



ОБУХОВ Е.В., докт. эконом. наук, канд. техн. наук, профессор, академик МАНЭБ,
КОРЕЦКИЙ Е.П., зав. гидрологического отдела Каховской
гидрометеорологической обсерватории

ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ ВНЕШНЕГО ВОДООБМЕНА НА КАНЕВСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВОДНОСТИ ГОДА

На основе водобалансовых составляющих с учетом водности года проведено исследование интенсивности внешнего водообмена на Каневском водохранилище.

К л ю ч е в ы е с л о в а: водохранилище, водный баланс, водообмен, интенсивность, показатель, коэффициент.

Введение и постановка проблемы. Современной проблемой водохранилищ является их функционирование в условиях меняющегося климата. В этих условиях управление водными ресурсами водных объектов, оценка их состояния и происходящих в них процессов требуют постоянного мониторинга и анализа [1–18].

Процессы интенсивности водообмена в водохранилищах являются одной из важнейших характеристик их состояния. Взаимодействие гидрологических и гидродинамических процессов влияет на внешний и внутренний водообмен, на содержание растворенных веществ в водоемах, на качество воды, на интенсивность цветения воды в водохранилищах степной зоны при накоплении в них химических или биологических веществ.

Исследованиями процессов водообмена в озерах и искусственных водоемах занимались ученые Форель Ф., Богословский Б.Б., Муравейский С.Д., Бакулин К.А., Браславский А.П., Буторин Н.В., Вуглинский В.С., Григорьев С.В., Девяткова Т.П., Дубровин Л.И., Знаменский В.А., Калинин Г.П., Караушев А.В., Китаев А.Б., Литвинов А.С., Матарзин Ю.М., Тарасов М.Н., Филь С.А., Фортунов М.А., Штефан В.Н., Эдельштейн К.К. и др. В результате их исследований были получены характеристики водообмена многих водохранилищ.

Целью данной работы является исследование интенсивности внешнего водообмена на крупном, работающем в каскаде, Каневском водохранилище с учетом водности года эксплуатации, горизонтальной и вертикальной составляющих водообмена, а также хозяйственного использования.

Основными материалами исследования являются реальные водобалансовые показатели по Каневскому водохранилищу за многоводный 1998 год с годовым русловым притоком воды — 68,7 км³, в маловодный 1984 год (34,1 км³) и в очень маловодный 2015 год (15,6 км³).

Каневское водохранилище — вторая ступень в составе Днепровского каскада, на которой осу-

ществляется недельное и суточное регулирование стока. Оно расположено возле г. Канев на территории Черкасской и Киевской областей. Введено в эксплуатацию в 1976 году. Площадь водосбора — 336000 км².

Среднегодовой сток — 43,9 км³. Полная и полезная емкость, соответственно, 2,62 и 0,28 км³. Площадь водохранилища при отметке нормального подпертого уровня — 642 км², при уровне мертвого объема — 553 км². Длина водохранилища 123 км, максимальная ширина — 8 км, средняя ширина — 5,5 км, максимальная глубина — 21 м, средняя — 3,9 м. Площадь мелководий водохранилища 167 км². Максимальный статический напор — 15 м, минимальный — 4,7 м, расчетный — 7,6 м. Расчетный расход здания ГЭС и водосбросной плотины — 25300 м³/с. Расчетный максимальный сбросной расход через сооружения ($p = 0,3\%$) — 21500 м³/с.

Результаты исследований и их анализ. Показатели интенсивности внешнего водообмена включают как горизонтальную, так и вертикальную составляющие. К горизонтальным составляющим внешнего водообмена относят приток воды в водохранилище (по основной реке и боковой), а также сток из водохранилища через гидроузлы.

Одна из вертикальных составляющих внешнего водообмена учитывает выпадение атмосферных осадков на водную поверхность водохранилища, а также испарение с его поверхности. Эта составляющая иногда существенно влияет на показатели внешнего водообмена во внутригодовом аспекте. При оценке внешнего водообмена предлагается также во внутригодовом аспекте учитывать и другие составляющие водного баланса водоема — сброс в водохранилище сточных и бытовых вод, забор воды на хозяйственные нужды и др.

