

ОПТИМІЗАЦІЯ ВИТРАТ НА ОРГАНІЗАЦІЮ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ПІДЗЕМНОГО ДЖЕРЕЛА ПИТНОЇ ВОДИ

^{1*}Ю. Д. Дрікер, ¹Т. Є. Мітченко

¹ НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського», Київ, 03056, Україна.

* Автор для листування: efim.driker@gmail.com

Реферат

Метою даної роботи є визначення оптимальних для Києва та Київської області умов, за яких витрати на організацію децентралізованого підземного джерела питної води, включаючи облаштування свердловини та використання локальної системи очищення води, будуть мінімальними.

Аналіз ґрунтується на результатах обробки бази даних моніторингового проекту Всеукраїнського водного товариства WaterNet «Карта якості води», в якій станом на жовтень 2020 року налічується 54,8 тис. результатів аналізів проб води з різних джерел водопостачання України, в тому числі 24,8 тис. результатів аналізів проб підземних вод Києва та Київської області, що регулярно проводились протягом останніх десяти років.

Була проведена оцінка капітальних та експлуатаційних витрат на організацію децентралізованого підземного джерела питної води в залежності від глибини залягання свердловини та параметрів якості води на даній глибині.

У Києві та Київській області в рамках досліджуваного діапазону глибин (від 5 до 210 метрів) основними забруднювачами є нітрати, солі твердості, залізо та марганець.

Величина собівартості очищеної води лежить в межах від 0,89 до 1,3 у.о./м³. Максимальних значень вартість водопідготовки набуває для поверхневих шарів (вище 27,5 метрів), де вода забруднена нітратами.

Встановлено, що оптимальною глибиною буріння свердловини є 50 ± 5 м, за якої собівартість 1 куб. м очищеної води до рівня вимог Державних санітарних правил і норм «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (ДСанПіН 2.2.4-171-10) складає 0,89 у.о./м³, для систем водопостачання потужністю 2 м³/добу.

Ключові слова: підземні води; глибина; моніторинг; нітрати, жорсткість, залізо, марганець; бази даних; оптимізація витрат.

Вступ

Підземні води – значний потенційний ресурс для розвитку децентралізованого водопостачання в Україні. Хімічний склад підземних вод залежить від географічного розташування і глибини свердловини (Yevalla, 2020). Як правило, концентрація домішок в воді з підземних джерел в Україні перевищує вимоги Державних санітарних правил і норм «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (ДСанПіН 2.2.4-171-10). Саме це обумовлює необхідність кондиціонування підземних вод з метою доведення їх якості до вимог нормативів питного водопостачання.

Починаючи з 2010 року ВУВТ WaterNet, в рамках проекту «Карта якості води», проводить регулярну роботу по збору, моніторингу та систематизації аналізів якості води з усіх областей України. Станом на жовтень 2020 року в базі ВУВТ WaterNet налічувалося 54,8 тис. результатів аналізів проб води, в тому числі 24,8 тисяч аналізів проб підземних вод Києва та Київської області, що регулярно проводились протягом останніх десяти років (Рис. 1).

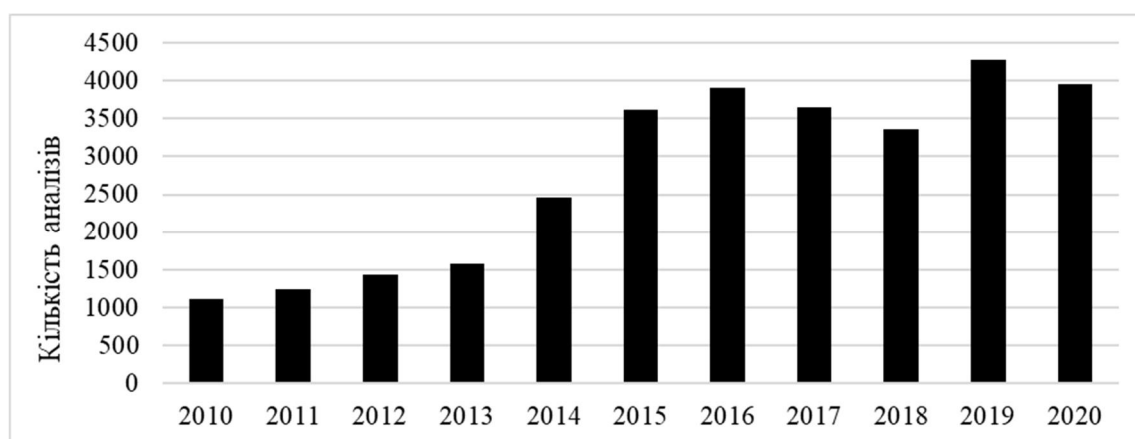


Рис. 1. Динаміка виконання аналізів підземних вод у Київській області за час реалізації проекту «Карта якості води».

