

**Є.В.Обухов**, д.економ.н.

*Одеський державний екологічний університет*

## **ВИЗНАЧЕННЯ ВТРАТ ВОДИ НА ВИПАРОВУВАННЯ З ДНІПРОВСЬКИХ ВОДОСХОВИЩ ЗА УЗАГАЛЬНЕНОЮ ФОРМУЛОЮ**

*На основі узагальнення реальної морфологічної та гідрометеорологічної інформації з водосховищ Дніпровського каскаду виявлена та наведена залежність для визначення втрат води на випаровування з їх акваторії.*

**Ключові слова:** випаровування, водосховище, вода, експлуатація, акваторія, втрати, 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 та Кременчуцького водосховищ при нормальному підпертому рівні втрачається відповідно 2,16 та  $2,25 \text{ млн м}^3$  води за рік. На втраченій на випаровування з Каховського водосховища воді можна було б виробити 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 Майера, М.С. Каганера, М.В.Чеботарьова, О.П. Браславського і З.О.Вікуліної, В.В.Шулейкіна та автора [ 7 ].

**Метою даної роботи** є узагальнення та удосконалення розрахункових підходів до визначення показників випаровування з акваторій водосховищ, виявлення відповідної залежності для завчасних оперативних автоматизованих розрахунків та порівнянь втрат води на випаровування при розробці проектних заходів щодо реконструкції гідровузлів та при розробці режимів експлуатації водосховищ.

**Основними матеріалами досліджень** є складові водних балансів за період експлуатації [5,6], основні характеристики водосховищ, результати досліджень випаровування за минулі роки [1-20].

Дніпро є третьою з найбільших річок Європи. Довжина річки 2285 км, в межах України – 1121 км. Загальна водозбірна площа басейну Дніпра  $503,6 \text{ тис. км}^2$ , в межах України -  $293 \text{ тис. км}^2$  (55%). Виток Дніпра знаходиться на Валдайській височині в Смоленській області РФ на висоті 220 м над рівнем моря, загальний ухил річки 0.11%. Впадає Дніпро в Чорне море. Всього в басейні Дніпра 32 тис водотоків, серед яких 89 довжиною 100 км і більше. Густота річкової мережі змінюється від  $0,39 \text{ км/км}^2$  в зоні лісів до  $0,20 \text{ км/км}^2$  і менше на півдні. У відповідності з [13] річку поділяють на верхній Дніпро (від витoku до м. Київ), середній (від м. Київ до м. Запоріжжя) і нижній (від м. Запоріжжя до гирла).

Середній багаторічний стік Дніпра у гирлі складає 53.5 млрд  $\text{м}^3$ , із яких 85% стоку формується у верхній його частині, до Києва. Стік річки дуже нерівномірний. Наприклад, витрати річки в районі м. Київ коливаються від 200 до  $25 \text{ тис. м}^3/\text{с}$ , тобто максимальна витрата води перевищує мінімальну в 125 разів. Водний режим Дніпра має чітко виражену сезонність: різко виражене весняне водопілля, літня межень, осінне

збільшення водності річки і зимова межень з паводками в період відлиг. Льодостав починається в грудні.

Основне (65%) живлення Дніпра та річок його басейну – снігове. 33% від об'єму стоку складає підземне живлення.

Найбільш повноводними місяцями є квітень і травень, а вересень є найменш повноводним.

Річна сума опадів зменшується з 620 мм (біля м. Київ) до 323 мм (біля м. Херсон), а сумарне випаровування відповідно збільшується від 642 до 921 мм.

Природні умови в басейні Дніпра відповідають трьом природним зонам, через які протікає річка: лісовій, лісостеповій і степовій.

Первісний природний ландшафт 4/5 поверхні басейну Дніпра повністю трансформований: 60% поверхні розорано, 35% - сильно еродовано, 5% - урбанізовано, 10% - зайнято системами осушення та зрошення, 3% - затоплено штучними водосховищами. В межах басейну проживає і споживає воду до 30 млн. чоловік. Більше чверті від середнього багаторічного стоку Дніпра складає загальний водозабір води на водопостачання промисловості, на зрошення і на комунально-побутові потреби.

Велике значення для України має транспортне освоєння Дніпра і використання його гідроенергопотенціалу.