Используя изложенную в [1,8,10] методику по формулам Штефана В.Н., Литвинова А.С., Калинина Г.П. и Караушева А.В. были рассчитаны коэффициенты интенсивности K_v и показатели внешнего водообмена T_v для Каневского водохранилища в характерные по водности годы (Табл. 1



Таблиця 1. Показатели внешнего водообмена Каневского водохранилища

Месяц	$K_{в1}$	$T_{у1}$, лет	$K_{в2}$	$T_{у2}$, лет	$K_{в2} > K_{в1}$, %	$K_{в3}$	$T_{у3}$, лет	$K_{в3} > K_{в1}$, %	$K_{в4}$	$K_{в4} > K_{в1}$, %	$T_{у4}$, лет
Многоводный 1998 год											
I	1,603	0.62	1.603	0.62	-	1.608	0.62	0.31	1.663	3.61	0.60
II	1,594	0.63	1,594	0.63	-	1,597	0.63	0.19	1.648	3.28	0.61
III	2.846	0.35	2.846	0.35	-	2.857	0.35	0.38	2.911	2.23	0.34
IV	3,162	0,32	3,162	0,32	-	3,171	0,32	0,28	3,216	1,68	0,31
V	3,326	0,30	3,326	0,30	-	3,342	0,30	0,48	3,383	1,68	0,29
VI	1.928	0.52	1.928	0.52	-	1.947	0.51	0.97	1.989	3.07	0.50
VII	1.672	0.60	1.672	0.60	-	1.696	0.59	1.41	1.739	3.85	0.57
VIII	2.069	0.48	2.069	0.48	-	2.089	0.48	0.96	2.134	3.04	0.47
IX	1.769	0.56	1.769	0.56	-	1.781	0.56	0.67	1.827	3.17	0.55
X	1.947	0.51	1.947	0.51	-	1.964	0.51	0.86	2.013	3.28	0.50
XI	2.358	0.42	2.358	0.42	-	2.368	0.42	0.42	2.419	2.52	0.41
Маловодный 1984 год											
I	0,857	1,17	0,857	1,16	-	0,861	1,16	0,46	0,926	7,45	1,08
II	0,762	1,31	0,763	1,31	0,13	0,767	1,30	0,65	0,814	6,39	1,23
III	0,947	1,06	0,947	1,05	-	0,952	1,05	0,52	0,999	5,21	1,00
IV	1,870	0,53	1,870	0,53	-	1,880	0,53	0,53	1,932	3,21	0,52
V	1,514	0,66	1,514	0,66	-	1,530	0,65	1,04	1,591	4,84	0,63
VI	1,041	0,96	1,041	0,96	-	1,070	0,93	2,71	1,140	8,68	0,88
VII	1,211	0,83	1,211	0,82	-	1,231	0,81	1,62	1,290	6,12	0,77
VIII	1,018	0,98	1,018	0,98	-	1,037	0,96	1,83	1,098	7,28	0,91
IX	0,669	1,49	0,670	1,49	0,15	0,688	1,45	2,76	0,745	10,20	1,34
X	1,097	0,91	1,097	0,91	-	1,106	0,90	0,81	1,169	6,16	0,85
XI	1,040	0,96	1,041	0,96	0,10	1,048	0,95	0,76	1,111	6,39	0,90
XII	0,860	1,16	0,861	1,16	0,12	0,865	1,15	0,58	0,938	8,31	1,07
Очень маловодный 2015 год											
I	0,615	1,63	0,685	1,46	10,22	0,689	1,45	10,74	0,725	15,17	1,38
II	0,844	1,18	0,916	1,09	7,86	0,919	1,09	8,16	0,950	11,16	1,05
III	1,039	0,96	1,183	0,85	12,17	1,191	0,84	12,76	1,226	15,25	0,82
IV	1,000	1,00	1,161	0,86	13,87	1,168	0,86	14,38	1,212	17,49	0,83
V	0,822	1,22	0,945	1,06	13,02	0,962	1,04	14,55	1,005	18,21	0,99
VI	0,470	2,13	0,550	1,82	14,55	0,572	1,75	17,83	0,617	23,82	1,62
VII	0,361	2,77	0,421	2,37	14,25	0,437	2,29	17,39	0,488	26,02	2,05
VIII	0,329	3,04	0,380	2,63	13,42	0,396	2,53	18,43	0,445	26,07	2,25
IX	0,246	4,06	0,290	3,45	15,17	0,306	3,27	19,61	0,349	29,51	2,87
X	0,256	3,91	0,304	3,29	15,79	0,316	3,16	18,99	0,353	27,48	2,83
XI	0,402	2,49	0,461	2,17	12,80	0,471	2,12	14,65	0,511	21,33	1,96
XII	0,533	1,88	0,617	1,62	13,61	0,622	1,61	14,31	0,661	19,36	1,51

