

УДК 626.8:330.131

ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ НОРМАТИВІВ ВТРАТ ВОДИ НА ЗРОШУВАЛЬНИХ КАНАЛАХ В УМОВАХ ЗМЕНШЕННЯ КОРИСНОЇ ВИТРАТИ ВОДИ В НИХ

В. І. ПЕТРОЧЕНКО, канд. техн. наук,

О.В. ПЕТРОЧЕНКО

ІНСТИТУТ ВОДНИХ ПРОБЛЕМ І МЕЛІОРАЦІЇ НААН

В.А. РОЗГОН, канд. техн. наук

ДЕРЖАВНЕ АГЕНТСТВО ВОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ

Наведено результати досліджень ефективності зрошувальних каналів в умовах зменшення об'ємів споживання води з них. Науково обгрунтовані та запропоновані для практичного застосування рекомендації з визначення нормативів технологічних втрат води на зрошувальних каналах та корегування коефіцієнта корисної дії каналів залежно від величини корисної витрати води.

Ключові слова: зрошувальний канал, корисна витрата води, фільтрація, нормативні втрати води, коефіцієнт корисної дії каналу

Проблема та її актуальність. В Україні налічується 2,2 млн. га зрошуваних земель. Зрошувальні системи були побудовані для обслуговування колективних сільськогосподарських підприємств і функціонували як цілісні технологічні комплекси зі збалансованими показниками забору, розподілу та подачі води. У результаті реформування аграрного сектора економіки у 90-х роках минулого століття зрошувані землі, що належали 12 тисячам колективних господарств, перейшли до 192 тисяч виробників сільськогосподарської продукції. Значна частина внутрішньогосподарських систем залишилася незадіяною, оскільки власники земельних ділянок через фінансові труднощі не мали можливості обслуговувати ці системи та здійснювати зрошення. В останні роки в Україні площа земель, що зрошується, не перевищує 610 тис. га [1].

Рівень використання інженерної інфраструктури зрошувальних систем та споживання води на зрошення в останні роки знизився до 30-40%. Але, незважаючи на зменшення об'ємів споживання води, контроль витрати та втрати води в зрошувальних каналах зараз здійснюється за фактичними об'ємами наповнення каналів та подачі води з них споживачам із застосуванням коефіцієнтів корисної дії каналів K_{κ}^{np} , які були визначені на стадії проектування і початку експлуатації. За існуючим методичним підходом втрати води при фіксованих K_{κ}^{np} повинні бути пропорційними величині корисної витрати води на каналах, що не відповідає дійсності та створює для водогосподарських організацій певні проблеми зі звітністю за отриману та витрачену з каналів воду. Тому в умовах зменшення об'ємів подачі води зрошувальними каналами споживачам виникає потреба розробки методичних засад визначення науково обгрунтованих технологічних нормативів втрат води в каналах та корегування коефіцієнтів корисної дії каналів.

Мета досліджень – розробити методичні засади визначення нормативних втрат води на зрошувальних каналах та корегування коефіцієнту корисної дії останніх в умовах зменшення корисної витрати води.

Результати досліджень. Встановлена можливість визначення нормативних втрат води на зрошувальних каналах за такими основними методичними підходами: за проектними техніко-експлуатаційними характеристиками каналів; розрахунковими методами; експериментальними методами. Сутність цих наукових підходів та їх наукове обгрунтування наведено у розділах 1-4.

Розділ 1. **Визначення технологічних нормативів втрат води на зрошувальних каналах за їхніми проектними характеристиками**

Техніко-експлуатаційна ефективність зрошувального каналу оцінюється за двома його основними показниками – корисною витратою води в каналі нетто і коефіцієнтом корисної дії каналу. На стадії проектування зрошувального каналу його ефективність оцінюється проектним коефіцієнтом корисної дії:

$$K_{\kappa}^{np} = \frac{[Q_{\kappa}^{np}]_{нт}}{[Q_{\kappa}^{np}]_{бр}} = \frac{[Q_{\kappa}^{np}]_{нт}}{[Q_{\kappa}^{np}]_{нт} + [Q_{\kappa}^{np}]_{вт}}, \quad (1)$$

де K_{κ}^{np} – коефіцієнт корисної дії каналу за проектом; $[Q_{\kappa}^{np}]_{нт}$ – корисна розрахункова витрата води в каналі нетто за проектом, м³/с; $[Q_{\kappa}^{np}]_{бр}$ – загальна витрата води в каналі бруто за проектом, м³/с; $[Q_{\kappa}^{np}]_{вт}$ – загальні втрати води з каналу за проектом на фільтрацію, випаровування і технологічні скиди, м³/с.

Шляхом нескладного перетворення формули (1) отримуємо формулу для визначення втрат води $[Q_{\kappa}^{np}]_{вт}$, встановлених на стадії проектування каналу:

$$[Q_{\kappa}^{np}]_{вт} = [Q_{\kappa}^{np}]_{нт} \frac{1 - K_{\kappa}^{np}}{K_{\kappa}^{np}}. \quad (2)$$

В умовах зменшення корисної витрати води в каналі його техніко-експлуатаційна ефективність оцінюється за схожими з (1) і (2) формулами:

$$[Q_{\kappa}^{np}]_{вт} = [Q_{\kappa}^{np}]_{нт} \frac{1 - K_{\kappa}^{np}}{K_{\kappa}^{np}}; \quad (3)$$

$$[Q_{\kappa}^{np}]_{\text{ем}} = [Q_{\kappa}^{np}]_{\text{нм}} \frac{1 - K_{\kappa}^{np}}{K_{\kappa}^{np}}, \quad (4)$$

де K_{κ}^{ϕ} – коефіцієнт корисної дії каналу фактичний; $[Q_{\kappa}^{\phi}]_{\text{нм}}$ – фактична корисна витрата води в каналі нетто, м³/с; $[Q_{\kappa}^{\phi}]_{\text{бр}}$ – фактична витрата води в каналі бруто, м³/с; $[Q_{\kappa}^{\phi}]_{\text{ем}}$ – загальні фактичні втрати води з каналу, м³/с.

