

УДК 504.4.054

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.4-49.12>

НОВІ ЕКОЛОГІЧНО ОБҐРУНТОВАНІ КОНСТРУКЦІЇ ВОДОЗАБОРІВ ДЛЯ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ ХАРКОВА З ВИКОРИСТАННЯМ ПРИРОДНИХ ПРОЦЕСІВ ОЧИСТКИ ВОДИ

Яковлев В.В.¹, Дмитренко Т.В.¹, Ліщина В.Д.²¹Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
вул. Маршала Бажанова, 17, 61002, м. Харків²Товариство з обмеженою відповідальністю «Лабораторія якості води «ПЛАЯ»»
вул. Георгіївська, 10, 61000, м. Харків
yakovlev030157@gmail.com, tetyana.dmytrenko@kname.edu.ua, vlishcina@gmail.com

Відомо, що міста з населенням більше кількох сотень тисяч осіб мають таку територіальну концентрацію водоспоживання, що підземні джерела будь-якої потужності не можуть забезпечити всіх потреб комунального сектору й промисловості. Місто Харків з населенням близько 1,5 млн осіб має великі запаси підземних вод високої питної якості, але дебіт підземних родовищ може забезпечити лише третину потреби міста упродовж 25 років, а далі цей ресурс виснажується. У зв'язку з повсюдним забрудненням поверхневих вод, якість питної води, навіть при наявності систем водопідготовки, систематично не відповідає діючим нормативам. Для забезпечення м. Харкова господарсько-побутовою і технічною водою обґрунтована доцільність спорудження променевих і горизонтальних водозаборів підземних вод з поповненням із поверхневих вод. Запропоновані схеми розташування водозабірних споруд у межах акваторії Печенізького водосховища, яке призначене для забезпечення водопостачання Харкова. Показані принципи устрою горизонтального і променевого водозаборів підземних вод з поповненням із поверхневих вод Печенізького водосховища. З використанням відомих залежностей виконано розрахунок просторових параметрів водозаборів, призначених для покриття господарсько-побутових і технічних потреб міста. Розглянуті переваги запропонованої системи водопостачання з використанням променевих і горизонтальних водозаборів підземних вод. Результати досліджень можуть бути використані органами виконавчої влади та об'єднаних територіальних громад при вирішенні проблеми забезпечення м. Харкова господарсько-побутовою і технічною водою на стадії техніко-економічного обґрунтування. *Ключові слова:* якість води, горизонтальний водозбір, променевий водозбір, підземні води, централізоване водопостачання, місто Харків, Печенізьке водосховище.

Newly designed environmentally sound water intake structures for the centralized water supply system in Kharkiv taking into account self-purification processes. Yakovlev V., Dmytrenko T., Lishchina V.

It is known that cities with a population of more than several hundred thousand people have such a territorial concentration of water consumption that underground sources of any capacity cannot provide for all the needs of the municipal sector and industry. The city of Kharkiv, with a population of about 1.5 million people, has extensive reserves of groundwater of high drinking quality, but water output from underground aquifers can only provide a third of the city's needs for 25 years, and then this resource is depleted. Due to widespread pollution of surface water, the quality of drinking water, even with water treatment systems in place, systematically fails to satisfy current standards. In order to provide the city of Kharkiv with domestic and technical water, the expediency of constructing radial and horizontal groundwater intakes with replenishment from surface water was substantiated. Schemes for the location of water intake structures within the water area of the Pechenizky reservoir, which is intended to provide water supply to Kharkiv, were proposed. The principle arrangements of horizontal and radial groundwater intakes with recharge from the surface waters of the Pechenizke reservoir were presented. Using the known dependencies, the spatial parameters of water intakes intended to cover the city's domestic and technical needs was estimated. The advantages of the proposed water supply system using radial and horizontal groundwater intakes were considered. The results of the research can be used by executive authorities and united territorial communities in solving the problem of providing the city of Kharkiv with domestic and technical water at the stage of feasibility study. *Key words:* water quality, horizontal water intake, radial water intake, groundwater, centralized water supply, the city of Kharkiv, Pechenizke reservoir.

