

## ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА ТА УДОСКОНАЛЕННЯ РОЗРАХУНКУ ФІЛЬТРАЦІЙНИХ ВТРАТ ВОДИ З РЕГУЛЮЮЧИХ БАСЕЙНІВ ЗРОШУВАЛЬНИХ СИСТЕМ

*Ірина Чушкіна<sup>1</sup>, Дмитро Рудаков<sup>2</sup>, Ольга Орлінська<sup>3</sup>, Геннадій Гапіч<sup>4</sup>, Наталія Максимова<sup>5</sup>, Леонід Рудаков<sup>6</sup>*

<sup>1,3,4,5,6</sup> Дніпровський державний аграрно-економічний університет  
25, Сергія Єфремова, м. Дніпро, Україна, 49000

<sup>2</sup> Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»  
19, пр. Дмитра Яворницького, м. Дніпро, Україна, 49005

<sup>1</sup> канд. техн. наук, chushkina.i.v@dsau.dp.ua, orcid.org/0000-0003-1251-6664

<sup>2</sup> докт. техн. наук, професор, rudakov.d.v@nmu.one, orcid.org/0000-0001-7878-8692

<sup>3</sup> докт. геол. наук, професор, orlinska.o.v@dsau.dp.ua, orcid.org/0000-0002-4670-7787

<sup>4</sup> канд. техн. наук, hapich.h.v@dsau.dp.ua, orcid.org/0000-0001-5617-3566

<sup>5</sup> канд. техн. наук, доцент, maksymova.n.m@dsau.dp.ua, orcid.org/0000-0003-1684-7479

<sup>6</sup> канд. с.-г. наук, доцент, rudakov.l.m@dsau.dp.ua, orcid.org/0000-0001-7277-7220

DOI: 10.32347/2524-0021.2020.34.37-43

**Анотація.** Представлено дослідження по розрахунку фільтраційних втрат води з регулюючих басейнів зрошувальних систем. Наведено загальну характеристику сучасного технічного стану гідротехнічних споруд водогосподарського комплексу країни. Показано, що за сучасних умов експлуатації рівень непродуктивних фільтраційних втрат води з регулюючих басейнів сягає близько 30%. Проведено порівняння розрахункових показників фільтрації води за трьома методами. Перший – за формулою В. В. Ведерникова, другий – за рекомендаціями діючого стандарту ДБН В.2.4-1-99 «Меліоративні системи та споруди», третій – за запропонованим авторами алгоритмом, який є прикладним застосуванням закону Дарсі. Виявлено тісний взаємозв'язок розрахункових показників за різними методами. Представлені дані по дослідженню 10 регулюючих басейнів, які розташовані у Дніпропетровській області. Встановлено, що загальні фільтраційні втрати води зі споруд складають від 1,5 до 13,5 тис. м<sup>3</sup> за місяць експлуатації. Залежно від конструктивних параметрів регулюючих басейнів та режимів їх роботи втрати води на фільтрацію в середньому складають 55 м<sup>3</sup>/місяць на 1 п. м довжини споруди. На порушених ділянках ГТС даний показник сягає понад 103 м<sup>3</sup>/місяць на 1 п. м довжини. Визначено загальні втрати води на фільтрацію у розмірі 21-28% за місяць від загального об'єму води в регулюючих басейнах. В грошовому еквіваленті при усередненій вартості води 4,5 грн./м<sup>3</sup> збитки на одному типовому регулюючому басейні розміром 100×100 м і глибиною 4 м складають близько 96 тис. грн./місяць.  
**Ключові слова:** фільтрація, втрати води, регулюючий басейн, зрошувальна система.

### ВСТУП

Відновлення зрошувального землеробства в Україні є одним з пріоритетних завдань по забезпеченню продовольчої безпеки країни [1-3]. Разом з тим, сучасна ситуація в секторі зрошення має кризовий характер, що викликано перш за все погіршенням технічного стану об'єктів

меліоративних систем внаслідок їх тривалої та неналежної експлуатації. В більшості випадків технічний стан гідротехнічних споруд (ГТС) на зрошувальних системах (ЗС) характеризується як обмежено працездатний, а загальна інженерна інфраструктура майже повністю вичерпала свій фізичний ресурс. Деякі інженерні об'єкти досягли граничного стану, при

якому їх подальша експлуатація неможлива або недоцільна [4-5].

