

УДК 628.1/3.067

О.В. ПЕТРОЧЕНКО, аспірант
Інститут водних проблем і меліорації НААН

ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ВИСХІДНОГО ФІЛЬТРУВАННЯ ВОДИ НА БАГАТОШАРОВИХ ПЛАВАЮЧИХ ЗЕРНИСТИХ ФІЛЬТРАХ ВОДООЧИСНИХ СПОРУД

Розглянуто проблему застосування висхідного фільтрування води на багатошарових плаваючих зернистих фільтрах водоочисних споруд та наведено рішення цієї проблеми. Обґрунтовані критерії мимовільного утворення під дією гравітаційних та гідравлічних сил багатошарового плаваючого зернистого завантаження фільтрувальних камер водоочисних споруд.

Ключові слова: водоочисні споруди; висхідне фільтрування; зернисті фільтри; багатошарове плаваюче фільтрувальне завантаження; фільтроцикл.

Рассмотрена проблема применения восходящего фильтрования воды на многослойных плавающих зернистых фильтрах водоочистных сооружений и приведены решения этой проблемы. Обоснованы критерии самопроизвольного образования под действием гравитационных и гидравлических сил многослойной плавающей зернистой загрузки фильтровальных камер водоочистных сооружений.

Ключевые слова: водоочистные сооружения; восходящее фильтрование; зернистые фильтры; многослойная плавающая фильтровальная загрузка; фильтроцикл.

The problem of rising water filtration application in multi-floating granular filters and water treatment plants are the solution to this problem. The criteria spontaneous formation caused by gravitational forces and hydraulic multi-layered granular floating filter loading chamber water treatment plants.

Key words: water treatment plants; the upward filtering; granular filters; multi-layer floating filter loading; filtration cycle.

Проблема та її актуальність. Поширеним способом найбільш дешевого та швидкого очищення вихідної води є її фільтрування на зернистих фільтрах водоочисних споруд, які відрізняються за їх конструкціями та режимами фільтрування [1-3]. Фільтрування води на зернистих фільтрах поділяється на низхідне, при якому вода у фільтрувальній камері рухається донизу, і висхідне, при якому вихідна вода рухається догори. Більш ефективним вважається висхідне фільтрування, оскільки в умовах вертикального підйому вихідної води між зернами фільтру його брудозатримуюча дія забезпечуються не тільки за рахунок сил тертя і адгезії між частинками бруду і зернами фільтру, а й за рахунок сил гравітації, які діють на частинки бруду у напрямку протилежному руху води [4].

Ефективність процесу фільтрування води, крім ступеню її очищення, оцінюється ще й питомою брудомісткістю фільтру. Відомо, що монофракційні зернисті фільтри мають малу питому брудомісткість та невелику тривалість фільтроциклу. Необхідність виконання великої кількості зворотних промивок монофракційних зернистих фільтрів призводить до збільшення експлуатаційних витрат процесу очищення води. Для збільшення питомої брудомісткості та тривалості фільтроциклу, зернисті фільтри компонують з багатьох монофракційних фільтрувальних шарів, які відрізняються розміром зерен [1]. При цьому фільтрування на багат шарових зернистих фільтрах здійснюють від шарів з більшими зернами до шарів з меншими зернами. Спочатку переважно крупніші частинки бруду вихідної води затримуються між крупними зернами першого шару фільтру, а дрібніші частинки бруду проходять далі і затримуються потім між дрібнішими зернами наступних шарів фільтру. Оскільки за таких умов бруд у багат шарових фільтрах проходить глибше між їхніми зернами, ніж у одно шарових монофракційних фільтрах, загальна маса бруду, яка затримується на багат шарових зернистих фільтрах значно більша, ніж на одно шарових. Збільшення питомої брудомісткості фільтру сприяє збільшенню тривалості фільтроциклу, підвищенню експлуатаційної та економічної ефективності споруди.

Проте поєднання ефекту підвищення якості очищення вихідної води, шляхом застосування висхідного фільтрування, з ефектом збільшення питомої брудомісткості фільтру, шляхом застосування багатьох шарів зернистих фільтрів різних фракцій, набуло практичного використання тільки в

очисних спорудах з важким зернистим завантаженням. В очисних спорудах з плаваючим фільтрувальним завантаженням поєднання цих двох ефектів на практиці не було досягнуто. Зараз застосовується або висхідне фільтрування на плаваючих зернах монофракційного складу, або низхідне фільтрування через багат шарове фільтрувальне завантаження з плаваючих зерен поліфракційного складу [5]. Це пояснюється технологічними особливостями виготовлення зерен пінополістиролу, який зараз є основним матеріалом плаваючого фільтрувального завантаження очисних споруд.

