

УДК 532.546.626

МОДЕЛЮВАННЯ ФІЛЬТРАЦІЇ ІЗ СПОРУД З ЕКРАНАМИ ДЛЯ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИРОДООХОРОННИХ ЗАХОДІВ

*Ю. О. Березницька;
О. С. Волошкіна, д-р техн. наук, проф.
(Київський національний університет
будівництва і архітектури)*

Для оцінки і прогнозу підтоплення і забруднення прилеглих територій до водойм різного призначення (каналів, хвостосховищ тощо) з екранами різних конструкцій проведено аналіз методу фільтраційних опорів для розрахунку фільтраційних витрат із споруд. Запропоновано методуку врахування додаткового фільтраційного опору на недосконалість конструкції протифільтраційного екрану.

Для оценки и прогноза подтопления и загрязнения прилегающих территорий к водоемам разного назначения (каналам, хвостохранилищам и т. д.) с экранами разных конструкций проведен анализ метода фильтрационных сопротивлений для расчета фильтрационных потерь из сооружений. Предложена методика учета дополнительного фильтрационного сопротивления на несовершенство конструкции противофильтрационного экрана.

For an estimation and prognosis of underflooding and contamination of adherent territories to the reservoirs of the different setting (to the channels, tailings pond et cetera) with the screens of different constructions the analysis of method of lauter resistances is conducted for the calculation of lauter losses from building. Methodology of account of additional lauter resistance is offered on imperfection of construction of antilauger screen.

Найбільші витрати п'єзометричного напору при фільтрації із споруд з екранами (відстійники, хвостосховища, шламонакопичувачі тощо) існують при проходженні потоку через екран. При цьому залишковий напір, який встановлюється після проходження фільтраційного потоку через екран, залежить від його конструкції.

© Ю. О. Березницька, О. С. Волошкіна, 2011

Розділ 2. Основи природокористування та безпека життєдіяльності

В роботі [1] була запропонована методика визначення витрат із споруд з екранами в умовах усталеної фільтрації з урахуванням значень фільтраційних опорів на споруді. Можливість та доцільність методики зумовлені наявністю зони різкої деформації потоку поблизу відстійника, яка, звичайно, не розповсюджується за межі однієї-двох товщин потоку, і за умови $B > 0,25m$, де B – ширина водойми, m – потужність водоносного горизонту.

Розрахункова формула для одностороннього погонного відтоку від каналу або відстійника з екраном має такий вигляд:

$$q = \frac{H_k T}{\Phi + \sqrt{\frac{TZ_0}{E_0}}} \quad (1)$$

$$\Phi = \Phi_k + \Phi_x, \quad (2)$$

де Φ_k – фільтраційний опір, який враховує гідродинамічну недосконалість відстійника;

Його значення визначається за рекомендованими формулами [6]:

для одношарового ґрунту:

$$\Phi_k = mf \quad (3)$$

для двошарового ґрунту:

$$\Phi_k = \beta_s m \frac{k_2}{k_1} f + m_1 \frac{k_1 - k_2}{k_1} f_1; \quad (4)$$

$$f_i = 0,73 \lg \frac{m_i}{\pi 0,28 P_k}; \quad (5)$$

для тришарового ґрунту:

$$\Phi_k = \frac{T_1 + T_2}{T_1} \Phi_{k1} + \frac{T_1}{T_2} \frac{0,5}{c} \frac{ch\bar{B} - 1}{sh\bar{B}}. \quad (6)$$

де Φ_x – фільтраційний опір, який враховує конструкцію протифільтраційного екрану та визначається за рекомендованою формулою:

$$\Phi_x = \frac{\alpha}{1-\alpha} \frac{TH_k}{q}. \quad (7)$$

В формулах (1)–(7): T – середня провідність водоносної товщі, H_k – відстань від урізу води у водоймі до рівня ґрунтових вод, m – потужність шару ґрунту; P_k – змочений пери-

метр каналу; $\bar{B} = 0,5cB$; B – ширина каналу; $c = \sqrt{\frac{k_2 T}{m_2 T_1 T_2}}$; Z_0

– критична глибина ґрунтових вод при інтенсивності випаровування E_0 .

