

**Є.В.Обухов**, д.економ.н.

*Одеський державний екологічний університет*

## **УЗАГАЛЬНЕНА ФОРМУЛА ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ВТРАТ ВОДИ НА ВИПАРОВУВАННЯ З КАХОВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА**

*На основі узагальнення реальної гідрометеорологічної інформації за 55 років експлуатації водосховища виявлена залежність для визначення втрат води на випаровування з усієї його акваторії та окремих ділянок.*

**Ключові слова:** випаровування, водосховище, вода, експлуатація, акваторія, ділянка, глибина.

**Вступ та постановка проблеми.** Випаровування з водної поверхні водосховищ є важливою витратною складовою їх водних балансів [1-6]. В маловодний період стік Дніпра, Дністра, Південного Бугу, Дону становить близько  $48 \text{ км}^3$  за рік. Із загальних втрат води (22,5% від стоку) 11,5% відносять на випаровування з водосховищ. Середньорічні втрати води на випаровування по Дніпровському каскаду становлять понад  $5 \text{ км}^3$ , а максимальні з Каховського водосховища у 2007 р. становили  $2,36 \text{ км}^3$ . Тільки при шарі випаровування в 1 мм з водної поверхні Каховського водосховища при нормальному підпертому рівні втрачається  $2,16 \text{ млн м}^3$  води за рік. На втраченій на випаровування з Каховського водосховища воді можна було б отримати понад 90 млн кВт\*год електроенергії на рік. Звідси до цієї витратної складової водного балансу постійний практичний та науковий інтерес. Трудомісткість розрахунків випаровування з водної поверхні підкреслюють численні емпіричні формули і методи, спрощені та наближені методи Майєра, М.С. Каганера, М.В.Чеботарьова, О.П.Браславського і З.О.Вікуліної, В.В.Шулейкіна [ 7 ].

**Метою даної роботи** є узагальнення та удосконалення розрахункових підходів до визначення показників випаровування з різних ділянок акваторії Каховського водосховища, виявлення відповідної залежності для завчасних оперативних розрахунків та порівнянь втрат води на випаровування при розробці проектних заходів щодо реконструкції гідровузла.

**Основними матеріалами досліджень** є гідрометеорологічна інформація з Каховської гідрометеорологічної обсерваторії за 55 років (1956-2010 рр.) експлуатації Каховського водосховища, складові водних балансів за період експлуатації [5-6], основні характеристики водосховища та його окремих ділянок [5-6], результати дослідження за минулі роки [1-14].

Каховське водосховище – шоста сходинка Дніпровського каскаду – здійснює сезонне та частково багаторічне регулювання стоку з коливанням рівнів у межах 3 м. Площа водозбору –  $482000 \text{ км}^2$ . Середньобагаторічний стік –  $52,2 \text{ км}^3$ . Повна та корисна ємність водосховища –  $18,2$  і  $6,8 \text{ км}^3$ . Площа дзеркала водосховища –  $2155 \text{ км}^2$ , довжина його 230 км, максимальна та середня глибина –  $36$  і  $8,4$  м, максимальний статичний напір –  $16,5$  м, розрахунковий –  $15$  м, мінімальний –  $8,9$  м. Встановлена потужність при розрахунковому напорі –  $351 \text{ МВт}$ . Середньорічний виробіток енергії –  $1420 \text{ млн кВт}\cdot\text{год}$ . Використовується для енергетики, водопостачання, зрошення, судноплавства, рибного господарства [5-6, 14].

Береги водосховища високі, складені в основному із суглинків, безлісі, порізані глибокими ярами та долинами мілких степових річок, які сьогодні стали його затоками.

У водосховищі виділяють п'ять ділянок (рис.1). Перша ділянка від м. Н.Каховка до с.Бабіно – пригреблева, найбільш глибока зона шириною 5-6 км, глибиною від 13 до 25 м, а інколи і 32 м. Площа першої ділянки –  $495 \text{ км}^2$ .

Друга ділянка від с.Бабіно до м. Нікополь шириною 8-15 км, переважні глибини – 10-12 м. Площа другої ділянки – 532 км<sup>2</sup>.