Зерна пінополістиролу виготовляють з вихідної фракції полістиролу (бісеру) шляхом спінування. З напівпрозорого склоподібного бісеру полістиролу діаметром від 0,2 мм і початковою щільністю 1060 кг/м³ утворюють зерна пінополістиролу діаметром від 0,3 мм до 10 мм. Очевидно, що при збільшенні діаметру зерен пінополістиролу, їх щільність зменшується пропорційно кубу величини збільшення діаметру зерен. Зерна пінополістиролу більшого діаметру, маючи меншу щільність, у фільтрувальній камері очисної споруди мимовільно займають верхній шар плаваючого фільтрувального завантаження, а зерна пінополістиролу меншого діаметру, маючи більшу щільність, займають нижній шар плаваючого фільтрувального завантаження. Через це в очисних спорудах з поліфракційним плаваючим фільтрувальним завантаженням на практиці застосовують недостатньо ефективно низхідне фільтрування вихідної води [2-5].

Мета досліджень – обґрунтувати технологічну можливість та технічні рішення застосування висхідного фільтрування води на багат шарових плаваючих зернистих фільтрах водоочисних споруд.

Результати досліджень. В основу досліджень було покладено нове технічне рішення [6]. Теоретичні та експериментальні дослідження з обґрунтування технологічної можливості застосування висхідного фільтрування води на багат шарових плаваючих зернистих фільтрах водоочисних споруд та установок виконувались за двома напрямками.

За першим напрямком досліджень ставилась задача пошуку та обґрунтування нових конструктивних рішень очисних споруд та установок, які, на відміну від існуючих, виконані з камерами висхідного фільтрування води та мають додаткове обладнання для розміщення в них багатьох шарів плаваючого зернистого фільтрувального завантаження. При виконанні досліджень за першим напрямком були визначені та обґрунтовані нові конструктивні рішення основних найбільш поширених споруд та установок, призначених переважно для очищення води в системах децентралізованого сільськогосподарського водопостачання.

На рис. 1 наведено нове конструктивне рішення берегової споруди, призначеної для забору вихідної води з поверхневих водних джерел, її попереднього очищення та подачі до головної насосної станції групового децентралізованого сільськогосподарського водопроводу. Відмінність наведеного на рис. 1 нового конструктивного рішення від відомого [1] полягає в тому, що загальна фільтрувальна камера 3 берегової споруди поділена на секції за допомогою розділових решіток (сіток) 19 і 20, які встановлені у

