

УДК 628.16.067

Гіроль М. М., д.т.н., професор, Трач Ю. П., асистент (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ФІЛЬТРА ІЗ ПІНОПОЛІСТИРОЛЬНИМ ФІЛЬТРУЮЧИМ ШАРОМ ТА АЕРАЦІЙНОЮ КАМЕРОЮ І ОБГРУНТУВАННЯ ЙОГО ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ

**Висвітлені раціональні значення параметрів фільтрування теплообмінної води на фільтрі з плаваючими гранулами зі спіненого полістиролу, обладнаного аераційною камерою. Описано спосіб насичення теплообмінної води киснем повітря на поверхні вільноплаваючого шару полістирол у центральній камери фільтра. Обґрунтовано спосіб збільшення тривалості фільтроциклу до 20%.
Ключові слова: фільтрування, полістирол, аераційна камера.**

В Україні переважна більшість спиртових заводів з метою раціонального використання водних ресурсів та економії енергії для живлення парових котлів використовують гарячу теплообмінну воду. Після нагрівання у брагоректифікаційній установці хімічні показники якості води змінюються. Теплообмінна вода спиртового заводу містить підвищене значення органічних речовин (перманганатна окислюваність $35 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$) та окисне залізо ($3,5 \text{ мг}/\text{дм}^3$).

Основною ланкою технологічних схем підготовки води, що живить парові котли є фільтри пом'якшення. Їх ефективна робота значною мірою залежить від якості води, яку вони пом'якшують. Потрапляння на фільтри пом'якшення води із надмірною концентрацією домішок органічного та мінерального походження негативно позначається на їх роботі. Як наслідок, невилучені солі твердості на фільтрі пом'якшення відкладаються на поверхні котельного обладнання, що зумовлює зниження ККД їх роботи. За таких умов парові котли можуть виходити із робочого стану, зупиняючи при цьому роботу всього підприємства.

Для вилучення органічних домішок і окисного заліза із води доцільним є використання методу біологічного очищення у поєднанні із фільтруванням її через зернистий матеріал. В якості фільтруючого матеріалу для фільтрів використовують кварцовий пісок та спінені гранули полістиролу [1, 2, 4]. За невисокої концентрації домішок в вихідній воді засвідчив хорошу ефективність її очищення фільтр із пінополістирольним фільтруючим шаром, у якого напрямок фільтраційного

потоків води є висхідним [3].

Вивченню процесу очищення води на зернистих фільтрах значну увагу приділяли такі відомі вчені, як Д.М. Мінц, Ю.М. Шехтман, Л.А. Кульський, Н.В. Ярошевська, П.Г. Романков, М.І. Курочкіна, В.А. Жужиков, Г.І. Ніколадзе, В.О. Орлов, О.Я. Олійник, І.А. Шеренков, В.Л. Поляков, М.Г. Журба, П.О. Грабовський, С.С. Душкін, В.П. Хоружий та інші.

Якість біологічного очищення теплообмінної води на зернистому фільтрі залежить від вмісту розчинного у ній кисню, необхідного для активного розвитку аеробного біоценозу. Для покращення процесу насичення теплообмінної води киснем повітря у фільтрі із пінополістирольним фільтруючим шаром було розташовано аераційну камеру, яка являла собою центральну трубу [5]. Верхня частина об'єму аераційної камери містила вільноплаваючі зерна спіненого полістиролу висотою шару 0,7 м. Призначення гранул полістиролу в аераційній камері – диспергування повітря на дрібні пухирці. Крім того, зерна спіненого полістиролу в цій камері перешкоджають швидкому спливанню диспергованого повітря, тим самим збільшуючи час контакту повітря із водою. Експериментально встановлено, що насичення води киснем повітря в аераційній камері фільтра забезпечує його концентрацію 5,7-6,0 мгО₂/дм³. Саме за такого вмісту розчинного кисню у теплообмінній воді може функціонувати аеробний біоценоз у фільтруючому шарі фільтра.

