

УДК 628.11

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.140723.122.963

## АНАЛІЗ ПРОДУКТИВНОСТІ ІНФІЛЬТРАЦІЙНИХ ВОДОЗАБОРІВ

ШАРКОВ В. В.<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доц.,  
НЕСТЕРОВА О. В.<sup>2\*</sup>, канд. техн. наук, доц.,  
ЖУРАВЛЬОВА О. А.<sup>3</sup>, ст. викл.,  
БОЖЕНКО В. О.<sup>4</sup>, студ.

<sup>1</sup>Кафедра водопостачання, водовідведення та гідравліки, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: [Shar\\_kov@ukr.net](mailto:Shar_kov@ukr.net), ORCID ID: 0000-0001-8942-3701

<sup>2\*</sup>Кафедра водопостачання, водовідведення та гідравліки, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, e-mail: [nesterova.olena@pdaba.edu.ua](mailto:nesterova.olena@pdaba.edu.ua), ORCID ID:0000-0003-1035-6572

<sup>3</sup>Кафедра водопостачання, водовідведення та гідравліки, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, e-mail: [zhuravlova.olena@pdaba.edu.ua](mailto:zhuravlova.olena@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0003-4964-343X

<sup>4</sup>Кафедра водопостачання, водовідведення та гідравліки, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, e-mail: [17004.bozhenko@pdaba.edu.ua](mailto:17004.bozhenko@pdaba.edu.ua)

**Анотація. Постановка проблеми.** Будівництво нових та реконструкція існуючих систем водопостачання з метою збільшення витрат води передбачає пошук та аналіз нових джерел водопостачання та водозабірних споруд. Особливого значення це питання набуває для пошуку додаткових джерел живлення систем водопостачання з відносно невеликими витратами води. Для зменшення навантаження на очисні споруди, які обробляють води відкритих джерел, використовуються інфільтраційні водозабори, що забирають воду з підземних водоносних шарів, джерело живлення яких – відкрите джерело. Інфільтраційні водозабори можуть бути вертикальними та складатися із свердловин, об'єднаних збірними трубопроводами, або горизонтальними та мати підземну горизонтальну водоприймальну частину – дренажну трубу. Тому виникає задача визначення водозабору, який має найбільшу продуктивність за однакових місцевих умов. **Методика.** Продуктивність водозабірних споруд характеризується впливом визначальних факторів на дебіт водозаборів за одностороннього живлення в безнапірному водоносному шарі. Як фактори впливу розглядалися умови розташування водоприймальних частин водозаборів у водоносному шарі та їх розміри. **Результати.** Проведено аналіз існуючих методик визначення продуктивності підземних інфільтраційних водозабірних споруд залежно від їх розташування, впливу джерел водопостачання та конструктивних особливостей. Визначено, що найбільший вплив на продуктивність водозаборів має величина зниження рівня води у водоносному шарі при відборі води, тобто положення динамічного рівня води відносно статичного. Також суттєво впливає відстань від водозабірної споруди до урізу води. Зменшення відстані між свердловинами та довжини дренажної труби, в межах умов дослідження, впливу на результати не мало. Встановлено, що, за прийнятих гідрогеологічних та технічних умов, більшим дебітом відрізняється горизонтальний підземний водозабір. **Наукова новизна.** Проведено аналіз факторів, що впливають на вибір інфільтраційних водозабірних споруд. Показано результати визначення продуктивності споруд за однакових початкових умов. **Практична значимість.** Використання результатів аналізу дозволяє найбільш оперативно та ефективно вирішувати питання вибору варіанта живлення систем водопостачання. Проведений аналіз визначив найбільш суттєві фактори впливу на продуктивність водозаборів та дає можливість варіювати ними для досягнення результату.

**Ключові слова:** водопостачання; підземні інфільтраційні водозабори

## ANALYSIS OF INFILTRATION WATER INTAKES PRODUCTIVITY

SHARKOV V.V.<sup>1</sup>, Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.,  
NESTEROVA O.V.<sup>2\*</sup>, Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.,  
ZHURAVLEVA O.A.<sup>3</sup>, Senior Lect.,  
BOZHENKO V.O.<sup>4</sup>, Stud.