На сьогодні одним з найбільш обмежувачих чинників подальшої експлуатації зрошувальних систем є значні втрати води на фільтрацію, які можуть сягати понад 30% і більше від загального об'єму водоподачі [6-10].

Таким чином, на сьогодні актуальним є питання визначення об'ємів непродуктивних втрат води та провадження ремонтно-відновлювальних робіт з метою підвищення коефіцієнтів корисної дії споруд і загального рівня їх технічної експлуатації.

### МЕТА І МЕТОДИ

Метою дослідження є визначення об'єму фільтраційних втрат води з регулюючих басейнів зрошувальних систем різними розрахунковими методами та порівняння отриманих результатів з відповідними фактичними даними експлуатуючих організацій.

Об'єктами досліджень виступають ГТС, які розташовані на території Дніпропетровської області. Попередньо авторами були проведенні польові дослідження з визначення технічного стану споруд та параметрів пошкоджень [11, 12].

Порівняльна оцінка фільтраційних втрат води з ГТС проведена за наступними розрахунковими методами:

- за формулою В. В Ведерникова;
- за рекомендаціями діючого стандарту ДБН В.2.4-1-99 «Меліоративні системи та споруди»;
- за запропонованим авторами алгоритмом, який є прикладним застосуванням закону Дарсі.

### РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПОЯСНЕННЯ

Загальна кількість об'єктів досліджень складала 10 регулюючих басейнів (РБ), які розташовані на території трьох районів Дніпропетровської області. Регулюючі басейни (рис. 1) представляють собою квадратні або прямокутні у плані споруди

з довжиною сторін від 50 до 100 м і середньою глибиною від 4 до 6 м. Побудовані вони у напіввиїмці-напівнасіпу та мають протифільтраційне покриття у вигляді поліетиленової плівки і залізобетонних плит. Основне призначення таких водорегулюючих споруд – утримання певного об'єму води для поливу прилеглих масивів зрошення.

Встановлення технічного стану об'єктів та визначення ділянок підвищеної фільтрації води з гідротехнічних споруд виконувалось візуально, за даними контрольно-вимірювальної апаратури та із застосуванням геофізичних методів досліджень природного імпульсного електромагнітного поля Землі і вертикального електричного зондування.

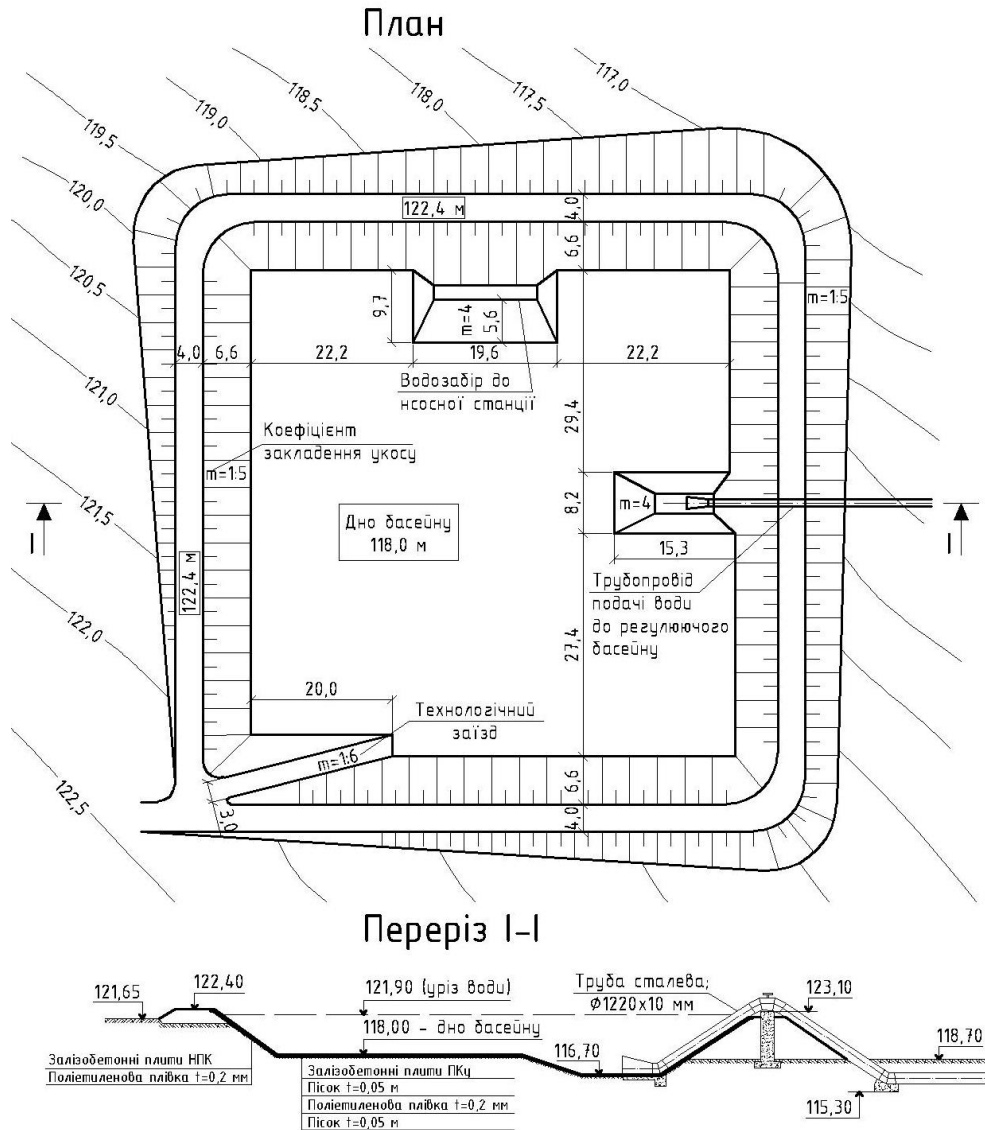
Під час оцінювання величини фільтраційних втрат води за формулою В. В. Ведерникова [13], використовували дані про рівень ґрунтових вод, встановлений за допомогою вертикального електричного зондування. Розрахунки виконані для однорідного типу ґрунту при безнапірному фільтраційному потоці, що відповідає умовам експлуатації РБ.

