УДК 626.862:628.1
DOI: http://doi.org/10.17721/1728-2713.90.12

В. Левицька, асп.,
E-mail: veral@ukr.net,
ORCID iD 0000-0003-2213-1696;
П. Хоружий, д-р техн. наук, проф., голов. наук. співроб.,
E-mail: petro1939@bigmir.net,
ORCID iD 0000-0002-9433-361X
Інститут водних проблем і меліорації НААН,
вул. Васильківська, 37, Київ-22, Україна

ВЗАЄМОДІЯ ДРЕНАЖНИХ СВЕРДЛОВИН У ПРОТИФІЛЬТРАЦІЙНИХ ЗАВІСАХ

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, старш. наук. співроб. О.Л. Шевченком)

Проаналізовано зниження рівнів води в дренажних свердловинах берегової протифільтраційної завіси при сифонному способі водовідбору з них. Розглянуто взаємодію водопонижувальних свердловин з різними глибинами та розташованих на перемінних відстанях одна від одної, що дає змогу забезпечити рівномірне водовідведення з кожної свердловини та досягти сталого зниження рівня ґрунтових вод по всій довжині протифільтраційної завіси (на прикладі захисту від підтоплення лівобережних територій Каховського водосховища). Наведено результати виконаних аналітичних досліджень. На прикладі Кам'янка-Дніпровської протифільтраційної завіси показано, що зниження рівнів води у свердловинах, за однакових витрат з кожної відкачуваної води, залежать від їхньої гідравлічної взаємодії, гідрогеологічних умов фільтрування води з водоносного пласта та відстані протифільтраційної завіси від урізу води у водосховищі.

Одержані результати свідчать, що найбільший рівень водозниження берегової вертикальної протифільтраційної завіси із сифонним способом водовідведення із свердловин досягається на відстані ряду свердловин від урізу води Каховського водосховища а = 100 м, за однакових витрат води з кожної із дренажних свердловин (Q = 604,8 м^3/добу), розташованих на різних відстанях одна від одної. Найвищий показник додаткового зниження води, одержаного через взаємний гідравлічний вплив, отримано в 7-й свердловині, глибиною 14,9 м, розташованій на відстані 100 м від 6-ї свердловини та на відстані 110 м від 8-ї свердловини. Найнижчий показник рівня зниження ґрунтових вод за різних показників відстані ряду дренажних свердловин до врізу води а (30, 50, 80, 100 м) спостерігається в найвіддаленішій від водозбірного колодязя першій свердловині.

Ключові слова: протифільтраційна завіса, дренажна свердловина, сифонний водовід, витрати води, водоносний горизонт, Каховське водосховище, зниження рівнів води.

Постановка проблеми. Для захисту територій від підтоплення з водосховищ Дніпровського каскаду застосовуються дренажні системи у вигляді лінійного ряду вертикальних свердловин з відборами води з них різними способами, що створює протифільтраційну завісу (ПФЗ), економічність і надійність якої залежить в основному від способу піднімання води на поверхню землі та транспортування її до водозбірного колодязя. Наші дослідження (*Хоружий і Левицька, 2016, 2017; Левицька і Хоружий, 2019; Вертикальний дренаж…, 2019*) показали, що одним з ефективних методів забору та відведення води з дренажних свердловин є застосування вакуумного сифонного методу з різними глибинами дренажних свердловин і перемінними відстанями між ними, що забезпечує приблизно однакову витрату води з кожної свердловини, тобто більш рівномірне зниження рівня ґрунтових вод по всій довжині ПФЗ.

Проте гідрогеологічні розрахунки берегових дренажних свердловин, що забирають воду з водоносного горизонту, розташованого у підпорі від водосховища, мають свою специфіку, яка полягає в тому, що продуктивність дренажних свердловин визначається обсягами фільтраційних втрат з водосховища і залежить від відстані *а* (рис. 1) ряду дренажних свердловин від урізу води у водосховищі та від фільтраційних характеристик ґрунтів (*Пояснювальна записка…, 2016*).

Тому при гідрогеологічних розрахунках дренажних свердловин треба враховувати ці особливості.

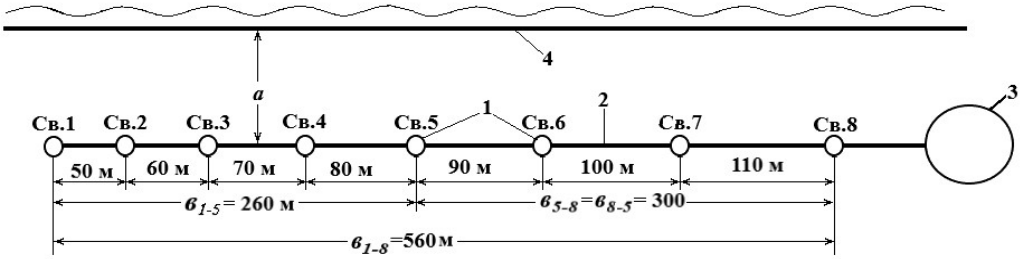

Рис. 1. Схема розташування дренажних свердловин із сифонним збірним водоводом ПФЗ від підтоплення територій з водосховищ:
1 – дренажні свердловини; 2 – сифонний збірний водовід; 3 – водоприймальний колодязь;
4 – берег водосховища: *а* – відстані дренажних свердловин від урізу води у водосховищі;
в – відстані кожної свердловини від даної (розглянутої) свердловини