и Рис. 1). Коэффициенты интенсивности $K_{в}$ определялись как отношение суммы притока и расхода воды из водохранилища к удвоенному среднему объему водохранилища за расчетный период. Показатели внешнего водообмена водохранилищ $T_{у}$ во временных единицах рассчитывались как величина обратная коэффициентам интенсив-

ности внешнего водообмена водохранилищ $K_{в}$.

В Табл. 1 и на Рис. 2 приведены сравнительные зависимости характерных показателей внешнего водообмена с постепенным учетом всех составляющих водного баланса водохранилищ: $K_{в1}$ – учитывает только основной приток и сток через гидроузел; $K_{в2}$ – учитывает еще и боковую

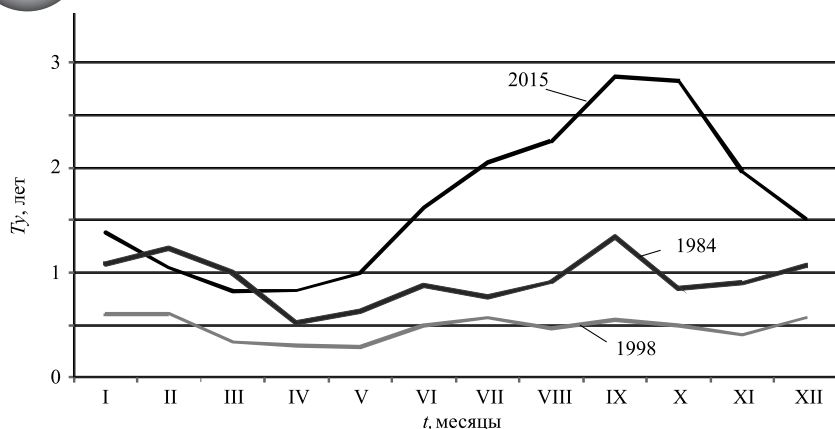


Рис. 1. График $Ty = f(t)$ показателей внешнего водообмена на Каневском водохранилище

приточность; Kv_3 – учитывает еще осадки и испарение с водохранилища; Kv_4 – учитывает сумму приходных и расходных составляющих водного баланса.

Отметим, что коэффициент интенсивности внешнего водообмена Kv с увеличением в расчетах числа составляющих водного баланса возрастал для всех месяцев характерных по водности лет эксплуатации водохранилища, а показатель внешнего водообмена Ty снижался.

Чем меньше Ty , тем более интенсивный водообмен в водоеме.