За даним методом питомі фільтраційні втрати води на 1 м довжини зони фільтрації визначались за наступною формулою:

$$q = K_{\phi} \cdot (B + A \cdot h_0) \cdot \left(1 + \frac{h_0 + h_k}{Y}\right), \quad (1)$$

де  $K_{\phi}$  – коефіцієнт фільтрації ґрунту у відкосі, м/добу;  $B$  – довжина від початку відкоса до точки зі сталим рівнем ґрунтових вод, м;  $A$  – коефіцієнт, який враховує бічне розтікання фільтраційного потоку;  $h_0$  – глибина води в регулюючому басейні, м;  $h_k$  – висота капілярного підйому, м;  $Y$  – глибина до водотривкого шару, м

З метою порівняння отриманих даних з іншими відомими розрахунковими методами, використано алгоритм у відповідності до рекомендацій діючого стандарту ДБН В.2.4-1-99 «Меліоративні системи та споруди», який запропонований Інститутом водних проблем і меліорації НААН України.



**Рис. 1.** Конструктивна схема регулюючого басейну. Примітка: на прикладі басейну РБ-1 Солоняно-Томаківської зрошувальної системи, село Перше Травня, Дніпровський район Дніпропетровської області

**Fig. 1.** Structural scheme of the control pool. Note: on the example of the RB-1 basin of the Solonyanano-Tomakivka irrigation system, the village of Pershe Travnnya, Dniprovskiyi district, Dnipropetrovsk region.

Відзначимо, що даний підхід передбачає визначення фільтраційних втрат води з магістральних каналів зрошувальних систем. Незважаючи, що рух води в РБ практично відсутній на відміну від магістральних каналів, а з урахуванням того, що дамби регулюючих басейнів подібні до каналів, улаштованих у насипу або у напівнасипу-напіввиїмці, а конструктивні рішення щодо облицювання гідротехнічних споруд аналогічні, то, припускаючи, що режими фільтрації усталений продовж переважаючого часу експлуатації гідротехнічних споруд, визначали

фільтраційні втрати води з регулюючого басейну за рекомендованою формулою:

$$Q_{fп} = 0,0116 \cdot \frac{k_s}{t} \left[ b(d_c + t) + 2d_c \left( \frac{d_c}{2} + \frac{m \cdot t}{\sqrt{1+m^2}} \right) \right] \sqrt{1+m^2}, \quad (2)$$

де  $t$  – товщина облицювання, м;  $b$  – ширина басейну по дну, м;  $d_c$  – глибина наповнення басейну при розрахунковій витраті, м;  $m$  – коефіцієнт закладання укосів;  $k_s$  – усереднений коефіцієнт фільтрації протифільтраційних покриттів з урахуванням швів, м/добу.

