаровування за 55 років спостережень - 842 мм і для місяців 1980 року з мінімальним річним шаром випаровування за рік - 640 мм. Крім того для кожної інтегральної кривої наведені відповідно для місяця температури поверхні води і повітря над водоймою. Співставлення температур між собою і шарів випаровування показує, що з травня по листопад температури поверхні води в 2007 р. перевищують температури води у 1980 р., а з грудня по квітень - навпаки. Слід відзначити, що найбільш крутий підйом інтегральних кривих відбувається у період з травня по вересень, коли шар випаровування і температури поверхні води значно виростають. В цей період різниця між температурами води у 2007 і 1980 рр. становить близько $3,7^\circ\text{C}$, а по шару випаровування - від 150 мм до 500 мм. В період з березня по травень максимальне перебільшення температури повітря над температурами поверхні води досягає $2,1^\circ\text{C}$. Проте, в період з червня по лютий температури повітря стають меншими температур води. Максимальна різниця між ними може досягати $3,1^\circ\text{C}$.

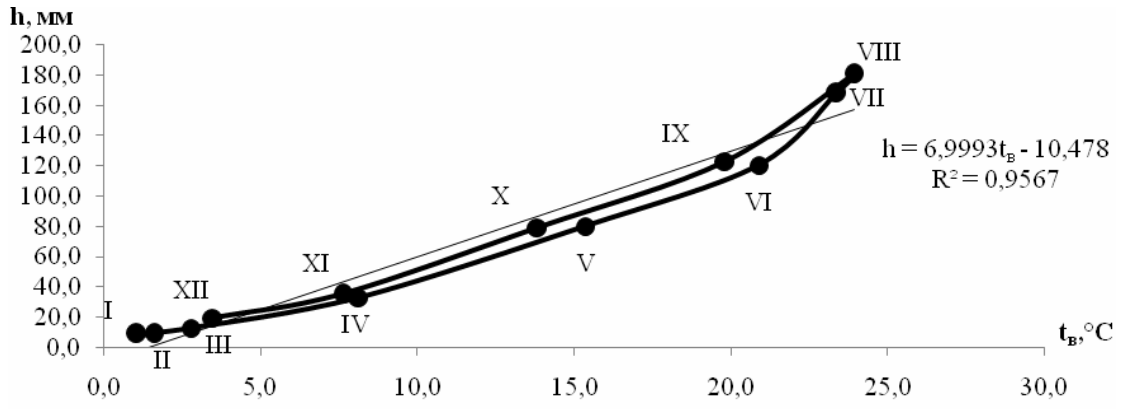


Рис. 5 - Залежність $h=f(t_b, ^\circ)$

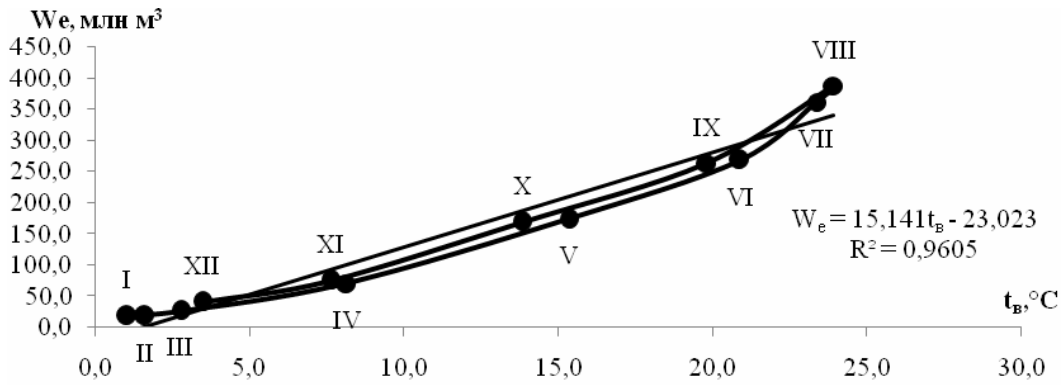


Рис. 6 - Залежність $W_e=f(t_b, ^\circ)$

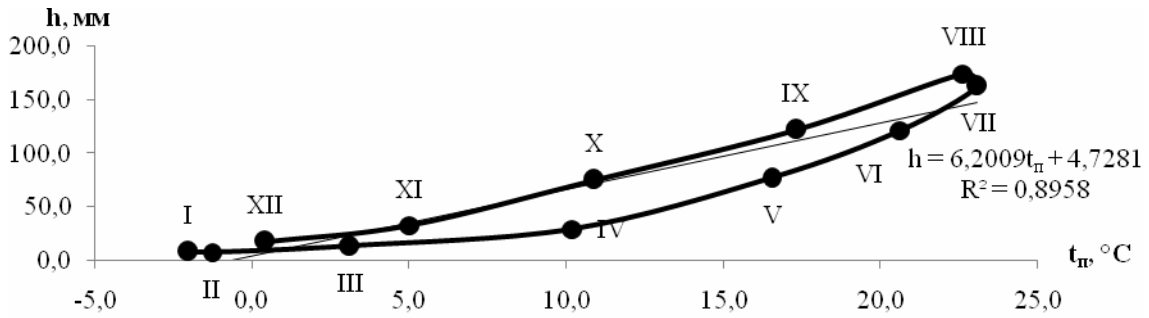


Рис. 7 - Залежність $h=f(t_n, ^\circ)$

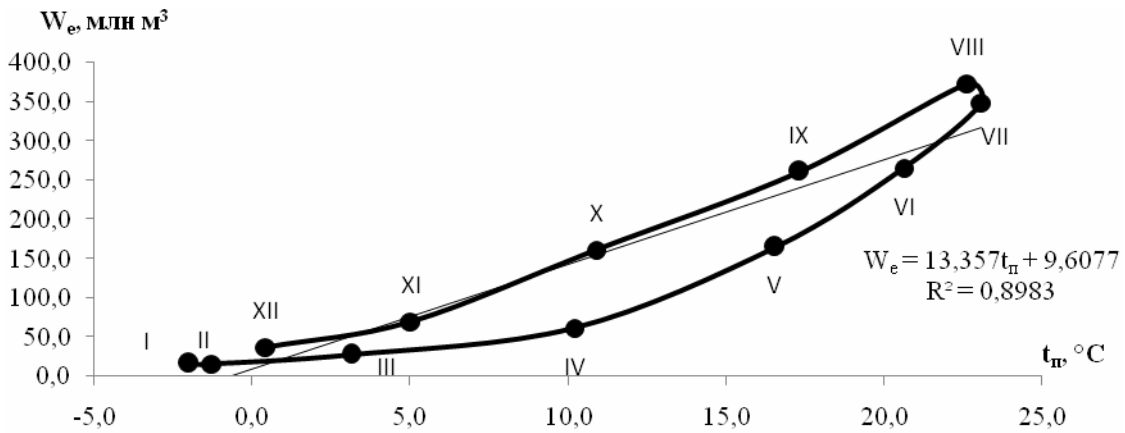
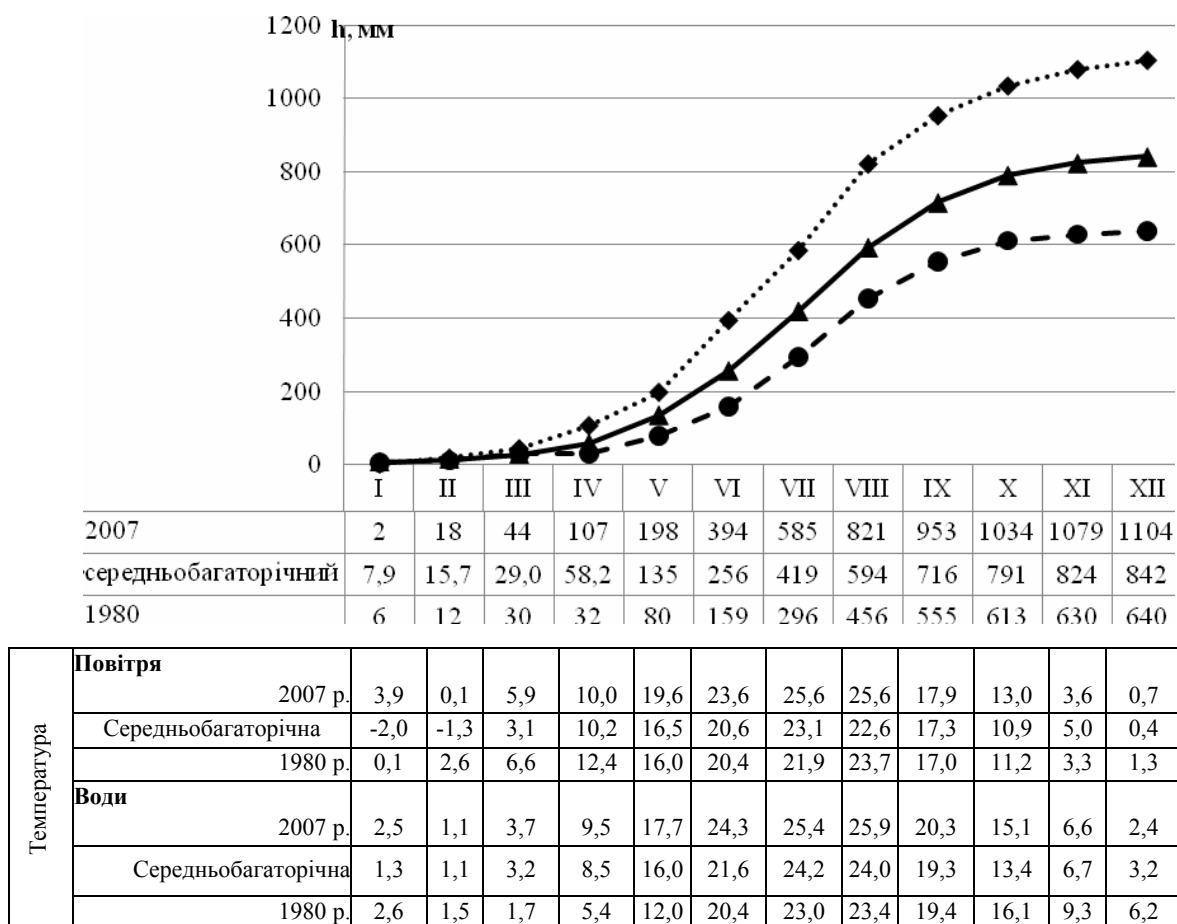


Рис. 8 - Залежність $W_e=f(t_n, ^\circ)$

Рис.9 – Інтегральні криві шарів випаровування $h=f(T)$

Висновки та рекомендації

1. Накопичена за 55 років експлуатації Каховського водосховища гідрометеорологічна інформація дозволила узагальнити і вдосконалити окремі залежності між вихідними даними для розрахунків випаровування з його водної поверхні і запропонувати оперативні підходи до визначення показників випаровування для попередніх водобалансових розрахунків.
2. Проведені дослідження дозволять підвищити точність практичної оцінки випаровування з Каховського водосховища.
3. Аналіз гідрометеорологічної інформації показав загальне кліматичне потепління за останні 30 років.

Список літератури

1. *Леви И.И.* Инженерная гидрология. – М.: Высшая школа, 1968. – 240 с.
2. *Константинов А.Р.* Испарение в природе. – Л.: Гидрометеиздат, 1968. – 532 с.
3. *Руденко С.И.* Испарение с водной поверхности и потери на испарение с больших водохранилищ // Тр. ГГИ. – 1948. – Вып. 3(57). – С. 27-34.
4. *Гидрология и гидротехнические сооружения* / Под ред. Г.И. Смирнова. – М.: Высшая школа, 1988. – 472 с.
5. *Шуляковский Л.Г.* Формула для расчета испарения с учетом температуры свободной поверхности воды // Тр. Гидрометцентра СССР.–1969.–Вып.53. – С.3-13.