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При виборі методики розрахунків було досліджено відповідну літературу (*Абрамов и др.,1960; Абрамов,1961; Басниев,1986; Биндеман, Язвин, 1970; Бочевер, 1969; Гальперин и др., 2009; Ломакин и др., 1988; Лукнер и Шестаков, 1986; Методы фильтрционных расчетов…, 1970; Никитин, 1990; Олейник, 1978; Олейник и Поляков, 1987; Основы гидрогеологических расчетов, 1969; Пособие по проектированию…,1989; Романов, 1959; Чайдс, 1973; Шестаков, 1965; Шкинкис, 1981; Эггельсман, 1984; Chapman, 1980*) При виконанні гідрогеологічних розрахунків дренажних свердловин у ПФЗ від підтоплення територій із водосховища зазначені вище автори рекомендують ураховувати існуючі гідрогеологічні умови припливу води до свердловин з урахуванням їхньої гідравлічної взаємодії, що залежать від відстаней свердловин між собою та відстані до врізу води у водосховищі.

Виділення нерозв'язаних раніше частин загальної проблеми. Проблема відведення фільтраційних вод Каховського водосховища залишається актуальною, оскільки рівень води у водосховищі був піднятий на 11 м у створі м. Нікополь – Кам'янка-Дніпровська. Води водо-

© Левицька В., Хоружий П., 2020

сховища через активну фільтрацію крізь тіло дамби й обхідну фільтрацію постійно підживлюють ґрунтові води, особливо Лівобережжя. Діюча ПФЗ з ерліфтною системою водовідведення на даній території малоефективна, оскільки фільтраційні води насичені розчинними формами заліза, які після взаємодії з киснем повітря, що нагнітається компресорними станціями до ерліфтних установок, утворюють нерозчинний осад, який кольматує фільтрові зони свердловин, підвищуючи гідрологічний опір, що призводить до зростання рівнів ґрунтових вод на зазначеній території. Розв'язанню проблеми підвищення ефективності Кам'янської ПФЗ шляхом удосконалення фільтрувального завантаження займався В.Д. Крученюк Проте новий спосіб не став широко використовуватися через складність дотримання нової технології. Нами запропоновано альтернативний сифонний спосіб водовідведення за допомогою вакууму.

Формулювання цілей статті. Метою аналітичних досліджень дренажних свердловин було встановлення характеру гідравлічного зв'язку між ними і впливу одна на одну при відкачуванні води з водоносного горизонту алювіальних відкладів, що живиться від відкритої водойми. Водовмісними породами водоносного горизонту є піски, у нижній частині розрізу присутні гальки, лінзи супісків і суглинків із вкрапленнями залізовмісних порід. Глибина залягання шару коливається в межах від часток метра в заплаві ріки до 7–8 м. Водоупором алювіального водоносного шару є зеленувато-сірі глини харківської світи палеогену. Горизонт безнапірний. Джерелом живлення горизонту є атмосферні опади і підтік ґрунтових вод з боку берега. (*Пояснювальна записка…, 2016*). Водовмісними породами водоносного горизонту сарматського ярусу неогену є дрібнозернисті піски. Водоупором цього горизонту є глини сарматського періоду. Горизонт слабонапірний. Живлення горизонту відбувається через міграцію з вищих горизонтів інфільтрації атмосферних опадів і поверхневих вод по балках і терасах, де відклади залягають близько до поверхні. Глибина водоносного горизонту тріщинуватої зони кристалічних порід залежить від рельєфу місцевості та гіпсометрії кристалічного фундаменту. Геолого-літологічний розріз м. Кам'янка-Дніпровська показано на рис. 2, де показано рівень ґрунтових вод при роботі ПФЗ.