Як було показано у роботі (Дрікер, 2020), на базі даних проекту «Карта якості води», існує можливість оцінки та прогнозування якості підземної води в залежності від глибини свердловини, шляхом використання сучасних методів обробки даних. Було встановлено, що у Києві та Київській області в рамках досліджуваного діапазону глибин (від 5 до 210 м) такі забруднювачі як залізо і марганець зустрічаються в концентраціях, що перевищують норми для питної води практично на будь-якій глибині, а нітрати та солі твердості - тільки в певних діапазонах глибин (Рис. 2). Так, найбільш ймовірним є перевищення нормативів в підземних водах за нітратами на глибинах до 27,5 м і солями твердості на глибинах до 36,5 м. Проте,

якщо в свердловинах з глибиною більшою за 36,5 метрів вода в середньому відповідає по твердості нормам для питної, вона не є придатною для побутової техніки та потребує пом'якшення (Светлейшая, 2013).

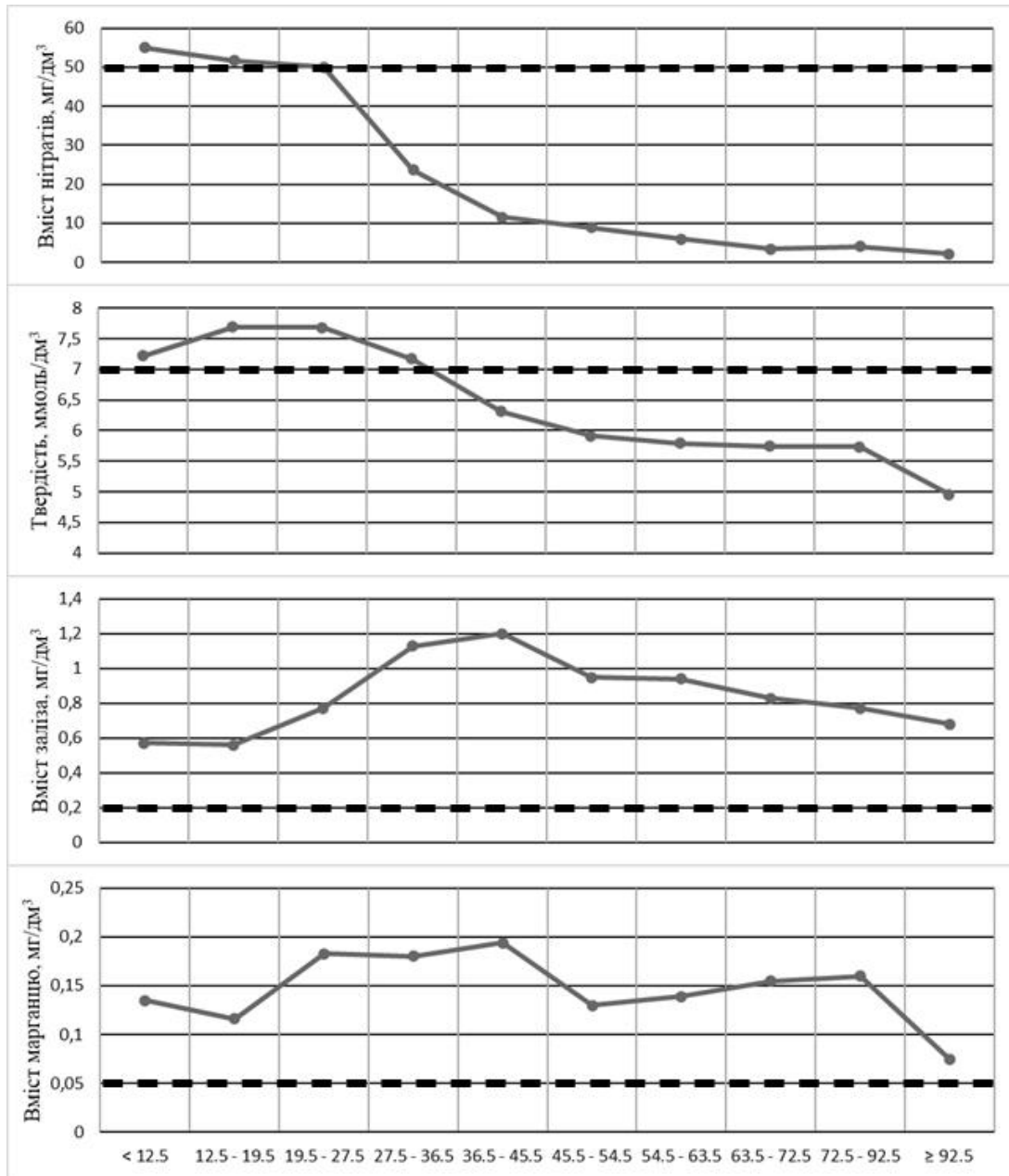


Рис. 2. Вплив глибини залягання свердловини на середній вміст забруднюючих речовин у підземних водах Києва та Київської області (Дрікер, 2020):

- – середні значення показника у даному діапазоні глибин;
- – нормативне значення згідно ДСанПіН 2.2.4-171-10.

Метою даної роботи є визначення оптимальних для Києва та Київської області умов, за яких витрати на організацію децентралізованого підземного джерела питної води, включаючи

облаштування свердловини та використання локальної системи очищення води, будуть мінімальними.

Матеріали і Методи

Найчастіше для очистки підземних вод використовуються установки колонного типу, заповнені фільтруючим матеріалом, вибір якого залежить від типу забруднювачів які необхідно видалити. Так, для видалення нітратів використовуються високоосновні аніоніти (Мітченко, 2002), солей твердості – сильнокислотні катіоніти, а для одночасного видалення органічних речовин, заліза, марганцю та пом'якшення води – комплексне завантаження Есоміх (Мітченко, 2019, Мудрик, 2019). Для регенерації даних фільтруючих матеріалів використовують розчин хлориду натрію концентрацією 8-10%.