Через тривале перебування теплообмінної води в аераційній камері та підфільтровому просторі фільтра окисне залізо частково осідає на дно корпусу, а його концентрація у воді зменшується 10-15%. Так наприклад, концентрація загального заліза у теплообмінній воді становила 3,5 мг/дм³, а після її проходження через аераційну камеру фільтра у підфільтровому просторі вона становить 3,1 мг/дм³.

Запроектований фільтр із пінополістирольним фільтруючим шаром із аераційною камерою має вигляд, який представлений на рис. 1.

Основною задачею досліджень очищення теплообмінної води на фільтрі із пінополістирольним фільтруючим шаром із аераційною камерою було:

- вивчення та порівняння кінетики окислення органічних речовин та затримки окисного заліза по висоті фільтруючого пінополістирольного шару фільтра;
- визначення та обґрунтування раціональних значень параметрів фільтрування (висота фільтруючого шару, діаметр зерен фільтруючого матеріалу та швидкість фільтрування).

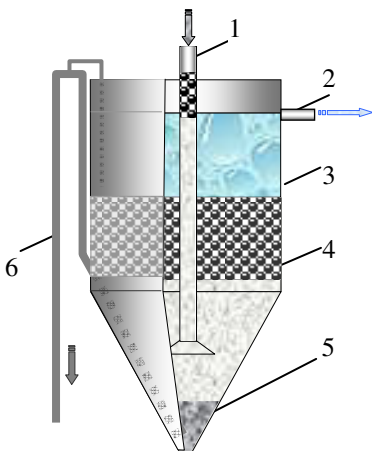


Рис. 1. Загальний вигляд фільтра із пінополістирольним фільтруючим шаром, обладнаного аераційною камерою:

- 1 – подача вихідної води;
- 2 – відведення чистої води;
- 3 – корпус установки;
- 4 – фільтруючий шар;
- 5 – осад;
- 6 – трубопровід відведення промивної

При фільтруванні теплообмінної води на фільтрі із пінополістирольним фільтруючим шаром відбуваються такі процеси: механічна затримка окисного заліза і біологічне окислення органічних речовин.

Для з'ясування взаємного впливу цих речовин на процес очищення в цілому було проведено дослідження кінетики затримки органічних речовин та окисного заліза по висоті фільтруючого шару. Ці дослідження проводилися наступним чином. По висоті фільтруючого шару через кожні 0,15 м відбирались проби води та здійснювався хімічний аналіз на визначення перманганатної окислюваності та окисного заліза. Отримані результати хімічних аналізів дозволили побудувати графіки залежності зміни концентрації забруднення від висоти фільтруючого шару і тривалості фільтрування. Ці залежності зображено на рис. 2 та рис.3.

Шляхом аналізу результатів експериментальних досліджень було зроблено висновок, що фільтр із пінополістирольним фільтруючим шаром, у якому фільтраційний потік води рухається у висхідному напрямку, можна умовно поділити на дві зони: в нижній зоні домінуючий процес – механічна затримка окисного заліза, у верхній – біологічне окислення органічних речовин. Підвищене значення концентрації окисненого заліза ($3,5 \text{ мг/дм}^3$) інгібує процес біологічного окислення органічних речовин біологічною плівкою у нижньому фільтруючому шарі фільтра. Окислення органічних речовин біоценозом значно активізується після досягнення концентрації окисного заліза у воді приблизно до $1,4\text{-}1,7 \text{ мг/дм}^3$.

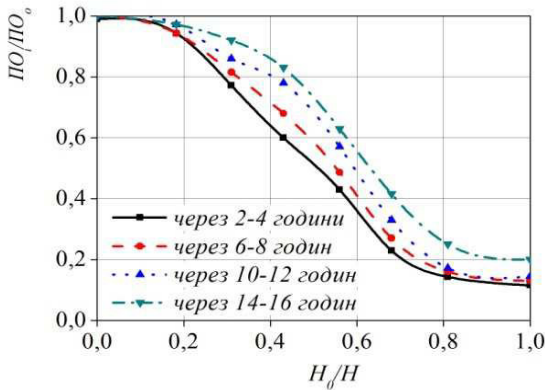


Рис. 2. Графік залежності зміни перманганатної окислюваності по висоті фільтруючого шару пінополістиролу ($V = 6,0$ м/год, $d = 1,25$ мм, $H = 1,2$ м, перманганатна окислюваність 35 мг $O_2/дм^3$, фільтроцикл № 10...12)