Постановка проблеми. Світова практика водопостачання 20-го століття показала, що міста з населенням більше кількох сотень тисяч осіб мають таку територіальну концентрацію водоспоживання, що підземні джерела будь-якої потужності не можуть забезпечити всіх потреб комунальної сфери й промисловості [1]. Наприклад, місто Харків з населенням близько 1,5 млн осіб, порівняно з іншими містами, має великі запаси підземних вод високої питної якості, але, за розрахунками спеціалістів, дебіт підземних родовищ може забезпечити лише

третину потреби міста упродовж 25 років, а далі цей ресурс виснажується. Зростання чисельності населення, і, особливо, міського, у 70-ті роки минулого століття привело до збільшення використання річкових вод. Водночас, у зв'язку з повсюдним забрудненням поверхневих вод [2–6], якість питної води, навіть при наявності систем водопідготовки, систематично не відповідає діючим нормативам. Проблема полягає не тільки в тому, що потрібна вода з більш захищеного джерела, наприклад, із підземних вод, а й в тому, що джерелом забруднення є і сама водо-

провідна мережа. Роботу присвячено обґрунтуванню доцільності спорудження промислових і горизонтальних водозаборів підземних вод з поповненням із поверхневих вод для забезпечення м. Харкова господарсько-побутовою і технічною водою.

Актуальність дослідження. У м. Харкові з 90-х років минулого століття тільки з переліку обов'язкових показників якості питних вод сім показників не відповідали діючим нормативам. Так, були розроблені спеціальні (більш м'які) тимчасові нормативи, що було не вирішенням проблеми, а суто формально виходом із неї.

Логічним вирішенням проблеми є розділення систем питного і непитного водопостачання, як це вже достатньо давно реалізовано у ряді розвинутих країн. Не торкаючись технічної й економічної сторін відокремлених систем питного водопостачання, звернемося до питання необхідної кількості води питної якості. Важливим є те, що суто питної води – для пиття і приготування їжі потрібно насправді не так багато – 2,5–11,5 літра на людину в залежності від кліматичних умов і умов праці [7]. Вся інша вода для господарських цілей має бути бактеріально безпечною – це вода, в тому числі для купання, туалету, прання, прибирання осель. Для цих потреб підготовлена вода з традиційного водопроводу, в принципі, є придатною.

Для харківського водопроводу, джерелами води для якого є річкова вода Сіверського Дінця і Дніпра, окрім боротьби з бактеріальним забрудненням, проблемами є висока каламутність води у період весняної повені, наявність високого вмісту водоростей у період їх цвітіння і несприятливе збільшення температури у літній період. Це ускладнює роботу очисних споруд і примушує застосовувати хлорування, що призводить до вторинного забруднення води хлорорганічними речовинами. На цей час обґрунтування практично придатних і ефективних способів вирішення зазначених проблем є актуальним завданням.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Тема роботи відповідає основним принципам і напрямкам державної політики щодо охорони, раціонального використання та відновлення водних ресурсів України, зокрема, Водному Кодексу України [8], Концепції Загальнодержавної цільової соціальної програми «Питна вода України» на 2022–2026 роки (Розпорядження Кабінету Міністрів України від 28 квітня 2021 р. № 388-р.) [9].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Над вирішенням питань, пов'язаних із проблемами водопостачання м. Харків, у різні роки працювали відомі вчені, фахівці й інженери, зокрема, Д.Д. Тіц, М.Г. Малишевський, В.А. Петросов, І.В. Корінько, С.М. Епоян, Душкін С.С., Агаджанов І.К. та ін.