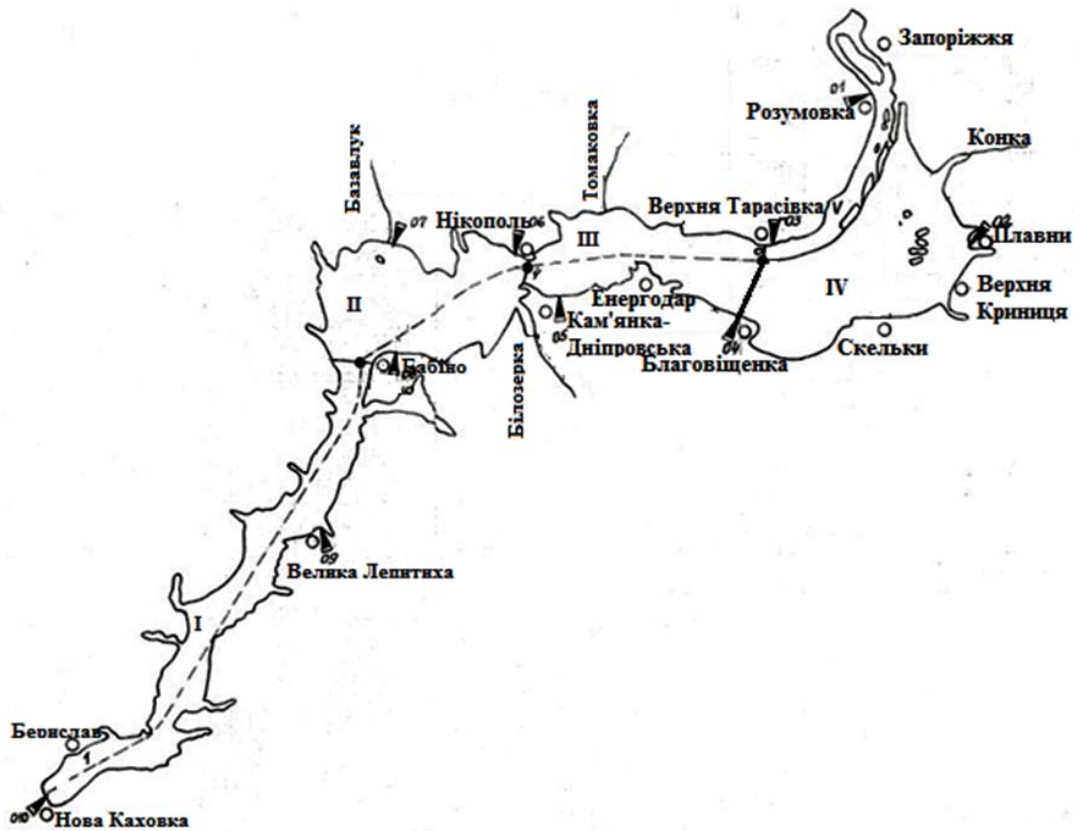


Рис.1 – Каховське водосховище та його ділянки

Третя ділянка від м. Нікополь до с. В.Тарасівка шириною від 8 до 16 км з глибинами 8-10 м. Площа третьої ділянки – 365 км<sup>2</sup>.

Гідрологічний режим другої та третьої ділянок – перехідний від річкового до озероподібного.

Четверта ділянка від с.Благовіщенка до с. Плавні – заплавна, відокремлена від руслової – п'ятої ділянки – піщаним пасмом і має вигляд мілководного озера з переважними глибинами 3-5 м, а також велика площа і з глибинами 1 м. Це район бувших Кінських заплав. Площа четвертої ділянки – 690 км<sup>2</sup>.

Руслова – п'ята – ділянка розташована від с.В.Тарасівка до с.Розумовка. Площа п'ятої ділянки 73 км<sup>2</sup>.

В основну дослідження покладено аналіз та узагальнення реальної та розрахункової гідрометеорологічної інформації.

**Результати досліджень та їх аналіз.** Розглядаючи акваторію Каховського водосховища, відзначимо орієнтацію водойми, широту місцевості, слабку проточність водойми, зміну площі поперечного перерізу і відповідно глибини та ємкості по довжині водосховища, скиди Дніпровської ГЕС та інших промислових і енергетичних об'єктів, значні забори води на водопостачання та зрошення. Усе це значно впливає на

внутрішньорічний та багаторічний розподіл температур по акваторії водосховища, а відповідно і на об'єми втрат води на випаровування з водної поверхні.

Об'єм втрат води на випаровування з окремих ділянок та усїєї акваторії Каховського водосховища - це добуток розрахованого [7] або середньобагаторічного місячного шару випаровування (табл.1) і площі водного дзеркала ділянки або усїєї акваторії при відповідному рівні води  $Z$ , яка визначається за відповідними кривими площ  $F = f(Z)$ .