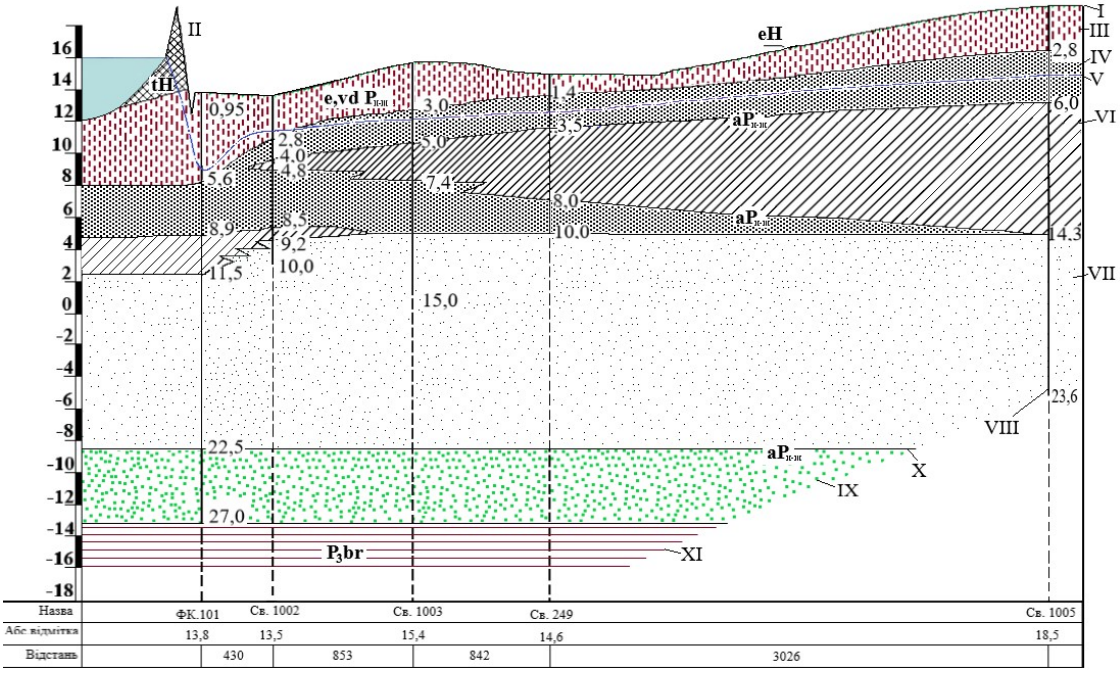

Рис. 2. Геолого-літологічний розріз території м. Кам'янка-Дніпровська:
I – ґрунтово-рослинний шар; II – насипний ґрунт; III – лесоподібні суглинки; IV – пісок пилуватий та дрібнозернистий, жовтий і жовто-сірий; V – рівень ґрунтових вод (за умов дії протифільтраційної завіси); VI – суглинок сірий із плямами озалізнення; VII – пісок різнозернистий, сірий; VIII – свердловина, пісок; IX – пісок різнозернистий, сірий з гравієм; X – літологічні межі; XI – глина зеленувато-сіра, щільна; eH – сучасні елювіальні відклади; tH – сучасні техногенні відклади, e, vd $P_{III–II}$ – верхньочетвертинні елювіальні, еолово-делювіальні відклади; $aP_{II–III}$ – середньоверхньочетвертинні алювіальні відклади; P_3br – глини берекської світи олігоцену у складі полтавської серії

На прикладі Кам'янка-Дніпровської ПФЗ досліджувались дренажні свердловини із сифонним водовідбором і відстанями, що збільшуються у напрямку до водоприймального колодязя, та глибинами цих свердловин, які послідовно зменшуються у цьому напрямку (рис. 1). Дослідження спрямовані на забезпечення водозниження за стобільно однакової витрати води з кожної свердловини за різних величин всмоктуючого тиску в них, який зростає в напрямку від кінцевої свердловини на шляху сифонного збірного водоводу і до водоприймального колодязя.

При аналітичних розрахунках дренажних свердловин вивчався гідрогеологічний зв'язок як між усіма свердловинами, так і з Каховським водосховищем, і встановлювались залежності зниження води у свердловинах під впливом цих факторів за різних відстаней дренажних свердловин від урізу води у водосховищі.

Для гідравлічно взаємодіючих дренажних свердловин зниження води в кожній свердловині визначається за формулою

$$S_{сум.} = S_0 + \sum_{1}^{n-1} S_i \text{ , м,} \qquad (1)$$

де S_0 – зниження рівня води в даній конкретній свердловині при відкачуванні витрат Q_0; S_i – додаткові зниження рівня води в цій свердловині внаслідок гідравлічної взаємодії від решти з n–1 дренажних свердловин при відкачуванні з них води витратою Q_i.

При відкачуванні з дренажної свердловини із сифонним водовідбором витратою Q_0 зниження рівня води в ній визначається за формулою

$$S_0 = \frac{Q_0}{2\pi K_ф H_0} R_0 \text{ , м,} \quad (2)$$

де Q_0 – витрата води з даної свердловини, м^3/добу; $K_ф$ – коефіцієнт фільтрації водоносного пласта, м/добу; H_0 – глибина рівня води в даній свердловині при відкачуванні з неї води витратою Q_0, м; R_0 – безрозмірний коефіцієнт гідравлічного опору для даної свердловини, що залежить від її відстані до врізу води у водосховищі (рис. 1) і визначається за формулою

$$R_0 = ln\left(\frac{2a}{r_0}\right), \quad (3)$$

де a – відстань свердловин до врізу води у водосховищі, м; r_0 – радіус даної дренажної свердловини, м.

Значення S_i у формулі (1) залежать від відстані даної свердловини до решти гідравлічно взаємодіючих дренажних свердловин і визначаються за формулою (2), а параметри Q_0, H_0 та R_0 матимуть нижній індекс i.

R_i – коефіцієнт гідравлічного опору, що враховує вплив i-ї свердловини при відкачуванні з неї води витратою Q_i на додаткове зниження рівня води у свердловині, визначається за формулою

$$R_i = \ln\frac{\sqrt{4a^2 + b_{i-0}^2}}{b_{i-0}} \quad (4)$$

де b_{i-0} – відстань i-ї дренажної свердловини до розрахункової дренажної свердловини з індексом 0, м; a – відстань ряду свердловин завіси до врізу води.

Виклад основного матеріалу дослідження. Результати досліджень. Вихідні дані для проведення досліджень були взяті з нашої роботи (*Левицька, Хоружий, 2019*) і наведені в табл. 1.

Наведені глибини свердловин $H_{св.i}$ і відстані між ними l_i (табл. 1) визначались з економічних міркувань для забезпечення розрахункового зниження ґрунтових вод при максимальній довжині ПФЗ і сифонному способі відбору води із свердловин. При цьому величина всмоктувального тиску в кожній (k-й) свердловині має відповідати вимозі

$$H_{вак.к} = H_{вак.1} + \sum_1^k h_i < H_{вак.доп.}, \text{ м,} \quad (6)$$

де $H_{вак.1}$ – величина всмоктувального тиску в першій найбільш віддаленій від водозбірного колодязя дренажній свердловині (було взято – 2,5 м); $\sum_1^k h_i$ – сума втрат напору в сифонному водоводі від першої до k-ї свердловини; $H_{вак.доп.}$ – допустимий максимум величини всмоктувального тиску в найвищій точці сифонного водоводу (було взято – 8 м).