Потреба комунального господарства і промисловості м. Харкова у воді у різні періоди історії міста

змінювалася. За даними Державного агентства водних ресурсів України, наприклад, у 2019 р. **загальна цифра водокористування по Харкову становила близько 157 млн м³**, із неї на потреби промисловості – 3,9 млн м³ води, а **комунальне господарство забирало майже 152 млн м³ води**. Як зазначено вище, це перевищує наявні в районі міста ресурси підземних вод, але повністю покривається ресурсами поверхневих вод р. Сіверський Донець. При накопиченні води у Печенізькому водосховищі об'ємом 383 млн м³, яке розташоване вище місця міського водозабору, це дозволяє гарантувати постійний відбір води у потрібній кількості незалежно від сезонів. Упродовж останніх десятиліть об'єм використання води у Харкові з об'єктивних причин зменшувався. Головним чином, це було пов'язано із запровадженням приладів обліку відбору води, зниженням потужностей промисловості та збільшенням тарифів на водопостачання. На перспективу можна прогнозувати, що неминуче подорожчання водних ресурсів буде стримувати зростання потреби у воді, навіть при збільшенні населення Харкова і зростанні виробничих потужностей.

Таким чином, поверхневий стік р. Сіверський Донець кількісно покриває потреби Харкова. Вирішити питання періодичного зниження якості річкової води, пов'язане із завислими речовинами, цвітінням і бактеріальним забрудненням, можна за допомогою відповідних очисних споруд, але світовий досвід свідчить про наявність більш ефективного способу, не пов'язаного з великими поточними витратами на спеціальних очисних спорудах.

Матеріали та методика дослідження. Методика роботи базувалась на аналізі літературних даних про особливості й можливості застосування промислових і горизонтальних водозаборів для крупного централізованого водопостачання. Щодо гідрогеологічних умов долини р. Сіверський Донець, з використанням відомих залежностей виконувався розрахунок просторових параметрів водозаборів, призначених для покриття господарсько-побутових і технічних потреб міста. Розглянуті переваги запропонованої системи водопостачання для умов Харкова.

Викладення основного матеріалу. Розглянемо аргументи та принципову можливість застосування промислових водозаборів. До таких водозаборів можна віднести власне променеві й так звані «горизонтальні водозабори» [10]. Як перші, так і другі мають принципово схожу конструкцію – вони складаються з водозбірної камери у вигляді колодязя або шахти й водозахватних променів – горизонтальних свердловин. Горизонтальні водозабори мають невелике заглиблення водозахватних променів – до 8 м глибини від поверхні землі та каптують підземні води, що залягають неглибоко, а власне променеві водозабори мають горизонтальні (або слабо нахилені до колодязя) промені-свердловини довжиною до 70 м, вироблені на порівняно більших глибинах – до 35–40 м.

Перший промисловий водозабір був побудований Л. Раннесом у 1934 р. в алювіальних відкладах р. Темзи в Лондоні й працює до цього часу. Він складався з вертикальної шахти глибиною 40 м і горизонтальних свердловин, вода з яких самопливом надходила в шахту і подавалася на поверхню насосом. По суті, цей водозабір підземних вод відрізняється від традиційних свердловинних більшою поверхнею водоприймальної частини. Вже до початку 60-х років за вказаним методом у США, Угорщині, ФРН та інших західних країнах було побудовано близько чотирьохсот водозаборів. Горизонтальні промені в них були обладнані на глибині до 40 м і мали довжину, в основному, від 10 до 70 м. Промислові конструкції, що застосовуються в умовах малопрониклих порід, дозволяють за рахунок збільшення фільтруючої площі підвищити продуктивність водозабору, проте, в разі середніх і високих фільтраційних параметрів водоносних порід, ці системи дозволяють досягти продуктивності систем, які ефективно забирають воду з поверхневих водоемів. Так, в сприятливих гідрогеологічних умовах продуктивність промислових водозаборів може досягати 2000–2400 м³/год [10] або 48–58 тис. м³/добу, що зіставляється з потребою міста з населенням 250–300 тис. чол. При цьому, у порівнянні з водозаборами поверхневих вод, промислові й горизонтальні мають перевагу підземних водозаборів – температура видобутої води стабілізується, усувається каламутність, завислі речовини та планктон, значно поліпшуються бактеріологічні показники. Це дозволяє суттєво знизити концентрацію хлору у водопровідній воді та застосовувати його тільки для протидії вторинному зараженню у водопроводі. Підземний забір поверхневої води дозволяє також виключити негативний вплив на стан водних екосистем поверхневих водних об'єктів, зокрема, на планктонні організми та їхню фауну.