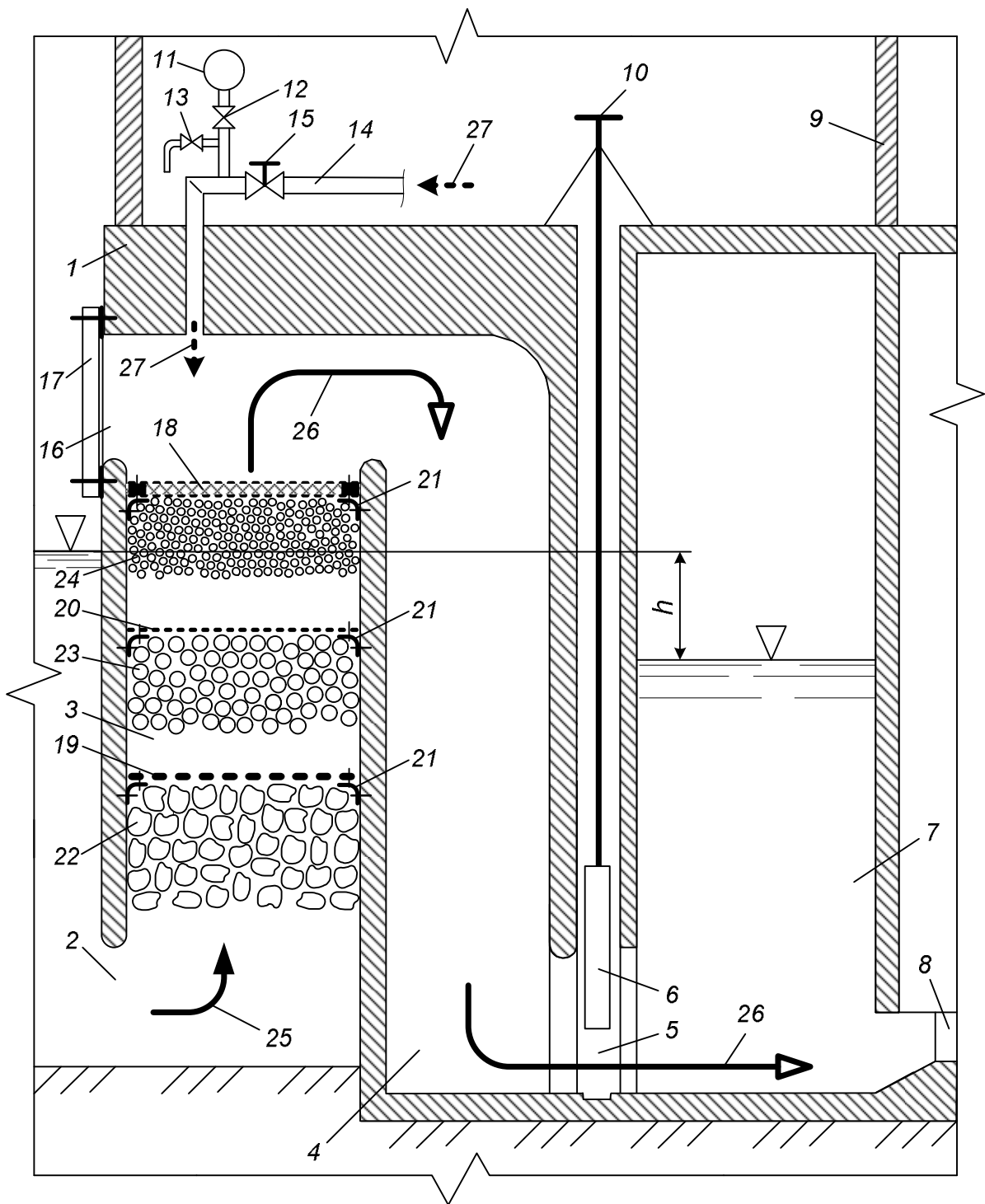


Рис. 1. Схема берегової водозабірної-очисної споруди з висхідним фільтруванням води на багатшаровому плаваючому завантаженні:

1 – корпус споруди; 2 – водоприймальне вікно; 3 – фільтрувальна камера; 4 – водоприймальний сифон; 5 – випускне вікно сифону; 6 – шибера; 7 – приймально-всмоктувальна камера; 8 – всмоктувальний трубопровід; 9 – службовий павільйон; 10 – механізм підйому шибера; 11 – вакуум-насос; 12 і 13 – вентиля; 14 – промивний трубопровід; 15 – засувка; 16 – оглядове вікно; 17 – люк; 18 – об’ємна решітка з сітчастим фільтром; 19 і 20 – розділові решітки; 21 – кронштейн; 22, 23 і 24 – крупні, середні і дрібні зерна плаваючого фільтрувального завантаження; 25 – вихідна вода, 26 – очищена вода; 27 – промивна вода

фільтрувальній камері 3 на кронштейнах 21. Обслуговування споруди здійснюють через оглядове вікно 16 і люк 17. У першу саму нижню секцію камери 3 завантажують плаваючі фільтрувальні зерна найбільшого розміру (діаметру), наприклад $d=10...15$ мм, а в останню саму верхню секцію – плаваючі фільтрувальні зерна найменшого розміру, наприклад $d = 1...2$ мм.

На рис. 2 наведено нове конструктивне рішення локальної установки для очищення води в місцях її подачі споживачам децентралізованими груповими сільськогосподарськими водопроводами. Установка може бути змонтована як окрема водоочисна конструкція, так і в комбінації з фільтрами остаточної тонкої очистки води, наприклад перед фільтрами мембранного типу – диско-трубчастих модулів, або порожніх волокон Microza, монтаж яких в Україні здійснює Науково-виробниче підприємство «Епром Інжиніринг» (м. Запоріжжя).