Слід відмітити, що два попередньо наведених метода мають доволі тісний кореляційний зв'язок але розраховані об'єми фільтраційних втрат води не відповідали фактичним показникам. За дослідженнями водогосподарських ділянок експлуатуючих організацій дійсні фільтраційні втрати води з РБ були більшими. У зв'язку з цим авторами був запропонований алгоритм, який є прикладним застосуванням закону Дарсі. Даний підхід до оцінювання величини втрат води враховує конструктивні параметри об'єктів та виявлених порушень їх технічного стану, а також властивості геологічного середовища і умов роботи споруд. Фільтраційні втрати  $Q$  розраховуються залежно від рівня води у регулюючому басейні  $h$  та площі водної поверхні  $S$ , як сума фільтраційних втрат через дно  $Q_b$  та відкоси у порушеному  $Q_{s1}$  та непорушеному  $Q_{s2}$  станах за формулою:

$$Q = Q_b + Q_{s1} + Q_{s2}, \quad (3)$$

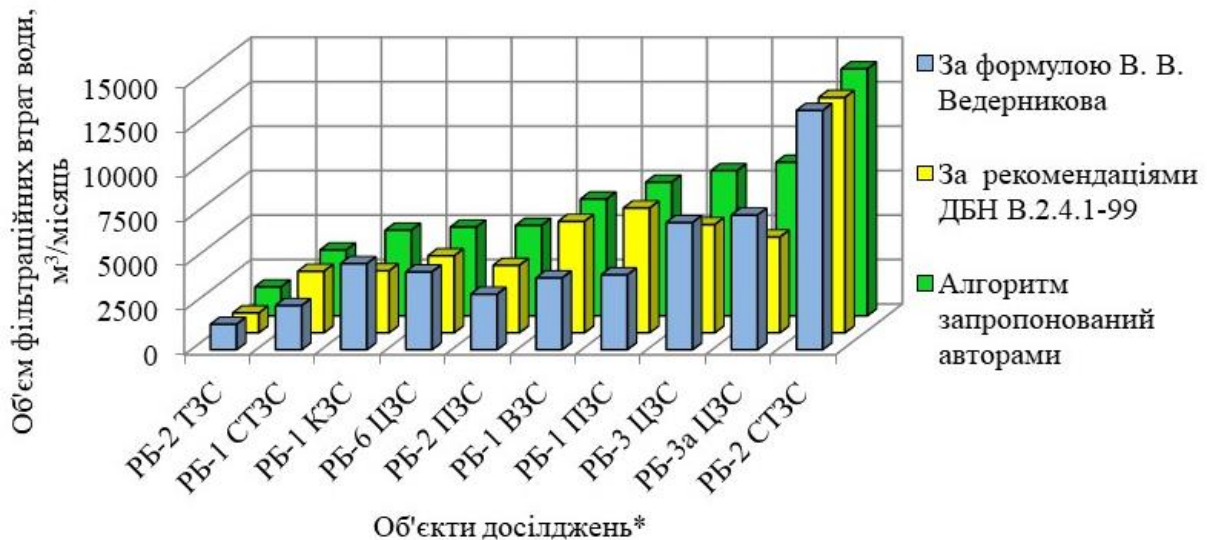
$$Q_b = k_b \cdot \frac{l_b + h_b + h_k}{l_b} + S_b, \quad (4)$$

$$Q_{s1} = k_{s1} \cdot \frac{l_{s1} + h_{s1} + h_k}{l_{s1}} + S_{s1}, \quad (5)$$

$$Q_{s2} = k_{s2} \cdot \frac{l_{s2} + h_{s2} + h_k}{l_{s2}} + S_{s2}, \quad (6)$$

де  $k_b, k_{s1}, k_{s2}$  – коефіцієнти фільтрації матеріалів дна та відкосів регулюючого басейну у порушеному та непорушеному станах, м/добу;  $l_b, l_{s1}, l_{s2}$  – потужність облицювання з урахуванням підготовки на дні, на укосах зі зруйнованим і незруйнованим облицюванням, м;  $h_b$  і  $h_{s1} = h_{s2} = h_b/2$  – середнє значення рівня води над дном та вздовж укосів басейну у порушеному і непорушеному станах відповідно, м;  $h_k$  – капілярне підняття, м;  $S_b, S_{s1}, S_{s2}$  – площа дзеркала води над дном, над відкосами басейну у порушеному і непорушеному станах, м<sup>2</sup>.