Продуктивність горизонтальних водозаборів у розрахунку на одиницю довжини променя (горизонтальної свердловини) істотно нижче в порівнянні з промисловими водозаборами, оскільки напір води над місцем її відбору відносно невеликий. Водночас спорудження таких водозаборів траншейним способом під дном водосховища дозволяє нарощувати відбір води як внаслідок наявності напору поверхневих вод, так і за рахунок довжини променів, яка обмежується тільки розміром акваторії.

Комбінація зазначених водозаборів з поповненням запасів підземних вод із поверхневих дозволяє скоротити площу водозаборів (в порівнянні з водозаборами з підземних вод) і забезпечує роботу водозаборів в сталому режимі. Більш того, з європейської практики відомі промислові водозабори, що споруджуються на невеликих природних і штучних річкових островах, що практично усуває відчуження цінних земельних ділянок [10].

Автори статті пропонують розглянути варіанти розміщення промислових водозаборів різної конструкції

в долині р. Сіверський Донець вище Кочетоцьких водозабірних споруд. Одним із варіантів є акваторія Печенізького водосховища, яке призначене саме для забезпечення водопостачання Харкова.

На рис. 1 і 2 показані принципові устрої горизонтального і промислового водозаборів підземних вод з поповненням із поверхневих вод Печенізького водосховища.

Розглянемо варіант горизонтального водозабору. Для такого водозабору потрібна наявність досить потужного порово-пластового колектора із задовільними фільтраційними характеристиками. На розрізі, наведеному на рис. 1, можна бачити, що в межах акваторії Печенізького водосховища і нижче за течією річки піщаний алювій залягає на крейдяних породах. За досвідом різних робіт у регіоні та експертною оцінкою, у цій частині долини р. Сіверський Донець товщина шару піщаного алювію в районі водосховища орієнтовно становить 7–11 м, а коефіцієнт фільтрації пісків можна попередньо прийняти на рівні 4–6 м/добу. Потужність намивного шару піщаного ґрунту над водозбірними дренами необхідно приймати не менше 5 м, оскільки, починаючи з такої товщини шару піску, забезпечується істотний бактеріальний захист [10]. Окрім того, при такому заглибленні водоприймальної частини фільтруюча поверхня розосереджується на значну площу, що зменшує вхідну швидкість води й, відповідно, зменшує кольматію піщаного фільтра. Передбачається, що коефіцієнт фільтрації намивного шару кварцових дрібнозернистих пісків буде становити не менше 6 м/добу.

Приймаємо, що відбір води через рівномірно розподілені по площі дрени забезпечує середнє зниження рівня води на рівні фільтрів щодо рівня води у водосховищі на 0,5 м. Тоді розрахунковий водовідбір Q з такого водозабору (тільки за рахунок припливу зверху – з поверхневих вод) можна визначити за формулою Дюпюї:

$$Q = K I F, \quad (1)$$

де: K – коефіцієнт фільтрації намивного піщаного шару, м/добу;

I – градієнт напору, рівний відношенню різниці напорів на поверхні фільтруючого шару і в дрени до потужності фільтруючого шару, які в даному випадку прийняті рівними 0,5 і 5 м, відповідно;

F – площа фільтрації, при розрахунку одиничного значення витрати прийнято 1 м².