При оцінюванні за існуючим методичним підходом техніко-експлуатаційної ефективності каналу як водогосподарськими службами, так і органами, контролюючими їх роботу, помилково припускається, що коефіцієнт корисної дії каналу є величиною незмінною, тобто $K_{\kappa}^{\phi} = K_{\kappa}^{np} = \text{const}$, а фактичні втрати води з каналу $[Q_{\kappa}^{\phi}]_{\text{ем}}$ є величиною змінною. За таким припущенням функція (4) втрат води $[Q_{\kappa}^{\phi}]_{\text{ем}}$ повинна бути лінійно залежною від корисної витрати води в каналі $[Q_{\kappa}^{\phi}]_{\text{нм}}$. У такому разі, підставивши у формулу (4) K_{κ}^{np} замість K_{κ}^{ϕ} , при фактичній витраті води $[Q_{\kappa}^{\phi}]_{\text{нм}}$, яка в сучасних умовах експлуатації каналів менша за проектну $[Q_{\kappa}^{np}]_{\text{нм}}$, маємо: $[Q_{\kappa}^{\phi}]_{\text{ем}} < [Q_{\kappa}^{np}]_{\text{ем}}$. На підставі цього помилково визначається нібито позанормативна витрата води з каналу $\Delta_{\text{ем}}$:

$$\Delta_{\text{ем}} = [Q_{\kappa}^{np}]_{\text{ем}} - [Q_{\kappa}^{\phi}]_{\text{ем}}, \quad (5)$$

де $[Q_{\kappa}^{np}]_{\text{ем}}$ – втрати води, розраховані за формулою (2); $[Q_{\kappa}^{\phi}]_{\text{ем}}$ – втрати води, розраховані за формулою (4), у якій помилково прийнято K_{κ}^{np} замість K_{κ}^{ϕ} .

Проте величина $\Delta_{\text{ем}}$, яка є предметом претензій контролюючих органів до водогосподарських служб, є уявною. Величина $\Delta_{\text{ем}}$ повинна дорівнювати нулю, оскільки величина втрат води з каналу має бути постійною ($[Q_{\kappa}^{\phi}]_{\text{ем}} = [Q_{\kappa}^{np}]_{\text{ем}} = \text{const}$), якщо канал експлуатується згідно рекомендованого режиму його наповнення, або умовно постійною ($[Q_{\kappa}^{\phi}]_{\text{ем}} \approx [Q_{\kappa}^{np}]_{\text{ем}} \approx \text{const}$), якщо врахувати, що у деякі моменти часу будуть мати місце незначні порушення режиму експлуатації каналу.

Неважко встановити, що за умови своєчасного та постійного на протязі зрошувального сезону наповнення каналу водою до нормального підпертого рівня втрати води на фільтрацію і випаровування будуть залежати тільки від конструкції каналу та гідрогеологічного стану прилеглої до каналу території. Очевидно, що втрати води на фільтрацію і випаровування залежать від рівня наповнення каналу і не залежать від об'ємів води, що подається в канал і відводиться з нього, не залежать також від швидкості руху води у каналі, тобто вони є незалежними від корисної витрати води в каналі. Тому втрати води на фільтрацію і випаровування $[Q_{\kappa}^{np}]_{\text{ем}}$ визначені на стадії проектування каналів, за певних умов (незмінність конструкції каналу та гідрогеологічного стану прилеглої території) можна вважати нормативними втратами $[Q_{\kappa}]_{\text{ем}} = [Q_{\kappa}^{np}]_{\text{ем}}$ і визначати їх на основі формули (2) за проектними характеристиками каналу:

$$[Q_{\kappa}]_{\text{ем}} = [Q_{\kappa}^{np}]_{\text{ем}} = [Q_{\kappa}^{np}]_{\text{нм}} \frac{1 - K_{\kappa}^{np}}{K_{\kappa}^{np}}; \quad (6)$$

$$[G_{\kappa}]_{\text{ем}} = 86,4 K_{\kappa} [Q_{\kappa}]_{\text{ем}}, \quad (7)$$

де $[Q_{\kappa}]_{\text{ем}}$ – нормативні втрати води з каналу поточні, м³/с; $[G_{\kappa}]_{\text{ем}}$ – нормативні втрати води з каналу річні, тис. м³/рік; K_{κ} – кількість діб експлуатації каналу на протязі року (тривалість зрошувального сезону), діб/рік.

Підставою для застосування формул (6) і (7) щодо визначення нормативних втрат води з каналів є незмінність (умовна незмінність) у часі початкових протифільтраційних властивостей каналу, визначених проектувальниками.

За останні 40 років експлуатації зрошувальних каналів України на їхні протифільтраційні властивості вплинули три основних фактора: старіння та пошкодження протифільтраційних облицювань каналів; кольматація ґрунтової основи русел каналів; значне підвищення рівня ґрунтових вод у зоні зрошення.

Старіння та пошкодження облицювань каналів сприяли зниженню їхніх протифільтраційних властивостей. Кольматація ґрунтової основи сприяла підвищенню протифільтраційних властивостей каналів. Підвищення рівня ґрунтових вод у приканальних зонах сприяло також підвищенню протифільтраційних властивостей каналів та зниженню фільтраційних втрат, оскільки з підняттям рівня ґрунтових вод утворюється більший підпір ґрунтових вод та опір з боку ґрунтових вод руху фільтраційного потоку води з каналів, при цьому значна кількість каналів, які 35–45 років тому почали працювати в режимі вільної фільтрації, зараз працюють в режимі підпертої фільтрації.