<sup>1</sup>Department of Water Supply, Sewerage and Hydraulics, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: [Shar\\_kov@ukr.net](mailto:Shar_kov@ukr.net), ORCID ID: 0000-0001-8942-3701

<sup>2\*</sup>Department of Water Supply, Sewerage and Hydraulics, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, e-mail: [nesterova.olena@pdaba.edu.ua](mailto:nesterova.olena@pdaba.edu.ua), ORCID ID:0000-0003-1035-6572

<sup>3</sup>Department of Water Supply, Sewerage and Hydraulics, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Architect Oleh Petrov St., 49005, Dnipro, Ukraine, e-mail: [zhuravlova.olena@pdaba.edu.ua](mailto:zhuravlova.olena@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0003-4964-343X

<sup>4</sup> Department of Water Supply, Sewerage and Hydraulics, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, e-mail: [17004.bozhenko@pdaba.edu.ua](mailto:17004.bozhenko@pdaba.edu.ua)

**Abstract. Purpose.** Construction of new and reconstruction of existing water supply systems, in order to increase water consumption, provides for the search and analysis of water supply new sources and water intake facilities. This issue acquires particular importance when looking for additional power sources for water supply systems with relatively low water consumption. To reduce the load on wastewater treatment plants that process water from open sources, infiltration intakes are used, which take water from underground aquifers. Infiltration water intakes can be vertical and consist of wells united by prefabricated pipelines or horizontal and have an underground horizontal water intake part – a drainage pipe. Therefore, the problem arises of determining the water intake that has the highest productivity under the same local conditions. **Methodology.** The productivity of water intakes is characterized by the influence of determining factors on the flow rate of water intakes with one-way feeding in a free-flow aquifer. The conditions of the location of the intake parts of the intakes in the aquifer and their sizes were considered as factors of influence. **Results.** The analysis of the existing methods for determining the productivity of underground infiltration water intake structures, depending on their location, the influence of water supply sources and design features. It has been determined that the greatest impact on the productivity of water intakes is the amount of water level decrease in the aquifer during water withdrawal, that is, the position of the dynamic water level relative to the static one. Also, the distance from the intake structure to the water's edge has a significant impact. Reducing the distance between the wells and the length of the drainage pipe, within the limits of the study conditions, has no effect on the results. As a result of the research, it has been established that, under the adopted hydrogeological and technical conditions, horizontal underground water intakes are distinguished by a large flow rate. **Scientific novelty.** The analysis of factors influencing the choice of infiltration water intake structures is carried out. The results of determining the productivity of structures under the same initial conditions are shown. **Practical value.** Using the results of the analysis allows you to most quickly and effectively solve the issues of choosing the option for powering water supply systems. The analysis has identified the most significant factors influencing the productivity of water intakes and makes it possible to vary them to achieve a result.

**Keywords:** water supply; underground infiltration water intakes

**Постановка проблеми.** Будівництво нових та реконструкція існуючих систем водопостачання передбачає, крім іншого, вибір джерел живлення та водозабірних споруд, які найбільше відповідають потребам споживачів води та технічним умовам.

Одні з найбільш економічних та зручних водозаборів із підземних джерел – це інфільтраційні споруди, які розташовують поблизу відкритих водойм. Таке розташування дозволяє забирати з водоносних шарів воду відкритого джерела, яка фільтрується породами дна та берегової смуги, що значно поліпшує якість води та знижує навантаження на очисні споруди.

Інфільтраційні споруди, які забирають воду з підземних джерел бувають вертикальними (одна, чи група свердловин) та горизонтальними – заглиблені у водоносний шар перфоровані труби, з'єднані зі збірним вертикальним колодязем.

