

Куницький С. О., к.т.н. (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ СТАНЦІЇ ВОДОПІДГОТОВКИ

Проаналізовано показники якості артезіанської води зі свердловин, що забезпечують питне водопостачання жителів смт Гоща Рівненської області; обґрунтовано рекомендації щодо проєктування станції знезалізнення підземних залізовмісних вод. Приведено основи розрахунків для умов фільтрування та промивання фільтрів станції.

Ключові слова: якість води, вміст заліза, станції знезалізнення, інтенсивність промивання, фільтруюча засипка.

Вступ. В умовах нарощування антропогенних навантажень на природне середовище, розвитку суспільного виробництва і зростання матеріальних потреб виникає необхідність розробки і додержання особливих правил користування водними ресурсами, раціонального їх використання та екологічно спрямованого захисту [1].

Проблема очистки води та її постачання споживачам стає все більш актуальною в наш час. Водопостачання населених пунктів та промислових підприємств здійснюється здебільшого з поверхневих та підземних джерел. На півдні та сході України водо-споживачі та водокористувачі використовують переважно поверхневі води, а захід та північ – більшою мірою підземні.

Щодо якості води, то поверхневі джерела води можуть мати значення кольоровості від 150 до 300 градусів платино-кобальтової шкали, каламутність до 1500 мг/м³, запах та присмак [2]. Підземні води із захищених підземних горизонтів мають незначну каламутність, кольоровість та запах на мінімальних значеннях. Але підземні води часто містять у своєму складі значний вміст заліза, марганцю, вуглекислоти та розчинені гази. Використання води для питних потреб з великою концентрацією заліза сприяє алергійним реакціям, хворобам крові та печінки. Залізо в підземних водах може знаходитися у вигляді іонів двовалентного заліза, колоїдних органічних та неорганічних з'єднань дво- та тривалентного заліза. Концентрація заліза коливається в межах 1-10 мг/дм³, але інколи може становити понад 25 мг/дм³. Хоча найчастіше вміст заліза складає до 5 мг/дм³



[3].

Відповідно до Загальнодержавної цільової програми «Питна вода України» на 2011–2020 роки, державна політика щодо розвитку та реконструкції систем централізованого водопостачання та водовідведення; охорони джерел питного водопостачання; доведення якості питної води до вимог державних стандартів; нормативно-правового забезпечення у сфері питного водопостачання та водовідведення; розроблення та впровадження науково-дослідних і дослідно-конструкторських розробок із застосуванням новітніх матеріалів, технологій, обладнання та приладів. Дана програма передбачає будівництва і реконструкції водопровідних та каналізаційних очисних споруд з метою зменшення обсягів неочищених стічних вод, що скидаються у водні об'єкти, а також утилізації осадів; будівництва та впровадження станцій (установок) доочищення питної води і пунктів її розливу із застосуванням новітніх матеріалів, технологій, обладнання, приладів та науково-дослідних і дослідно-конструкторських розробок; розроблення схем оптимізації роботи систем централізованого водопостачання [4].

Стан водних ресурсів та водозабезпечення населення України залишається однією з головних актуальних загроз національної безпеки України в екологічній сфері та питання адаптації управління водними ресурсами в умовах змін клімату.

Постановка мети і задач дослідження. Головною метою статті є розкриття основних аспектів проєктування станції водопідготовки на прикладі станції знезалізнення смт Гоща.

Задачі статті:

- оцінка методу підготовки води до вимог «Вода питна»;
- проаналізувати показники якості артезіанської води з свердловин, які розташовані на території смт Гоща;
- навести розрахункові параметри для проєктування;
- представити фізико-хімічні параметри сирової води, яка подається з свердловин на очищення.

Технології знезалізнення підземних вод було запропоновано і впроваджено велику кількість способів, проте їх можна згрупувати таким чином:

- безреагентні;
- реагентні;
- катіонообмінні;
- біохімічні.

Б.Є. Рябчиков групує способи знезалізнення води на три групи:

- фізичні (макро-, мікро-, ультра-, нанофільтрація, зворотній осмос);
- хімічні – окислення різними хімічними окислювальними агентами, в тому числі в присутності каталізаторів;
- біологічні – окислення двовалентного заліза із включенням в склад бактерій.