Зваживши на те, що тільки один фактор (старіння та пошкодження облицювань каналів) сприяв підвищенню фільтраційних втрат води з каналів, а два других, навпаки, сприяли їх зниженню, можна попередньо припустити, що втрати води $[Q_{\kappa}^{np}]_{\text{ем}}$ на фільтрацію, випаровування та технологічні скиди, визначені на стадії проектування каналів за формулою (2), за тривалий період експлуатації залишились незмінними (умовно незмінними). Це дає підставу вважати нормативними $[Q_{\kappa}]_{\text{ем}}$ проектні втрати води $[Q_{\kappa}^{np}]_{\text{ем}}$, розраховані за формулою (2), якщо при складанні річного водного балансу буде встановлено:

$$[G_{\kappa}^{\phi}]_{\text{ем}} \leq [G_{\kappa}]_{\text{ем}}, \quad (8)$$

де $[G_{\kappa}^{\phi}]_{\text{ем}}$ – фактичні втрати води з каналу, визначені за результатами складання річного водного балансу, тис. м³/рік; $[G_{\kappa}]_{\text{ем}}$ – нормативні втрати води, тис. м³/рік, визначені за формулою (7).

Таким чином, за даним методичним підходом приймається, що критерій (8) повинен виконуватись для переважної більшості каналів, при цьому нормативними втратами води з каналів слід вважати втрати $[Q_{\kappa}]_{\text{ем}}$ і $[G_{\kappa}]_{\text{ем}}$, розраховані на основі їхніх проектних характеристик за формулами (6) і (7).

Якщо за результатами складання річного водного балансу каналу буде встановлено, що фактичні втрати води $[G_{\kappa}^{\phi}]_{\text{ем}}$ кожен рік значно перевищують нормативні втрати $[G_{\kappa}]_{\text{ем}}$, розраховані

за формулою (7), то для цього каналу нормативні втрати $[G_{\kappa}^{вм}]$ слід визначати розрахунковими методами за розділом 3, або експериментальним шляхом за розділом 4. Причиною невідповідності результатів водного балансу критерію (8) може бути: помилка проектувальників; значне пошкодження протифільтраційного облицювання каналу; зміна у часі гідрогеологічного стану ґрунтової основи каналу, наприклад, утворення провалів у ґрунтах, щілин та каверн у вапнякових ґрунтах тощо.

Розділ 2. Корегування коефіцієнта корисної дії каналу залежно від корисної витрати води в останньому

Прийнявши за основу $[Q_{\kappa}^{\phi}]_{вм} = [Q_{\kappa}^{np}]_{вм}$, підставимо у формулу (3) замість втрат води $[Q_{\kappa}^{\phi}]_{вм}$ втрати $[Q_{\kappa}^{np}]_{вм}$, розраховані за формулою (2). Тоді формула (3) прийме вигляд:

$$K_{\kappa}^{\phi} = \frac{[Q_{\kappa}^{\phi}]_{вм}}{[Q_{\kappa}^{\phi}]_{вм}} = \frac{[Q_{\kappa}^{\phi}]_{вм}}{[Q_{\kappa}^{\phi}]_{вм} + [Q_{\kappa}^{np}]_{вм} \frac{1 - K_{\kappa}^{np}}{K_{\kappa}^{np}}} \quad (9)$$

Введемо коефіцієнт β зменшення корисної витрати води в каналі:

$$\begin{cases} \beta = [Q_{\kappa}^{\phi}]_{вм} / [Q_{\kappa}^{np}]_{вм}; \\ \beta = [G_{\kappa}^{\phi}]_{вм} / [G_{\kappa}^{np}]_{вм}; \end{cases} \quad \begin{cases} [Q_{\kappa}^{\phi}]_{вм} = \beta [Q_{\kappa}^{np}]_{вм}; \\ [G_{\kappa}^{\phi}]_{вм} = \beta [G_{\kappa}^{np}]_{вм}; \end{cases} \quad (10)$$

звідки:

де $[G_{\kappa}^{np}]_{вм}$ і $[G_{\kappa}^{\phi}]_{вм}$ – річна проектна і фактична витрата води в каналі нетто, тис. м³/рік, які розраховуються по аналогії з (7) за формулами:

$$[G_{\kappa}^{np}]_{вм} = 86,4 K_{\kappa} [Q_{\kappa}^{np}]_{вм}; \quad (11)$$

$$[G_{\kappa}^{\phi}]_{вм} = 86,4 K_{\kappa} [Q_{\kappa}^{\phi}]_{вм} \quad (12)$$

Підставивши у формулу (9) значення $[Q_{\kappa}^{\phi}]_{вм}$ з (10), маємо формулу корегування проектного коефіцієнта корисної дії каналу залежно від коефіцієнта β зменшення фактичної корисної витрати води $[Q_{\kappa}^{\phi}]_{вм}$ або $[G_{\kappa}^{\phi}]_{вм}$:

$$K_{\kappa}^{\phi} = \frac{\beta}{\beta + \frac{1 - K_{\kappa}^{np}}{K_{\kappa}^{np}}} \quad (13)$$

Для візуального аналізу мінливості фактичного (відкоригованого) коефіцієнта корисної дії каналів K_{κ}^{ϕ} , функціонально залежного від проектного коефіцієнта корисної дії каналу K_{κ}^{np} , та коефіцієнта зменшення корисної витрати води в каналі β , на рис. 1 наведено графіки функції $K_{\kappa}^{\phi} = \Phi(K_{\kappa}^{np}, \beta)$, побудовані по точкам, розрахованим за формулою (13). Кожен графік побудований у прив'язці до конкретного фіксованого значення проектного коефіцієнта корисної дії каналу K_{κ}^{np} (0,95; 0,9; 0,8; 0,6; 0,4).

З графіків видно, що на інтервалі зменшення β від 1,0 до 0,4 розрахункові коефіцієнти K_{κ}^{ϕ} для каналів з більш досконалою системою протифільтраційного захисту у меншій мірі відхиляються від проектних K_{κ}^{np} . На інтервалі зменшення β від 0,4 до 0 розрахункові коефіцієнти K_{κ}^{ϕ} стрімко зменшуються. У зв'язку з цим у нормативному документі [2], який був попереднім до чинного [3], відмічено, що мінімальну корисну витрату води у магістральних і розподільчих каналах усіх порядків слід приймати не менше 40% від максимальної корисної витрати.