Потенційні гідроенергетичні ресурси Дніпра оцінюються в 14.6 млрд кВт·г електроенергії в середній за водністю рік.

Схема комплексного використання водних ресурсів Дніпра дозволила одержати близько 10 млрд кВт·г гідроенергії, створити глибоководний транспортний шлях довжиною більше 1000 км, забезпечити водою багатогалузевий господарський комплекс і комунально-побутові потреби населення.

Шість гідроелектростанцій на Дніпрі нижче м. Київ здійснюють перерозподіл нерівномірного стоку річки в часі, змінюючи тим самим її гідрологічний режим.

Дніпровський каскад гідровузлів будувався майже півсторіччя (1927-1976). Першою була побудована Дніпровська гідроелектростанція, яка після війни була відбудована, а потім розширена до загальної потужності 1538 МВт (рис. 1).

Починаючи з 1956 р., приблизно через кожні чотири роки послідовно вводились в експлуатацію Каховська, Кременчуцька, Дніпродзержинська, Київська та Канівська ГЕС.

Встановлена потужність Київської, Канівської, Кременчуцької, Дніпродзержинської, Дніпровської та Каховської ГЕС разом з Київською ГАЕС складає 3905 МВт, а середнє річне виробництво електроенергії шести ГЕС становить 9274 млн кВт·г при встановленій потужності 3680 МВт.

Пропускна здатність ГЕС при НІР ( $m^3/c$ ): Київської – 5600, Канівської – 7300, Кременчуцької – 5400, Дніпродзержинської – 4200, Дніпровської – 4950, Каховської – 2600.

Стік через турбіни в (%) від середньобагаторічного побутового стоку річки: Київської ГЕС – 96, Канівської – 96, Кременчуцької – 95, Дніпродзержинської – 91, Дніпровської – 94, Каховської – 87.

Повний об'єм водосховищ каскаду складає  $43.58 km^3$ , а корисний –  $18.3 km^3$  (табл. 1, 2).

Площа шести водосховищ при нормальному підпертому рівні ( $\nabla$  НІР) становить  $6885 km^2$ , а при рівні мертвого об'єму ( $\nabla$  РМО) –  $4797 km^2$ .

Загальна довжина водосховищ дорівнює 890 км, а довжина берегової лінії – 3079 км.

Сумарна площа мілководь до 2 м –  $1341 km^2$ , а до 1 м –  $635 km^2$ .

В межах каскаду захищено від затоплення 198 тис га території, з якої щороку відкачується близько  $3 km^3$  води.