Коефіцієнт α залежить від співвідношень коефіцієнтів фільтрації ґрунту та екрану ($K_{ep} / K_{екр}$), товщини екрану δ . Визначається коефіцієнт α з графіків, які рекомендовані в роботі [1] і побудовані за допомогою експериментальних даних (рис. 1):

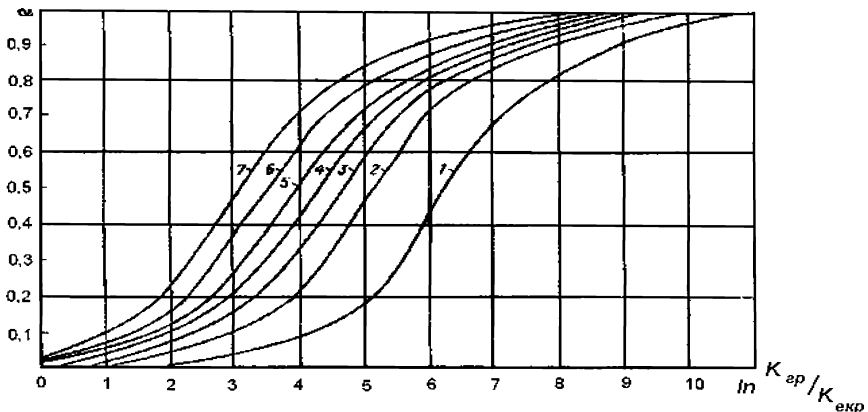


Рис. 1. Графік для визначення коефіцієнта α при товщині облицювання δ :

- 1 – 1 см, 2 – 3 см, 3 – 5 см, 4 – 7 см,
5 – 10 см, 6 – 15 см, 7 – 20 см

Розділ 2. Основи природокористування та безпека життєдіяльності

В практиці експлуатації при роботі захисних споруд досить часто виникає випадок нестационарної фільтрації в ґрунті, коли перша стадія фільтрації промочування ґрунту – включає в себе період насичення пор матеріалу екрану.

Рівняння для визначення втрат напору при проходженні через екран має вигляд:

$$\frac{d}{dx} \left(K_{\text{екр}} \frac{dh}{dt} \right) \Bigg|_{t=t_3}^{x=x_4} = \frac{n}{\delta} \cdot \frac{dh}{dt} \Bigg|_{t=t_4}^{x=x_3}, \quad (8)$$

де t_2, t_4, x_2, x_4 – проміжні точки довільних інтервалів $t_1 t_2$ та $x_1 x_2$. Переходячи до ліміту $x_1 x_2 \rightarrow x$ та $t_1 t_2 \rightarrow t$, розрахункове рівняння матиме вигляд:

$$\beta \frac{d^2 h}{dx^2} = \frac{dh}{dt}, \quad \text{де } \beta = \frac{K_{\text{екр}} \delta}{n_{\text{екр}}}. \quad (9)$$

Отже, задача про зменшення напору при фільтрації через екран зводиться до рішення рівняння (5) з початковими та граничними умовами:

$$h(-\delta, 0) = -h_k; \quad h(-\delta, t) = -h_k; \quad \frac{dh(0, t)}{dx} = \frac{\delta + h_k}{\delta}. \quad (10)$$

Остання умова забезпечує постійний градієнт виходу фільтраційного потоку на границі $x = 0$.

На основі аналітичного розв'язку задачі проходження потоку через екран можна визначити витрати п'єзометричного напору. В роботах [2, 3] отримано теоретичне значення фільтраційного опору Φ_x , який викликає конструкція екрану в цьому випадку:

$$\Phi_x = \left[1 - \frac{h_k}{h_k + (h_k + \delta \sum_{n=1}^{\infty} \frac{z}{\mu_n^2} \cos \mu_n \frac{x}{\delta} \exp(-\mu_n^2 \frac{\beta t_n}{\delta}))} \right] \times \frac{TH_{\kappa}}{q}, \quad (11)$$

де t_n – період промочування екрану; h_k – глибина води в споруді; $n_{\text{екр}}$ – пористість екрану (у випадку бетонного екрану

вона дорівнює 10–12% для монолітного і для збірного – 8–10%); μ_n – корінь трансцендентного рівняння $\mu_n = (2n-1)\frac{\pi}{2}$.