В [13,14] наведені розрахунки втрат води на випаровування в табличній та графічній формах для п'яти ділянок та усїєї акваторії Каховського водосховища на основі пошарового розподілу або середньобагаторічних місячних шарів випаровування. Аналіз та узагальнення цих розрахунків дозволили запропонувати формулу для оперативних завчасних розрахунків втрат води на випаровування з водної поверхні Каховського водосховища

$$W_e = A 10^{a+m \lg h/H} \quad (1)$$

де:

$W_e$  – об'єм втрат води на випаровування з водної поверхні Каховського водосховища за місяць, млн  $m^3$ ;

$A$  - відносна величина шару випаровування за місяць,  $A = E_i / 300$  ;

$E_i$  - заданий або розрахований шар випаровування з водної поверхні за місяць, мм;

300 – стала, яка дорівнює максимальному шару випаровування з водної поверхні Каховського водосховища за місяць, мм;

$a$  - параметр, який характеризує максимальні втрати води на випаровування з водної поверхні заданої акваторії,  $a = \lg W_e$ . (при  $\lg h/H = 0$ );

$m$  - параметр, який враховує форму русла і є тангенсом кута нахилу лінії зв'язку  $\lg W_e = f(\lg h/H)$ ;

$h/H$  – відносна віддаленість розглядуваного рівня води в акваторії від дна;

$h$  - відстань від дна до розглядаємого рівня води в акваторії, м;

$H$  - максимальна глибина води в акваторії, м.

В табл.1 наведені середньобагаторічні місячні шари випаровування в мм, на основі яких можуть розраховуватись середньобагаторічні місячні об'єми випаровування окремо для п'яти ділянок та для усїєї акваторії Каховського водосховища.

Таблиця 1 – Середньобагаторічний місячний шар випаровування (мм)

Місяць Ділянка	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Середній за рік	Сума
1	8,94	13,2	12,9	29,2	75,0	120	163	187	136	98,5	48,8	28,4	76,8	922
2	7,29	9,99	14,5	33,4	89,1	127	173	190	130	87,3	37,7	23,3	76,9	923
3	5,65	9,99	17,8	39,0	90,5	131	179	190	120	77,8	29,8	18,2	75,8	909
4	4,01	9,99	19,5	43,2	93,4	135	183	184	106	60,2	25,1	13,2	73,1	877
5	0,72	8,40	4,61	19,3	61,0	104	153	177	132	93,7	39,3	18,2	67,6	811
Середньо- багаторічний по вдсх.	7,52	8,70	14,1	35,4	84,7	120	173	187	123	79,7	34,1	20,0	74,0	888

Значення параметрів в формулі (1) такі:

Акваторія	$a$	$m$	$H$ (м)	дно (м)
Водосховище	8,825	0,417	15	2
Ділянка 1	8,180	0,227	15	2
Ділянка 2	8,206	0,063	10	7
Ділянка 3	8,047	0,133	8	9
Ділянка 4	8,325	0,072	4	13
Ділянка 5	7,380	0,504	6	11

Таблиці та графіки [13,14] розраховані для зони характерних рівнів води  $Z_i$  від 17 до 12 м, тобто між відмітками форсованого підпертого рівня (ФПР) та рівня мертвого об'єму (РМО), що відповідає зоні корисного об'єму Каховського водосховища, яка призначена для можливого спрацювання.

Умови експлуатації ділянок водосховища різні. На характер графіків, особливо при наближенні їх до придонних рівнів води, впливають конфігурація, глибина і площа акваторії Каховського водосховища та його ділянок, а також значення температури та шару випаровування з водної поверхні в залежності від пори року [8-13], в літні місяці температура і шар значно зростають до максимальних величин, а в зимові – їх значення мінімальні, і графік становить майже пряму лінію. При пошаровому розподілі втрат води на випаровування взято крок від 10 до 300 мм через кожні 20 мм. Прикладом пошарового розподілу втрат води на випаровування для усїєї акваторії Каховського водосховища є табл.2 і рис.2, як основа для розробки запропонованої формули (1).