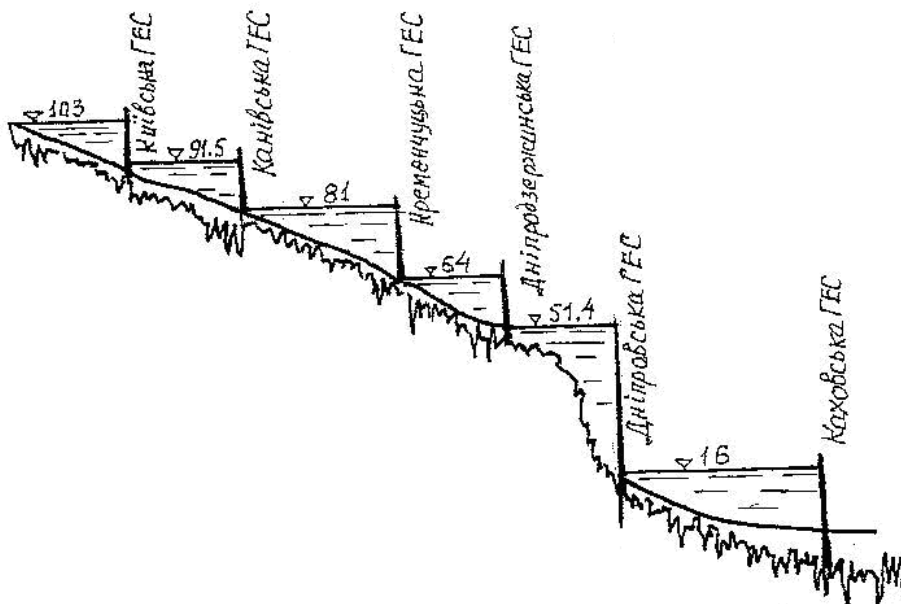
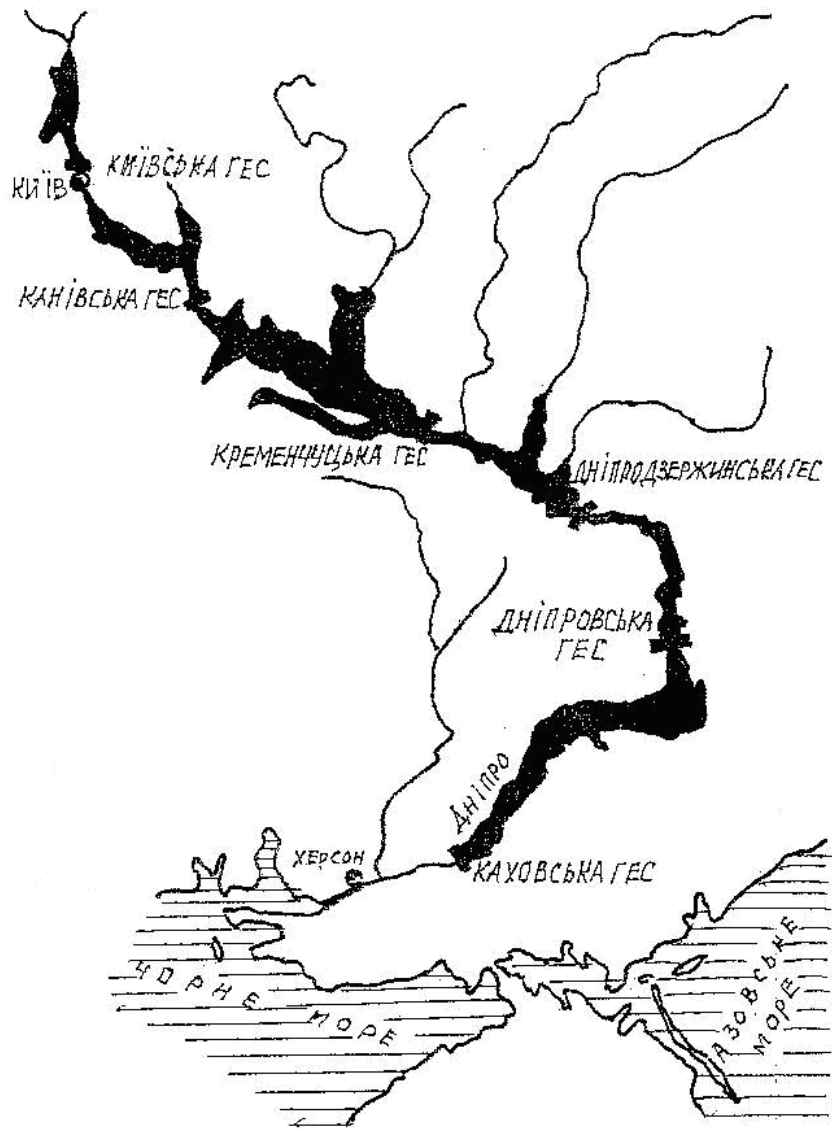


Рисунок 1 - Дніпровський каскад гідровузлів

Таблиця 1 – Основні характеристики дніпровських водосховищ

Водо- сховища	Вид регулю- вання стоку	Рік вводу	НПР м, абс	РМО м, абс	Об'єм водосховища, км <sup>3</sup>		Характеристика водосховища при НПР						Середньо- багаторічний стік річки у створі, км <sup>3</sup> /рік
					Повний	Корисний	Площа, км <sup>2</sup>	Довжи- на, км	Макс. ширина, км	Сер. ширина, км	Макс. глибина, м	Сер. глибина, м	
Київське	сезонне	1965	103.0	101.5	3.73	1.17	922	110	12	8.4	14.5	4.0	33.1
Канівське	добове, тижневе	1974	91.5	91.0	2.48	0.28	581	123	8	5.5	21.0	3.9	43.9
Кремен чуцьке	річне з переходом у багато- річне	1961	81.0	75.75	13.52	8.97	2250	149	28	15.1	20.0	6.0	47.8
Дніпро- дзержинське	добове, тижневе	1964	64.0	63.0	2.46	0.53	567	149	8	5.1	16.1	4.3	52.0
Дніпровське	добове, тижневе	1932 1951	51.4	48.5	3.23	0.85	410	129	7	3.2	53.0	8.0	52.2
Каховське	річне	1956	16.0	12.7	18.18	6.78	2150	230	25	9.3	24.0	8.4	52.2