Для Каневского водохранилища максималь-

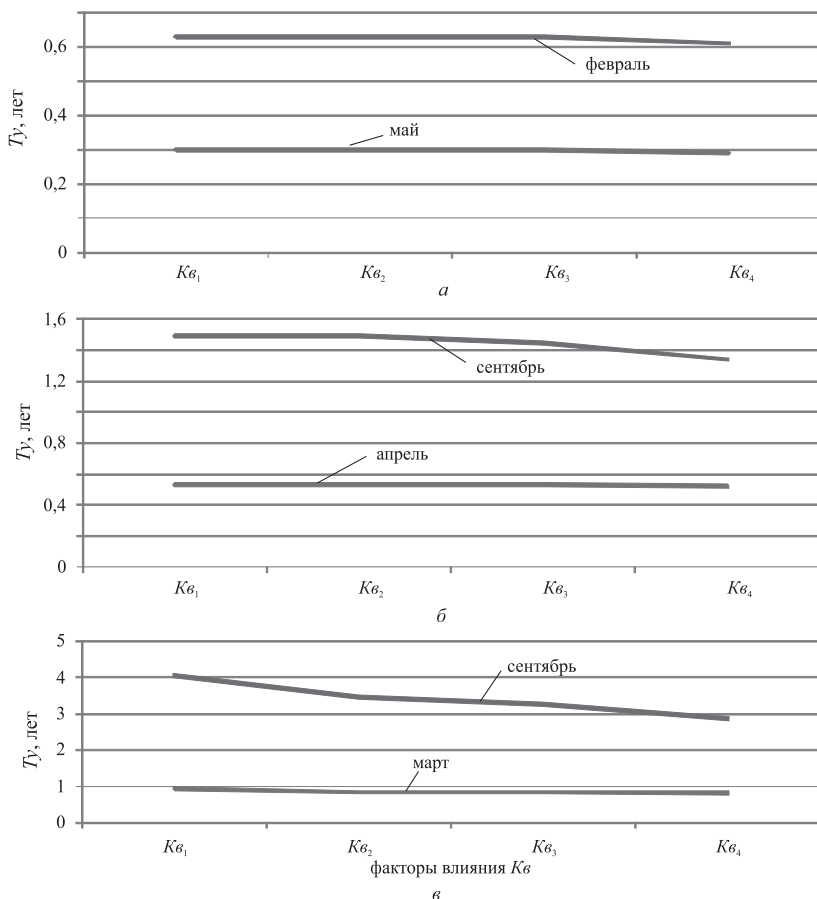


Рис. 2. Графики зависимости характерных показателей внешнего водообмена на Каневском водохранилище от факторов влияния Kv : а) 1998 г. б) 1984 г. в) 2015 г.

ные коэффициенты интенсивности внешнего водообмена в многоводном 1998 году наблюдаются в мае – $Kv_1 = 3,326$, $Kv_2 = 3,326$, $Kv_3 = 3,342$, $Kv_4 = 3,383$; минимальные в феврале $Kv_1 = Kv_2 = 1,594$, $Kv_3 = 1,597$, $Kv_4 = 1,648$. Соответствующие показатели внешнего водообмена в мае равны $Ty = 0,30$; $0,30$; $0,30$; $0,29$ лет, а в феврале – $Ty = 0,63$; $0,63$; $0,63$; $0,61$ лет.

О влиянии бокового притока в 1998 году – нет данных. Осадки и испарение оказывали максимальное влияние (1,41%) на интенсивность внешнего водообмена в июле, минимальное (0,19%) – в феврале. Влияние суммарных составляющих водного баланса Kv_4 на внешний водообмен по отношению до Kv_3 максимальное в феврале (3,09%), а минимальное в мае (1,2%) (Рис. 2, а).

Для маловодного 1984 года эксплуатации Каневского водохранилища максимальные коэффициенты интенсивности внешнего водообмена наблюдаются в апреле и равны $Kv_1 = Kv_2 = 1,870$; $Kv_3 = 1,880$; $Kv_4 = 1,932$; минимальные – в сентябре: $Kv_1 = 0,669$; $Kv_2 = 0,670$; $Kv_3 = 0,688$; $Kv_4 = 0,745$. Соответствующие показатели внешнего водообмена в апреле для всех факторов равны $Ty = 0,53$; $0,53$; $0,53$; $0,52$ лет, а в сентябре $Ty = 1,49$; $1,49$; $1,45$; $1,34$ (Рис. 2, б).

Влияние бокового притока в 1984 году – данные одиночные. Осадки и испарение оказывают максимальное влияние (1,3 %) на интенсивность внешнего водообмена в сентябре, минимальное (0,46 %) в декабре и январе. Влияние суммарных составляющих водного баланса Kv_4 на внешний водообмен максимальное (7,44 %) по отношению к Kv_3 – в сентябре, а минимальное (2,68 %) – в апреле (Рис. 2, б).