Перевіримо на конкретних прикладах запропоновану методику.

Розрахуємо фільтраційний опір для каналу з наступними параметрами:

Візьмемо для прикладу типову схему гідрогеологічного розрізу по створу ПК51-50 Північно-Рогачинського магістрального каналу (Запорізька область):

Водоносний горизонт ґрунтових вод в четвертинних відкладеннях, представлених лесоподібними суглинками різного механічного складу від легких та важких, супісками та глинистими пісками.

Коефіцієнт фільтрації першого шару ґрунту $k_1=0,022$ м/добу, $m_1=3,28$ м.

Водопровідність $T_1=0,6$ м²/добу.

Пористість ґрунту $n=0,454$.

Швидкість фільтрації з каналу $W=0,037$ м³/добу.

Потужність роздільного шару $m_2=10,7$ м.

Коефіцієнт фільтрації роздільного шару $k_2=0,005$ м/добу.

Підошвою водоносного комплексу слугують червоно-бурі глини, з яких виконано облицювання каналу $\delta=20$ см, $k_{\text{скр}}=0,005$ м/добу.

Положення рівня ґрунтових вод розраховане за формулами [4]:

$$h = h_0 + H_k^\circ 1^{-\bar{x}}, \quad (12)$$

де $H_k = h_k - h_0$, $H_k^\circ = \frac{H_k}{\alpha\Phi + 1}$, $\bar{x} = xa$, $a = \sqrt{\frac{\varepsilon_0}{Tz_0}}$, h_0 – глибина

рівня ґрунтових вод, при якій $\varepsilon=0$, T – середня провідність водоносної товщі.

Результати розрахунків наведені у таблиці 1 та рис 2.

Порівнюючи дані фактичного рівня ґрунтових вод та розрахунків за запропонованими формулами (7) та (11), можна зробити висновок, що аналітичне рішення за формулою (11)

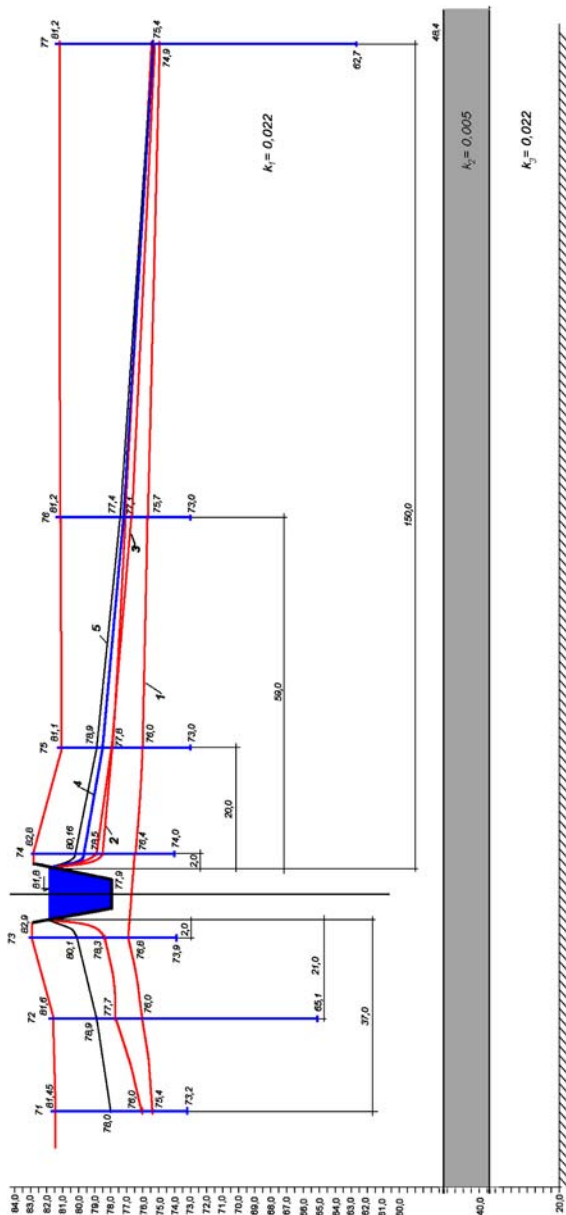


Рис. 2. Приклад моделювання фільтрації з облицьованого магістрального каналу ($K_{вп} = 0,005$) на зрошувальній системі