**Мета дослідження.** За можливості використовувати різні типи та масштаби інфільтраційних водозаборів виникає питання вибору найбільш ефективних та економічних серед них. Так, вертикальні споруди легко монтуються та обслуговуються, а горизонтальні майже не займають поверхні

територій, які використовують водозабірні майданчики.

Завдання дослідження – аналіз можливостей вертикальних та горизонтальних інфільтраційних водозаборів із підземних джерел за однакових місцевих умов. Основними характеристиками, за якими проводиться порівняння, стали продуктивність споруд та зниження статичного рівня води.

**Методика.** Методологічна база розрахунку вказаних споруд достатньо розроблена та представлена в роботах [1; 2]. Аналіз впливу визначальних чинників на продуктивність споруд (напірність водоносних шарів [3], досконалість колодязів та радіус впливу [4]) дозволив її розвинути та надати можливість більш наочно використовувати в навчальному процесі.

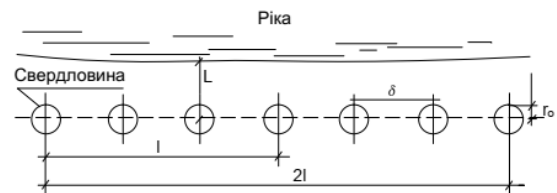


Рис. 1. Схема розташування лінійного водозабору із свердловин уздовж джерела водопостачання

У разі розташування вертикальних колодязів у вигляді лінійного ряду

паралельного урізу води у відкритому джерелі для розрахунків (рис. 1) можна використовувати формулу [1]:

$$Q_{\text{СУМ}} = \frac{2\pi kmS_0}{\ln\sqrt{1+a} + a(\arctg \frac{1}{a}) + \frac{\sigma}{l}(\ln(\frac{\sigma}{\pi r_0}) + \xi)}, \quad (1)$$

де  $k$  – коефіцієнт фільтрації породи, що складає водоносний шар, м/доба;  $m$  – потужність водоносного шару, м;  $S_0$  – зниження статичного рівня води в колодязі, що входить у систему водозабору, м;  $L$  – відстань від урізу води до ряду колодязів (рис. 1), м;  $a = 2L/l$ ;  $l$  – половина довжини ряду колодязів, м;  $r_0$  – радіус свердловини колодязя, що входить в систему водозабору, м;  $\sigma$  – половина відстані між колодязями системи, м;  $\xi$  – коефіцієнт, яким обраховують фільтраційний опір, зумовлений недосконалістю колодязів за ступенем розкриття водоносного шару.

Аналіз споруд проводиться за умови, що водозабори досконалі, водоносний шар безнапірний та має живлення лише з ріки. Це вносить зміни в методологію розрахунків, а саме – потужність водоносного шару визначається за формулою (2):

$$m = \frac{h_c + h_d}{2}, \quad (2)$$

де  $h_c$  та  $h_d$  – глибина води над підшовною водоносного шару, яка відповідає статичному та динамічному рівням, м.

Горизонтальні водозабори, розташовані поблизу відкритих джерел уздовж урізу води [1], враховують рух води із поверхневого джерела в експлуатаційний пласт:

– при водозабір значної довжини ( $2l \geq R \approx L$ ):

$$Q = \frac{2klmS}{L + 1/f + \xi} \quad (3)$$

– при водозабір незначної довжини ( $2l \leq R \approx L$ ):

$$Q_{\text{СУМ}} = \frac{2\pi kmS_0}{\ln\sqrt{1+a} + a(\arctg \frac{1}{a}) + \frac{\pi}{lf} + \xi}, \quad (4)$$

де  $f$  – коефіцієнт, який враховує опір руху води з відкритого джерела до водозабору, що виникає внаслідок кольматації та через неоднорідність руслових відкладень:

$$f = \frac{k_1 m_1}{km} \sqrt{\frac{k_0}{k_1 m_1 m_0}}, \quad (5)$$

де  $k_0$  і  $m_0$ ,  $k_1$  і  $m_1$ ,  $k$  і  $m$  – відповідно, коефіцієнти фільтрації, потужність експлуатаційного пласта, пластів русла ріки та берега.