Глибина води у свердловині визначалась за формулою

$$H_i = H_{св.i} - H_{вак.i}, \text{ м,} \quad (7)$$

а водопровідність, що характеризує умови надходження води з водоносного пласта до свердловини, за формулою

$$T_i = K_ф H_i, \text{ м}^2\text{/добу,} \quad (8)$$

де $K_ф$ – коефіцієнт фільтрації водоносного пласта, м/добу (брали $K_ф$ = 10 м/добу згідно з (*Пояснювальна записка…, 2016*); у табл. 2 наведено значення відстаней кожної дренажної свердловини до всіх інших дренажних свердловин у даній ПФЗ.

Таблиця 1

Розрахункові параметри ПФЗ із сифонним водовідбором

№	Глибина свердловини $H_{св.i}$, м	Величина всмоктувального тиску $H_{вак.i}$, м	Глибина рівня води H_i, м	Водопровідність T_i, м^2/добу	№ ділянки водоводу	Відстань між свердловинами l_i, м
1	32,1	2,5	29,6	296		
2	27,8	2,92	24,88	248,8	1–2	50
3	25,1	3,28	21,82	218,2	2–3	60
4	20,3	4,23	16,07	160,7	3–4	70
5	18,9	4,67	14,23	142,3	4–5	80
6	16,9	5,43	11,47	114,7	5–6	90
7	14,9	6,66	8,24	82,4	6–7	100
8	14,3	7,24	7,06	70,6	7–8	110

Таблиця 2

Відстані кожної дренажної сверловини до всіх інших дренажних свердловин ПФЗ

№ розрахункової свердловини	Відстань до розрахункової свердловини (b_{i-0})							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0,1	50	110	180	260	350	450	560
2	50	0,1	60	130	210	300	400	510
3	110	60	0,1	70	150	240	340	450
4	180	130	70	0,1	80	170	270	380
5	260	210	150	80	0,1	90	190	300
6	350	300	240	170	90	0,1	100	210
7	450	400	340	270	190	100	0,1	110
8	560	510	450	380	300	210	110	0,1

Для кожної розрахункової свердловини відстань b_0 приймалась рівною радіусу свердловини

$$b_0 = r_0 = d_{св}/2, \text{ м,} \quad (9)$$

де $d_{св}$ = 0,2 м – діаметр свердловини, а значення b_{i-0} обчислювались за формулою

$$b_{к-0} = \sum_1^K l_i \text{ , м,} \quad (10)$$

де l_i – довжини ділянок водоводу між $к$-ю і розрахунковою свердловинами.

У табл. 3 наведено результати обчислень коефіцієнтів гідравлічного опору дренажних свердловин залежно від місця їхнього розташування відносно одна одної та відстані до врізу води у водосховищі a.

Розрахункова глибина свердловин H_i залежить від величини всмоктувального тиску в ній $H_{вак.i}$, який визначається у напрямку віддаленості від водоприймального водозбірного колодязя (рис. 1).

Можлива кількість дренажних свердловин n і оптимальні відстані між ними l визначаються на основі гідравлічних і техніко-економічних розрахунків (*Левицька, Хоружий, 2019*).

Згідно з формулою (2) було розраховано зниження рівня води в дренажних свердловинах при відкачуванні з них води витратою Q = 604,8 м^3/добу (*Левицька, Хоружий, 2019*) та сумарне водозниження (табл. 4) залежно від віддалення свердловин від урізу води з урахуванням різних глибин свердловин і відстаней між ними.

Згідно з розрахунками, наведеними в табл. 4, створено схему зміни рівнів води в дренажних свердловинах (рис. 3), де показано рівень сумарного водозниження для свердловин 1–8, які мають різні глибини (табл. 1), різні відстані між собою (табл. 2) та розташовані на відстані від урізу води a_1 = 30 м, a_2 = 50 м, a_3 = 80 м і a_4 = 100 м.

Таблиця 3

Значення коефіцієнтів гідравлічного опору дренажних свердловин *R* за різних відстаней ПФЗ від урізу води у водосховищі *a*

№ розрахункової свердловини	Величина *a*, м	Значення для дренажних свердловин							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	30	6,397	0,446	0,130	0,053	0,026	0,014	0,009	0,006
	50	6,908	0,805	0,301	0,134	0,069	0,039	0,024	0,016
	80	7,378	1,210	0,568	0,291	0,161	0,095	0,060	0,039
	100	7,601	1,417	0,730	0,402	0,232	0,141	0,090	0,060
2	30	0,446	6,397	0,347	0,097	0,039	0,020	0,011	0,007
	50	0,805	6,908	0,665	0,232	0,102	0,053	0,030	0,019
	80	1,210	7,378	1,047	0,461	0,229	0,125	0,074	0,047
	100	1,417	7,601	1,247	0,607	0,323	0,184	0,112	0,072
3	30	0,130	0,347	6,397	0,275	0,074	0,030	0,015	0,009
	50	0,301	0,665	6,908	0,556	0,184	0,080	0,041	0,024
	80	0,568	1,047	7,378	0,914	0,380	0,184	0,100	0,060
	100	0,730	1,247	7,601	1,108	0,511	0,264	0,149	0,090
4	30	0,053	0,097	0,275	6,397	0,223	0,059	0,024	0,012
	50	0,134	0,232	0,556	6,908	0,470	0,149	0,064	0,033
	80	0,291	0,461	0,914	7,378	0,805	0,317	0,150	0,082
	100	0,402	0,607	1,108	7,601	0,991	0,434	0,219	0,122
5	30	0,026	0,039	0,074	0,223	6,397	0,184	0,048	0,020
	50	0,069	0,102	0,184	0,470	6,908	0,402	0,122	0,053
	80	0,161	0,229	0,380	0,805	7,378	0,713	0,268	0,125
	100	0,232	0,323	0,511	0,991	7,601	0,891	0,373	0,184
6	30	0,014	0,020	0,030	0,059	0,184	6,397	0,154	0,039
	50	0,039	0,053	0,080	0,149	0,402	6,908	0,347	0,102
	80	0,095	0,125	0,184	0,317	0,713	7,378	0,635	0,229
	100	0,141	0,184	0,264	0,434	0,891	7,601	0,805	0,323
7	30	0,009	0,011	0,015	0,024	0,048	0,154	6,397	0,130
	50	0,024	0,030	0,041	0,064	0,122	0,347	6,908	0,301
	80	0,060	0,074	0,100	0,150	0,268	0,635	7,378	0,568
	100	0,090	0,112	0,149	0,219	0,373	0,805	7,601	0,730
8	30	0,019	0,007	0,009	0,012	0,020	0,039	0,130	6,397
	50	0,016	0,019	0,024	0,033	0,053	0,102	0,301	6,908
	80	0,039	0,047	0,060	0,082	0,125	0,229	0,568	7,378
	100	0,060	0,072	0,090	0,122	0,184	0,323	0,730	7,601