Конструкції і принципи роботи фільтрів з різними завантаженнями не відрізняються один від одного. Дані установки (Рис. 3) складаються з балона з фільтруючим матеріалом, керуючого електронного клапана і сольового бака для приготування регенераційного розчину (Рябчиков, 2013).



Рис. 3. Автономний фільтр очищення води (Компанія «Екософт», Інтернет-каталог, 2020)

1 – балон, 2 – керуючий клапан, 3 – сольовий бак

Для попереднього механічного очищення використовуються компактні фільтри з картриджем із спіненого поліпропілену.

Для розрахунку капітальних витрат на локальну систему водоочищення було прийнято, що річне водоспоживання складає 730 м³/рік. Це відповідає потребам домогосподарства з 4-х людей, що мешкають у приватному будинку (Мітченко, 2012).

Буріння свердловин для водопостачання сьогодні, як правило, здійснюється методом гідробуріння. Даний метод являє собою руйнування порід за допомогою спеціального бурового інструменту і води, яка розмиває м'які породи. Піднімання ґрунту відбувається за рахунок вимивання водою, яка подається під напором у свердловину. Для збільшення продуктивності бурового обладнання в робочу рідину можна додавати кварцовий пісок, або іншу дрібну абразивну фракцію (Бабаян, 2009).

Для облаштування свердловини необхідна також установка насосного обладнання, трубопроводів, герметичного оголовку, та бетонних кілець з люком для захисту від стороннього впливу.

Результати і обговорення

Для мінімізації витрат на організацію децентралізованого джерела питної води було проведено техніко-економічні розрахунки, базуючись на інформації про якість води на різній глибині залягання.

Організація децентралізованого джерела водопідготовки потребує як капітальних, так і експлуатаційних витрат.

Капітальними витратами є:

- витрати на буріння свердловини;
- витрати на оснащення свердловини;
- витрати на установку локальної системи водоочищення.

Тоді як експлуатаційними витратами є:

- витрати на заміну фільтруючого матеріалу;
- витрати на регенерацію фільтруючого матеріалу;
- амортизаційні нарахування на обладнання.