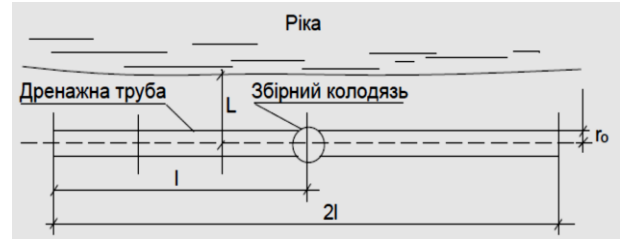


Рис. 2. Схема розташування горизонтального водозабору вздовж джерела водопостачання

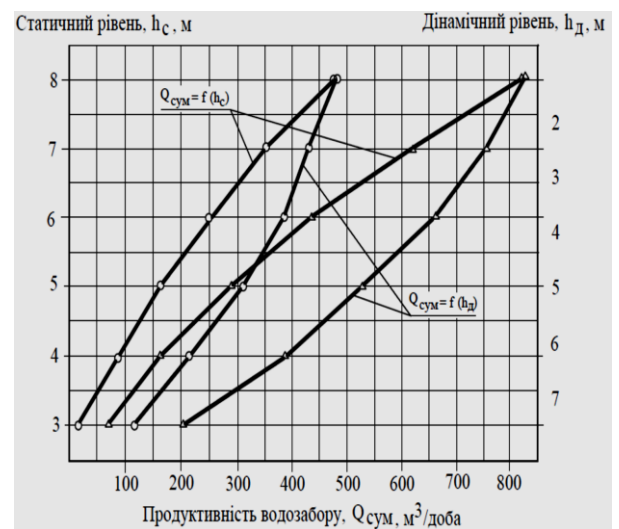


Рис. 3. Зміни дебіту водозабору за змін рівнів води у водоносному шарі (o – водозабір із вертикальними колодязями; Δ – горизонтальний водозабір)

Крім того, можна приблизно визначити продуктивність горизонтального водозабору за формулою [2]:

$$Q = \frac{lk(h_c + h_d)}{R} \quad (6)$$

Аналіз продуктивності споруд будемо проводити за таких технічних та гідрогеологічних умов:  $k = 16$  м/доба;  $h_c = 8$  м;  $h_d = 2$  м;  $L = 60$  м;  $l = 30$  м;  $\sigma = 30$  м;  $r_0 = 0,1$  м,  $f = 1$ , що відповідає умові  $2l \leq R \approx L$ . При цьому  $m = 5$  м (2);  $S_0 = 6$  м.

Дебіт водозабору (1) із двох вертикальних свердловин за таких умов дорівнює 475,53, а дебіт горизонтального (4) – 822,7 м³/доба.

Проаналізуємо дебіт водозаборів за змін статичного та динамічного рівнів води в колодязях та водоносному шарі (табл. 1, 2).

Вплив збільшення радіуса свердловин на дебіт водозабору показаний в таблиці 4.

Таблиця 1

**Продуктивність водозаборів за зміни статичного рівня води**

$h_c$ , м	$h_d$ , м	m, м	$S_o$ , м	Продуктивність водозабору, $Q_{сум}$ , м <sup>3</sup> /доба	
				вертикальний	горизонтальний
8	2	5	6	475,53	822,70
7	2	4,5	5	356,64	617,03
6	2	4	4	253,61	438,77
5	2	3,5	3	166,43	287,94
4	2	3	2	95,10	164,54
3	2	2,5	1	39,62	68,55

Таблиця 2

**Продуктивність водозаборів за зміни динамічного рівня води**

$h_c$ , м	$h_d$ , м	m, м	$S_o$ , м	Продуктивність водозабору, $Q_{сум}$ , м <sup>3</sup> /доба	
				вертикальний	горизонтальний
8	2	5	6	475,53	822,70
8	3	5,5	5	435,87	754,05
8	4	6	4	380,40	665,28
8	5	6,5	3	309,07	534,69
8	6	7	2	221,90	383,88
8	7	7,5	1	118,87	205,65

Вплив відстані між водозабором та урізом води у джерелі,  $L$ , м, характеризується даними таблиці 3.

