

УДК556.5.531:

ВИЗНАЧЕННЯ ПРИХОДНИХ СКЛАДОВИХ ВОДНОГО БАЛАНСУ КАХОВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА

О.С. Корягіна, аспірант

Одеський державний екологічний університет,
ул. Львовская, 15, 65016, Одеса, Україна, koria2008@rambler.ru

В статті розглядаються складові приходної частини водних балансів Каховського водосховища, яке є шостим об'єктом у каскаді Дніпровських гідроелектростанцій з річним регулюванням стоку р.Дніпро. Використані матеріали спостережень за період з 1955 по 2010 роки, включно.

Ключеві слова: водосховище, водний баланс, річковий стік, опади, напір, витрата води.

1. ВСТУП

Важливою передумовою раціонального природо-користування, дотримання принципів сталого розвитку є достовірна оцінка водного балансу регіону, яка полягає у визначенні співвідношення кількості опадів, поверхневих і підземних вод, їх відтоку за межі регіону, величини випаровування, а також використання водних ресурсів.

2. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Державний комітет СРСР з гідрометеорології та контролю навколишнього середовища ще у 1981 році видав книгу «Методы изучения и расчета водного баланса» за редакцією В.С. Вуглинського, Г.С. Клейна, І.Н. Образцова, О.О. Соколова [1]. В ній розглянуті методи водобалансових досліджень і наведені розрахунки стосовно різних водних об'єктів і територій та різних розрахункових періодів, надається їх аналіз. Розглядаються прикладні аспекти вивчення водного балансу річкових водозборів, озер, водосховищ, меліорованих земель, надається кількісна оцінка складових водного балансу та водних ресурсів території колишнього Радянського Союзу і земної кулі в цілому.

В 1991 р. В.С. Вуглинський [2] опублікував монографію «Водные ресурсы и водный баланс крупных водохранилищ СССР», в якій розглянуті методичні підходи щодо розрахунків основних складових водного балансу водосховища та низки гідрометеорологічних величин, а також питання взаємозв'язку компонентів водних балансів. Також автор запропонував методи оцінки впливу водосховищ на водні ресурси річок та надав рекомендації щодо змін річного стоку в майбутньому.

За кордоном складові водного балансу та водних ресурсів розглядалися в працях W.R. Bidlake, P.F. Boetcher (USA, Washington, 1996) [3], Loren Lloyd Wehmeyer (The University of Iowa, 2008) [4], Bengtsson L. (UK, 2012) [5] та ін.

3. ОПИС ОБ'ЄКТА ТА МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Каховське водосховище є шостою сходинкою у каскаді Дніпровських гідроелектростанцій та охоплює Дніпропетровську, Запорізьку і Херсонську об-

ласті. Площа водозбору становить 482000 км², а площа водного дзеркала самого водосховища дорівнює 2155 км², довжина його – 230 км, максимальна та середня глибини – 36 і 8,4 м, відповідно. Потужність при розрахунковому напорі дорівнює 12,6·10⁸ кДЖ/год. Середньорічний виробіток енергії становить 5,11·10¹² кДЖ/год. Мінералізація води у водосховищі знаходиться на рівні 253-433 мг/дм³. Каховське водосховище здійснює річне регулювання стоку та використовується для енергетики, водопостачання, зрошення, судноплавства, рибного господарства.

У водосховищі виділяють п'ять ділянок (рис.1). Перша з них (від м.Нова Каховка до с.Бабіно) – пригреблева, найбільш глибока зона шириною 5-6 км, глибиною – від 13 до 25 м, а інколи й 36 м. Площа першої ділянки становить 495 км².

Друга ділянка (від с.Бабіно до м.Нікополь) шириною 8-15 км, переважні глибини – 10-12 м. Площа цієї ділянки становить 532 км².

Третя ділянка (від м.Нікополь до с.Верхня Тарасівка) шириною від 8 до 16 км з глибинами 8-10 м. Площа третьої ділянки становить 365 км². 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. Велика площа четвертої ділянки має глибини близько 1 м. Це район колишніх Кінських заплав. Площа четвертої ділянки становить 690 км².

Руслова – п'ята – ділянка розташована від с.Верхня Тарасівка до с.Розумовка. Площа п'ятої ділянки становить 73 км².