Підставляючи значення величин у формулу 1, одержуємо величину водоприпливу на 1 м² площі:

$$Q = K I F = 6 \cdot (0,5/5) \cdot 1 = 0,6 \text{ (м}^3\text{/добу)}.$$

Для отримання необхідного дебіту 450 тис. м³/добу площа, яка зайнята систематичним горизонтальним водозаборами, складе $450000/0,6 = 750\,000$ м², або 0,75 км², що при загальній площі

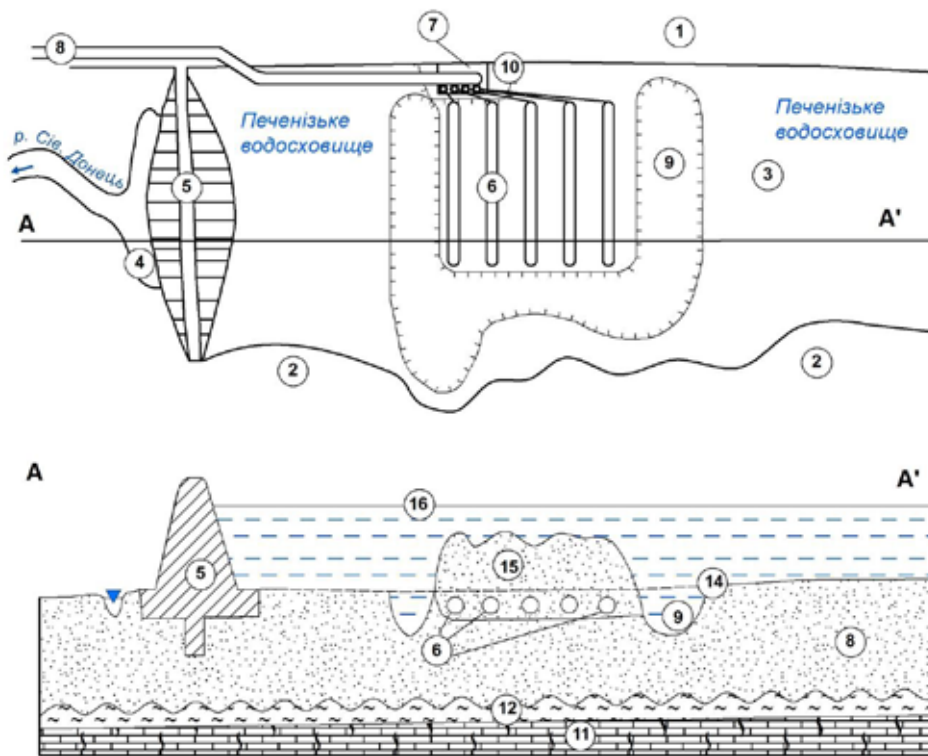


Рис. 1. Принциповий устрій горизонтального водозбору підземних вод з поповненням із Печенізького водосховища

1 – корінний схил долини р. Сіверський Донець; 2 – борова тераса р. Сіверський Донець; 3 – Печенізьке водосховище у межах заплави й частково борової тераси; 4 – р. Сіверський Донець; 5 – гребля Печенізького водосховища; 6 – промені горизонтальних водозборів; 7 – камера з засувкою; 8 – магістральний водопровід до вузла водопідготовки; 9 – виїмка піщаного ґрунту; 10 – намитий півострів; 11 – мергельно-крейдянні тріщинуваті водоносні відклади; 12 – «кольматційний» шар у покрівлі мергельно-крейдяних відкладів, відносно водотривкий; 13 – алювіальні піски; 14 – дно водосховища до будівництва інфільтраційного водозбору; 15 – намитий піщаний фільтр; 16 – рівень води у водосховищі.

акваторії Печенізького водосховища 86,2 км² становить не більше 1%, тобто ємність й екологічні умови водойми суттєво не зміняться. Необхідно зазначити, що у вищенаведеній оцінці дебіту не враховувався приплив знизу – з підземних вод мергельно-крейдяного горизонту, тому оцінено максимальне значення площі горизонтального водозбору.

У варіанті променевого водозбору отримання великої продуктивності можливо в умовах досконалого фільтраційного зв'язку поверхневих вод із першим від поверхні водоносним горизонтом і наявності ефективного тріщинуватого середовища у підстиляючій мергельно-крейдянній товщі.