Таблиця 2 – Пошаровий розподіл втрат води на випаровування з Каховського водосховища ( $W_e$ , млн м<sup>3</sup>)

$E_i, \text{мм}$ $Z, \text{м}$	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	7,6	15,2	22,8	30,4	38,0	45,6	53,2	60,8	68,4	76,0	83,6	91,2	98,8	106	114
4	9,4	18,9	28,3	37,8	47,2	56,6	66,1	75,5	85,0	94,4	104	113	122	132	142
5	12,1	24,2	36,3	48,4	60,5	72,6	84,7	96,8	109	121	133	145	157	169	182
6	14,7	29,4	44,2	58,9	73,6	88,3	103	118	132	147	162	177	191	206	221
7	17,5	35,1	52,6	70,2	87,7	105	123	140	158	175	193	210	228	245	263
8	21,0	42,1	63,1	84,2	105	126	147	168	189	210	231	253	273	295	316
9	25,3	50,5	75,8	101	126	152	177	202	227	253	278	303	328	354	379
10	29,3	58,6	87,8	117	146	176	205	234	263	293	322	351	381	410	439
11	33,3	66,5	99,8	133	166	199	233	266	299	333	366	399	432	466	499
12	37,0	74,1	111	148	185	222	259	296	333	370	407	444	481	519	556
13	39,1	78,2	117	156	195	235	274	313	352	391	430	469	508	547	586
14	41,0	81,9	123	164	205	246	287	328	369	409	451	491	532	573	614
15	42,2	84,4	127	169	211	253	295	338	380	422	464	507	549	591	633
16	43,3	86,6	130	173	216	260	303	346	390	433	476	519	563	606	649
17	43,8	87,5	131	175	219	263	306	350	394	438	481	525	569	613	656
18	44,4	88,9	133	178	222	267	311	355	400	444	489	533	578	622	667
19	45,0	90,1	135	180	225	270	315	360	405	450	495	540	585	631	676

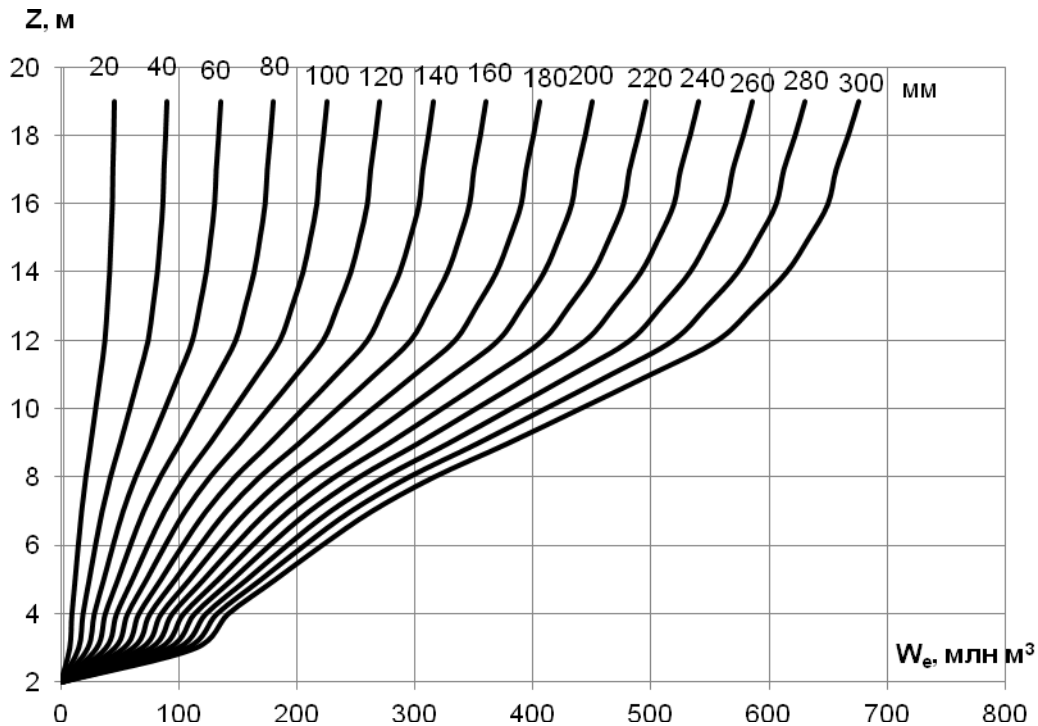


Рис.2 – Графік для визначення втрат води на випаровування з акваторії Каховського водосховища

Відзначимо, що похибка при розрахунках втрат води на випаровування за формулою (1) і за графіком (рис.2) становить менше 1%.

### Висновки та рекомендації

1. Оперативні розрахунки втрат води на випаровування необхідні при обґрунтуванні економіко-екологічних проектних заходів щодо реконструкції Каховського гідровузла у відповідності з положеннями «Національної програми екологічного оздоровлення басейну Дніпра та поліпшення якості води», яка затверджена Постановою Верховної Ради України від 27.02.1997 р. №123.
2. Наведена формула дозволяє оперативно та завчасно розраховувати об'єми втрат води на випаровування з усієї акваторії Каховського водосховища та окремих його ділянок, експлуатація яких відбувається в різних гідрометеорологічних умовах, а також значно підвищити точність та надійність при розрахунках важливої складової водних балансів водосховища.
3. Наведена формула дозволяє автоматизувати розрахунки на ЕОМ.