Узагальнення результатів розрахунку за різними методами представлено на рис. 2. Втрати води на фільтрацію доволі різні та коливаються від 1,5 до 13,5 тис. м<sup>3</sup> за місяць експлуатації регулюючих басейнів. Це пов'язано з різним технічним станом споруд, ступенем пошкоджень та порушених ділянок, об'ємами самих споруд та інтенсивністю наповнення і забору води.



**Рис. 2.** Порівняльна оцінка фільтраційних втрат води з регулюючих басейнів за різними розрахунковими методами. *Примітка* \*: ТЗС – Троїцька; СТЗС – Солоняно-Томаківська; КЗС – Калинівська; ЦЗС – Царичанська; ПЗС – Петриківська; ВЗС – Васильківська зрошувальні системи

**Fig. 2.** Comparative assessment of filtration water losses from control basins by different calculation methods. *Note* \*: TZS – Trinity; STZS – Solonyano-Tomakivska; KZS – Kalinovskaya; CZS – Tsarychanska; PZS – Petrykivska; VZS – Vasykivska irrigation systems

## ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

За даними польових досліджень та аналітичних розрахунків встановлено, що залежно від конструктивних параметрів регулюючих басейнів та режимів їх експлуатації втрати води на фільтрацію в середньому складають 55 м<sup>3</sup>/місяць на 1 п. м довжини споруди. На порушених ділянках ГТС даний показник сягає понад 103 м<sup>3</sup>/місяць на 1 п. м довжини. Таким чином, загальні втрати води на фільтрацію становить 21-28% у місяць від загального об'єму води в РБ. В грошовому еквіваленті при усередненій вартості води 4,5 грн./м<sup>3</sup> збитки на одному типовому регулюючому басейні розміром 100×100 м і глибиною 4 м складають близько 96 тис. грн./місяць.

Об'єктивне визначення ККД гідротехнічних споруд та рівня їх технічної експлуатації, надає змогу узгодити першочерговість проведення ремонтно-відновлювальних робіт та оцінити водогосподарську ефективність роботи.

## ЛІТЕРАТУРА

1. **Ромашенко М. І. та ін.** Управління процесом відновлення та сталого використання зрошення. Меліорація і водне господарство. Київ: ІВПіМ, 2014. Вип. 101. С. 137-147.
2. **Вожегова Р. А., Голобородько С. П., Грановська Л. М., Сахно Г. В.** Зрошення в Україні: реалії сьогодення та перспективи відродження. Міжвід. темат. наук. зб. Зрошуване землеробство.. Херсон: НБУВ, 2013. №60. С. 3-12.
3. **Ромашенко М. І. та ін.** Водна безпека – запорука сталого розвитку України. Вісник аграрної науки. Київ, 2018. №11(788). С. 177-185. doi.org/10.31073/agrovisnyk201811-22.
4. **Ромашенко М.І. та ін.** Наукові засади відновлення та розвитку зрошення в Україні в сучасних умовах. Меліорація і водне господарство. Київ: ІВПіМ, 2017. Вип. 106 (2). С. 3-14.
5. **Ромашенко М. І., Хвесик М. А., Михайлов Ю. О. та ін.** Водна стратегія України на період до 2025 року (наукові основи). К., 2015. 46 с.
6. **Петроченко В. І., Петроченко О. В., Розгон В. А.** Обґрунтування технологічних нормативів втрат води на зрошувальних каналах в умовах зменшення корисної витрати води в них. Меліорація і водне господарство. Київ: ІВПіМ, 2015. Вип. 102. С.62-69.

7. **Петроченко В. І., Петроченко О. В., Куліков О. П.** Інноваційний розвиток технологій будівництва протифільтраційних споруд. Меліорація і водне господарство. Київ: ІВПіМ, 2019. Вип. (2). С.231 - 242. <https://doi.org/10.31073/mivg201902-191>

8. **Щедрин В.Н. Косиченко Ю.М., Шкуланов Е. И. и др.** Безопасность гидротехнических сооружений мелиоративного назначения. Москва, 2011. 105 с.