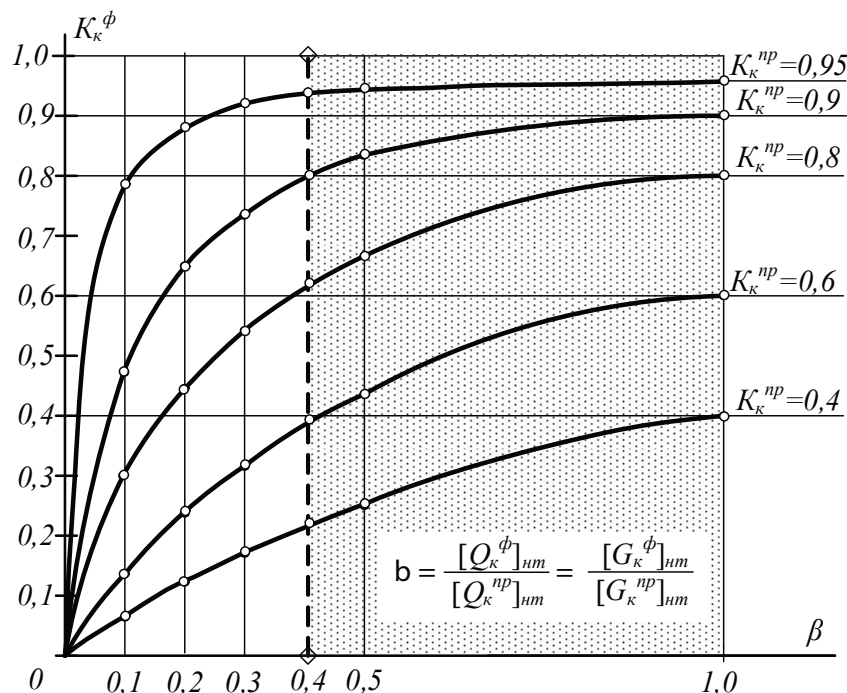


Рис.1. Характер зменшення розрахункових (фактичних) коефіцієнтів корисної дії каналів K_{κ}^{ϕ} по відношенню до їхніх проектних значень K_{κ}^{np} залежно від коефіцієнта зменшення корисної витрати води в каналі β

Формула корегування (перерахунку) коефіцієнта корисної дії каналу (13) може мати більш універсальне застосування якщо представити її у вигляді:

$$K_{\kappa}^0 = \frac{\beta_{\theta-\tau}}{\beta_{\theta-\tau} + \frac{1-K_{\kappa}^{\tau}}{K_{\kappa}^{\tau}}}, \quad (14)$$

де K_{κ}^{θ} – коефіцієнт корисної дії каналу у поточному θ -му році; K_{κ}^{τ} – коефіцієнт корисної дії каналу у попередньому τ -му році; $\beta_{\theta-\tau}$ – коефіцієнт зменшення (збільшення) корисної витрати каналу $[G_{\kappa}^{\theta}]_{\text{нм}}$ у θ -му році відносно корисної витрати каналу $[G_{\kappa}^{\tau}]_{\text{нм}}$ у τ -му році на проміжку часу $\Delta t = \theta - \tau$. При цьому $\beta_{\theta-\tau}$ може бути як меншим, так і більшим одиниці. Єдиною умовою правомірності застосування формули (14), також як і формули (13), є незмінність або несуттєва змінність протифільтраційних властивостей каналу на протязі періоду часу Δt .

Методичний підхід з визначення нормативних втрат води з каналів за їхніми проектними характеристиками є найбільш прийнятливим при складанні водогосподарськими організаціями водних балансів та річних звітів. У разі неможливості застосування цього підходу втрати води з каналів визначають розрахунковими методами (розділ 3) або експериментальним шляхом (розділ 4).

Розділ 3. Визначення нормативних втрат води на зрошувальних каналах розрахунковими методами

Загальні нормативні втрати води з каналу розраховують за формулою:

$$[G_{\kappa}^{\text{вт}}] = [G_{\kappa}^{\text{ф}}] + [G_{\kappa}^{\text{зм}}] + [G_{\kappa}^{\text{еп}}] + [G_{\kappa}^{\text{мс}}], \quad (15)$$

де $[G_{\kappa}^{\text{вт}}]$ – загальні нормативні втрати води з каналу, тис. м³/рік; $[G_{\kappa}^{\text{ф}}]$ – нормативні втрати води на фільтрацію, тис. м³/рік; $[G_{\kappa}^{\text{зм}}]$ – нормативні втрати води на замочування ґрунтової основи каналу при наповненні водою його русла, тис. м³/рік; $[G_{\kappa}^{\text{еп}}]$ – нормативні втрати води на випаровування, тис. м³/рік; $[G_{\kappa}^{\text{мс}}]$ – нормативні втрати води на технологічні скиди, тис. м³/рік.

Складові втрат $[G_{\kappa}^{\text{вт}}]$, які наведено у формулі (15), визначаються диференційовано. Основна частина втрат води із зрошувальних каналів припадає на фільтрацію. Втрати води на фільтрацію із зрошувальних каналів України складають у середньому 85-95% загальних втрат.

При застосуванні методів розрахунку фільтраційних втрат враховується режим фільтрації, за яким розпізнають вільну і підперту фільтрацію з каналів.

Вільна фільтрація відбувається при глибокому заляганні ґрунтових вод. При цьому фільтраційний потік рухається у ґрунтовому масиві практично у вертикальному напрямі. Для розрахунку втрат води з каналів у режимі вільної фільтрації використовують такі основні формули [4, 5]:

формула акад. М.М. Павловського

$$[Q_{\kappa}^{\text{ф}}] = k L (B+2h); \quad (16)$$

формула проф. В.В. Ведернікова

$$[Q_{\kappa}^{\text{ф}}] = k L (B+Ah); \quad (17)$$

формула О.М. Костякова

$$[Q_{\kappa}^{\text{ф}}] = k L (b+2h) \sqrt{1+m^2}, \quad (18)$$

де $[Q_{\kappa}^{\text{ф}}]$ – втрати води з каналу на фільтрацію, м³/с; k – коефіцієнт фільтрації, м/с; L – довжина каналу, м; B – ширина дзеркала води в каналі, м; h – глибина наповнення каналу, м; b – ширина каналу по дну, м; m – коефіцієнт закладання укусу каналу; A – коефіцієнт, який визначається за графіком В.В. Ведернікова.