Складові водного балансу Каховського водосховища для зручності представлені у вигляді:

*“Приходна частина” – “Витратна частина” –
“Акумуляція” = ± “Нев'язка”*

Приходну частину водного балансу Каховського водосховища можна представити у такому вигляді:

“Приходна частина” = По+Пп+Пр+Х+Пс,



Рис. 1 – Каховське водосховище та його ділянки

де P_o – поверхневий приплив води у водосховище по р.Дніпро через споруди ДГЕС ім.Леніна;

P_n – перекачка води у водосховище з річок, перекритих дамбами;

P_p – поверхневий приплив води у водосховище з площ, неохоплених виміром стоку (бічний приплив);

X – атмосферні опади на дзеркало водосховища;

P_c – приплив у водосховище промислових та побутових стічних вод.

Основний поверхневий приплив води у Каховське водосховище (P_o) включає:

- стік через турбіни ДГЕС ім. Леніна;
- стік через Запорізькі судноплавні шлюзи;
- фільтраційні витіки на шлюзах;
- холості скиди через водозливну греблю.

В основу розрахунку стоку через турбіни ДГЕС ім.Леніна покладена залежність

$$q = f(H), \quad (1)$$

де q – питома витрата води, $\text{м}^3/(3,6 \cdot 10^6 \text{ кДж/год})$,

H – напір води в турбінах ГЕС, м.

Залежність вигляду (1) встановлена на основі заводської універсальної характеристики поворотного лопаткової турбіни ПЛ40-В-680 та генератора, коефіцієнти корисної дії (ККД) яких визначаються за залежностями $\eta_T = f(N_T, H)$ та $\eta_G = f(N_a, \cos \varphi)$ при $\cos \varphi = 0,8$, де N_T, N_a – потужність турбіни та генератора, відповідно. Високі стабільні ККД турбіни та генератора у великому діапазоні навантажень (понад 216 Дж/год) дають змогу ККД блоку прийняти постійним $\eta_{\text{бл}} = \eta_T \cdot \eta_G = 0,92$ та визначити лінійну залежність $q = f(H)$, перетворивши її на лінійну функцію $K = f(H)$,

$$\text{де } K = \frac{1000 \cdot q}{86400}, \quad (\text{м}^3/(\text{с} \cdot (3,6 \cdot 10^9 \text{ кДж/год}))).$$

Розрахунок стоку через турбіни ДГЕС ім.Леніна виконується технічним відділом ГЕС. Для кожного агрегату за його добовою виробкою активної енергії ($A_a, 3,6 \cdot 10^6 \text{ кДж/год}$) та часом його роботи у генераторному режимі ($T_a, \text{ год}$) обчислюється середня потужність ($N_a, 3,6 \cdot 10^6 \text{ кДж/год}$)

$$N_a = \frac{A_a}{T_a} \cdot 10^{-3}. \quad (2)$$

Напір води в турбінах ГЕС ($H, \text{ м}$) береться однаковим для всіх агрегатів і розраховується як середнє зі щогодинних значень різниці рівнів верхнього та нижнього б'єфів за час роботи ГЕС в режимі генератора. Для кожного агрегату визначається питома витрата води за залежністю $q = f(N_a, H)$, а потім розраховується середнє значення витрати води ($Q_{\text{сеп}}, \text{ м}^3/\text{с}$) та об'єм стоку через всі турбіни ДГЕС за добу

$$W_T = Q_{\text{сеп}} \cdot \sum A_a, \quad (3)$$

де W_T – об'єм стоку через турбіни ДГЕС, м^3 ;

$\sum A_a$ – сумарний виробіток активної енергії ДГЕС за добу, ($3,6 \cdot 10^6 \text{ кДж/год}$).