9. **Рудаков Л. М., Гапич Г. В.** Сучасний стан, динаміка змін та перспективи розвитку гідротехнічних меліорацій у Дніпропетровській області. Меліорація і водне господарство. Київ: ІВПіМ, 2019. Вип. 1. С. 54-60. doi.org/10.31073/mivg201901-161.

10. **Рудаков Д., Тимошук В., Глущенко Н.** Вплив фільтрації лужних розчинів на деформаційні прояви в ґрунтовій основі інженерних споруд. Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, Серія «Геологія. Географія. Екологія». 2020. № 51. С. 83-94. doi.org/10.26565/2410-7360-2019-51-06.

11. **Орлінська О. В., Чушкіна І. В.** Визначення технічного стану регулюючих басейнів в Синельниківському, Солонянському та Царичанському районах Дніпропетровської області. Меліорація та водокористування: матеріали наук. – практ. конф., 30 вересня 2016р. Мелітополь: ТДАТУ, 2016. С. 25-27.

12. **Орлінська О. В., Рудаков Л. М., Чушкіна І. В., Гапич Г. В.** Визначення втрат води з регулюючого басейну РБ-6 Царичанської зрошувальної системи за поливний період. Управління водними ресурсами в умовах змін клімату: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. присвяченої Всесвітньому дню водних ресурсів 21 березня 2017 р. Київ: ІВПіМ, 2017. С.104-105.

13. **Ведерников В. В.** Теория фильтрации и ее применение в области ирригации и дренажа. М.: Госстройиздат. 1939. 248 с.

## REFERENCES

1. **Romashchenko, M. I., Zhovtonoh, O. I., Kruchenyuk, V. D., Saydak, R. V., & Knysh, V. V. (2014).** Upravlinnya protsesom vidnovlennya ta stalogo vikoristannya zroshennya [Management of the process of restoration and sustainable use of irrigation]. *Melioratsiya i vodne gospodarstvo*, 101, 137-147. [in Ukrainian].
2. **Vozhegova, R. A., Goloborod'ko, S.P., Granovs'ka, L. M. & Sahno, G. V. (2013).** Zro-

shennya v Ukraini: realii s'ogodennya ta perspektyvy vidrozhennya [Irrigation in Ukraine: current realities and prospects for revival]. *Zroshuvane zemlerobstvo*, 60, 3-12. [in Ukrainian].

3. **Romashchenko, M. I., Yatsyuk, M. V., Shevchuk, S. A., Shevchenko, A. M., Danylenko, Yu. Yu., Matyash, T. V. (2018).** Water security is the key to sustainable development of Ukraine. *Visnik agrarnoi nauki.*, 11(788), 177-185. doi: 10.31073/agrovisnyk201811-22.

4. **Romashchenko, M. I., Yatsyuk, M. V., Zhovtonoh, O. I., Dekhtyar, O. O., Saydak, R. V., & Matyash, T. V. (2017).** Naukovi zasady vidnovlennya ta rozvitku zroshennya v Ukraini v suchasnykh umovakh [Scientific principles of restoration and development of irrigation in Ukraine in modern conditions]. *Melioraciya i vodne gospodarstvo*, 106(2), 9-14. [in Ukrainian].

5. **Romashchenko, M. I., Hvesik, M. A. & Mihajlov, Yu. O. (2015).** *Vodna strategiya Ukrainy na period do 2025 roku (naukovi osnovy)* [Water strategy of Ukraine for the period up to 2025 (scientific bases)]. Kiev. [in Ukrainian].

6. **Petrochenko, V. I., Petrochenko, O. V. & Rozgon, V. A. (2015).** Obgruntuvannya tekhnologichnykh normativiv vtrat vody na zroshuvalni kanalakh v umovakh zmeshennya korisnoi vibrati vody v nyh [Substantiation of technological standards of water losses on irrigation canals in the conditions of reduction of useful water consumption in them]. *Melioraciya i vodne gospodarstvo*, 102, 62-69.

7. **Petrochenko, V. I., Petrochenko, O. V. & Kulikov, O. P. (2019).** Innovative development of technologies for construction of anti-leakage structures. *Melioraciya i vodne gospodarstvo*, 2, 231-242. doi: 10.31073/mivg201902-191.