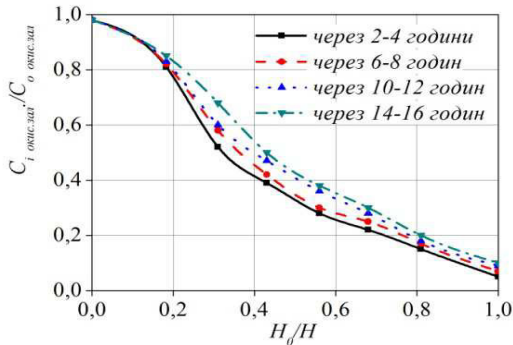


Рис. 3. Графік залежності зміни окисного заліза по висоті фільтруючого шару пінополістиролу ($V = 6,0$ м/год, $d = 1,25$ мм, $H = 1,2$ м, $C_{\text{ок.зал}} = 3,5$ мг/дм³, перманганатна окиснюваність 35 мг $O_2/дм^3$, фільтроцикл № 10...12)

Такий параметр роботи фільтра, як швидкість фільтрування має суттєвий вплив на техніко-економічні показники його роботи. Зі зростанням швидкості фільтрування скорочується тривалість фільтроциклу, проте зменшуються розміри самого фільтра. За таких умов, очевидно, мають існувати раціональні значення основних технологічних па-

раметрів споруди. Результати спостережень за роботою фільтра із пінополістирольним фільтруючим шаром ($d = 1,25$ мм, $H = 1,2$ м, перманганатна окислюваність 35 мг $O_2/дм^3$) проілюстровано на рис. 4.

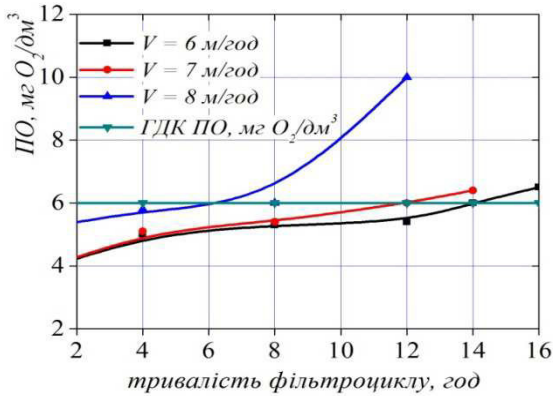


Рис. 4. Графік залежності ефективності біологічного очищення від тривалості ($H = 1,2$ м, $d = 1,25$ мм, $ПО = 35$ мг $O_2/дм^3$, фільтроцикл № 10...15)

Графіки рис.4 показують залежність тривалості фільтроциклу від швидкості фільтрування. При однакових параметрах роботи фільтра зі збільшенням швидкості фільтрування зменшується тривалість захисної дії фільтруючого шару. При фільтруванні теплообмінної води зі швидкістю 6 м/год перевищення допустимого значення перманганатної окислюваності було зафіксовано через 14 годин, при фільтруванні води зі швидкістю 7 м/год – через 12 годин, а при фільтруванні зі швидкістю 8 м/год – через 6 годин.

Порівняння параметрів роботи базового технічного рішення [3] (фільтр із кварцовим піском із низхідним напрямком фільтраційного потоку води, $H = 1,2$ м, $d = 1,25$ мм, $V = 6$ м/год, тривалість фільтроциклу 12 годин) із альтернативним ($H = 1,2$ м, $d = 1,25$ мм, $V = 7$ м/год, тривалість фільтроциклу 12 годин) є очевидним, що за незмінної тривалості фільтроциклу 12 годин спостерігається збільшення швидкості фільтрування від 6 до 7 м/год. Таким чином, за однакових висоти фільтруючого шару та середнього діаметру зерен фільтруючого матеріалу розміри фільтра із пінополістирольним фільтруючим шаром із аераційною камерою будуть меншими ніж розміри фільтра із кварцовим піском.