Середня добова витрата води ($Q_T, \text{ м}^3/\text{с}$) через турбіни розраховується за виразом

$$Q_T = \frac{W_T}{86400}. \quad (4)$$

Врахування стоку через шлюзи здійснюється дис-

петчерською службою. В наш час в м.Запоріжжя діє два судноплавні шлюзи: старий (трикамерний) та новий (однокамерний). Об'єми стоку через шлюзи розраховуються за залежностями:

– для трикамерного шлізу

$$W_c = \omega \cdot \frac{H}{3} \cdot n; \quad (5)$$

– для однокамерного шлізу

$$W'_c = \omega' \cdot H \cdot n, \quad (6)$$

де W_c, W'_c – об'єм стоку через шлюз за добу для трикамерного та однокамерного шлюзів, відповідно, m^3 ;

ω, ω' – площа камери трикамерного та однокамерного шлюзів, m^2 ;

H – середньодобовий напір води в турбінах ГЕС, m ;

n – кількість злитих призм за добу, шт.

Середньодобова витрата води ($Q_c, m^3/c$) через шлюзи розраховується за формулою

$$Q_c = \frac{W_c + W'_c}{86400}. \quad (7)$$

До визначеної величини витрат води Q_c додається витрата витоків через щільності затворів шлюзів $Q_\phi = 0,8 m^3/c$ (70 тис. m^3/d).

Всі споруди та береги ДГЕС ім.Леніна – бетонні, складені гранітами на скельній основі, тому фільтрація в створі гідровузла практично відсутня. Витікання через щільності закритих направлених апаратів турбін і затворів водозливних отворів в розрахунках стоку не враховуються через їх невелику величину (менше ніж $1-3 m^3/c$).

Перекачки води в Каховське водосховище ($Пп$) здійснюються на трьох станціях (рис.1), які зосереджені в центрі водосховища – на межі другої та третьої ділянок. Об'єми перекачок враховуються на насосних станціях за продуктивністю та кількістю

годин роботи насосних агрегатів або за затратами електроенергії на перекачку води.

Поверхневий приплив води у Каховське водосховище ($Пр$) формується на площі $18600 km^2$ – різниця площ водозборів Дніпра між створами Каховської ГЕС та ДГЕС ім.Леніна, з якої $2150 km^2$ припадає на площу водного дзеркала Каховського водосховища та близько $2000 km^2$ – на безстічні області («поди»).

Посушливий клімат та рівнинний рельєф досліджуваної території зумовлюють формування незначної частки бічного припливу (норма річного стоку не перевищує $1 dm^3/(c \cdot km^2)$). На площі близько 46% площі водозбору Каховського водосховища бічний приплив безпосередньо враховується на насосних станціях перекачки води з річок Томаковка, Білосірка та Базавлук, а з 54% площі – розраховується за методом аналогії. В якості аналогів беруться річки: Вовча-смт Васильківка ($F=11600 km^2$); Гайчур-с.Андріївка ($F=2100 km^2$); Мокрі Яли-х.Грушевський ($F=2660 km^2$); Мала Терса-с.Троїцьке ($F=750 km^2$); Мокра Сура-смт Кринички ($F=389 km^2$); Конка-м.Пологи ($F=353 km^2$) (рис.2).

Для кожної з річок визначаються середньомісячні значення модулів стоку ($q, dm^3/(c \cdot km^2)$), а потім середнє з отриманих величини ($q_{сер}$). Витрата води та об'єм розрахункового бічного припливу з площ, не охоплених вимірами стоку, визначаються за залежностями $Q_p = 7,82 \cdot q_{сер}, m^3/c$ та $П_p = 86400 \cdot n \cdot Q_p, m^3$, де n – кількість діб у місяці.

На півдні України опади випадають переважно у вигляді злив і вкрай нерівномірно розподіляються по площі [6]. В таких випадках точність визначення середнього шару опадів на водне дзеркало водосховища багато в чому залежить від густоти опадовимірної мережі.

В такому разі для розрахунку середнього шару опадів використовуються, крім даних опадовимірної мережі гідрометслужби, ще й результати спостережень відомчих агрометпостів, розташованих поблизу водосховища.



Рис. 2 – Карта-схема розташування річок-аналогів

На водозборі Каховського водосховища розташовані 5 гідрометеорологічних постів та 3 гідрометеорологічні станції (рис.1).

Середній шар опадів розраховується окремо для лівого та правого берегів Каховського водосховища, як середньоарифметичне з даних спостережень постів і станцій; за кінцевий результат береться середнє з двох величин.