8. **Shchedrin, V. N. Kosichenko, Yu. M. & Shkulanov, E. I. (2011).** *Bezopasnost' gidrotekhnicheskyyh sooruzhenij meliorativnogo*

*naznacheniya*. [Safety of hydraulic structures of reclamation purpose]. Moskva. [in Russian].

9. **Rudakov, L. M., & Hapich, H. V. (2019).** Current state, dynamics of changes and prospects for the development of hydraulic reclamation in the Dnipropetrovsk region. *Melioraciya i vodne gospodarstvo*, 1, 54-60. doi: 10.31073/mivg201901-161.

10. **Rudakov, D., Timoshchuk, V. & Glushchenko, N. (2020).** Influence of filtration of alkaline solutions on deformation manifestations in the soil basis of engineering structures. *Visnik Harkivs'kogo nacional'nogo universitetu imeni V. N. Karazina, Seriya «Geologiya. Geografiya. Ekologiya»*, 51, 83-94. doi: 10.26565/2410-7360-2019-51-06.

11. **Orlinska, O. V. & Chushkina, I. V. (2016).** Vyznachennya tekhnichnogo stanu reguluyuchih basejniv v Sinelnikivskomu, Solonyanskomu ta Carichanskomu rajonakh Dnipropetrovskoї oblasti. [Determining the technical condition of regulatory basins in Synelnykivsky, Solonyansky and Tsarychansky districts of Dnipropetrovsk region]. *Melioraciya ta vodokoristuvannya: materialy nauk.-prakt. konf., 30 veresnia 2016, Melitopol*, 25-27. [in Ukrainian].

12. **Orlinska, O. V., Rudakov, L. M., Chushkina, I. V. & Gapich, G. V. (2017).** Vyznachennya vtrat vodi z reguluyuchogo basejnu RB-6 Carichans'koї zroshuval'noї sistemi za polivnij period [Determination of water losses from the control basin RB-6 of the Tsarychansk irrigation system during the irrigation period]. *Upravlinnya vodnimi resursami v umovakh zmin klimatu: materialy Mizhnar. nauk.-prakt. konf. prisyachenoї Vsesvitn'omu dnyu vodnih resursiv, 21 bereznia 2017. Kiev*, 104-105. [in Ukrainian].

13. **Vedernikov, V. V. (1939).** *Teoriya filtracii i ee primenenie v oblasti irrigacii i drenazha* [The theory of filtration and its application in the field of irrigation and drainage]. Moscow [in Russian].

## Comparative evaluation and improvement of calculation of filtration losses of water from regulating pools of irrigation systems

*Irina Chushkina, Dmitry Rudakov, Olga Orlinskaya,  
Hennadii Hapich, Natalia Maksimova, Leonid Rudakov*

**Abstract.** The research on calculation of filtration losses of the water from regulating ponds the irrigation systems is presented. The general characteristic of the modern technical condition the shown that under modern operating, conditions the level of unproductive filtration losses of water from the regulating ponds reaches about 30%. A comparison was made of the calculated indicators of water filtration by three methods. The first experiment was performed according to the formula of V. V. Vedernikov, the second was done due to the recommendation of the current standard DBN B.2.4-1-99 «Reclamation systems and structures», the third was proposed by the authors of the algorithm, which is an applied application of Darcy's law. The close connection relationship between the calculated indicators by different methods has been revealed. The data about 10 regulatory ponds located in the Dnipropetrovsk region are presented. It is proven that the total filtration losses of water from buildings range from 1.5 to 13.5 thousand m<sup>3</sup> per month of operation. Depending on the design parameters of the regulating ponds and their modes of operation, the water loss for filtration is on average 55 m<sup>3</sup> / month per 1 year of the length of the structure. In the disturbed sections of the GTS, this figure reaches more than 103 m<sup>3</sup> / month per 1 m of length. It is determined that the total loss of water for filtration is 21-28% per month of the total volume of water in the regulating ponds. In monetary terms, with an average water cost of UAH 4.5 / m<sup>3</sup>, the losses in one typical regulating pond which has the measure of 100×100 m and 4 m deep are about UAH 96,000 / month.

**Key words:** filtration, water losses, regulating pond, irrigation system.

*Стаття надійшла до редакції 1.12.2020*