### Список літератури

1. *Обухов Є.В.* Випаровування з водосховищ українських гідровузлів та його питомі показники // Причорноморський Екологічний бюлетень.- Одеса, 2007.- №4(26).- С. 167-173.
2. *Обухов Є.В.* Питомі показники випаровування з водосховищ українських гідровузлів // Метеорологія, кліматологія та гідрологія.- 2008.- Вип. 50, ч.11.-С.128-136.
3. *Обухов Є.В., Шихалєєва Г.М., Бабінець С.К., Кузьміна І.С.* Лабораторні дослідження інтенсивності випаровування з поверхні вод різної мінералізації// Метеорологія, кліматологія та гідрологія. - Одеса, 2010.- Вип. 51.- С. 243-247.

4. Обухов Е.В. Современные экономико-экологические проблемы эксплуатации водохранилищ Днепровского каскада // Тр. между. н.-пр. конф. «Современные проблемы водохранилищ и их водосборов», Т.1.-Пермь, 2011.- С.122-126.
5. Обухов Є.В. Економіко-екологічні оцінки проектів великих українських водосховищ: Монографія. – Одеса: ТОВ „ІНВАЦ“, 2008. – 100 с.
6. Обухов Є.В. Водне господарство України: Підручник. – Одеса: «Поліграфія», 2012. – 203 с.
7. 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.
8. Корягіна О.С., Обухов Є.В. Залежність випаровування з водної поверхні Каховського водосховища від температурного фактора. Матеріали міжнародної наукової конференції студентів та молодих вчених «Актуальні проблеми сучасної гідрометеорології».–Одеса: Вид. «ТЕС», 2012.–С.88-89.
9. Обухов Є.В., Корягіна О.С. Оцінка внутрішньорічних та багаторічних коливань температури поверхні води Каховського водосховища в умовах глобального потепління /Сборник матер. VIII-ой междунар. научно-практ. конф. «Проблемы экологической безопасности и развития морехозяйственного и нефтегазового комплексов». – Одесса: «Пассаж», 2012. – С.190-197.
10. Обухов Є.В., Корягіна О.С. Температурний фактор та випаровування з Каховського водосховища / Сборник матер. VIII-ой междунар. научно-практ. конф. «Проблемы экологической безопасности и развития морехозяйственного и нефтегазового комплексов». – Одесса: «Пассаж», 2012. – С.198-209.
11. Обухов Є.В., Корягіна О.С., Корецький Є.П. Вплив температурного фактора на показники випаровування з водної поверхні Каховського водосховища // Вісник Одеського державного екологічного університету. – Одеса: Вид.»Екологія», 2012. – Вип. 14.– С.160-169.
12. Обухов Е.В., Корягина Е.С. Влияние изменения климата на показатели испарения с Каховского водохранилища // Тр. между. н.-пр. конф. «Современные проблемы водохранилищ и их водосборов», Т.1.- Пермь, 2013.- С. 79- 83.
13. Обухов Е.В., Корягина Е.С.Обобщение показателей и оценка испарения с водной поверхности Каховского водохранилища / Збірник Матер. 4-го Міжн. Еколог. Форуму «Чисте МІСТО. Чиста РІКА. Чиста ПЛАНЕТА». – Херсон: ХТПП, 2012. – С.171-176.
14. Обухов Є.В., Корягіна О.С., Корецький Є.П. Узагальнені оцінки випаровування з Каховського водосховища: Монографія. – Одеса: Полиграф, 2012. – 130 с.

**Обухов Е.В. Обобщенная формула для определения потерь воды на испарение с Каховского водохранилища**

*На основании обобщения реальной гидрометеорологической информации за 55 лет эксплуатации водохранилища выявлена и приведена зависимость для определения потерь воды на испарение из всей его акватории и отдельных ее участков.*

**Ключевые слова:** испарение, водохранилище, вода, эксплуатация, акватория, участок, глубина.

**Obukhov E.V. The generalized formula for the definition of dehydrating by evaporation from the Kakhovka reservoir.**

*It was identified and trained dependence of dehydrating by evaporation from the whole water area and individual parts, on the basis of the generalized real hydrometeorological information for 55 years of reservoirs operation.*

**Key words:** evaporation. reservoir. water. operation. water area. plot of water. depth/