Таблиця 4

Зниження рівнів води у дренажних свердловинах при відкачуванні з них води витратою Q = 604,8 м^3/добу

№ св.	*a*, м	Зниження води в дренажних свердловинах								$S_{сум.}$, м
		1	2	3	4	5	6	7	8	
1	30	1,919	0,155	0,050	0,025	0,013	0,008	0,006	0,004	2,18
	50	2,072	0,279	0,116	0,064	0,035	0,022	0,016	0,011	2,61
	80	2,213	0,419	0,218	0,138	0,082	0,054	0,038	0,026	3,19
	100	2,280	0,491	0,280	0,191	0,118	0,081	0,058	0,040	3,54
2	30	0,134	2,216	0,133	0,046	0,020	0,011	0,007	0,005	2,57
	50	0,241	2,393	0,255	0,110	0,052	0,030	0,020	0,013	3,11
	80	0,363	2,556	0,402	0,219	0,117	0,071	0,048	0,032	3,81
	100	0,425	2,633	0,478	0,288	0,164	0,105	0,072	0,048	4,21
3	30	0,039	0,120	2,454	0,131	0,038	0,017	0,010	0,006	2,82
	50	0,090	0,230	2,650	0,264	0,094	0,046	0,027	0,016	3,42
	80	0,170	0,363	2,831	0,434	0,194	0,105	0,065	0,040	4,20
	100	0,219	0,432	2,916	0,525	0,260	0,150	0,096	0,061	4,66
4	*30*	0,016	0,033	0,106	3,035	0,114	0,033	0,016	0,008	3,36
	50	0,040	0,081	0,213	3,277	0,240	0,085	0,042	0,023	4,00
	80	0,087	0,160	0,351	3,500	0,410	0,181	0,097	0,055	4,84
	100	0,121	0,210	0,425	3,606	0,505	0,248	0,141	0,082	5,34
5	30	0,008	0,014	0,028	0,106	3,260	0,105	0,031	0,013	3,56
	50	0,021	0,035	0,071	0,223	3,520	0,229	0,079	0,035	4,21
	80	0,048	0,079	0,146	0,382	3,759	0,406	0,173	0,084	5,08
	100	0,070	0,112	0,196	0,470	3,873	0,508	0,241	0,124	5,59
6	30	0,004	0,007	0,012	0,028	0,094	3,645	0,099	0,026	3,92
	50	0,012	0,018	0,031	0,070	0,205	3,936	0,224	0,069	4,57
	80	0,028	0,043	0,071	0,150	0,363	4,204	0,410	0,154	5,42
	100	0,042	0,064	0,101	0,206	0,454	4,331	0,520	0,217	5,94

Закінчення табл. 4

№ св.	*a*, м	Зниження води в дренажних свердловинах								$S_{сум.}$, м
		1	2	3	4	5	6	7	8	
7	30	0,003	0,004	0,006	0,011	0,024	0,088	4,135	0,088	4,36
	50	0,007	0,011	0,016	0,030	0,062	0,197	4,465	0,203	4,99
	80	0,018	0,026	0,038	0,071	0,137	0,362	4,769	0,383	5,80
	100	0,027	0,039	0,057	0,104	0,190	0,459	4,913	0,492	6,28
8	30	0,006	0,002	0,003	0,006	0,010	0,022	0,084	4,308	4,44
	50	0,005	0,007	0,009	0,016	0,027	0,058	0,195	4,652	4,97
	80	0,012	0,016	0,023	0,039	0,064	0,130	0,367	4,969	5,62
	100	0,018	0,025	0,035	0,058	0,094	0,184	0,472	5,119	6,00

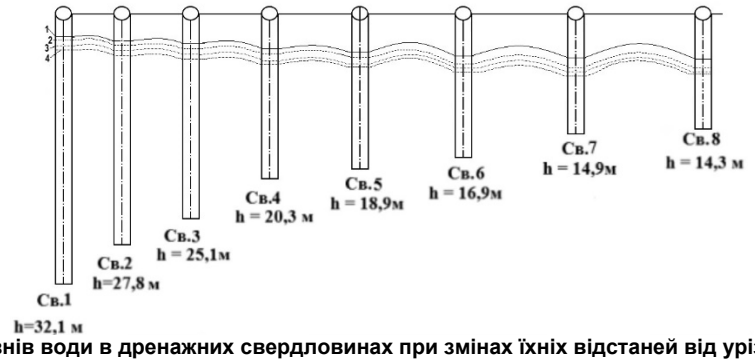

Рис. 3. Схема зміни рівнів води в дренажних свердловинах при змінах їхніх відстаней від урізу води у водосховищі:
1 – *a* = 30 м; 2 – *a* = 50 м; 3 – *a* = 80 м; 4 – *a* = 100 м