6. Тимофеев М.П. Метеорологический режим водоемов. – Л.: Гидрометеиздат, 1963. – 290 с.
7. Шмаков В.М. Гидроэкологические аспекты режима солнечной энергии в водохранилищах Днепровского каскада. – К.: Наукова думка, 1988. – 166 с.
8. Браславский А.П., Нургалиев С.Н. Новая формула для расчета испарения с учетом разности температуры воды и воздуха // Проблемы гидроэнергетики и водного хозяйства. – 1966. – Вып. 4. – С. 195-206.
9. Голубев В.С., Вуглинский В.С., Кокорева К.М. Методика расчета средней многолетней температуры поверхности воды в водоемах по данным наблюдений водоиспарительной сети // Тр. ГГИ. – 1981. – Вып.279. – С. 75-93.
10. Кожевников П.О. О расчете испарения с водоемов с учетом температурной стратификации атмосферы // Тр. ГГИ. – 1969. – Вып. 158. – С. 97-105.
11. Клімат України / За ред. В.М. Ліпінського, В.А Дячука, В.М. Бабіченко.- К.: Вид-во Раєвського, 2003. – 343 с.
12. Вуглинский В.С. Водные ресурсы и водный баланс крупных водохранилищ СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 223 с.
13. Справочник по водным ресурсам / Под ред. Б.И. Стрельца. – К.: Урожай, 1987. – 304 с.
14. Каганер М.С. Испарение с водной поверхности днепровских водохранилищ СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1958. – 223 с.
15. Викулина З.А., Натрус А.А. Оценка испарения с поверхности водохранилищ по наблюдаемым гидрометеорологическим данным // Труды ГГИ. – 1976. – № 231.– С. 3-17.
16. Указания по расчету испарения с поверхности водоемов. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 83 с.
17. Каганер М.С., Дюкель Н.Г. Испарение с водной поверхности на территории Украины и Молдавии // Тр. УкрНИИГМИ. – 1966. – №64. – С. 155-180.
18. Яцьк А.В., Шмаков В.М. Гидроэкология. – К.: Урожай, 1992. – 192 с.
19. Обухов Є.В., Корягіна О.С., Корецький Є.П. Порівняльні розрахунки випаровування з водної поверхні Каховського водосховища в сучасних умовах // Вісник Одеського державного екологічного університету. – Одеса, 2012. – Вип. 13. – С.187-195.
20. Обухов Є.В. Економіко-екологічні оцінки проектів великих українських водосховищ: Монографія. – Одеса: ТОВ „ІНВАЦ“, 2008. – 100 с.
21. Федоненко О.В., Осіпова Н.Б., Шарамок Т.С., Маренкова О.М. Гідроекотичний стан Каховського водосховища // Питання біоіндикації та екології. – Запоріжжя: ЗНУ, 2010. – Вип.15, №2. – С. 214-222

Влияние температурного фактора на показатели испарения с водной поверхности Каховского водохранилища. Обухов Е.В., Корягина Е.С., Корецкий Е.П.

На основании реальной гидрометеорологической информации за 55 лет эксплуатации водохранилища обобщены и усовершенствованы методические подходы определения показателей испарения с его водной поверхности.

Ключевые слова: испарение, водная поверхность, водохранилище, показатели, распределение, температура, информация, наблюдения.

Effect of temperature factor in performance evaporation from water surface Kakhovka Reservoir. Obukhov E.V., Koryagina E.S., Koretsky E.P.

The methodical approaches of determination of evaporation index from charge pool's water surface were generalized and improved based on real hydrometeorological information of 55 years' period of observation.

Key words: evaporation, water surface, reservoir performance, distribution, temperature, information, observations.