Присутність заліза у воді робить її непридатною для пиття і використання в побутових і виробничих цілях. Цю проблему особливо гостро відчувають жителі сільських районів, власники заміських будинків, відпочиваючі в санаторіях і будинках відпочинку, так як саме підземні води, які вони використовують містять велику кількість розчиненого заліза. Починаючи з концентрації 1,0-1,5 мг/дм³, при питті води починає відчуватися неприємний металевий присмак. При значеннях більше 0,23 мг/дм³ залізо залишає плями на білизні і санітарно-технічних приладах. При концентрації заліза менше 0,2 мг/дм³ запах зазвичай не відчувається, але можуть з'являтися каламутність і кольоровість води. В багатьох випадках одночасно з залізом в цих водах є марганець і сірководень; крім того, підземні води нерідко виявляють корозійні властивості по відношенню до металевих трубопроводів, фасонних частин і арматури [5].

Кожен робочий процес водоочисних фільтрів складається з двох частин: процесу фільтрування та процесу промивання фільтруючого завантаження. Затримання забруднень відбувається за рахунок налипання забруднень на зерна завантаження під дією адгезійних сил. По проходженню певного часу роботи фільтруючого завантаження знижується його затримуюча здатність, яка пов'язана з накопиченням в йому осаду та зміною гідравлічного опору фільтруючого завантаження. Час при якому втрати напору в завантаження зростають до максимально можливих для конкретної конструкції фільтрів, це час при якому виникає необхідність переведення фільтрів в режим промивки. Регенерації фільтрів відводиться велике значення в надійній та стабільній роботі водоочисних фільтрів. Процес промивання фільтруючого завантаження пояснюється збільшенням гідродинамічних та зменшенням адгезійних сил між забрудненнями та гранулами завантаження.

В результаті окислення 1 мг гідрокарбонату заліза утворюється 1,6 мг вільної вугільної кислоти, загальна лужність води знижується на 0,043 мг-екв/дм³, можливе зменшення рН, сповільнюється окислення й гідроліз заліза.

У перерахованих способах залізо переводиться в гідроксид за-



ліза, при цьому може виділятися велика кількість вуглекислого газу. Окислення заліза може проводитись шляхом *глибокої та спрощеної* аерації.

В Україні найпоширеніші безреагентні аераційні методи знезалізнення води, які передбачають насичення киснем повітря води, з метою отримання закисного заліза, та подальшого його затримання в зернистій засипці фільтрів. Тип фільтруючої засипки та її параметри суттєво впливають на ефективність знезалізнення води.

Зростання кількості населення та ступеня благоустрою будинків, збільшення обсягів виробництва, а також задовільна якість фільтрату (за кольором і присмаком) та незадовільна робота станції (недотримання розрахункових параметрів роботи, недостатня пропускна здатність, винесення пінополістиролу з фільтра в каналізацію, а також ряд інших причин) змушують здійснювати реконструкцію діючих станцій знезалізнення води.

Розглянемо особливості проєктування станції на прикладі діючої станції знезалізнення в смт Гоща. Продуктивність діючої очисної станції складала 1200 м³/добу. Фільтрування забезпечувалося одним пінополістирольним фільтром діаметром 2500 мм. Артезіанська вода подавалася у верхню частину фільтра та аерувалася шляхом вільного виливу води з висоти 0,5 м на відбійний щит. Далі потрапляла в надфільтровий простір, проходила шар засипки та відводилася в колектор збору фільтрату. Фільтрування можна здійснювати в трьох режимах: 1) низхідне фільтрування із збором води через нижню розподільну систему; 2) низхідне фільтрування із збором води через ковпачкову дренажну систему; 3) двопоточне фільтрування із збором води через ковпачкову дренажну систему.

Проєктується додатково 3 фільтри діаметром 1400 мм і 1-го діаметром 1200 мм. Для окислення заліза необхідно встановити два повітрявідділювачі діаметром 630 мм. Виходячи з нерівномірності водорозбору (у вихідні та передсвяткові дні відчувається нестача води), додатково потрібно встановити резервуар чистої води об'ємом 170 м³.

Згідно [4] вода за показниками якості не відповідає діючим нормативним вимогам [5; 6]. Необхідно запроектувати станцію знезалізнення на продуктивність: добову 1700 м³/доб., годинну 72,5 м³/год, секундну 20,14 л/с. Вихідна вода має концентрацію заліза до 5 мг/л.

Знезалізнення води за запропонованою технологічною схемою здійснюється наступним чином. Підземна вода трубопроводом 1 пот-

рапляє в аератор 2, де відбувається насичення води киснем повітря для окислення двовалентного заліза в тривалентне, видалення вільної вуглекислоти та сірководню.