При аналізі водозниження (рис. 3) видно, що найвищі розрахункові показники сумарного водозниження отримано на відстані a_4 = 100 м від урізу води, які сягають від 3,54 м у найвіддаленішій першій свердловині глибиною 32,1 м, до 6,28 м у сьомій, глибиною 14,9 м, розташованій на відстані 100 м до 6-ї свердловини та 110 м від 8-ї. Отже, сьома свердловина, згідно з отриманими результатами розрахунків, матиме найкращі показники гідравлічного впливу від сусідніх свердловин для гідрогеологічних умов, притаманних Кам'янському Поду.

Висновки. У результаті проведених досліджень виявлено, що найкращі показники водозниження для гідрогеологічних умов Кам'янського Поду досягаються при розташуванні ПФЗ на відстані *a* = 100 м від урізу води. При розташуванні ПФЗ на відстані 30 м рівень водозниження при витраті води *Q* = 604,8 м^3/добу з кожної свердловини зовсім незначний і не може відповідати вимогам рівня водозниження. При зростанні віддалення ПФЗ від урізу води коефіцієнти гідравлічного опору дренажних сверловин ***R*** зменшуються, що дозволяє зменшити витрати води при відкачуванні для зниження її рівня. Проте територія, що лежить між урізом води до лінії розміщення ПФЗ, не може використовуватись, оскільки рівень ґрунтових вод буде недопустимо високим. Таким чином розкрита тема може далі досліджуватись з точки зору обґрунтування доцільності збільшення або зменшення відстані від урізу води до ПФЗ.

Нами запропоновано використання фільтраційних вод після відповідної підготовки для задоволення санітарно-гігієнічних і господарсько-побутових потреб місцевих мешканців, а також для зрошення сільгоспкультур у вегетаційний період.

Список використаних джерел

Абрамов, С.К., Биндеман, Н.Н., Бочевер, Ф.М., Веригин, Н.Н. (1960). Влияние водохранилищ на гидрогеологические условия прилегающих территорий. М. : Госстройиздат.

Абрамов, С.К. (1961). Защита территорий от затопления и подтопления. М.

Басниев, К.С. (1986). Подземная гидравлика. М. : Недра.

Биндеман, Н.И., Язвин, Л.С. (1970). Оценка эксплуатационных запасов подземных вод. Методическое руководство. М. : Недра.

Бочевер, Ф.Н. (1969). Основы гидрогеологических расчетов. М. : ВОДГЕО.

Васильев, С.В. и др. (1970). Методы фильтрационных расчетов гидромелиоративных систем. М. : Колос.

Вертикальний дренаж із сифонним водовідбором зі свердловин. (2019). *Пат. №132266, Україна и 201806279 заяв. 05.06.2018.* Опубл. бюл. № 4, 25.02.2019.

Гальперин, А.М. Зайцев, В.С. Харитоненко, Г.Н., Норватов, Ю.А. (2009). Геология: учебник для вузов. М. : Из-во МГГУ "Мир горной книги".

Левицька, В.Д. (2018). Аналіз існуючого стану захисту територій від підтоплення з Каховського водосховища. *Меліорація і водне господарство*, 2, 110–117. DOI: https://doi.org/10.31073/mivg20180108-135

Левицька, В.Д. Хоружий, П.Д. (2019). Оптимізація протифільтраційних завіс із сифонним водовідбором з дренажних свердловин (на прикладі Кам'янка-Дніпровської протифільтраційної завіси). *Меліорація і водне господарство*, 1, 117–124. ISSN 2616-5562 (Online), ISSN 2616-5643 (Print). DOI: https://doi.org/10.31073/mivg201901-156.

Ломакин, В.А., Мироненко, В.А., Шестаков, В.М. (1988). Численное моделирование геофильтрации. М. : Недра.

Лукнер, Л., Шестаков, В.М. (1986). Моделирование миграции подземных вод. М. : Недра.

Никитин, М.Р. (1990). Оценка влияния водохранилищ на гидрогеологические условия. М. : Наука.

Олейник, А.Я. (1978) Фильтрационные расчеты вертикального дренажа. К. : Наук. думка, 202 с.

Олейник А.Я., Поляков, В.Л. (1987). Дренаж переувлажненных земель. К. : Наук. думка.

Пособие по проектированию сооружений для забора подземных вод (к СНиП 2.04.02-84). (1989). ВНИИ Водгео Госстроя СССР. М. : Стройиздат.

Пояснювальна записка. (2016). Реконструкція Кам'янської та Знам'янської компресорних станцій для захисту від підтоплення Кам'янко-Дніпровського району Запорізької області. Коригування. Т. 1. Держводагентство Дніпропетровськ : ДРПВІ Дніпродіпроводгосп.

Романов, А.В. (1959). Методы фильтрационных расчетов дренажних сооружений. Вопросы фильтрационных расчетов гидротехнических сооружений. М. : Госстройиздат.

Хоружий, П.Д., Левицька, В.Д. (2016). Шляхи покращення роботи комплексу захисних споруд Кам'янського Поду.*Меліорація і водне господарство*, 104, 119–125.