Таблиця 2 – Основні загальні показники водосховищ

Водосховища	Встановлена потужність ГЕС, N, МВт	Виробіток енергії, E, млн кВт·г/рік	Об'єм водосховища, км <sup>3</sup>		Площа водосховища, км <sup>2</sup>		Напір максимальний, Н, м	Довжина водосховища, l і грунтової греблі, l <sub>г</sub> , км	Ширина, км		Глибина, м		Довжина берегової лінії, L, км	Мілководдя			
			повний, W <sub>п</sub>	корисний, W <sub>к</sub>	при НІР, F	при РМО, F <sub>м</sub>			макс., b <sub>м</sub>	середня, b <sub>с</sub>	максимальна, h <sub>м</sub>	середня, h <sub>с</sub>		площа, км <sup>2</sup>		об'єм, км <sup>3</sup>	
														до 2м f <sub>2</sub>	до 1 м, f <sub>1</sub>	до 2м W <sub>м2</sub>	до 1 м, W <sub>м1</sub>
Київське	361	635	3.7	1.2	922	675	11.5	110/54	12	8.4	14.5	4.0	508	312	170	0.26	0.068
Канівське	444	823	2.48	0.28	581	553	15.0	123/16	8	5.5	21	3.9	391	167	55	0.27	0.054
Кременчуцьке	686	1506	13.5	9.1	2250	920	17.0	149/14	28	15.1	20	6.0	800	410	180	0.48	0.070
Дніпро- дзер- жинське	352	1250	2.4	0.3	567	519	15.5	149/35	8	5.1	16.1	4.3	360	182	96	0.13	0.058
Дніпров- ське	1500	3640	3.3	0.8	410	200	38.7	129/0	7	3.2	53	8.0	220	160	90	0.10	0.020
Каховське	351	1420	18.2	6.8	2155	1930	16.5	230/3	25	9.3	24	8.4	800	110	44	0.12	0.010
По каскаду	3680	9274	43.58	18.3	6885	4797		890/ 123					3079	1341	635	1.36	0.28

Захист 22 масивів території здійснює Дніпровське басейнове управління водних ресурсів – ДБУВР за допомогою 308.4 км захисних дамб з напором 3-15 м, 118 гідротехнічних споруд, 165.2 км берегоукріплення, 31 насосної станції з загальною продуктивністю 520 м<sup>3</sup>/с, 3 компресорні станції потужністю 550 м<sup>3</sup>/хв, що забезпечують роботу 370 свердловин фільтраційної завіси.

З екологічних проблем слід відзначити затоплення водою водосховищ 695 тис. га земель, в т. ч. 250 тис. га сільськогосподарських угідь. Підтоплені території займають 94 тис. га [13].

В основу дослідження покладено аналіз та узагальнення реальної морфологічної та гідрометеорологічної інформації.

**Результати досліджень та їх аналіз.** Розглядаючи акваторії водосховищ, відзначимо вплив орієнтації водойми, широту місцевості, слабку проточність водойми, зміну площі поперечного перерізу і відповідно глибини та місткості по довжині водосховища, скиди вище розташованих ГЕС та інших промислових і енергетичних об'єктів, значні забори води на водопостачання та зрошення, 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 усієї акваторії водосховища - це добуток розрахованого [7] або середньобагаторічного місячного шару випаровування і площі водного дзеркала акваторії при відповідному рівні води  $Z$ , який визначається за відповідними кривими площ  $F = f(Z)$ .