Для очень маловодного 2015 года эксплуатации Каневского водохранилища максимальные коэффициенты интенсивности внешнего водообмена наблюдаются в марте и равны: $Kv_1 = 1,039$; $Kv_2 = 1,183$; $Kv_3 = 1,191$; $Kv_4 = 1,226$; минимальные – в сентябре: $Kv_1 = 0,246$; $Kv_2 = 0,290$; $Kv_3 = 0,306$; $Kv_4 = 0,349$. Соответствующие показатели внешнего водообмена в марте для всех факторов равны $Ty = 0,96$; $0,85$; $0,84$; $0,82$ лет, а сентябре $Ty = 4,06$; $3,45$; $3,27$; $2,87$ лет (Рис. 2, в).

Влияние бокового притока в 2015 году наибольшее (15,79%) в октябре, а наименьшее (7,86%) – в феврале. Осадки и



испарение оказывали максимальное влияние (5,01%) на интенсивность внешнего водообмена в августе, минимальное (0,30%) в феврале. Влияние суммарных составляющих водного баланса Kv_4 на внешний водообмен максимальное (9,90%) по отношению к Kv_3 – в сентябре, а минимальное (2,49 %) – в марте (Рис. 2, в).

Сопоставляя показатели интенсивности внешнего водообмена на Каневском водохранилище в маловодных годах его эксплуатации отметим возрастающий характер кривых $Ty = f(t)$ с апреля до сентября со значительным превышением временных значений 2015 года.

Показатели внешнего водообмена в единицах времени в годовом аспекте для Каневского водохранилища в многоводном 1998 году равен 0,037 лет, в маловодном 1984 г. – 0,073 лет, а в очень маловодном 2015 г. – 0,117 лет или 43 дня.

Для сравнения аналогичный показатель для многоводного 1970 года на Киевском – 0,062 лет, Кременчугском – 0,13, Днепродзержинском – 0,031, Днепровском – 0,039, Каховском – 0,21 или 77 дней, для маловодного 1972 года – на Киевском – 0,136, Кременчугском – 0,29, Днепродзержинском – 0,072, Днепровском – 0,099, Каховском – 0,59 лет или 215 дней, а для очень маловодного 2015 года – на Киевском – 0,203, Кременчугском – 0,502, Днепродзержинском – 0,113, Днепровском – 0,144, Каховском – 0,770 лет или 281 день.

Выводы. Проведенные исследования показали значимость учета влияния водности года и всех составляющих водного баланса при определении показателей интенсивности внешнего водообмена в водохранилище в разные периоды его эксплуатации и при разработке режимов его эксплуатации с учетом экономико-экологического фактора в условиях изменения климата, которые приведут к усилению самоочищения водоема и к улучшению качества его воды.

ЛИТЕРАТУРА:

1. *Обухов Е.В.* Оценка интенсивности внешнего водообмена в Кременчугском и Каховском водохранилищах // Украинський гідрометеорологічний журнал. – Одеса, 2014. – № 15. – С. 134–140.
2. *Обухов Є.В.* Оцінка впливу вертикальної складової на інтенсивність зовнішнього водообміну на Кременчугському водосховищі / Матер. II Міжн. н.-пр. інтернет-конференції. "Інноваційні технології та інтенсифікація розвитку національного виробництва". – Тернопіль, 2015. – С. 324–326.
3. *Обухов Є.В.* Оцінка інтенсивності зовнішнього водообміну на Каховському водосховищі в умовах зміни клімату / Зб. наук. праць міжн. н.-пр. інтернет-конф. "Національне виробництво й економіка в умовах реформування: стан і перспективи інноваційного розвитку та міжрегіональної інтеграції". – Кам'янець-Подільський, 2015. – С. 280–282.
4. *Обухов Е.В.* Внешний водообмен водохранилищ Днепровского каскада / Материалы 6-го Межд. Эколог. Форума "Чистый ГОРОД. Чистая РЕКА. Чистая ПЛАНЕТА". – Херсон: ХТПП, 2015. – С. 140–146.