Хоружий, П.Д., Левицька, В.Д. (2017). Методика розрахунку вертикальних дренажів із сифонним водовідбором інфільтраційних вод.*Меліорація і водне господарство*, 106, 102–108.

Чайлдс, Э. (1973). Физические основы гидрологии почв. Л. : Гидрометеоиздат.

Шестаков, В.М. (1965). Теоретические основы оценки подпора, водопонижения и дренажа. М. : МГУ.

Шкинкис, В.И. (1981). Гидрологическое действие дренажа. Л. : Гидрометеоиздат.

Эггельсман, Р. (1984). Руководство по дренажу. М. : Колос.

Chapman, T.G. (1980). Modeling groundwater flow over sloping beds.*Water Resource research*, 16, 6, 1114-1118. https://doi.org/10.1029/WR016i006p01114.

Vázquez-Báez, V., Rubio-Arellano, A., García-Toral, D., Rodríguez Mora, I. (2019). Modeling an Aquifer: Numerical Solution to the Groundwater Flow Equation.*Mathematical Problems in Engineering Volume*, Article ID 1613726, 9.

References

Abramov, S.K., Bideman, N.N., Bochever, F.M., Veryhin, N.N. (1960). Vliyaniye vodokhranilishch na hidroecologicheskiye usloviya prilegayushchikh territoriy. Moskva: Hosstroyizdat. [in Russian]

Abramov, S.K. (1961). Zashchita territoriy ot zatopleniya I podtopleniya. Moskva. [in Russian]

Basniyev, K.S. (1986). Podzemnaya hidravlica. Moskva: Nedra. [in Russian]

Bindeman, N.I., Yazvin, L.S. (1970). Otsenka ekspluatatsionykh zapassov podzemnykh vod. Metodicheskoe rukovodstvo. Moskva:Nedra. [in Russian]

Bochever, F.M. (1969). Osnoby hidrogeologicheskikh raschotov. Moskva: Vodgeo. [in Russian]

Chapman, T.G. (1980). Modeling groundwater flow over sloping beds. *Water Resource research,* 16, 6, 1114-1118. https://doi.org/10.1029/WR016i006p01114

Chaylds, E. (1973). Fisicheskiye osnovy hidravliki pochv. Leningrad: Hidrometeoizdat. [in Russian]

Eggelsman, R.(1984). Rukovodstvo po drenaghu. Moskva: Kolos. [in Russian]

Halperin, A.M., Zaytsev, V.S., Kharitonenko, H.N., Norvatov, Yu.A. (2009). Geologiya: uchebnik dla vuzov. Moskva: Izdatelsvo: MGGU. [in Russian]

Khorughyy, P.D., Levitska, V.D. (2016). Ways to improve the operation of the protection facilities complex of Kamyansky Pod. *Land reclamation and water management,* 104, 119–125. ISSN 0507-2166. [in Ukrainian]

Khorughyy, P.D., Levytska, V.D. (2017). The method of calculation of vertical drain performance when using siphon drains for infiltration water intake.*Land reclamation and water management,* 106, 102–108. ISSN 0507-2166. [in Ukrainian]

Levytska, V.D. (2018).Analilysis of the existing state ocurrent protection of the surrounding to the territories to the Kakhovske reservoir territories against flooding. *Land reclamation and water management,* 2, 110–117. ISSN 2616-5562 (Online), ISSN 2616-5643 (Print). DOI: https://doi.org/10.31073/mivg20180108-135. [in Ukrainian]

Levytsra, V.D., Khorugyy, P.D. (2019). Optimization of ground water cutoff with a siphon intake from the drain wells (as in the case of Kamyanka-Dniprovska ground water cutoff). *Land reclamation and water management,* 1, 117–124. ISSN 2616-5562 (Online), ISSN 2616-5643 (Print). DOI: https://doi.org/10.31073/mivg201901-156. [in Ukrainian]

Lomakin, V.A., Myronenko, V.A., Shestakov, V.M. (1988). Chislenoye modelirovaniye geofiltratsii. Moskva: Nedra. [in Russian]

Lukner, L. Shestakov, V.M. (1986). Modelirovaniye migratsii podzemnykh vod. Moskva : Nedra. [in Russian]

Nikitin, M.R. (1990). Otsenka vliyaniya vodokhranilishch na hidrogeologicheskiye usloviya. Moskva: Nauka. [in Russian]

Oleynik, A.Ya.(1978) Filtratsionyye paschety vertikalnogo drenagha. Kiev : Naukova dumka. [in Russian]

Oleynik, A.Ya., Poliakov, V.L. (1987). Drenagh pereuvlaghnionykh zemel. Kiev : Naukova dumka. [in Russian]

Possobiye po proektirovaniyu soorugheniy dlia zabora podzemnykh vod (k SNiP 2.04.02-84). (1989). VNII Vodgeo Gosstroya SSSR. Moskva : Stroyizdat. [in Russian]

Poyasniuvalna zapyska. (2016). Reconstruktsiya Kamyanskoyi ta Znamyanskoyi kompressornykh stantsiy dlia zakhystu vid pidtoplenia Kamyanka-Dniprovskoho rayonu Zaporizkoyi oblasti. Koryguvannia. Tom 1. Derghvodagenstvo Dnipropetrovsk: DRPVI Dniprodiprovodgosp. [in Russian]

Romanov, A.V. (1959). Metody filtratsionnykh raschotov drenaghnykh soorugheniy Voprosy filtratsionnykh raschotov hidrotekhnicheskikh soorugheniy. Moskva:Hosstroyizdat. [in Russian]