Основними параметрами які впливають на капітальні та експлуатаційні витрати на організацію децентралізованого джерела питної води є глибина залягання свердловини та стабільність системи водопідготовки.

Стабільність, а отже, і ціна установок очищення визначається ступенем забруднення води. Для оцінки ступеня забруднення якості підземних вод Києва та Київської області у роботі (Дрікер, 2020) був використаний диференціальний підхід, згідно результатів якого, для очищення води, якість якої оцінюється 11-13 балами, що відповідає глибині до 36,5 метрів, доцільно використовувати тристадійну схему, що включає: механічне очищення, фільтрацію на комплексному завантаженні Есотіх та стадію аніонного обміну для видалення нітратів. У той же час вода з оцінкою 7-10 балів (глибина від 36,5) може бути очищена до рівня питної за двостадійною схемою (механічна фільтрація та комплексне завантаження).

При цьому, якщо при використанні свердловин глибиною залягання більше 27,5 метрів капітальні та експлуатаційні витрати на стадію очищення від нітратів дорівнюють 0, то твердість води впливає на експлуатаційні витрати на будь-яких глибинах її залягання. В зв'язку з цим вміст іонів твердості, обрано основним критерієм при розрахунку та порівнянні експлуатаційних витрат для стадії комплексної очистки води.

Капітальні витрати на облаштування свердловини складаються із витрат на обладнання, матеріали та монтажні роботи (в середньому це 530 у.о. загалом) та витрат на буріння, які залежать від глибини свердловини і складають 11,7 у.о. за кожний метр буріння (Компанія «Аquamen», Інтернет-каталог, 2020). На рис. 4 наведена залежність витрат на облаштування свердловини від її глибини залягання.

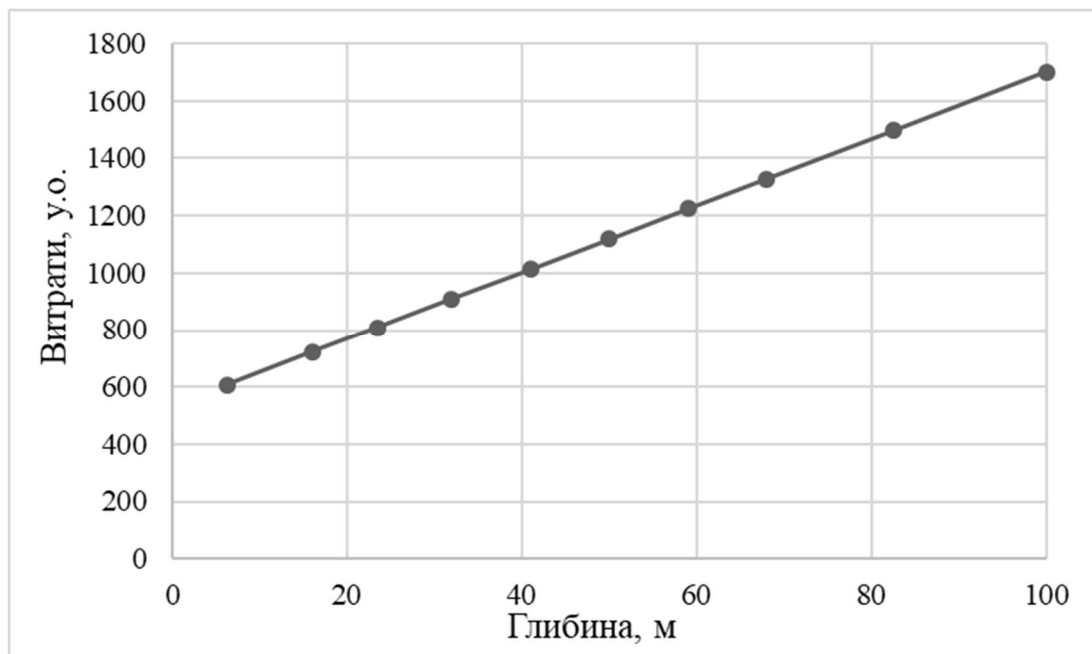


Рис. 4. Залежність витрат на облаштування свердловини від глибини залягання.

Нижче наведені результати розрахунків для різних локальних систем очищення води.