Таблиця 3

**Дебіт водозаборів за зміни відстані між водозабором та урізом води відкритого джерела**

$L$ , м	Продуктивність водозабору, $Q_{сум}$ , м <sup>3</sup> /доба	
	вертикальний	горизонтальний
90	462,68	785
80	466,12	794,93
70	474,18	818,68
60	475,53	822,70
50	481,45	840,60
40	489,43	865,21
30	499,56	897,40
20	516,51	953,62

Таблиця 4

**Дебіт водозабору з вертикальних колодязів за збільшення радіуса свердловин**

$r_o$ , м	$Q_{сум}$ , м <sup>3</sup> /доба
0,1	475,53
0,15	507,98
0,2	533,91
0,25	556,16

Продуктивність водозабору в разі зменшення відстані між свердловинами  $\sigma$ , м, в межах умови  $2l \leq R \approx L$ , розрахована за формулою (1), дає некоректні результати. Замість зменшення вона несуттєво (2 %), але збільшується. Тому вплив указанного чинника враховувати не потрібно.

Результати свідчать, що за однакових місцевих умов та всіх розглянутих варіантів розташування водозабірних споруд у водоносному шарі більшу продуктивність має горизонтальна інфільтраційна споруда. Різниця складає майже 40 %. Вибір типу водозабору, крім технічних умов, потребує економічного аналізу будівельних та експлуатаційних витрат.

**Висновки.**

1. Аналіз результатів дослідження показав, що інфільтраційні водозабірні споруди – зручні та ефективні, отож можуть забирати воду в складних природних умовах.
2. Найбільшою продуктивністю відрізняються горизонтальні інфільтраційні водозабори порівняно з вертикальними.
3. Найбільший вплив на величину продуктивності водозаборів має зниження статичного рівня води у водоносному шарі під час відбору води.
4. Зменшення розмірів споруд у плані, за розглянутих умов дослідження, на продуктивність водозаборів не впливає.
5. Потенціалом збільшення продуктивності розглянутих споруд є збільшення діаметрів свердловин та дренажних труб.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Тугай А. М., Тугай Я. А. Водопостачання. Джерела та водозабірні споруди : посіб. Українсько-фінський інститут менеджменту і бізнесу. 1998. 196 с.
2. Абрамов Н. Н. Водоснабжение. Москва : Стройиздат, 1982. 440 с.

3. Шарков В. В., Головачинская А. С. Анализ влияния определяющих факторов на продуктивность трубчатых колодцев. *Строительство, материаловедение, машиностроение*. 2015. Вып. 84. С. 207–211.
4. Шарков В. В., Семенов И. И., Журавлева Е. А., Франчук О. А. Анализ влияния несовершенства трубчатых колодцев на их продуктивность. *Строительство, материаловедение, машиностроение*. Вып. 92. 2016. С. 178–183.
5. Орлов В. О., Зошук А. М. Сільсько-господарське водопостачання та водовідведення : підруч. Рівне : УДУВГП, 2002. 203 с.
6. Журба М. Г., Соколов Л. И., Говорова Ж. М. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений : учеб. пособие; изд. второе, перераб. и доп. Т. 3. Москва : АСВ, 2004. 256 с.
7. Петімко П. І., Прокопчук І. Т., Царик М. Ф. Налагодження роботи систем водопостачання. Київ: Урожай, 1995. 256 с.
8. Тугай А. М., Терновцев В. О., Тугай Я. А. Розрахунок і проектування споруд систем водопостачання : навч. посіб. Київ : КНУБА, 2001. 256 с.
9. ДБН В.2.5-74:2013. Зовнішні мережі та споруди. Київ : Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України, 2013. 24 с.
10. Рудик В. П., Петімко П. И., Семенюк В. Д., Сергеев Ю. С. Эксплуатация систем водоснабжения. Киев : Будівельник, 1993. 184 с.
11. Aller L. Handbook of suggested practices for the design and installation of ground-water monitoring wells. Dublin, Ohio : Nat. Water Well Ass., 1990. 221 p.
12. Roscoe Moss Company. Handbook of ground water development. New-York : Wiley, 1990. 493 p.
13. Punmia B. C., Kumar Jain A., Ashok Kr. J. Water Supply Engineering. Laxmi Publications Pvt Limited, 2012. 584 p.