Надходження до водосховища промислових і побутових стічних вод (*Пс*) пов'язане головним чином із Запорізькою ГРЕС і м.Запоріжжя. Скиди Запорізької ГРЕС становлять більше 3 км³ за рік (85-90 % всіх скидів). Забір води на водопостачання м.Запоріжжя здійснюється в основному з водосховища ім.Леніна, а промислові та побутові стоки міста скидаються в Каховське водосховище. Крім того, у водосховище скидаються стічні води міст Дніпрорудний, Нікополь, Берислав та деяких населених пунктів і промислових підприємств. В останні роки величина припливу стічних вод стабілізувалася і становить (крім скидів Запорізької ГРЕС) приблизно 0,4 км³ на рік, що зумовлено переведенням частини підприємств на зворотнє водопостачання.

Об'єм скидання стічних вод у водосховище частково враховується водокористувачами, а частково визначається по забору води (береться в розмірі 60-80 % від величини водозабору).

4. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

Як зазначалось вище, на Каховському водосховищі проводяться спостереження за опадами на 3 метеостанціях та 5 метеопостах. На рис.3 наводиться залежність середніх величин опадів, визначених між цими постами та метеостанціями.

Як видно з рис.3, для підрахунку кількості опадів, що випадають на акваторію Каховського водосховища, можна використовувати дані лише 3 метеостанцій, замість 8 метеопунктів, що спрощує збір інформації про опади та розрахунок їх випадіння на водну поверхню водосховища.

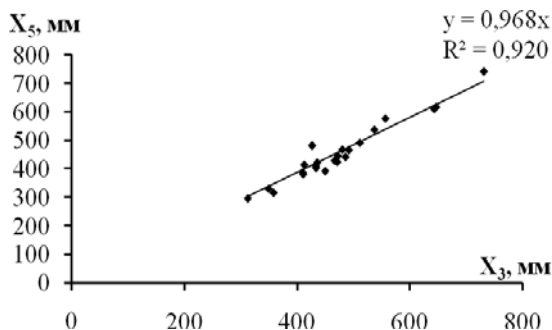


Рис. 3 – Залежність кількості опадів між станціями та постами на Каховському водосховищі

На наш погляд, найбільш ненадійно визначається складова бічного припливу в Каховське водосховище.

Бічний прилив (*Пр*) відбувається за рахунок річок, що впадають у водосховище, тимчасових водотоків, струмків, просочування крізь ґрунти, що в свою чергу ускладнює їх врахування в балансі водосховища. В Каховське водосховище впадає р. Конка ($F=353 \text{ км}^2$), яка знаходиться на п'ятій (мілководній) ділянці біля греблі ДГЕС ім.Леніна.

Основним джерелом живлення тимчасових водотоків та р. Конка є атмосферні опади. Нами побудовано залежність між річними витратами води р.Конка та шаром опадів за період з 1991-2010 рр. (рис. 4).

Коефіцієнт кореляції отриманої залежності становить 0,50, тобто тренд є значущим.

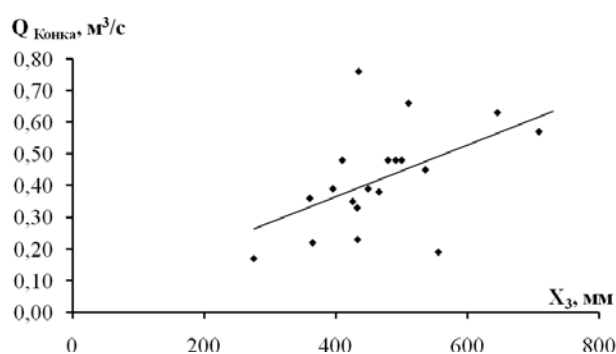


Рис. 4 – Залежність між витратами води р.Конка та шарами опадів, що випали на акваторії Каховського водосховища

Це дає можливість використовувати цю залежність для визначення величини бічного припливу в Каховське водосховище.