Капітальні витрати на обладнання для очищення води складають 1 681 у.о. (Таблиця 1) при використанні тристадійної системи та 1 196 у.о. при використанні двостадійної системи (Компанія «Екософт», Інтернет-каталог, 2020).

Амортизаційні нарахування складають 10% від капітальних на рік.

Специфікація матеріалів для очищення води наведена в таблиці 2.

Таблиця 1. Специфікація обладнання для систем очищення води (Компанія «Екософт», Інтернет-каталог, 2020)

№	Необхідне обладнання:	Одиниці виміру	Кількість
1	Колба механічного очищення Ecosoft BB20 1"	шт.	1
2	Фільтр знезалізнення та пом'якшення води Ecosoft FK1252CEMIXA	шт.	1
3	Slack WS1 CI клапан управління по витраті	шт.	1
4	Балон 8 x 44 NAT W/BASE	шт.	1
5	Соляний бак в зборі BTR-70	шт.	1

Таблиця 2. Специфікація матеріалів для системи очищення води (Компанія «Екософт», Інтернет-каталог, 2020)

№	Необхідні матеріали	Одиниці виміру	Кількість	Періодичність заміни матеріалу
1	Картридж зі спіненого поліпропілену Ecosoft 4,5"x20" 20 мкм	Шт.	1	40 діб
2	Фільтруючий матеріал Ecomix A	дм ³	50	5 років
3	Аніоніт для видалення нітратів AmberLite IRA402 CI	дм ³	50	5 років

Річні витрати на матеріали для очищення води складають 298 у.о./рік.

Окрім витрат на обладнання та матеріали для локальної системи очищення води було враховано експлуатаційні витрати на регенерацію іоннообмінних смол розчином хлориду натрію концентрацією 8-10%. Ціна регенеруючого агенту складає 0,42 у.о./кг (Компанія «Екософт», Інтернет-каталог, 2020). Експлуатаційні витрати на одну регенерацію є постійними та залежать від кількості та типу обраної смоли, проте кількість регенерацій на рік, при постійному об'ємі водокористування, залежить від якості вихідної води, а саме від кількості солей твердості та нітратів, які суттєво відрізняються на різних глибинах залягання свердловини. В таблиці 3 наведений розрахунок річних експлуатаційних витрат на регенерацію фільтруючих завантажень для установок обробки води з різних глибин залягання.

Таблиця 3. Річна кількість регенерацій фільтруючих завантажень для установок очищення води з різної глибини залягання

Глибина, м	Твердість, мг-екв/дм ³	Нітрати, мг/дм ³	Річна кількість регенерацій	
			Есоміх	Аніоніт
< 12.5	7,22	59,4	151	66
12.5 - 19.5	7,69	55,5	160	63
19.5 - 27.5	7,68	50,1	160	60
27.5 - 36.5	7,17	24,0	150	0
36.5 - 45.5	6,32	11,5	132	0
45.5 - 54.5	5,91	8,9	123	0
54.5 - 63.5	5,80	5,6	121	0
63.5 - 72.5	5,74	3,4	120	0
72.5 - 92.5	5,732	4,0	120	0
≥ 92.5	4,96	2,1	103	0

Сумарні річні експлуатаційні витрати на локальну систему очищення води ($V_{лсо}$) можна визначити за формулою:

$$V_{лсо} = A_{об} + V_{мат} + V_{рег}, \quad (1)$$

де $A_{об}$ – амортизаційні нарахування на обладнання, у.о./рік;

$V_{мат}$ – експлуатаційні витрати на матеріали для очищення води, у.о./рік;

$V_{рег}$ – експлуатаційні витрати на регенерацію, у.о./рік.

Залежність величини річних експлуатаційних витрат на роботу локальної системи очищення води від глибини залягання свердловини представлена на рисунку 5.