Регулятор швидкості фільтрування 3 призначений для видалення бульбашок повітря із води та забезпечення постійної швидкості фільтрування упродовж всього фільтроциклу. Із нижньої частини регулятора швидкості фільтрування вода потрапляє в нижню частину фільтра і проходить знизу вгору через плаваючу засипку. Затримання гідроокисі заліза відбувається в товщі плаваючої пінополістирольної засипки, незалізнена вода збирається в надфільтровому просторі та трубопроводом 9 відводиться споживачу.

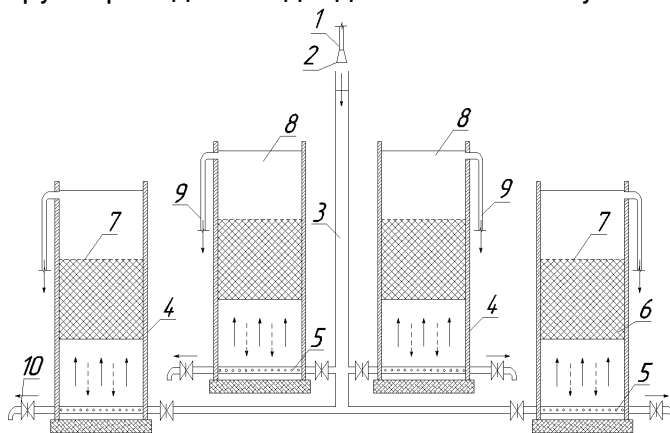


Рис. 1. Схема знезалізнення підземної води аерацією та фільтруванням на пінополістирольних фільтрах:

- 1 – трубопровід подачі вихідної води; 2 – аератор; 3 – регулятор швидкості фільтрування; 4 – корпус фільтра; 5 – розподільна дренажна система;
- 6 – плаваюча пінополістирольна засипка; 7 – утримуюча решітка;
- 8 – надфільтровий простір; 9 – трубопровід відведення незалізненої води споживачу; 10 – промивний трубопровід

По мірі накопичення забруднень в фільтрувальному шарі, рівень води в регуляторі швидкості фільтрування збільшується, і при досягненні граничних втрат напору фільтр виводиться на промивку шляхом відкриття промивної засувки на трубопроводі 10. Чиста вода із надфільтрового простору проходить крізь засипку, розширює та відмиває її і промивна вода через трубопровід 10 скидається в каналізацію. При цьому промивається тільки один фільтр, а решта продовжують працювати в режимі фільтрування, подаючи через перепускні вікна 11 в надфільтровий простір фільтра, що промивається, додаткові витрати чистої води. По мірі промивки рівень води в надфільтровому просторі понижуюється і, коли досягне певного рівня (встанов-

люється в процесі налагоджувальних робіт), промивка припиняється шляхом закриття засувки на трубопроводі 10. Фільтр знову починає працювати в режимі фільтрування.

Знезаражування води передбачається гіпохлоритом натрію, що забирається насосом-дозатором і подається в збірну лійку (збирає воду від всіх трубопроводів 9 фільтрованої води).

Схема влаштування фільтрів приведена на рис. 2.

Запроектована схема знезалізнення води працює наступним чином: вода із свердловин насосами подається на станцію знезалізнення трубопроводом 5, де поділяється на два потоки і надходить на повітрявідділювачі 4, вільно виливається, окислюючись киснем повітря з висоти 0,3 м на дископодібний елемент, і по трубопроводу 6 подається на кожен фільтр у нижню частину.

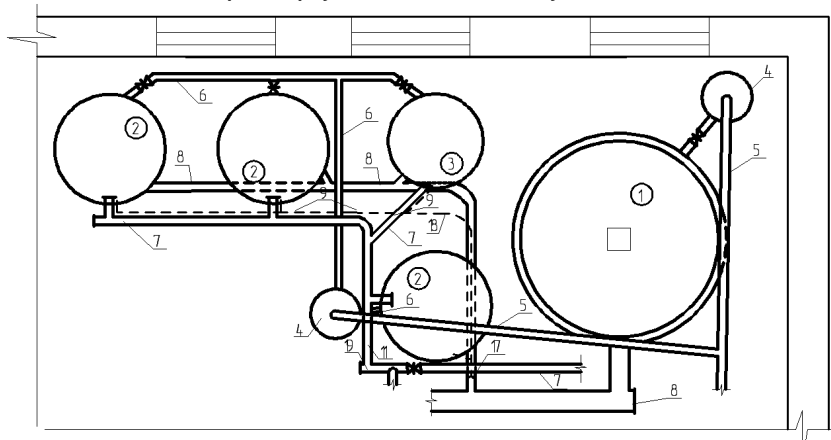


Рис. 2. Схема влаштування фільтрів:

- 1 – пінополістирольний фільтр діаметром 2500 мм;
- 2 – пінополістирольний фільтр діаметром 1400 мм;
- 3 – пінополістирольний фільтр діаметром 1200 мм;

4 – повітрявідділювач діаметром 630 мм; 5 – трубопровід подачі води зі свердловини; 6 – трубопровід подачі аерованої води від повітрявідділювача на пінополістирольні фільтри; 7 – трубопровід збору фільтрату від фільтрів та подачі в РЧВ; 8 – трубопровід відведення промивних вод від фільтрів; 9 – трубопровід від фільтра до сифона; 10 – сифон для зливу вакууму

Фільтрування здійснюється висхідним потоком знизу вгору через пінополістирольну засипку з швидкістю фільтрування до 7 м/год і висотою засипки 100 см. По мірі фільтрування у надфільтровому просторі збирається фільтрат і відводиться трубопроводом 7 до колектора збору фільтрату 8, який подає воду у два резервуари чистої води, об'ємом 40 та 170 м³, де вода контактує з хлором, забирається насосами і подається у мережу споживачам.

Станція водопідготовки води розрахована на рівномірну роботу впродовж всієї доби [5].

Годинна продуктивність протягом доби розраховується:

$$q_{\text{год}} = \frac{Q_{\text{воч}}}{T_{\text{воч}}} \cdot \quad (1)$$

Секундна продуктивність:

$$q_c = \frac{q_{\text{год}}}{3,6} \cdot \quad (2)$$

Загальна площа фільтрів визначається із наступного виразу:

$$F_{\phi} = \frac{Q}{TV_{\phi}^n - 3,6n_{\text{пр}}\omega t_1 - n_{\text{пр}}t_2V_{\phi}^n}, \text{ м}^2, \quad (3)$$

Q – корисна продуктивність станції, м /добу;

T – тривалість роботи станції упродовж доби, 24 год;

V_{ϕ}^n – розрахункова швидкість фільтрування в нормальному режимі, 7 м/год;

$n_{\text{пр}} = 1$ – кількість промивок одного фільтра за добу при нормальному режимі експлуатації;

ω – інтенсивність промивки, 14-18 л/(с·м²);

t_1 – тривалість промивки, 3 хв або 0,05 год;

t_2 – тривалість простою фільтра у зв'язку з промивкою (0,17 год).

Необхідна площа одного фільтра знаходиться за формулою:

$$F_{\phi} = \frac{\pi d^2}{4}, \text{ м}^2, \quad (4)$$

де d – діаметр фільтра.

Підставивши значення для діаметрів фільтрів отримаємо:

Промивні витрати води становлять:

$$q_{\text{пр}} = F_{\phi 1} \cdot \omega, \text{ л / с} \cdot \quad (5)$$

Діаметри трубопроводів визначаються із умов швидкостей руху води в них, які приймаються відповідно до норм [5].

Фільтри виводяться на промивку по одному, тому розрахунок трубопроводів збору промивної води проводимо по найбільшій промивній витраті.

1. Водний кодекс України. *Юридична енциклопедія*: у 6 т. / ред. кол. Ю. С. Шемшученко та ін. ; відп. ред. Ю. С. Шемшученко. К. : Українська енциклопедія ім. М. П. Бажана, 1998-2004. ISBN 966-749-200-1.
2. Water quality produced by polystyrene granules as a media filter on rapid filters / J. M. Schöntag, B. S. Pizzolatti, V. H. Jangada, F. H. de Souza, M. L. Sens. *Journal of Water Process Engineering*. 2015. Vol. 5. P. 118–126.
3. Куницький С. О. Оцінка якості води підземних джерел Рівненської області. *Вісник НУВГП. Сер. Технічні науки* : зб. наук. праць. Рівне : НУВГП, 2019. Вип. 3 (87). С. 179–189.
4. ДСанПіН 2.2.4-171-10. Гігієнічні вимоги до води



питної, призначеної для споживання людиною. 12.05.2010. (Нормативні директивні правові документи). **4.** Загальнодержавна цільова програма «Питна вода України» на 2011–2020 роки : затв. Законом України від 20 жовтня 2011 року N 3933-VI. **5.** Очищення природної води на пінополістирольних фільтрах : монографія / В. О. Орлов, С. Ю. Мартинов, А. М. Орлова, В. О. Зошук, Н. Л. Мінаєва, С. О. Куніцький та ін. ; під заг. ред. В. О. Орлова. Рівне : НУВГП, 2012. 172 с. **6.** Хоружий П. Д., Хомутецька Т. П., Хоружий В. П. Ресурсозберігаючі технології водопостачання. Київ : Аграрна думка, 2008. 269 с.