Як зазначено вище, алювіальний водоносний горизонт, який складається з середньо-дрібнозернистого кварцевого піску, має добрі фільтраційні властивості. Мергельно-крейдяний горизонт зазвичай приурочений до зони відкритої тріщинуватості крейдяних порід, яка поширюється до глибини 70–80 м від поверхні землі. Продуктивність свердловин, обладнаних на цей горизонт, в межах заплав річок і перших надзаплавних терас у долині р. Сіверський Донець (якщо

крейдяні породи залягають під алювієм) в більшості випадків коливається між 10 і 50 м³/год. Значення коефіцієнтів фільтрації зазвичай складають 5–30 м/добу і закономірно зменшуються зверху вниз відповідно до ступеня розкритості тріщин. Саме такі умови мають місце в межах південної частини Печенізького водосховища, акваторія якого покриває піщані відклади заплави й частково першої надзаплавної тераси, а стан розкритості тріщин в крейдяних породах в умовах затоплення цих терас сприяє поліпшенню фільтраційної здатності. Це дозволяє очікувати значних водопритоків до променевого водозбору.

Дебіт одного променевого водозбору класичної конструкції (рис. 2) для умов ізольованого в покрівлі й у підшві пласта при несталому русі (що в даному випадку представляє інженерний запас) може бути визначений за формулою Г.О. Разумова [10]:

$$Q = \frac{2\pi k (h_e^2 - h_0^2) N}{\left(\ln \frac{at}{m^2} - \frac{15,6}{\sqrt[5]{l + 3D}} \right) n + \frac{3D + 3,6}{l}}, \quad (2)$$

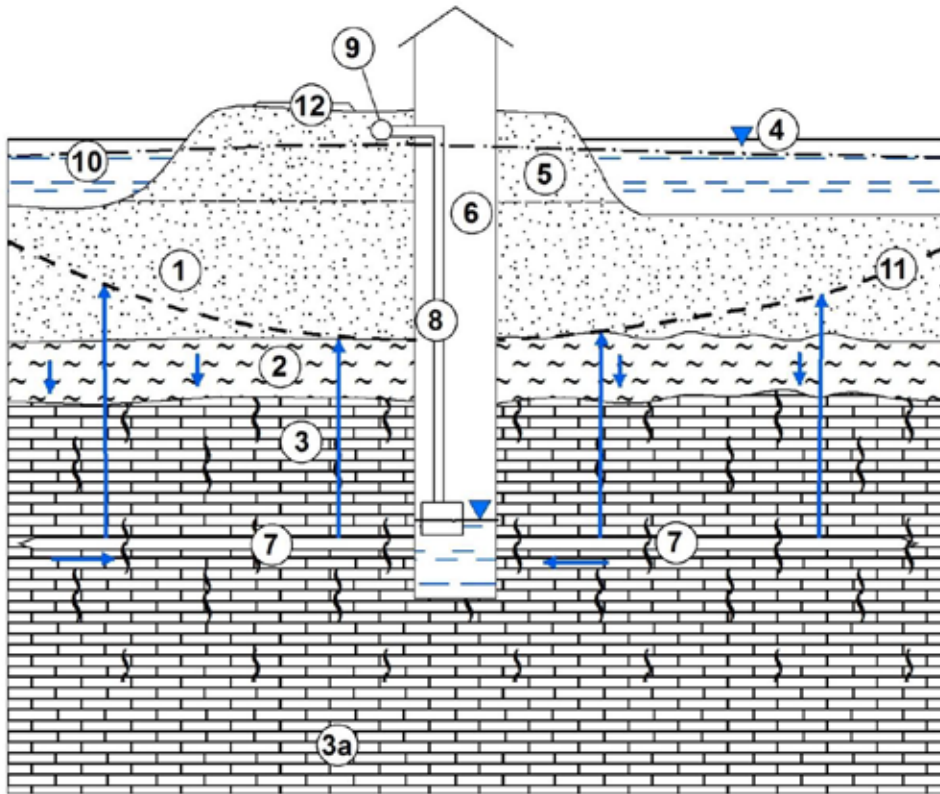


Рис. 2. Принципова схема променевого водозбору на акваторії Печенізького водосховища