Підперта фільтрація з каналів відбувається при високому рівні ґрунтових вод. За таких умов фільтраційний потік рухається переважно у горизонтальному напрямі. Основним методом розрахунку втрат води з каналів у режимі підпертої фільтрації є метод п'езометричних свердловин, наведений у [4].

Річні втрати води з каналу на фільтрацію $[G_{\kappa}^{\text{ф}}]$, що входять до складу загальних нормативних втрат $[G_{\kappa}^{\text{вт}}]$, визначають у тис. м³/рік за формулою:

$$[G_{\kappa}^{\text{ф}}] = 86,4 K_{\theta} [Q_{\kappa}^{\text{ф}}], \quad (19)$$

де $[Q_{\kappa}^{\text{ф}}]$ – втрати води, визначені за однією з формул (16), (17), (18) або методом п'езометричних свердловин, м³/с; K_{θ} – тривалість зрошувального сезону, днів/рік.

Втрати води на замочування ґрунтової основи каналу $[G_{\kappa}^{\text{зм}}]$, що за формулою (15) входять до складу загальних нормативних втрат води $[G_{\kappa}^{\text{вт}}]$, визначаються за розміром зони замочування 4 (рис. 2).

Процес замочування ґрунтової основи каналу характеризується як перша стадія фільтрації і відбувається від початку заповнення водою русла каналу 1 до моменту, коли фільтраційний потік води торкнеться рівня ґрунтових вод 2 і не утвориться стабільний профіль зони 4 замочування ґрунту. Параметри зони замочування ґрунту 4 залежать, головним чином, від глибини залягання ґрунтових вод 2, а також від структурних та фільтраційних властивостей ґрунту.

Нормативні втрати води на замочування ґрунтової основи каналу $[G_{\kappa}^{\text{зм}}]$ залежать від площі поперечного перетину зони замочування ґрунту 4 (рис. 2) і визначаються у тис. м³/рік за формулою:

$$[G_{\kappa}^{\text{зм}}] = 10^{-3} (1-W_0) u \omega_{\text{зм}} L, \quad (20)$$

де W_0 – природна вологість ґрунту в основі каналу; u – пористість ґрунту; $\omega_{\text{зм}}$ – площа поперечного перерізу зони замочування ґрунту, м².

Пористість ґрунту u розраховують за формулою:

$$u = 1 - \rho_d / \rho_s, \quad (21)$$

де ρ_d – щільність сухого ґрунту, г/см³; ρ_s – щільність часток (зерен) ґрунту, г/см³.

Для спрощення розрахунків площу $\omega_{\text{зм}}$ доцільно замінити площею ω_A фігури $ADCC_1D_1A_1$, яку можна розрахувати за формулою:

$$\omega_{\text{зм}} = \omega_A = (B+m_0H)H - \omega_{\kappa}, \quad (22)$$

де H – глибина залягання рівня 2 ґрунтових вод відносно поверхні води в каналі, м; ω_{κ} – площа живого перерізу потоку води в каналі, м²; m_0 – параметр

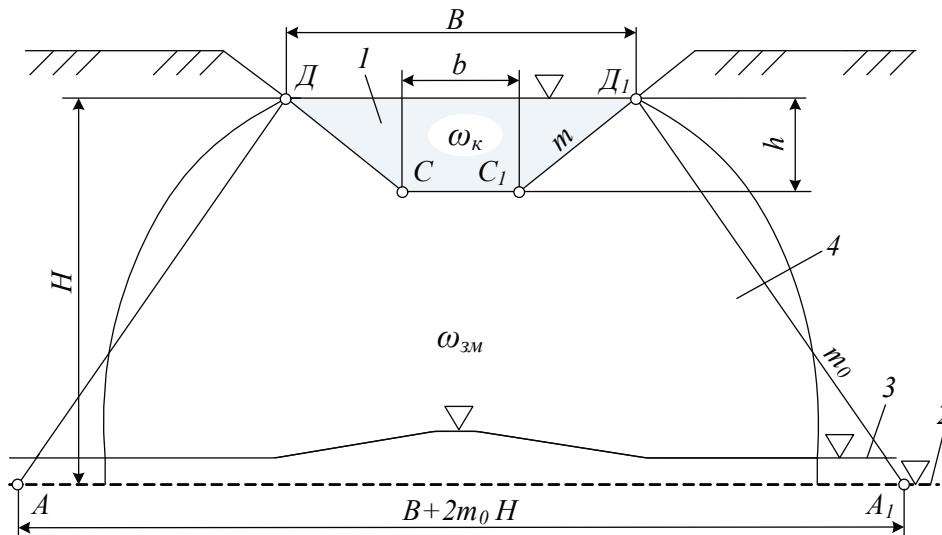


Рис. 2. Схема до розрахунку втрат води на замочування ґрунтової основи каналу

1 – русло каналу; 2 і 3 – рівень ґрунтових вод до і в кінці замочування ґрунтової основи каналу; 4 – зона замочування ґрунту

(рис. 2), величина якого для досягнення умови $\omega_{зм} = \omega_A$ обирається в межах $m_0 = 1,0-1,5$.