Сітчасті контейнери можуть бути виконані у вигляді жорстких сітчастих каркасів, або гнучких сітчастих мішків (рис. 2).

При знятій кришці 3 (рис. 2) в порожнину фільтрувальної камери першим встановлюють сітчастий контейнер з зернами плаваючого фільтрувального завантаження найбільшої фракції, а останнім з зернами найменшої фракції.

Використання сітчастих контейнерів, особливо гнучкої конструкції, забезпечує зручність експлуатації локальної водоочисної установки. Для певної конструкції установки витратний сипкий фільтрувальний матеріал доцільно поставляти заводом-виробником безпосередньо в сітчастих мішках, а після виконання певної кількості фільтроциклів, фільтрувальний матеріал разом з сітчастими мішками, внаслідок їх старіння, утилізують.

У нових конструктивних рішеннях, наведених на рис. 1 і рис. 2 поєднується ефект більш якісного висхідного фільтрування води з ефектом збільшення брудомісткості фільтру та тривалості фільтроциклу. Крім того, додатковим позитивним ефектом процесу фільтрування води на багат шаровому поліфракційному плаваючому завантаженні є зменшення втрат напору, порівняно з втратами напору при фільтруванні води на одношаровому монофракційному плаваючому завантаженні. Це можна пояснити нескладними розрахунками, використовуючи схему на рис. 2. За новий варіант приймається варіант завантаження у фільтрувальну камеру трьох шарів висотою z_1 , z_2 і z_3 фільтрувальних зерен різних фракцій, як показано на рис. 2. Кожна фракція має певний коефіцієнт фільтрації. Оскільки для зерен більшої фракції коефіцієнт фільтрації має більшу величину, ніж для зерен меншої фракції, маємо залежність:

$$k_1 > k_2 > k_3, \quad (1)$$

де k_1 , k_2 і k_3 – коефіцієнт фільтрації нижнього, середнього та верхнього шарів плаваючого фільтрувального завантаження на рис. 2, м/с.

За базовий приймається варіант завантаження у фільтрувальну камеру фільтрувальних зерен однієї фракції одним шаром висотою z , яка дорівнює:

$$z = z_1 + z_2 + z_3. \quad (2)$$

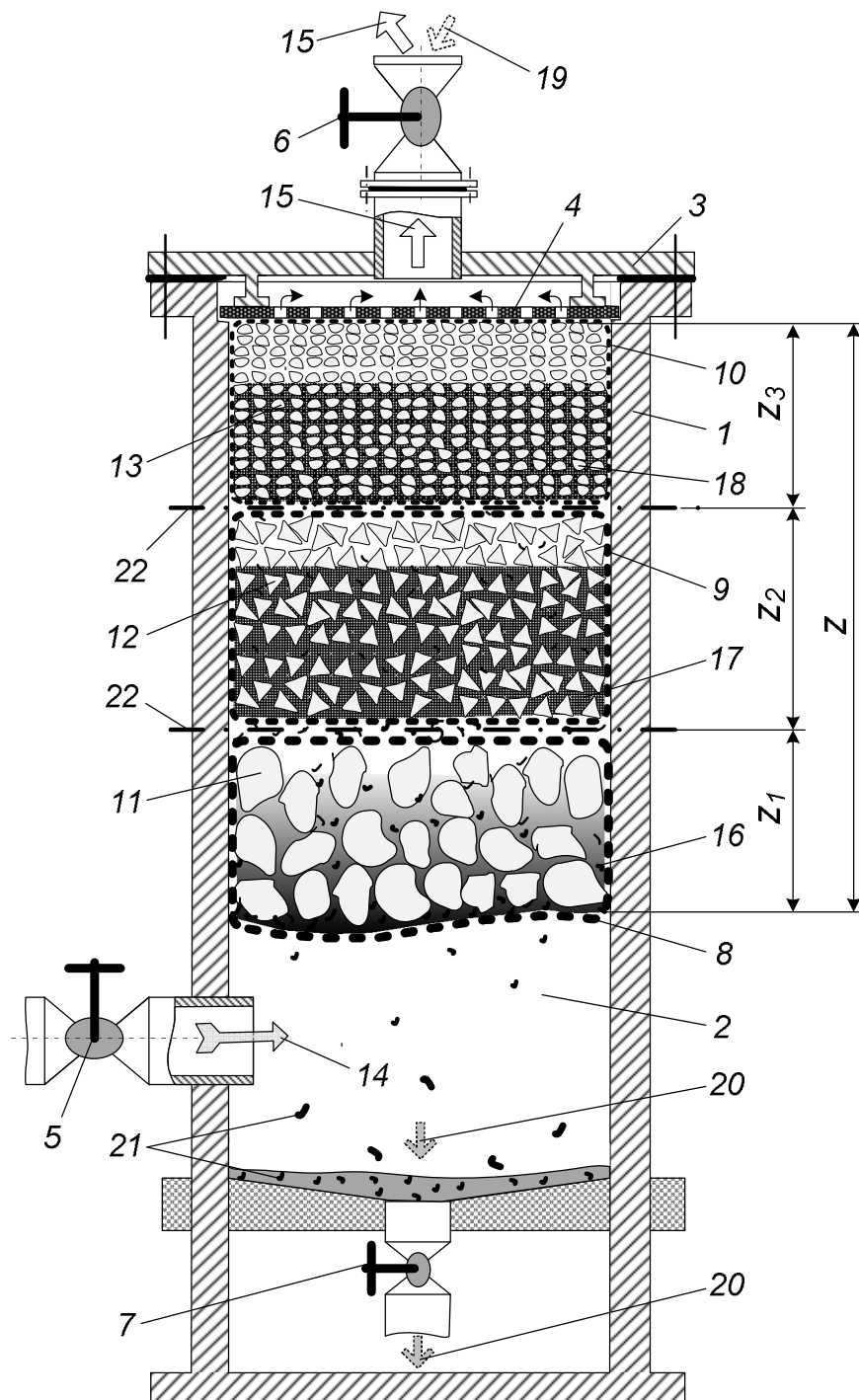


Рис. 2. Схема локальної очисної установки з багатозаровим плаваючим фільтрувальним завантаженням, розміщеним у гнучких сітчастих контейнерах: 1 – корпус; 2 – фільтрувальна камера; 3 – кришка; 4 – решітка; 5, 6 і 7 – засувки; 8, 9 і 10 – гнучкі сітчасті контейнери нижнього, середнього і верхнього шару плаваючого фільтрувального завантаження; 11, 12 і 13 – крупні, середні і дрібні зерна плаваючого фільтрувального завантаження; 14 – вихідна вода, 15 – очищена вода; 16, 17 і 18 – завислий бруд у нижньому, середньому і верхньому шарі плаваючого фільтрувального завантаження; 19 – чиста промивна вода, 20 – забруднена промивна вода; 21 – осад бруду; 22 – площини можливого встановлення розділових решіток або сіток

Варіанти фільтрування води можна порівнювати тільки за умови досягнення однакової для обох варіантів якості очищення води. Оскільки якість очищення води залежить від крупності зерен останнього фільтрувального шару, то фракція зерен фільтрувального завантаження за базовим варіантом повинна бути такою ж, як і фракція зерен останнього третього шару фільтрувального завантаження за новим варіантом. Тоді: $k_6 = k_3$, де k_6 – коефіцієнт фільтрації фільтрувального завантаження за базовим варіантом, м/с.

За умови $k_6 = k_3$ запишемо закон Дарсі на початку циклу фільтрування води через незабруднене зернисте завантаження за базовим варіантом:

$$v = k_3 l_6 = k_3 \frac{h_6}{z}, \quad (3)$$

звідки:

$$z = \frac{k_3 h_6}{v}, \quad (4)$$

де v – швидкість фільтрації, м/с; l_6 – градієнт напору у монофракційному фільтрувальному завантаженні; h_6 – втрати напору за базовим варіантом, м.

Відповідно до (4) запишемо значення z_1, z_2, z_3 за новим варіантом:

$$z_1 = \frac{k_1 h_1}{v}; \quad z_2 = \frac{k_2 h_2}{v}; \quad z_3 = \frac{k_3 h_3}{v}, \quad (5)$$

де h_1, h_2 і h_3 , – втрати напору на першому, другому і третьому шарі фільтрувального завантаження за новим варіантом, м.