1 – піщаний алювій; 2 – «кольматаційний» шар у покрівлі мергельно-крейдових відкладів, відносно водотривкий; 3 – мергельно-крейдові тріщинуваті водоносні відклади; 4 – рівень води у водосховищі; 5 – намитий півострів; 6 – водозбірна шахта; 7 – горизонтальні водозбірні промені; 8 – насос і водопіднімні труби; 9 – трубопровід; 10 – п'езометричний рівень мергельно-крейдового водоносного горизонту у непорушених умовах; 11 – динамічний рівень в експлуатаційному водоносному горизонті; 12 – дорога з твердим покриттям.

де: k – коефіцієнт фільтрації водоносного горизонту, приймається середнє значення за експертною оцінкою – 5 м/добу;

h_e – абсолютна відмітка води у водоносному горизонті, яка наближена до відмітки води у водосховищі – 100 м;

h_o – абсолютна відмітка динамічного рівня води у каптажній споруді – приймається на 10 м нижче відмітки статичного рівня – 90 м;

N – число променів (горизонтальних свердловин);

a – коефіцієнт п'езопровідності водоносного горизонту мергельно-крейдових відкладів, що за досвідом робіт (експертна оцінка) приймається рівним 10^5 м²/добу;

t – час роботи водозбору, що приймається рівним 25 рокам, або приблизно 10^4 діб;

m – потужність водоносного горизонту тріщинуватої зони мергельно-крейдових відкладів, експертно приймається 55 м;

l – довжина горизонтальних свердловин, прийнято 30 м;

\bar{l} – відносна довжина горизонтальної свердловини, l/m ;

D – діаметр водозбірного колодязя, прийнятий рівним 4 м;

\bar{D} – відносний діаметр водозбірного колодязя, $D/2m$;

$N = 360^\circ/\beta$, де β – кут між променями, град.

Не до кінця вивченим залишається ступінь ізольованості мергельно-крейдового горизонту зверху так званою «зоною кольматації» – шаром пластичної крейди, який в долинах річок є відносним водотривом. За досвідом експлуатації відомо, що тривала експлуатація підземних вод на ряді водозборів у Харківській області свідчить про досить тісний фільтраційний зв'язок крейдового й алювіального водоносних горизонтів. Цей параметр потребує вивчення дослідними відкачуваннями безпосередньо у межах акваторії водосховища.

Підставляючи зазначені величини в формулу 2, отримуємо:

$$Q = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 5 (100^2 - 90^2) \cdot \left(\frac{360}{60}\right)}{\left[\ln \frac{10^5 \cdot 10^4}{55^2} - \frac{15,6}{\sqrt{\frac{30}{55} + 3 \cdot \frac{4}{2 \cdot 55}}} \right] \cdot 6 + \frac{3 \cdot 4 + 3,6}{55}} = 120\,450 \text{ (м}^3\text{/добу)}.$$

Таким чином, обладнання чотирьох вищевказаних промислових водозаборів, розміщених на штучних півостровах в межах акваторії Печенізького водосховища, дозволить покрити всю перспективну потребу у господарсько-побутовій і технічній воді м. Харкова.

Необхідно зазначити, що на практиці наведений вище розрахунковий дебіт одного промислового водозабору буде обмежуватися гідравлічним опором в променях (обмеження пропускної здатності горизонтальних свердловин), тому конструкція променів-свердловин повинна це враховувати. З іншого боку, зважаючи на велику кількість вихідних параметрів, виконаний розрахунок слід вважати попереднім, тобто таким, що надає перше наближення до вишукованої величини.