Втрата води на замочування ґрунтової основи каналу складає незначну частину загальних втрат води з каналу. Тому, попередньо прийнявши $m_0 = 1,25$ та взявши до уваги, що майже усі зрошувальні канали Півдня України побудовані у лесовидних суглинках, для яких можна прийняти середні значення природної вологості ($W_0 = 0,17$) і пористості ($u = 0,43$), формулу (20) визначення втрат води $[G_{к-зм}]$ можна спростити та представити у більш зручному вигляді:

$$[G_{к-зм}] = 3,6 \times 10^{-4} [(B + 1,25H)H - \omega_{к}]L. \quad (23)$$

Нормативні втрати води з каналу на випаровування $[G_{к-вн}]$, які за формулою (15) входять до складу загальних нормативних втрат води $[G_{к-вт}]$ з каналу, визначають у тис. м³/рік за формулою:

$$[G_{к-вн}] = 10^{-6} \sum_{\zeta=1}^{K_{\zeta}} h_{\zeta}^{вн} B L, \quad (24)$$

де $h_{\zeta}^{вн}$ – шар випаровування води із дзеркала каналу у ζ -у добу року, мм/добу. $h_{\zeta}^{вн}$ встановлюються за даними найближчої до каналу гідрометеостанції.

Нормативні втрати води з каналу на технологічні скиди $[G_{к-тс}]$, які за формулою (15) входять до складу загальних нормативних втрат $[G_{к-вт}]$, визначають у тис. м³/рік за формулою:

$$[G_{к-тс}] = 10^{-3} K_{тс} \omega_{к} L, \quad (25)$$

де $\omega_{к}$ – площа живого перерізу потоку води в каналі, м²; $K_{тс}$ – коефіцієнт, який враховує кількість технологічних та аварійних скидів води на каналі на протяжності одного року, рік⁻¹. Для каналу, який спорожнюється на осінньо-зимовий період, коефіцієнт $K_{тс}$ розраховують за формулою:

$$K_{тс} = 1 + \Delta k_c / t_c, \quad (26)$$

де Δk_c – кількість додаткових, крім одного сезонного, технологічних та аварійних скидів, які були за-

фіксовані за останні t_c років; t_c – період часу, на протяжності якого були зафіксовані додаткові технологічні та аварійні скиди на каналі, рік.

Для каналу, який не спорожнюється на осінньо-зимовий період, коефіцієнт $K_{тс}$ розраховують за формулою:

$$K_{тс} = k_{ac} / t_c, \quad (27)$$

де k_{ac} – кількість аварійних скидів, зафіксованих на каналі за останні t_c років.

Розділ 4. Визначення нормативних втрат води на зрошувальних каналах експериментальним шляхом

Експериментальним шляхом втрати води із каналів можуть бути визначені за двома основними методами, кожен з яких має різні варіанти його здійснення.

Перший метод – це метод фільтраційних приладів, який передбачає вимірювання втрат води на фільтрацію, а іноді і на випаровування, з невеликої ділянки поверхні русла каналу за допомогою спеціальних приладів, наприклад пристрою [6, 7], який використовувався при будівництві облицювання каналу Р-9 Каховської зрошувальної системи. За результатами локальних вимірювань фільтрації прибором розраховують втрати води $[Q_{к-вт}]$ і $[G_{к-вт}]$ з усього каналу.

Основним недоліком методу фільтраційних приборів є невисока точність результатів вимірювання через складність закріплення приладів на облицюваннях каналів та необхідність штучного створення умов проходження фільтраційного потоку через прибор, ідентичних природним умовам проходження фільтраційного потоку через поверхню каналу.

Другий метод – балансово-гідрометричний, за яким здійснюють вимірювання та складання балансів об'ємів води, що надходять до русла каналу та виходять з нього. Цей метод може здійснюватись за двома основними варіантами (рис. 3).

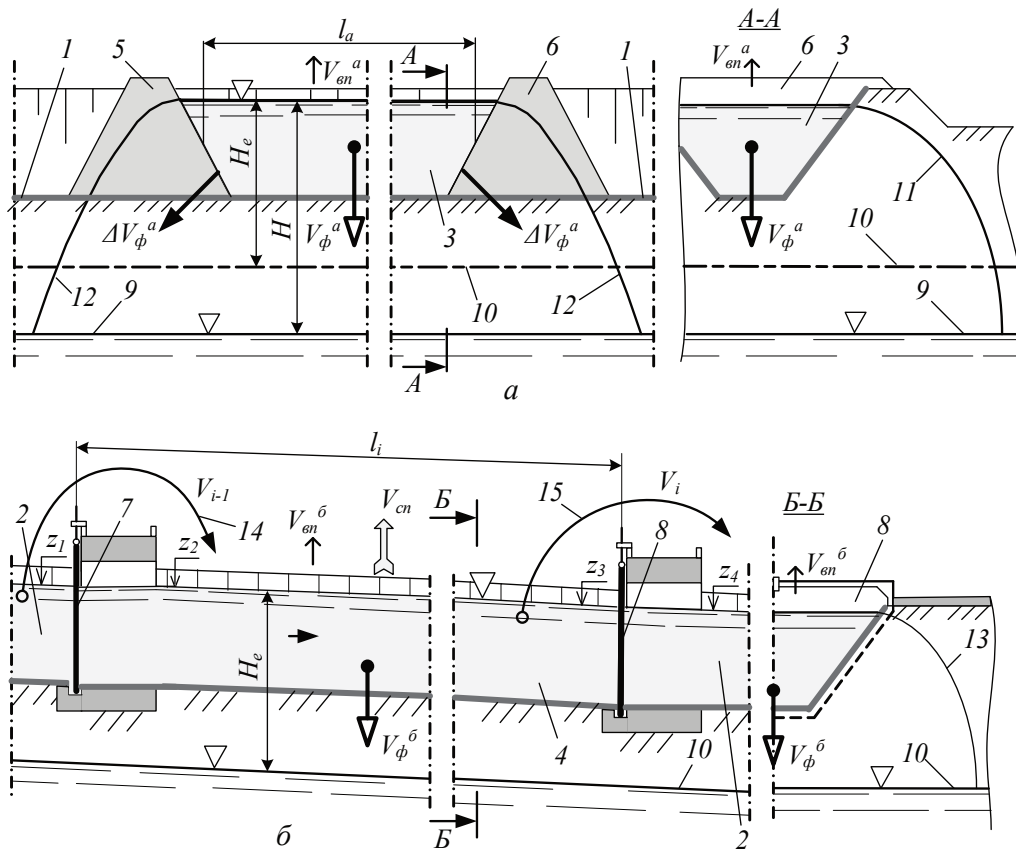


Рис. 3. Варіанти визначення втрат води на фільтрацію і випаровування з каналів балансово-гідрометричним методом