1 – фактичний рівень ґрунтових вод в початковий момент часу; 2 – фактичний рівень ґрунтових вод, який встановився через 70 діб; 3 – розрахований рівень ґрунтових вод для каналу за методом фільтраційних опорів з врахуванням Φ_x за формулою (11); 4 – розрахований рівень ґрунтових вод для каналу за методом фільтраційних опорів з врахуванням Φ_x за формулою (7); 5 – розрахований рівень ґрунтових вод для каналу за методом фільтраційних опорів без врахування Φ_x .

Таблиця 1

Геологічна будова водоносного горизонту	Односторонній погонний відтік з каналу q , м ² /добу	Фільтраційний опір Φ , м	Розраховане положення рівня ґрунтових вод поблизу каналу / фактичне положення рівня ґрунтових вод поблизу каналу на відстані			
			2,0	20,0	59,0	150,
Двошарова будова	0,052	11,6	80,9 78,5	79,5 77,8	77,7 77,1	75,5 75,53
без врахування Φ_x						
Тришарова будова	0,049	27,12	80,16 78,5	78,9 77,8	77,4 77,1	75,4 75,53
з врахуванням Φ_x з формулою (7)						
Тришарова будова	0,042	27,12+13,5	79,7 78,5	78,5 77,8	77,15 77,1	75,35 75,53
з врахуванням Φ_x за формулою (11)						
Тришарова будова	0,033	27,12+46,3	78,9 78,5	77,9 77,8	76,8 77,1	75,25 75,53

дає більш наближені до реальних результати у випадку тришарової будови водоносної товщі.

Висновки

1. Фільтраційні витрати із споруд з екранами можуть бути розраховані з використанням методу фільтраційних опорів, але при цьому необхідно враховувати додатковий опір Φ_x , який відповідає продовженню шляху фільтрації за рахунок конструкції екрану та визначається згідно з запропонованими формулами. Нехтування величиною Φ_x призводить до завищених результатів розрахунків кривої депресії на підтоплених територіях.

2. Формули для розрахунку величини Φ_x для споруд з екранами не враховують ширину водойми по дну і можуть бути використані для широких каналів та хвостосховищ різного призначення для оцінки та прогнозу підтоплення та забруднення прилеглих територій.

3. Для розрахунку фільтраційних витрат із споруд з екранами можна використовувати таблицю для визначення Φ_x запропонова-

Розділ 2. Основи природокористування та безпека життєдіяльності

ну в роботі [5], дані якої отримані на основі роботи облицьованих ділянок каналів в польових умовах.

* * *

1. Волошкина Е. С. Расчет фильтрационных потер облицованных каналов по методу фильтрационных сопротивлений / Е. С. Волошкина, Л. Е. Чернышевская // Сб. «Мелиорация и водное хозяйство». – 1988. – Вып. 68. – С. 76–81.

2. Волошкина Е. С. К расчету фильтрации из облицованных каналов оросительных систем / Е. С. Волошкина // Сб. «Мелиорация и водное хозяйство». – 1989. – Вып. 70. – С. 75–79.

3. Волошкіна О. С. Дослідження фільтрації ґрунтових вод на підтоплених сільськогосподарських територіях / О. С. Волошкіна, Ю. О. Березницька // Зб. наукових праць «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях». – 2010. – С. 291–295.

4. Ляшко И. И. Расчет фильтрации в зоне гидросооружений / И. И. Ляшко, Г. Е. Мистецкий, А. Я. Олейник. – К.: Будівельник, 1980. – 152 с.

5. Проектування протифільтраційних облицювань і кріплень каналів зрошувальних систем / посібник до ДБН В.2.4.-1-99 «Меліоративні системи та споруди». – К.: УААН, Держводгосп, 2002. – 39 с.

6. Олейник А. Я. Геогидродинамика дренажа / А. Я. Олейник. – К.: Наук. думка, 1981. – 284 с.

Отримано: 24.03.2011 р.