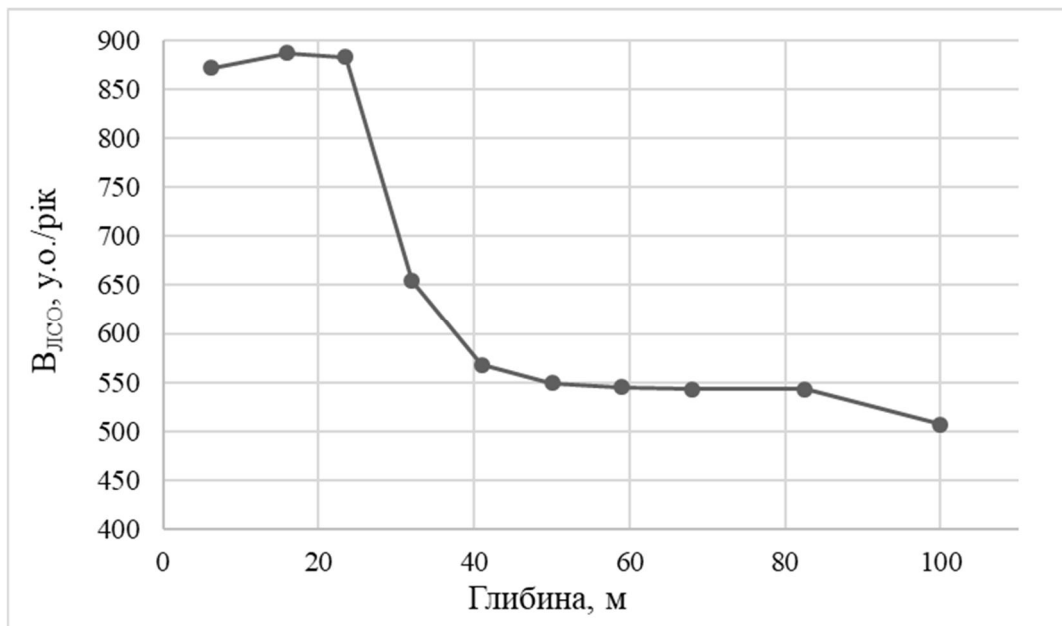


Рис. 5. Залежність величини річних експлуатаційних витрат на роботу локальної системи очищення води від глибини залягання свердловини.

Отже, як видно з рисунку 5, річні експлуатаційні витрати на локальну систему очищення води можуть складати від 500 у.о./рік до 900 у.о./рік в залежності від глибини залягання свердловини.

Як видно з рисунків 4 та 5 при збільшенні глибини залягання свердловини зростають витрати на облаштування свердловини та зменшуються витрати на очищення води.

Для порівняння загальних витрат на очищення води з свердловин з різною глибиною залягання була розрахована собівартість очищення 1 м³ води за формулою:

$$C_{\text{води}} = \frac{V_{\text{ЛСО}} + A_{\text{св}}}{Q_{\text{води}}}, \quad (2)$$

де $C_{\text{води}}$ – собівартість води, у.о./м³;

$A_{\text{св}}$ – річні амортизаційні нарахування на облаштування свердловини, у.о./рік;

$V_{\text{ЛСО}}$ – експлуатаційні витрати на локальну систему очищення води, у.о./рік;

$Q_{\text{води}}$ – річне водоспоживання, м³/рік.

На рисунку 6 представлена залежність величини собівартості 1 м³ очищеної води від глибини залягання свердловини.