Важливим результатом експериментальних досліджень, які були

проведені та графічно зображені на рис. 4 є те, що при порівнянні параметрів роботи базового технічного рішення [3] (фільтр із кварцовим піском із низхідним напрямком фільтраційного потоку води, $H = 1,2$ м, $d = 1,25$ мм, $V = 6$ м/год) його тривалість фільтроциклу становить 12 годин, а тривалість фільтроциклу альтернативного технічного рішення ($H = 1,2$ м, $d = 1,25$ мм, $V = 6$ м/год) становить 14 годин, тобто майже на 20% більша.

Наступні дослідження, що спрямовані на пошук та обґрунтування раціонального значення висоти фільтруючого шару проводилися за наступних значень конструктивних і технологічних параметрів фільтра: $V = 7$ м/год, $d = 1,25$ мм висота фільтруючого шару 0,8-1,2 м. Результати досліджень наведені на рис. 5.

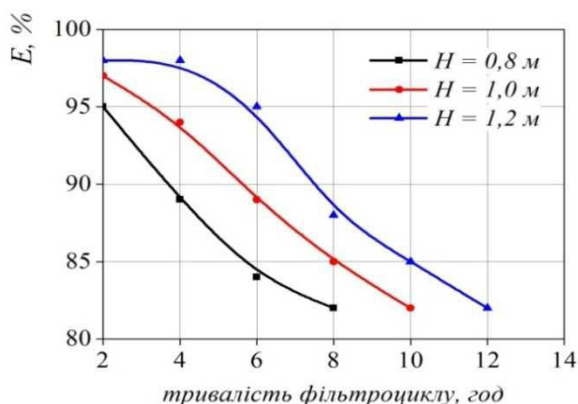


Рис. 5. Графік залежності ефективності біологічного очищення від тривалості фільтрування ($d = 1,25$ мм, $V = 7$ м/год, $ПО = 35$ мг $O_2/дм^3$, фільтроцикл № 10...15)

При біологічному очищенні води фільтруванням на фільтрі із параметрами роботи: $H = 0,8$ м, $d = 1,25$ мм, $V = 7,0$ м/год, ефективність очищення, під час фільтроциклу поступово знижувалася. Через 8 годин роботи фільтра, перманганатна окислюваність досягнула свого гранично допустимого значення і фільтр виводився в режим промивки. А за значень технологічних параметрів роботи фільтра: $H=1,2$ м, $d=1,25$ мм, $V=7,0$ м/год, 12 годин роботи фільтра ефективність очищення становила 82% і фільтр виводили у режим промивки.

Як видно з представлених результатів, збільшення висоти фільтруючого шару дозволяє збільшити тривалість фільтроциклу або підвищити ефективність біологічного очищення. Для отримання очищеної теплообмінної води необхідної якості, шляхом фільтрування на фільтрі із пінополістирольним фільтруючим шаром, слід приймати висоту фільтруючого шару $H = 1,2$ м.

Для пошуку раціонального значення середнього діаметру гранул пінополістиролу було проведено експериментальні дослідження, що проілюстровано на рис. 6. Вони показують залежність втрат напору від середнього діаметру зерен фільтруючого шару спінених гранул полістиролу. Тривалість фільтроциклу ($H=1,2$ м, $V = 7$ м/год) при $d = 0,75$ мм становить 10 годин, а при $d = 1,25$ мм – 12 годин. Менша тривалість фільтроциклу при $d = 0,75$ мм пов'язана із швидким досягненням критичних втрат напору, яке спричинене через швидке замулюванням нижньої частини фільтруючого шару при висхідному напрямку фільтраційного потоку, хоча значення перманганатної окислюваності не перевищує норму (6 мг $O_2/дм^3$). Фільтр виводився в режим промивки з причини перевищення в профільтрованій воді значення перманганатної окислюваності.