У статті запропоновано дещо нову методику визначення бічного припливу, а саме:

1. За даними спостережень по 3 метеостанціях побудована крива забезпеченості річних опадів (рис.5).
2. Використовуючи карту норми стоку та таблиці СНіП 2.01.14-83, в залежності від забезпеченості року визначається модуль стоку, $q_{p\%}$:

$$q_{p\%} = q_{сер} \cdot k_{p\%}, \quad (8)$$

де $q_{сер}$ – середній багаторічний модуль стоку $\text{дм}^3/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$, який визначається по картах-додатках СНіП 2.01.14-83;

$k_{p\%}$ - модульний коефіцієнт забезпеченості року за опадами $P\%$, яка визначається за допомогою рис.5 по величині річних опадів X .

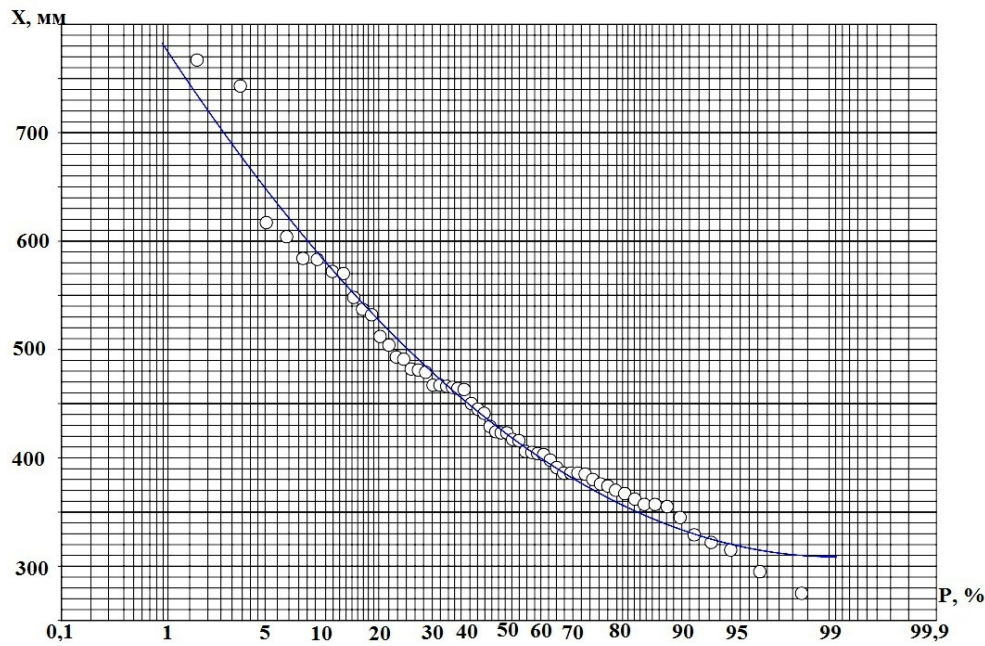


Рис. 5 – Крива забезпеченості річних опадів

3. Витрата води $Q_{p\%}$ дорівнює

$$Q_{p\%} = q_{p\%} \cdot F \cdot 10^{-3}, \quad (9)$$

де F – площа водозбору Каховського водосховища, км^2 .

4. Об'єм бічного припливу становить:

$$Pr_{p\%} = 86400 \cdot n \cdot Q_{p\%} \cdot 10^{-6}, \quad (10)$$

де n – кількість днів у місяці.

водохранилищ СССР: [монографія] / В.С. Вуглинский. - Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 221 с.

3. Bidlake W.R., Boetcher P.F. *Near-surface water balance of an undeveloped upland site in west-central Florida*. United States government printing office. Washington, 1996. 46 p.
4. Loren Lloyd Wehmeyer. *Historical water balance quantification: Development of a new methodology using selected watersheds in Iowa as test beds*. ProQuest LLC, 2008. 217 p.
5. Bengtsson L. *Encyclopedia of lakes and reservoirs*. London: Springer, 2012. 953 p.
6. Клімат України / [Ліпінського В.М., Дячука В.А., Бабіченко В.М.]; за ред. В.М Ліпінського. – К.: Вид-во Раєвського, 2003. – 343 с.

5. ВИСНОВКИ

На основі викладеного можна зробити такі висновки:

1. Для розрахунку об'ємів опадів, що випадають на поверхню Каховського водосховища, можна використовувати дані з метеостанцій, які рівномірно розміщені по акваторії Каховського водосховища.