а – схема вимірювання втрат води в каналі, що тимчасово виведений з експлуатації; *б* – схема вимірювання втрат води в каналі в період його експлуатації; 1 – канал, тимчасово виведений з експлуатації; 2 – канал, що експлуатується; 3 – ділянка каналу 1; 4 – ділянка каналу 2; 5 і 6 – тимчасові загати на торцях ділянки 3; 7 і 8 – гідротехнічні споруди на каналі 2; 9 – рівень ґрунтових вод у приканальних дамбах каналу 1, виведеного з експлуатації; 10 – рівень ґрунтових вод у приканальних дамбах каналів 1 і 2 в період їх експлуатації; 11 – депресійна крива у приканальних дамбах каналу 1; 12 – депресійна крива у ґрунтових загатах 5 і 6 каналу 1; 13 – депресійна крива у бокових дамбах каналу 2; 14 і 15 – подача та відведення об’ємів води V_{i-1} і V_i на ділянці 4 каналу 2 через вимірювальні пристрої

За першим варіантом (рис. 3а) вимірювання втрат води здійснюється на каналі 1, який спорознюється в кінці зрошувального сезону. Шляхом перекриття русла каналу 1 двома загатами 5 і 6 утворюється експериментальна ділянка 3, яка заповнюється водою. За схемою на рис. 3а втрати води з каналу 1 на фільтрацію і випаровування визначають за формулою:

$$Q_{\phi}^a + Q_{en}^a = \frac{(V_1^a - V_2^a)L_1}{l_a t_a} = \frac{(V_{\phi}^a + 2\Delta V_{\phi}^a + V_{en}^a)L_1}{l_a t_a}, \quad (28)$$

де Q_{ϕ}^a і Q_{en}^a – втрати води з каналу відповідно на фільтрацію і випаровування, м³/с; t_a – тривалість експерименту, с; $(V_1^a - V_2^a)$ – експериментально визначений об’єм втраченої на фільтрацію і випаровування води з ділянки 3 на протязі періоду часу t_a , м³; V_{ϕ}^a – об’єм води, втрачений на фільтрацію через дно і приканальні дамби ділянки 3, м³; $2\Delta V_{\phi}^a$ – об’єм води, втрачений на фільтрацію через загати 5 і 6, м³; V_{en}^a – об’єм води, втрачений на випаровування, м³; l_a – довжина ділянки 3, м; L_1 – довжина каналу 1, м.

За другим варіантом (рис. 3б) вимірювання втрат води в каналі 2 здійснюють в період зрошувального сезону. За експериментальну ділянку приймається ділянка 4 каналу 2 між двома гідротехнічними спорудами 7 і 8, на яких перекривається самопливний рух води в ділянці 4. Рух води створюється штучно шляхом закачування через лічильники об’єму води V_{i-1} на споруді 7 і відкачування об’єму води V_i на споруді 8.

На крупних каналах рух води не перекривають спорудами 7 і 8, а об’єми води V_{i-1} і V_i визначають різними гідрометричними способами, пристроями або лічильниками. За схемою на рис.3б втрати води з каналу на фільтрацію і випаровування визначають за формулою:

$$Q_{\phi}^{\delta} + Q_{en}^{\delta} = \frac{(V_{i-1} - V_i - V_{cn}^{\delta})L_2}{l_i t_{\delta}} = \frac{(V_{\phi}^{\delta} + V_{en}^{\delta})L_2}{l_i t_{\delta}}, \quad (29)$$

де Q_{ϕ}^{δ} і Q_{en}^{δ} – втрати води з каналу 2 відповідно на фільтрацію і випаровування, м³/с; t_{δ} – тривалість експерименту, с; V_{i-1} – об’єм води, що подається в ділянку 4 через споруду 7, м³; V_i – об’єм води, що

відводиться з ділянки 4 через споруду 8, м³; V_{cn} – об'єм води, що споживається з ділянки 4, наприклад на зрошення, виміряний за період часу t_{σ} , м³; V_{ϕ}^{δ} – об'єм води, втрачений на фільтрацію через дно і приканальні дамби ділянки 4, м³; V_{en}^{δ} – об'єм води на випаровування з ділянки 4, м³; l_i – довжина ділянки 4, м; L_2 – довжина каналу 2, м.

Аналіз двох наведених варіантів визначення втрат води в зрошувальних каналах балансово-гідрометричним методом показав, що перший варіант, порівняно з другим, має суттєві недоліки – він більш трудомісткий, може бути застосований тільки по закінченні зрошувального сезону, а головне, він не забезпечує достатньої точності вимірювання втрат води на фільтрацію. Це пояснюється тим, що більшість зрошувальних каналів України в останні роки працюють в режимі підпертої фільтрації, величина якої залежить від рівня ґрунтових вод. Якщо в зрошувальний сезон рівень ґрунтових вод у приканальних дамбах каналу 1 знаходився на відмітці H_e відносно поверхні води в каналі, то після опорожнення каналу цей рівень опускається до відмітки H (рис. 3а). Цілком очевидно, що втрати води на фільтрацію $Q_{\phi}^a(H)$ з ділянки 3 (рис. 3а), які за формулою (28) визначаються по закінченні зрошувального сезону, будуть більшими, ніж втрати $Q_{\phi}^a(H_e)$ з цієї ділянки у зрошувальний сезон, оскільки:

$$V_{\phi}^a(H) > V_{\phi}^a(H_e), \text{ якщо } H > H_e. \quad (30)$$

Крім того, похибка вимірювання фільтрації за схемою на рис. 3а ще збільшується за рахунок того, що за цією схемою враховуються втрати води $2\Delta V_{\phi}^a$ на фільтрацію через загати 5 і 6, яких при експлуатації каналів немає.