5. *Обухов Е.В.* Внешний водообмен Днестровского водохранилища / Зб. Центру наукових публікацій "Велес" за матер. міжн. н.-пр. конф. "Досягнення науки в 2015 році", 19.12.2015 р. ч. 2. – К.: ЦНП, 2015. – С. 31 – 38.

6. *Обухов Е.В.* Внешний водообмен на украинских водохранилищах / Сб. статей научно-информационного центра "Знание" по матер. 1X Межд. заочной н.-пр. конф. "Развитие науки в XXI веке", 30.12.2015. – Харьков: НИЦ "Знание", 2015. – С. 32–37.

7. *Обухов Е.В., Корецкий Е.П.* Внешний водообмен на Днепродзержинском водохранилище / Сб. научных статей X межд. н.-пр. конф. "Развитие науки в XXI веке", 15.02.2016. – Харьков: НИЦ "Знание", 2016. – С. 99–104.

8. *Обухов Е.В.* Внешний водообмен украинских водохранилищ / Научно-технический бюллетень серии "Экология, экономика, безопасность". – Вып.1(37). – Одесса: УО МАНЭБ. – "Пассаж", 2016. – 48 с.

9. *Обухов Е.В.* Внешний водообмен на Киевском водохранилище / Зб. наук. праць 11 міжн. н.-пр. конф. "Стратегія збалансованого використання економічного, технологічного та ресурсного потенціалу країни". 1.06.2016 р. (ПДАТУ, м. Кам'янець-Подільський), – Тернопіль: Крок, 2016. – С. 176–179.

10. *Обухов Е.В.* Сравнительные показатели внешнего водообмена на водохранилищах Днепровского каскада в условиях изменения климата // Географический вестник. – 2016. – №2(37). – С. 61–69. doi 10.17072/2079-7877-2016-2-61-69.

11. *Обухов Е.В., Корецкий Е.П.* Исследование влияния водности года на интенсивность внешнего водообмена днепровских водохранилищ // Географический вестник = Geographical Bulletin. – 2016. – № 3 (38). – С. 62–71. doi 10.17072/2079-7877-2016-3-62-71.

12. *Обухов Е.В., Корецкий Е.П.* Экономико-экологический фактор влияния изменений климата на интенсивность внешнего водообмена Каховского водохранилища / Зб. научных праць "Економічні інновації". – Одеса: НАНУ ІПРЕЕД, – 2016. – № 61. – С. 275–284.

13. *Обухов Е.В.* Внешний водообмен на Днепровском (Запорожском) водохранилище в условиях меняющегося климата / Материалы X межд. н.-пр. интернет-конф. "Проблемы экологической безопасности и развития народнохозяйственного комплекса", 10.10.2016. – Одесса: УО МАНЭБ, Пассаж, 2016. – С. 29–35.

14. *Обухов Є.В., Корецький Є.П.* Економіко-екологічна оцінка інтенсивності зовнішнього водообміну на Каховському водосховищі в залежності від впливу водобалансових складових / Зб. наук. праць "Економічні інновації" – Одеса: НАНУ ІПРЕЕД, 2016. – № 62. – С. 260 – 267.

15. *Обухов Е.В.* Оценка интенсивности внешнего водообмена на Кременчугском водохранилище в зависимости от водности года // Гидротехника. – СПб. – 2017. – № 1 (46). – С. 71–74.

16. *Обухов Е.В.* Оценка комплексного использования водных ресурсов Каховского водохранилища за 60 лет эксплуатации // Научный журнал "Экономика Украины". – 2017. – № 1 (654). – С. 31–40.

17. *Обухов Е.В., Корецкий Е.П.* Оценка показателей внешнего водообмена днепровских водохранилищ в условиях меняющегося климата // Гидротехника. – СПб, 2017. – № 2 (47). – С. 46 – 50.

18. *Обухов Є.В., Корецький Є.П.* Оцінка інтенсивності зовнішнього водообміну водосховищ Дніпровського каскаду в умовах зміни клімату Відновлювана енергетика, 2017. – № 1. – С. 62–69.

19. *Обухов Е.В.* Внешний водообмен Днепровского каскада водохранилищ: Монография. – Одесса: Полиграф, 2017. – 100 с.