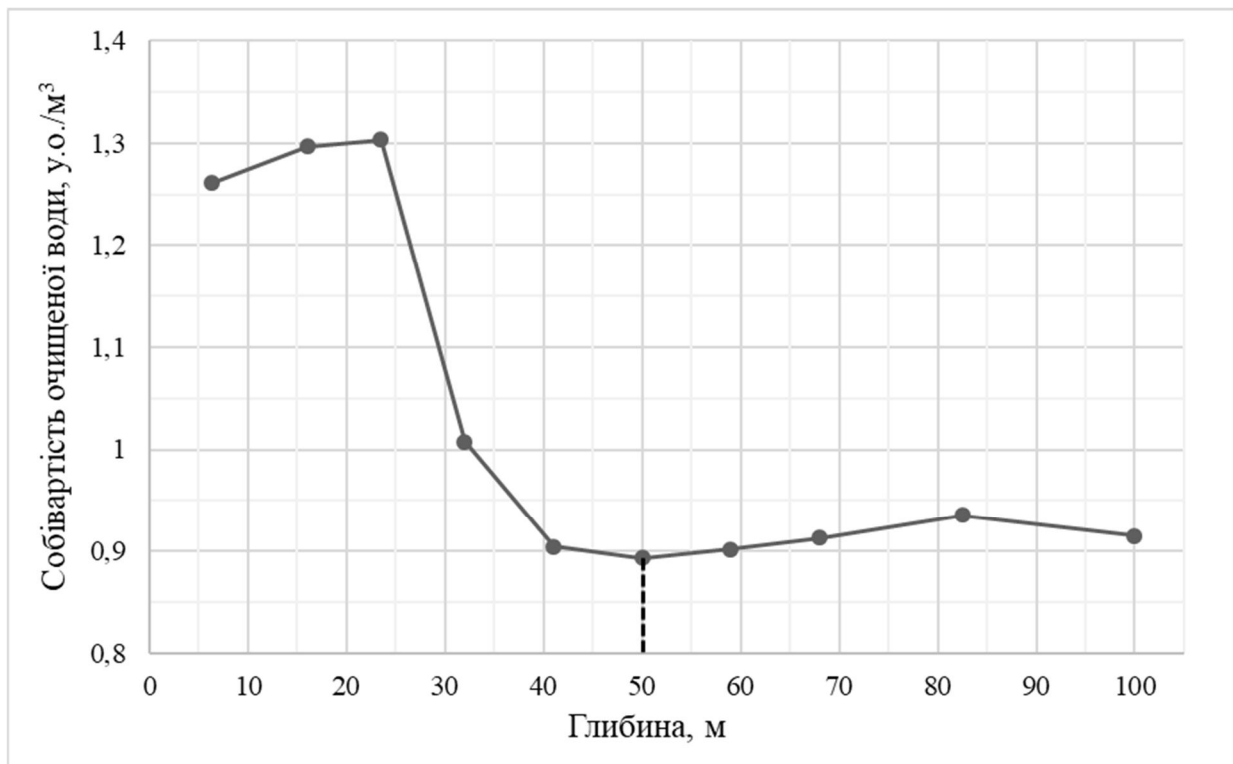


Рис. 6. Залежність собівартості 1 м³ очищеної підземної води від глибини залягання свердловини.

Отже, як видно з рисунку 6 у Києві та Київській області найменша собівартість очищеної підземної води складає 0,89 у.о./м³, що досягається при використанні свердловини глибиною залягання 50 ± 5 метрів.

Висновки

На прикладі Києва та Київської області доведена можливість оптимізації витрат на організацію локального джерела підготовки підземної води до рівня вимог Державних санітарних правил і норм «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» з урахуванням залежності між складом води та глибиною залягання свердловини. Величина собівартості очищеної води лежить в межах від 0,89 до 1,3 у.о./м³ в залежності від глибини залягання свердловини.

Максимальних значень вартість водопідготовки набуває для поверхневих шарів, де вода забруднена нітратами.

Встановлено, що оптимальною глибиною буріння свердловини є 50 ± 5 м, за якої собівартість 1 м³ очищеної води до рівня вимог ДСанПіН 2.2.4-171-10 складає 0,89 у.о./м³, для водопостачання потужністю 2 м³/добу.

Конфлікт інтересів

Автори підтверджують відсутність конфлікту інтересів у відношенні публікації даної статті.

Перелік посилань

Yevalla G. et al. Constructing a 3D geological model from geophysical data for groundwater modelling and management in the Kribi-Campo sedimentary sub-basin, Cameroon, *Water Practice and Technology*, **2020**, 15 (1), 105-119. DOI: 10.2166/wpt.2020.004

Бабаян Э. В., Буровые технологии. *Совет. Кубань*, **2009**.

Дрікер Ю.; Мітченко Т.; Малецький З. Оцінка та прогнозування якості артезіанської води з використанням сучасних методів статистичної обробки даних, *Вода та водоочисні технології. Науково-технічні вісті*, **2020**, 27 (2), 59-74. DOI: 10.20535/2218-93002722020212496

Компанія «Aquamen», Інтернет-каталог, <https://aquamen.com.ua> (доступ 1.11.2020)

Компанія «Екософт», Інтернет-каталог, <https://ecosoft.ua> (доступ 1.11.2020)

Митченко Т.Е.; Макарова Н.В.; Федотова Л.П. Особенности процесса очистки питьевой воды от нитратов. *Вода и Водоочистные Технологии*, **2002**, 2-3, 61-66.

Мітченко Т.Е. та ін. Серія видань Світ сучасної водоподготовки. Методи і матеріали. *ВУВТ WATERNET*, **2019**. ISBN 978-966-97940-2-4

Мудрик Р.; Горовая А. Одно решение пяти проблем. *Вода і Водоочисні технології*, **2019**, 91 (1), 42-47.