## REFERENCES

1. Tuhay A.M. and Tuhay Ya.A. *Vodopostachannya. Dzherela ta vodozabirni sporudy : posibnyk* [Water supply. Sources and water intakes : tutorial]. Ukrainsko-finskiy institut menedzhmentu i biznesu, 1998, 196 p. (in Ukrainian).
2. Abramov N.N. *Vodosnabzhenie* [Water supply]. Moscow : Stroyizdat Publ., 1982, 440 p. (in Russian).
3. Sharkov V.V. and Holovachinskaia A.S. *Analiz vliianiia opredelaiushchikh faktorov na produktivnost trubchatykh kolodtsev* [Analysis of the impact of the determinants of productivity tube wells]. *Stroitel'stvo, materialovedenie, mashinostroyenie*. [Construction, Materials Science, Mechanical Engineering]. 2015, iss. 84, pp. 207–211. (in Ukrainian).
4. Sharkov V.V., Semenov I.I., Zhuravleva E.A. and Franchuk O.A. *Analiz vlianiya nesovershenstva trubchatykh kolodtsev na ikh produktivnost'* [Analysis of the impact of imperfection of tubular wells on their productivity]. *Stroitel'stvo, materialovedenie, mashinostroyenie*. [Construction, Materials Science, Mechanical Engineering]. 2016, iss. 92, pp. 178–183. (in Ukrainian).
5. Orlov V.O. and Zoshchuk A.M. *Silsko-gospodarske vodopostachannya ta vodovidvedennya* [Agriculture water supply and diversion]. Rivne, 2002, 203 p. (in Ukrainian).
6. Zhurba M.G. and Sokolov L.I. *Vodosnabzheniye. Proyektirovaniye sistem i sooruzheniy : izdaniye vtoroye, pererab. i dopolnennoye; uchebnoye posobiye* [Water supply. Design of systems and structures : tutorial]. Moscow : ACB Publ., 2004, 256 p. (in Russian).
7. Petimko P.I. and Prokopchuk I.T. *Nalahodzhennya system vodopostachannya* [Setting up water supply systems]. Kyiv: Urozhay Publ., 1995, 256 p. (in Ukrainian).
8. Tuhay A.M. and Ternovtsev V.O. *Rozrakhunok i proektuvannya sporud system vodopostachannya : navch. posibnyk* [Calculation and design of water supply systems : tutorial]. Kyiv : KNUBA Publ., 2001, 256 p. (in Ukrainian).
9. ДБН В.2.5-74:2013. *Zovnishni merezhi ta sporudy* [DBN V.2.5-74:2013. External networks and structures]. Kyiv : Ministerstvo budivnytstva, arkhitektury ta zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Ukrayiny, 2013, 24 p. (in Ukrainian).
10. Rudik V.P. and Petimko P.I. *Ekspluatatsiya sistem vodosnabzheniya* [Operation of water supply systems]. Kyiv : Budivelnik Publ., 1993, 184 p. (in Russian).
11. Aller L. Handbook of suggested practices for the design and installation of ground-water monitoring wells. Dublin, Ohio. Nat. Water Well Ass., 1990, 221 p.
12. Roscoe Moss Company. Handbook of ground water development. New-York : Wiley, 1990, 493 p.
13. Punmia B.C., Kumar Jain A. and Ashok Kr. J. Water Supply Engineering. Laxmi Publications Pvt Limited, 2012, 584 p.

Надійшла до редакції: 11.06.2023.