Аналіз та узагальнення цих розрахунків дозволили запропонувати формулу для оперативних завчасних розрахунків втрат води на випаровування з водної поверхні водосховища

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

де:  $W_e$  – об'єм втрат води на випаровування з водної поверхні водосховища за місяць, млн м<sup>3</sup>;

$A$  - 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 розглядуваного рівня води в акваторії, м;

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

Значення параметрів в формулі (1) такі:

Водосховище	$a$	$m$	$H$ (м)	дно (м)
Київське	8,516	2,100	12	92
Канівське	8,350	1,257	13	80
Кременчуцьке	8,870	1,520	17	65
Дніпродзержинське	8,297	1,856	12	53
Дніпровське	8,228	11,50	55	2
Каховське	8,825	0,417	13	0

Розрахунки виконуються для зони характерних рівнів води  $Z_i$ , тобто між відмітками форсованого підпертого рівня (ФПР) та рівня мертвого об'єму (РМО), що відповідає зоні корисного об'єму водосховищ, яка призначена для можливого спрацювання.

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

### Висновки та рекомендації

1. Оперативні розрахунки втрат води на випаровування необхідні при обґрунтуванні економіко-екологічних проектних заходів щодо реконструкції гідровузлів 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, та «Загальнодержавної цільової програми розвитку водного господарства та екологічного оздоровлення басейну р. Дніпро на період до 2021 р.», яка затверджена ВР України як закон від 24.05.2012 р. № 4836-1V.
2. Наведена формула дозволяє оперативно і завчасно розраховувати об'єми втрат води на випаровування з акваторій каскаду водосховищ, режими експлуатації яких здійснюються 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., Оухов 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. «Проблеми екологической 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. «Проблеми

экологической безопасности и развития морехозяйственного и нефтегазового комплексов». – Одесса: «Пассаж», 2012. – С.198-209.

11. *Обухов Е.В., Корягина 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. межд. 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 /Збірка тез та наук. статей 4-го Міжн. Еколог. Форуму «Чисте МІСТО. Чиста РІКА. Чиста ПЛАНЕТА». – Херсон: ХТПП, 2012. – С.171-176.

14. *Обухов Е.В., Корягина О.С., Корецький Є.П.* Узагальнені оцінки випаровування з Каховського водосховища: Монографія. – Одеса: Полиграф, 2012. – 130 с.

15. *Обухов Е.В., Корягина Е.С.* Влияние изменения климата на показатели температуры и испарения с Каховского водохранилища // Тр. Межд. н.-пр. конф. «Современные проблемы водохранилищ и их водосборов», Т.1. Пермь, 2013.- С.271-276.

16. *Обухов Е.В., Корягина Е.С.* Обобщенные оценки временной изменчивости температуры и испарения с акватории Каховского водохранилища за период его эксплуатации // Географический вестник, Пермь, 2013.- № 3(26).- С. 49- 62.

17. *Обухов Е.В.,Корягина О.С.*Оцінка впливу швидкості вітру над водною поверхнею на випаровування з Каховського водосховища / Збірка тез та наук. статей 5-го Міжн. Екол. Форуму «Чисте МІСТО. Чиста РІКА. Чиста ПЛАНЕТА». -Херсон: ХТПП, 2013. С.244-250.

18. *Обухов Е.В., Корягина О.С.* Оцінка багаторічного та внутрішньорічного розподілу температури та випаровування з водної поверхні Каховського водосховища в умовах зміни клімату //Український гідрометеорологічний журнал: Науковий журнал, 2013.– №13.– С.162-175.

19. *Обухов Е.В.* Узагальнена формула для визначення втрат води на випаровування з Каховського водосховища // Український гідрометеорологічний журнал: Науковий журнал, 2013.- №13.- С. 110- 115.

20. *Обухов Е.В.* Формула для визначення втрат води на випаровування з водної поверхні Дністровського водосховища / Збірка тез та наук. статей 5-го Міжн. Еколог. Форуму «Чисте МІСТО. Чиста РІКА. Чиста ПЛАНЕТА».- Херсон: ХТПП, 2013.- С.239-244.

#### **Обухов Е.В. Определение потерь воды на испарение с днепровских водохранилищ по обобщенной формуле**

*На основании обобщения реальной морфологической и гидрометеорологической информации с водохранилищ Днепровского каскада выявлена и приведена зависимость для определения потерь воды на испарение с их акватории.*

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

#### **Obukhov E.V. Determination of water losses due to evaporation from the reservoir for the generalized formula.**

*The dependence identified and presents for determining the water loses due to evaporation from the reservoirs of the Dnieper cascade on the basis of generalization of real morphological and hydrometeorological information.*

**Key words:** evaporation, reservoir, water, operation, water area, wastes, depth.