REFERENCES:

1. Vodnyi kodeks Ukrainy. *Yurydychna entsyklopediia* : u 6 t. / red. kol. Yu. S. Shemshuchenko ta in. ; vidp. red. Yu. S. Shemshuchenko. K. : Ukrainska entsyklopediia im. M. P. Bazhana, 1998-2004. ISBN 966-749-200-1. **2.** Water quality produced by polystyrene granules as a media filter on rapid filters / J. M. Schöntag, B. S. Pizzolatti, V. H. Jangada, F. H. de Souza, M. L. Sens. *Journal of Water Process Engineering*. 2015. Vol. 5. P. 118–126. **3.** Kunytskyi S. O. Otsinka yakosti vody pidzemnykh dzherel Rivnenskoï oblasti. *Visnyk NUVHP. Ser. Tekhnichni nauky* : zb. nauk. prats. Rivne : NUVHP, 2019. Vyp. 3 (87). S. 179–189. **4.** DSanPiN 2.2.4-171-10. Hihienichni vymohy do vody pytnoi, pryznachenoï dlia spozhyvannia liudynoiu. 12.05.2010. (Normatyvni dyrektyvni pravovi dokumenty). **4.** Zahalnodержавna tsilova prohrama «Pytna voda Ukrainy» na 2011–2020 roky : zatv. Zakonom Ukrainy vid 20 zhovtnia 2011 roku N 3933-VI. **5.** Ochyshchennia pryrodnoi vody na pinopolistyrolnykh filtrakh : monohrafiia / V. O. Orlov, S. Yu. Martynov, A. M. Orlova, V. O. Zoshchuk, N. L. Minaieva, S. O. Kunytskyi ta in. ; pid zah. red. V. O. Orlova. Rivne : NUVHP, 2012. 172 s. **6.** Khoruzhyi P. D., Khomutetska T. P., Khoruzhyi V. P. Resursozberihaiuchi tekhnolohii vodopostachannia. Kyiv : Ahrarna dumka, 2008. 269 s.

Kunytskyi S. O., Candidate of Engineering (Ph.D.) (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

FEATURES OF DESIGN OF WATER PREPARATION STATION

The state of water resources and water supply of the population of Ukraine remains one of the major pressing threats to Ukraine's national security in the environmental field and the issue of adaptation of water resources management in the face of climate change and the uneven distribution of moisture in the greater territory of our country. The presence of iron in water makes it unusable for drinking and domestic and industrial use. This problem is particularly acute for rural residents, suburban home owners, sanatoriums, and holiday

homes, since it is the groundwater they use that contains a large amount of dissolved iron.

When the iron concentration is less than 0.2 mg/dm^3 , the odor is usually not felt, but turbidity and water color may occur.

Filter regeneration is of great importance in the reliable and stable operation of water purifying filters. The process of washing the filter loading is explained by the increase of hydrodynamic and the decrease of adhesive forces between the contaminated and the loading granules.

Increase in population and degree of improvement of buildings, increase in production volumes, as well as satisfactory quality of the filtrate (in color and taste) and poor performance of the station (failure to meet design parameters, insufficient capacity, removal of expanded polystyrene from the filter into the sewer), as well as a number of other forced to reconstruct the existing stations of water iron removal.

At the water treatment complex in the village of Hoshcha, Rivne region, the quality of artesian water from wells that provide drinking water supply to the residents of the town is analyzed; the recommendations for designing the iron-iron substation station for groundwater are substantiated. The basics of calculations for filtering and washing conditions of station filters are given.

Keywords: water quality, iron content, iron removal stations, filter backfill.

Куницький С. О., к.т.н. (Національний університет водного господарства і природопользования, г. Ровно)

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТАНЦИИ ВОДОПОДГОТОВКИ

Проанализированы показатели качества артезианской воды из скважин, обеспечивающих питьевое водоснабжение жителей пгт Гоща Ровенской области; обоснованы рекомендации по проектированию станции обезжелезивания подземных железосодержащих вод. Приведены основы расчетов для условий фильтрации и промывки фильтров станции.

Ключевые слова: качество воды, содержание железа, станции обезжелезивания, фильтрующая загрузка.