Митченко Т.Е. Правильная вода и пути ее получения. *ВВО WATERNET*, **2012**.

Рябчиков Б.Е. Современная водоподготовка. *Делу плюс*, **2013**. ISBN 978-5-905170-49-2

Светлейшая Е.М. Умягчение воды: энергоэффективность + энергосбережение. *Вода и Водоочистные Технологии*, **2013**, 67 (1), 4-9.

References

Aquamen Company, Internet catalog, <https://aquamen.com.ua> (accessed 1.11.2020) [in Ukrainian]

Babayan E.V. Drilling technologies. *Sovet. Kuban*, **2009**. [in Russian]

Dricker Yu.; Mitchenko T.; Maletsky Z. Assessment and forecasting of artesian water quality using modern methods of statistical data processing. *Water and water purification technologies. Scientific and technical news*, **2020**, 27 (2), 59-74. DOI: <https://doi.org/10.20535/2218-93002722020212496> [in Ukrainian]

Ecosoft Company, Internet catalog, <https://ecosoft.ua> (accessed 1.11.2020) [in Ukrainian]

Mitchenko T. et al., Series of publications The world of modern water treatment. Methods and materials. *NGO WATERNET*, **2019**. ISBN 978-966-97940-2-4 [in Ukrainian]

Mitchenko T.; Makarova N.; Fedotova L. Features of the process of purification of drinking water from nitrates. *Water and Water Treatment Technologies*, **2002**, 2-3, 61-66. [in Russian]

Mudrik R.; Gorovaya A. One solution to five problems. *Water and Water Treatment Technologies*, **2019**, 91 (1), 42-47. [in Russian]

Mitchenko T. ed. Proper water and the way it is received. *NGO WATERNET*, **2012**. [in Russian]

Ryabchikov B. Modern water treatment. *DeLi plus*, **2013**. ISBN 978-5-905170-49-2 [in Russian]

Svetleshaya E. Water softening: energy efficiency + energy saving. *Water and Water Purification Technologies*, **2013**, 67 (1), 4-9. [in Russian]

Yevalla G. et al. Constructing a 3D geological model from geophysical data for groundwater modelling and management in the Kribi-Campo sedimentary sub-basin, Cameroon, *Water Practice and Technology*, **2020**, 15 (1), 105-119. DOI: 10.2166/wpt.2020.004

Received 14.10.2020

Revised 18.12.2020

Accepted 28.12.2020

OPTIMIZATION OF COSTS FOR ORGANIZATION OF A DECENTRALIZED UNDERGROUND SOURCE OF DRINKING WATER

**¹Yu. D. Driker, ¹T. Ye. Mitchenko*

¹ National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, 03056, Ukraine.

*Corresponding author: efim.driker@gmail.com

Abstract

The purpose of this work is to determine the optimal conditions for Kiev and the Kiev region, under which the costs of organizing a decentralized underground source of drinking water, including well construction and the use of a local water purification system, will be minimal.

The analysis is based on the results of the processing of database monitoring project Ukrainian Water Society WaterNet «Map of water quality», which as of October 2020 there are 54,8 thousand of the results of analyzes of water samples from different water sources in Ukraine, including 24,8

thousand test results groundwater samples Kiev and Kiev region, who regularly carried out during the last ten years.

An assessment was made of the capital and operating costs for the organization of a decentralized underground source of drinking water, depending on the depth of the well and the parameters of water quality at a given depth.

In Kiev and Kiev region, within the studied depth range (from 5 to 210 meters), the main pollutants are nitrates, hardness salts, iron and manganese.

The value of the cost of treated water is in the range from 0.89 to 1.3 USD/m³. The cost of water treatment reaches its maximum values for the surface layers (above 27.5 meters), where the water is polluted with nitrates.

It was found that the optimal well drilling depth is 50 ± 5 m, at which the cost of 1 cubic meter of treated water is up to the level of the requirements of the Nation Sanitary Rules and Norms "Hygienic Requirements for Drinking Water Intended for Human Consumption" (GSanPiN 2.2.4-171-10) is 0.89 USD/m³, for water supply with a capacity of 2 m³/day.

Key words: groundwater; depth; monitoring; nitrates, hardness, iron, manganese; databases; cost optimization.