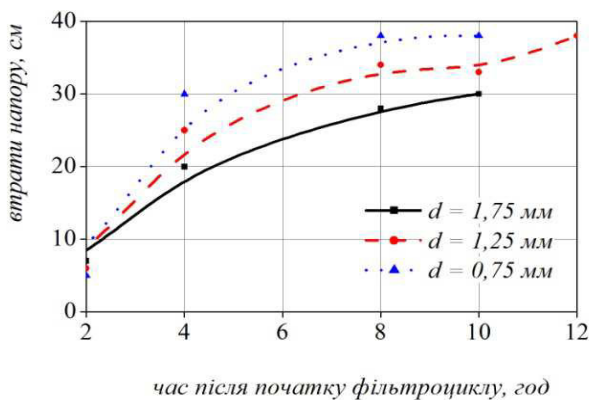


Рис. 6. Графік залежності величини втрат напорів від тривалості фільтрування ($V = 7$ м/год, $H = 1,2$ м, перманганат на окислюваність 35 мг $O_2/дм^3$, фільтроцикл № 10...15)

Висновки:

– Аналіз кінетики затримки забруднень по висоті фільтруючого шару під час фільтрування теплообмінної води дозволив стверджувати, що фільтр можна умовно поділити на дві зони: в нижній зоні домінуючий процес – механічна затримка окисного заліза, у верхній – біологічне окислення органічних речовин.

– Визначені раціональні значення конструктивних і технологічних параметрів запропонованої конструкції фільтра ϵ : діаметр гранул пінополістиролу $d = 1,25$ мм, швидкість фільтрування $V = 7,0$ м/год, висота фільтруючого шару $H = 1,2$ м за тривалості фільтроциклу 12 годин.

– Запропонований спосіб насичення води киснем повітря в аераційній камері фільтра дозволив збільшити тривалість фільтроциклу до 20%.

1. Доочистка сточних вод на зернистих фільтрах / Н. Н. Гироль, М. Г. Журба, Г. М. Семчук, Б. Н. Якимчук; под общ. ред. Н. Н. Гириля. – Киев : СП ООО «Типография» Левобережная», 1998. – 92 с. **2.** Гироль Н. Н. Опыт работы фильтров с плавающей пенополистирольной загрузкой в схемах очистки воды / Н. Н. Гироль // Коммунальное хозяйство городов: 36. наук. праць. – К. : Техніка, 2003. – С. 154-162. **3.** ДБН В 2.5-74:2013 Водопостачання зовнішні мережі та споруди Основні положення проектування. – К., 2013. – С. 172. **4.** Колотило В. Д. Зернистые фильтры для водоподготовки питьевой воды / В. Д. Колотило, В. О. Орлов. – Х. : Основа, 2004. – 256 с. **5.** Спосіб доочистки стічних та природних вод від органічних речовин, сульфідів, двовалентного заліза та аміаку. Патент України № 26735, Бюл. № 15 10.10.2007 рік / Трач Ю. П., Гироль А. М.

Рецензент: д.т.н., професор Ковальчук В. А. (НУВГП)

Hirol M. M., Doctor of Engineering, Professor, Trach Y. P., Assistant
(National University of Water Management and Nature Resources Use,
Rivne)

STUDY OF FILTER WITH FOAM FILTERING LAYER AND AERATION CHAMBERS AND JUSTIFICATION OF ITS OPERATION PARAMETERS

The results of experimental studies and the values of technological parameters of the process of biological purification of water on a floating filter layer are shown. The engineering methodology of calculation of basic structural dimensions and technological parameters

of expanded polystyrene filters with aeration chamber.

Keywords: filter, polystyrene, aeration chamber.

Гироль Н. Н., д.т.н., профессор, Трач Ю. П., ассистент

(Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ФИЛЬТРА С
ПЕНОПОЛИСТИРОЛЬНЫМ ФИЛЬТРУЮЩИМ СЛОЕМ И
АЭРАЦИОННОЙ КАМЕРОЙ И ОБОСНОВАНИЕ ЕГО
ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ**

Представлены рациональные значения параметров работы фильтра с плавающими гранулами полистирола, который имеет аэрационную камеру. Описан способ насыщения кислородом воздуха воды в центральной трубе. Доказан способ увеличения длительности фильтроцикла до 20%.

Ключевые слова: фильтрация, полистирол, аэрационная камера.