Підставивши значення z, z_1, z_2 і z_3 з (4) і (5) у (2), маємо:

$$\frac{k_3 h_6}{v} = \frac{k_1 h_1}{v} + \frac{k_2 h_2}{v} + \frac{k_3 h_3}{v}, \quad (6)$$

звідки:

$$h_6 = \frac{k_1}{k_3} h_1 + \frac{k_2}{k_3} h_2 + h_3. \quad (7)$$

Оскільки відповідно до (1) $k_1/k_3 > 1$ і $k_2/k_3 > 1$, з (7) можна зробити висновок:

$$h_6 > h_1 + h_2 + h_3. \quad (8)$$

За другим напрямком досліджень ставилась задача з обґрунтування фізичних параметрів плаваючих зерен поліфракційного плаваючого фільтрувального завантаження, за якими плаваючі зерна більшого розміру будуть мимовільно займати у фільтрувальній камері водоочисної споруди або установки нижні, а плаваючі зерна меншого розміру верхні фільтрувальні шари.

Очевидно, що для мимовільного розміщення у фільтрувальній камері фільтрувальних шарів з плаваючих зерен менших за розміром вище шарів з плаваючих зерен більших за розміром, необхідно зерна менших розмірів виготовляти з менш щільного матеріалу, а зерна більшого розміру з більш щільного матеріалу. Для проведення експериментальних досліджень було виготовлено з пресованого пінополістиролу різної щільності зерна трьох фракцій (табл.1).

**Фракції зерен пінополістиролу,
виготовлених для проведення досліджень**

Індекс фракції	Марка пінополістиролу	Розмір зерен, мм				Щільність матеріалу ρ_i , кг/м ³	
		середній, d_i		відхилення, Δd_i			
1	ПСБ-С-50	d_1	12,0	Δd_3	$\pm 3,4$	ρ_1	51,82
2	ПСБ-С-35	d_2	5,0	Δd_2	$\pm 1,6$	ρ_2	36,07
3	ПСБ-С-25	d_3	0,5	Δd_1	$\pm 0,3$	ρ_3	25,74

Зерна пінополістиролу завантажували у посудину (скляну банку), яку заповнювали водою, закривали кришкою та перевертали догори дном. За результатами експериментів було встановлено, що зерна різних фракцій при спливанні перемішувались і не утворювали мимовільно у необхідному порядку у посудині фільтрувальних шарів.

Тільки після додаткового струшування посудини, плаваючі зерна поліфракційного складу поступово упорядковувались та утворювали необхідні фільтрувальні шари (рис. 3а). Велика кількість локальних порушень процесу упорядкування зерен (поз. 6 на рис. 3а), яка спостерігалась до струшування посудини, при струшуванні поступово зменшувалась.

Запишемо визначений критерій для наведених на рис. 1б плаваючих зерен кулястої форми:

$$v_{i+1} > v_i, \quad (9)$$

де v_i – швидкість спливання у воді i -го зерна більшого діаметру, м/с; v_{i+1} – швидкість спливання у воді $(i+1)$ -го зерна меншого діаметру, м/с.

За рахунок в'язкості води i -е та $(i+1)$ -е зерна спливають не з прискоренням, а рівномірно з постійними швидкостями v_i та v_{i+1} під дією врівноважених сил:

$$T_i^{пд} + T_i^{оп} = 0; \quad T_{i+1}^{пд} + T_{i+1}^{оп} = 0, \quad (10)$$

де $T_i^{пд}$ і $T_{i+1}^{пд}$ – сили підйому i -го та $(i+1)$ -го зерен; $T_i^{оп}$ і $T_{i+1}^{оп}$ – сили опору руху i -го та $(i+1)$ -го зерен, або сили Стокса, Н.

Рівнодіюча сила $T_i^{пд}$ підйому i -го зерна складає:

$$T_i^{пд} = T_i^a - T_i^{гп} = \frac{1}{6} \pi g d_i^3 (\rho - \rho_i), \quad (11)$$

де T_i^a – архімедова сила, яка діє на i -е зерно, Н; $T_i^{гп}$ – сила гравітації, що діє на i -е зерно, Н; g – прискорення вільного падіння, м/с²; d_i – діаметр i -го зерна, м; ρ – щільність води, кг/м³; ρ_i – щільність матеріалу i -го зерна, кг/м³.