Матеріали гідрогеологічних досліджень дозволять з більшою достовірністю обґрунтувати розрахунковий дебіт горизонтального і промислового водозаборів, що поряд з іншими параметрами (вартість будівництва водозабірних споруд, вартість намівання піщаного фільтра, величина площі, яку займає споруда та ін.) ляже в основу порівняння варіантів водозаборів для господарсько-побутового і технічного водопостачання м. Харкова на стадії техніко-економічного обґрунтування. При цьому необхідно врахувати різницю в якісних показниках води, отриманої з різних глибин, перш за все, це: бактеріальні показники, вміст заліза, марганцю, амонію, сірководню, Eh, окислюваність, кольоровість, запах, температура. Ці показники також можна вивчити при дослідних відкачуваннях свердловин

при вишукуваннях в межах акваторії Печенізького водосховища.

Головні висновки. Досвід розвинених країн і економічні чинники свідчать про перевагу експлуатації промислових і горизонтальних підземних водозаборів при використанні поверхневих джерел води для крупного централізованого водопостачання у порівнянні з варіантом відбору безпосередньо з водойм. Для системи централізованого водопостачання м. Харкова, яка базується на річкових водах Сіверського Донця, це дозволить зняти проблеми каламутності води у період повені, водоростей у період цвітіння, знизити бактеріальне забруднення і зменшити до мінімуму коливання температури відібраної води.

Гідрогеологічні умови в долині р. Сіверський Донець дозволяють будувати ефективні промислові й горизонтальні підземні водозабори з поповненням із Печенізького водосховища з метою забезпечення господарсько-побутового і технічного водопостачання м. Харкова.

Перспективи використання результатів досліджень. Результати досліджень, зокрема, доцільність спорудження промислових і горизонтальних водозаборів підземних вод з поповненням із поверхневих вод, а також запропоновані схеми розташування водозабірних споруд у межах акваторії Печенізького водосховища можуть бути використані органами виконавчої влади та об'єднаних територіальних громад при вирішенні проблеми забезпечення м. Харкова господарсько-побутовою і технічною водою на стадії техніко-економічного обґрунтування.

Література

1. Яковлев В. В. Перспективні джерела природних вод для питного водопостачання України, їх охорона і раціональне використання: дис. ... д-ра геол. наук: 21.06.01 / Харк. нац. ун-т ім. В. Н. Каразіна, 2017. 351 с.
2. Яцик А. В. Екологічна ситуація в Україні і шляхи її поліпшення. Київ: Оріяни, 2003. 84 с.
3. Bowen, R. (1986). Groundwater: 2nd ed. London : Elsevier. 427 p.
4. Clara, M., Strenn, B., Kreuzinger, N. (2004). Carbamazepine as a possible anthropogenic marker in the aquatic environment: investigations on the behavior of carbamazepine in wastewater treatment and during groundwater infiltration. *Water Research*. № 38 (4). P. 947–954.
5. Cleuvers, M. (2003). Aquatic ecotoxicity of pharmaceuticals including the assessment of combination effects. *Toxicology Letters*. 142 (3). P. 185–194.
6. Goudie, A.S. (1986). The Human Impact on the Environment. Oxford : Basil Blackwell. 605 p.
7. Гончарук Є.Г. Комунальна гігієна / Є.Г. Гончарук, В.Г. Бардов, С.І. Гаркавий, О.П. Яворовський та ін.; За ред. Є.Г. Гончарука. Київ: Здоров'я, 2006. 792 с.
8. Водний Кодекс України: Закон України від 06.06.1995 р. № 213/95-ВР. *Відомості Верховної Ради України*. 1995. № 24. Ст. 189.
9. Про схвалення Концепції Загальнодержавної цільової програми «Питна вода України» на 2022–2026 роки: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 28.04.2021 р. № 388-р. *Офіційний вісник України*. 2021. № 37. Ст. 2250.
10. Яковлев В.В., Ліщина В.Д., Бабаєв М.В., Васенко О.Г. Джерела водопостачання Харкова і перспективи використання промислових водозаборів. *Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки*. 2015. Вип. 37. С. 106–126.