2. Бічний приплив водосховища та надходження води з малих річок пропонується здійснювати, використовуючи карти норми річного стоку та криву забезпеченості річних опадів у межах Каховського водосховища.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Методы изучения и расчета водного баланса. / [Вуглинский В.С., Клейн Г.С., Образцов И.Н., Плиткин Г.А., Соколов А.А., Федоров Н.Н.]; под ред. О.Н. Потапова. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 394 с.
2. Вуглинский В.С. Водные ресурсы и водный баланс крупных

REFERENCES

1. Vuglinskiy V.S., Klejn G.S., Obrazcov I.N., Plitkin G.O., Sokolov A.A., Fedorov N.N. *Metody izuchenija i rascheta vodnogo balansa* [Methods of study and calculation of water balance]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1981, 394 p. (Ed.: Potapov O.M.).
2. Vuglinskiy V.S. *Vodnye resursy i vodnyj balans krupnyh vodohranilishh SSSR* [Methods of study and calculation of water balance]. Leningrad, 1991. 221 p.
3. Bidlake W.R., Boetcher P.F. *Near-surface water balance of an undeveloped upland site in west-central Florida*. United States government printing office. Washington, 1996. 46 p.
4. Loren Lloyd Wehmeyer. *Historical water balance quantification: Development of a new methodology using selected watersheds in Iowa as test beds*. ProQuest LLC, 2008. 217 p.
5. Bengtsson L. *Encyclopedia of lakes and reservoirs*. London: Springer, 2012. 953 p.
6. Lipins'koho V.M., Dyachuka V.A., Babichenko V.M. *Klimat Ukrayiny* [Climate Ukraine]. Kiev: Rayevs'koho, 2003, 343 p. (Ed.: Lipins'koho V.M.).

DETERMINATION OF CONSTITUENTS RECEIPT KAKHOVKA RESERVOIR WATER BALANCE

O.S. Koryagina, graduate student

*Odessa State Environmental University,
15, Lvivska, 65016, Odessa, Ukraine, koria2008@rambler.ru*

The study of the reservoirs is of great scientific interest and is of practical importance for the solution of problems of rational use and protection of water resources. The paper describes the latest reservoir in the cascade of Dnipro Kakhovka Reservoir and its component of water balance. The methods of determining the components of the water balance that were once offered the Kakhovka hydro-meteorological observatory are submitted. Great attention is drawn to the surface flow of water into the reservoir from unexplored rivers, which is determined by the method of analogy. The probable error of this method, in turn, is equal to for monthly values 30-50% and annual – 10-20%. So, there is provided somewhat different a method for determining the surface flow using the curve of security component amount of annual precipitation, maps of the norm runoff and tables SNiP 2.01.14.83. The proposed method simplifies and accelerates the process of calculating the amounts of surface water flow in unexplored rivers to Kakhovka reservoir.

Keywords: reservoir, water balance, river runoff, precipitation, pressure water flow.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИХОДНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ВОДНОГО БАЛАНСА КАХОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Е.С. Корягина, аспирант

*Одесский государственный экологический университет,
ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина, koria2008@rambler.ru*

Изучение водохранилищ представляет большой научный интерес и имеет важное практическое значение для решения проблемы рационального использования и охраны водных ресурсов. В работе описываются последнее в Днепро-вском каскаде Каховское водохранилище и составляющие его водного баланса. Рассматриваются методы определения составляющих приходной части водного баланса, которые были в свое время предложены Каховской гидрометеорологической обсерваторией. Значительное внимание обращено на поверхностный приток воды в водохранилище с неизученных рек, который определяется по методу аналогии. Вероятная погрешность этого метода, в свою очередь, оценивается для месячных значений в 30-50 %, а для годовых – в 10-20 %. Поэтому предложен несколько иной метод определения данной составляющей по кривой обеспеченности суммы годовых осадков, картам нормы стока и таблицам СНиП 2.01.14.83. Предложенный метод упрощает и ускоряет процесс расчета объемов поверхностного притока воды с неизученных рек в Каховское водохранилище.

Ключевые слова: водохранилище, водный баланс, речной сток, осадки, напор расход воды.

*Дата першого подання: 26.09.2015
Дата надходження остаточної версії: 18.11.2015
Дата публікації статті: 26.11.2015*