Згідно закону Стокса [7] сила опору руху кулястого i -го зерна $T_i^{оп}$ складає:

$$T_i^{оп} = -3\pi d_i \eta v_i, \quad (12)$$

де η – динамічна в'язкість води, Па·с.

Підставивши у рівняння (10) значення $T_i^{пд}$ з (11) і $T_i^{оп}$ з (12), після перетворень маємо:

$$v_i = \frac{d_i^2 g (\rho - \rho_i)}{18\eta}. \quad (13)$$

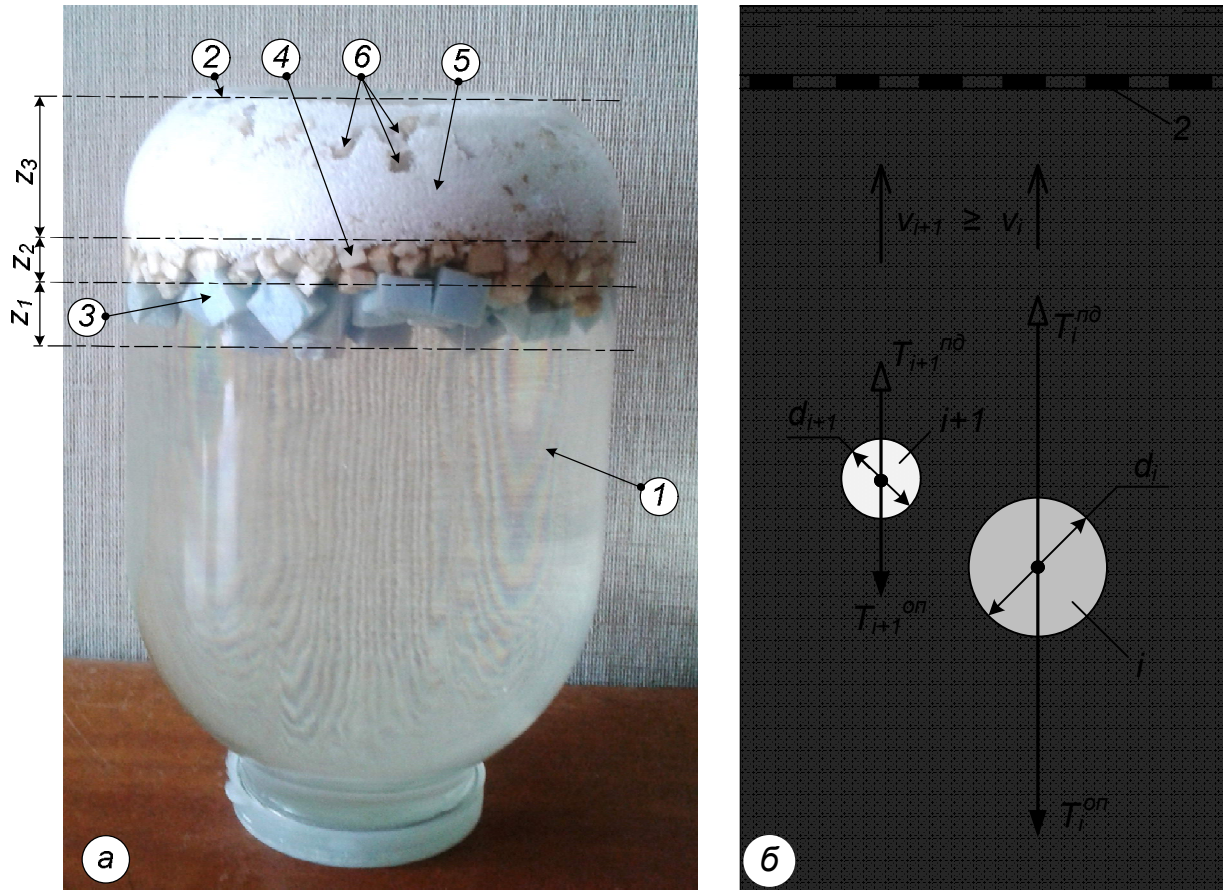


Рис. 3. Дослідження процесу утворення фільтрувальних шарів з плаваючих зерен

а – результат експериментальних досліджень мимовільного утворення у скляній банці з водою шарів плаваючого фільтрувального завантаження з плаваючих зерен різних фракцій; **б** – схема до обґрунтування критерію мимовільного утворення у фільтрувальній камері монофракційних шарів з поліфракційного плаваючого фільтрувального завантаження; 1 – скляна банка з водою; 2 – верхня обмежувальна поверхня (решітка); 3, 4 і 5 – зерна найбільшого, середнього і найменшого розміру; 6 – локальні порушення процесу упорядкування шарів з плаваючих зерен