Shestakov, V.M. (1965). Teoreticheskiye osnovy otsenki podpora, vodoponigheniya I drenagha. Moskva : MGU. [in Russian]

Shkinkis, V.I. (1981). Hidrolohicheskoye deystviye drenegha. Leningrad: Hidrometeoizdat. [in Russian]

Vassilyev, S.V. et al. (1970). Metody filtpathionnykh raschotov hidromeliorativnykh system. Moskva: Kolos. [in Russian]

Vázquez-Báez, V., Rubio-Arellano, A., García-Toral, D., Rodríguez Mora, I. (2019). Modeling an Aquifer: Numerical Solution to the Groundwater Flow Equation. *Mathematical Problems in Engineering,*Article ID 1613726, 9. https://doi.org/10.1155/2019/1613726

Vertukalnyy drenage iz syfonnym vodovidborom zi sverdlovyn. (2019). *Patent Ukrainy na korysnu model No 132266 vid 25.02.2019.* [in Ukrainian]

Надійшла до редколегії 26.01.20

V. Levytska, PhD student,
E-mail: veral@ukr.net,
ORCID iD 0000-0003-2213-1696;
P. Khoruzhiy, Dr. Sci. (Tech.), Prof., Chief Researcher,
E-mail: petro1939@bigmir.net,
ORCID iD 0000-0002-9433-361X;
Institute of Water Problems and Land Reclamation of the NAAS,
37 Vasylkivska Str., Kyiv-22, Ukraine

INFLUENCE OF DRAINAGE WELLS IN ANTIFILTRATION DRAINAGE SYSTEM

The decrease of water levels in the drainage wells of the coastal anti-filtration drainage system with the siphon method of water intake from them was analyzed.

The interaction of water-lowering wells with different depths and located at variable distances from each other is considered, which makes it possible to ensure uniform drainage from each well and to achieve a steady decrease in the level of groundwater over the entire length of the anti-filtration drainage system.The results of the performed analytical studies are presented.

The example of the Kamyanka-Dniprovska's anti-filtration drainage system shows that the decrease in water levels in wells at the same flow rate of pumped water depends on their hydraulic interaction, hydrogeological conditions of water filtration from the aquifer and the distance of the anti-filtration drainage system from the bank-side. The results obtained indicate that the highest level of water depletion of the coastal vertical anti-filtration drainage system line with siphon drainage from wells is achieved at a distance of a number of wells from the Kakhovsky reservoir bank-side a = 100 m, at the same water flow rate from each of the drainage wells (Q = 604,8 m^3/day), located at different distances from each other. The highest rate of additional reduction of water obtained through mutual hydraulic action was obtained in the 7th well, which has a depth of 14,9 m, and it is located at a distance of 100 m from the 6th well and at a distance of 110 m from the 8th well. The lowest indicator of the level of groundwater reductions at different indicators of the distance of a number of drainage wells to the bank-sidea (30, 50, 80, 100 m) is observed in the first well, farthest from the water collection well.

Keywords: anti-filtrationdrainagesystem, drainagewells, siphonmethodofwaterintake, water depletion, aquifer, Kakhovsky reservoir, level of groundwater reduction.

В. Левицкая, асп., E-mail: veral@ukr.net,
ORCID iD 0000-0003-2213-1696;
П. Хоружий, д-р техн. наук, проф., глав. науч. сотр.,
E-mail: petro1939@bigmir.net,
ORCID iD 0000-0002-9433-361X;
Институт водных проблем и мелиорации НААН,
ул. Васильковская,37, г. Киев-22, Украина

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ДРЕНАЖНЫХ СКВАЖИН В ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫХ ЗАВЕСАХ

Проанализировано снижение уровней воды в дренажных скважинах береговых противофильтрационных завес при сифонном способе водоотведения из них. Рассмотрено взаимодействие водопонижающих скважин с различными глубинами и расположенных на переменных расстояниях друг от друга, что позволяет обеспечить равномерное водоотведение каждой скважины и достичь устойчивого снижения уровня грунтовых вод по всей длине противофильтрационных завес (на примере защиты от подтопления левобережных территорий Каховского водохранилища). Приведены результаты выполненных аналитических исследований. На примере Каменка-Днепровской противофильтрационной завесы показано, что снижение уровня воды в скважина, при одинаковых затратах откачиваемой воды зависит от их гидравлического взаимодействия, гидрогеологических условий фильтрации воды из водоносного пласта и расстояния противофильтрационных завес от вреза воды в водохранилище. Полученные результаты свидетельствуют, что самый высокий уровень водопонижения береговой вертикальной противофильтрационной завесы с сифонным способом водоотведения из скважин достигается на расстоянии ряда скважин от вреза воды Каховского водохранилища а = 100 м, при одинаковых расходах воды с каждой из дренажных скважин (Q = 604,8 м^3/сутки), расположенных на разных расстояниях друг от друга. Самый высокий показатель дополнительного снижения уровня воды, полученного благодаря взаимному гидравлическому влиянию, получен в 7-й скважине, глубиной 14,9 м, расположенной на расстоянии 100 м от 6-й скважины и на расстоянии 110 м от 8-й скважины. Самый низкий показатель уровня снижения грунтовых вод при различных показателях расстоянии ряда дренажных скважин до вреза воды а (30, 50, 80, 100 м) наблюдается в отдаленной от водосборного колодца первой скважине.

Ключевые слова: противофильтрационная завеса, дренажная скважина, сифонный водовод, расходы воды, водоносный горизонт, Каховское водохранилище, снижение уровней воды.