Для практичного застосування рекомендується другий варіант (рис. 3б), за яким достовірність результатів експериментального визначення втрат води на фільтрацію і випаровування $Q_{\phi}^{\delta} + Q_{en}^{\delta}$ забезпечується: збереженням рівня ґрунтових вод у приканальних дамбах на відмітці H_e ; запобіганням проходження об'ємів води через споруди 7 і 8, що досягається умовою $z_1 = z_2$ і $z_3 = z_4$. При цьому необхідно умовою коректного визначення втрат води $Q_{\phi}^{\delta} + Q_{en}^{\delta}$ за схемою 3б є:

$$z_2^n = z_2^k; \quad z_3^n = z_3^k, \quad (31)$$

де $z_2^n, z_3^n, z_2^k, z_3^k$ – відмітки z_2 і z_3 на початку і в кінці вимірювань.

Нормативні втрати води на фільтрацію і випаровування визначаються так:

$$[G_{\kappa\phi}^*] + [G_{\kappa en}^*] = 86,4 K_o ([Q_{\kappa\phi}^*] + [Q_{\kappa en}^*]) = 86,4 K_o (Q_{\phi}^{\delta} + Q_{en}^{\delta}). \quad (32)$$

Висновки та рекомендації. У зв'язку з тим, що нині в Україні зрошується не більш 610 тис. га загальної площі 2,2 млн. га зрошуваних земель, а більша частина внутрішньогосподарських систем виведена з експлуатації, виникла актуальна потреба наукового обґрунтування технологічно виправданих втрат води на зрошувальних каналах та розробки методичних засад з корегування коефіцієнту

корисної дії каналів, які працюють в умовах зменшення корисної витрати води в них.

Встановлено, що в умовах зменшення корисної витрати води на зрошувальних каналах фактичний коефіцієнт корисної дії каналів зменшується і не відповідає коефіцієнту корисної дії, визначеному на стадії їх проектування.

Встановлено три основних фактори, що впливають на зміну у часі протифільтраційних властивостей зрошувальних каналів України, один з яких сприяє зниженню їхніх протифільтраційних властивостей, а два інших підвищенню, у зв'язку з чим при складанні водних балансів для переважної більшості зрошувальних каналів України доцільно вважати, що втрати води на протязі тривалого часу експлуатації каналів є постійними або умовно постійними.

Для переважної більшості зрошувальних каналів, за умови незначної мінливості у часі їхніх протифільтраційних властивостей, у кожному поточному році можуть бути визначені нормативні втрати води з них та поточний коефіцієнт корисної дії на основі проектних експлуатаційних характеристик каналів за формулами (6), (7), (13) і (14), якщо фактичні втрати води з каналів у поточному році не перевищують втрати води, розраховані за формулою (7).

У випадку суттєвого перевищення фактичних втрат води з каналу у зрошувальному сезоні відносно втрат води, розрахованих за формулою (7), слід встановити причину різкого підвищення фільтраційних втрат води з каналу, а нормативні втрати води з нього слід визначати іншими розрахунковими або експериментальними методами.

Серед експериментальних методів визначення втрат води на зрошувальних каналах найбільш перспективним є балансово-гідрометричний метод, який виконується за загальною схемою, наведеною на рис. 3б.

Результати отриманих досліджень з визначення технологічно виправданих втрат води на зрошувальних каналах та корегування коефіцієнту їхньої корисної дії рекомендуються для застосування водогосподарськими організаціями при складанні водних балансів на каналах в сучасних умовах їх експлуатації.

У подальшому результати досліджень можуть бути використані при обґрунтуванні критеріїв економічної ефективності зрошувальних каналів та систем залежно від режимів їх експлуатації, а також при розробці методичних засад та алгоритмів відродження зрошення в Україні та забезпечення сталого розвитку аграрного виробництва на зрошуваних землях.

Бібліографія

1. Ромащенко М.І. Концептуальні засади відновлення зрошення у Південному регіоні України / М.І. Ромащенко // Зб. Меліорація і водне господарство. – К.: – 2013. – Вип. 100. – том 1. – С. 7–17.
2. СНиП 2.06.03-85 Мелиоративные системы и сооружения. Разработаны Союзводпроектот Минводхоза СССР. Издательство Госстроя СССР. М.: – 1985.
3. ДБН В 2.4-1-99 Меліоративні системи та споруди. – К.: – 2000.
4. Аверьянов С.Ф. Фильтрация воды из каналов и ее влияние на режим грунтовых вод / С.Ф. Аверьянов. – М.: Колос, 1982. – 237 с.
5. Справочник по гидравлическим расчетам. Под ред. П.Г. Киселева. Изд. 4-е, перераб. и доп. – М.: «Энергия». – 1972. – 312 с.
6. А.с.804758 (СССР). Устройство для измерения фильтрации / В.М. Бойко, В.И. Петроченко. – Оpubл. в Б.И. – 1981. – №6.
7. Петроченко В.И. Устройство для определения фильтрационных потерь воды через деформационные швы облицовок каналов / В. И. Петроченко / – Мелиорация и водное хозяйство. Серия 5. Водохозяйственное строительство. Экспресс-информация.– М.: ЦБНТИ Минводхоза СССР. – 1984, вып. 3. – С. 8-10.

Приведены результаты исследований эффективности оросительных каналов в условиях уменьшения объемов потребления воды из них. Научно обоснованы и предложены для практического применения рекомендации для определения нормативов технологических потерь воды в оросительных каналах и корректировки коэффициента полезного действия каналов в зависимости от величины полезного расхода воды.

The results of research on the efficiency of irrigation channels in the conditions of decreased volume of water consumption of them were considered. Scientifically grounded and offered for practical application recommendations of determine standards of technological water losses in irrigation canals and adjustments efficiency of channels depending on the value of useful water consumption.