По аналогії для $(i+1)$ -го зерна маємо:

$$v_{i+1} = \frac{d_{i+1}^2 g (\rho - \rho_{i+1})}{18 \eta}. \quad (14)$$

Після підстановки значень v_i з (13) і v_{i+1} з (14) у (9) та математичних перетворень критерій (9) мимовільного розміщення у фільтрувальній камері $(i+1)$ -го фільтрувального шару з $(i+1)$ -х зерен меншого розміру вище i -го фільтрувального шару з i -х зерен більшого розміру буде мати такий вид:

$$d_{i+1}^2 (\rho - \rho_{i+1}) > d_i^2 (\rho - \rho_i). \quad (15)$$

Критерію (15) відповідають два альтернативних критерію:

$$\rho_{i+1} < \rho - \left(\frac{d_i}{d_{i+1}} \right)^2 (\rho - \rho_i); \quad (16)$$

$$d_{i+1} > d_i \sqrt{\frac{\rho - \rho_i}{\rho - \rho_{i-1}}}. \quad (17)$$

Таким чином, за критерієм (16) перевіряють можливість застосування певного матеріалу, а за критерієм (17) діаметру зерен, з яких мимовільно утворюється кожен вище розташований фільтрувальний шар завантаження, якщо відомі параметри зерен, з яких повинен мимовільно утворюватись кожен нижче розташований фільтрувальний шар завантаження. За критеріями (16) і (17) обирають параметри зерен багат шарового завантаження у порядку, починаючи з зерен найбільшого розміру, з яких утворюється нижній фільтрувальний шар.

На практиці за вихідну умову проектування систем очистки води приймають ступінь очищення води, яка забезпечується проходженням вихідної води через останній фільтрувальний шар. Тому вибір параметрів поліфракційного плаваючого фільтрувального завантаження у багатьох випадках доцільно починати з обґрунтування параметрів зерен найменшого розміру, з яких утворюється верхній фільтрувальний шар, і закінчувати обґрунтуванням параметрів зерен найбільшого розміру, з яких утворюється нижній фільтрувальний шар. При цьому необхідно керуватися відповідними до критеріїв (16) і (17) критеріями (18) і (19):

$$\rho_i > \rho - \left(\frac{d_{i+1}}{d_i} \right)^2 (\rho - \rho_{i+1}); \quad (18)$$

$$d_i < d_{i+1} \sqrt{\frac{\rho - \rho_{i+1}}{\rho - \rho_i}}. \quad (19)$$

При виборі складу поліфракційного фільтрувального завантаження та обґрунтуванні його параметрів може бути використаний будь-який з критеріїв (16)...(19), оскільки кожен з них відповідний до критерію (9). Так за результатами розрахунків встановлено, що фільтрувальне завантаження, параметри якого наведені у таблиці 1, не відповідає критерію (9). Разом з тим відповідає критерію (9) фільтрувальне завантаження, наприклад такого трьохфракційного складу: перша фракція – зерна поліетилену ($\rho_1 = 960 \text{ кг/м}^3$, $d_1 = 10 \text{ мм}$) для утворення нижнього фільтрувального шару; друга фракція – зерна шунгизиту ($\rho_2 = 580 \text{ кг/м}^3$, $d_2 = 3 \text{ мм}$) для утворення середнього фільтрувального шару; третя фракція – зерна подрібненого пінополістиролу ($\rho_3 = 50 \text{ кг/м}^3$, $d_3 = 2 \text{ мм}$) для утворення верхнього фільтрувального шару.

Висновки

1. Висхідне фільтрування води на багат шарових зернистих фільтрах більш ефективно по відношенню до низхідного, проте його не застосовують у водоочисних спорудах з плаваючим фільтрувальним завантаженням через

складність виготовлення за існуючою технологією зерен пінополістиролу, здатних у фільтрувальних камерах водоочисних споруд мимовільно під дією гравітаційних та гідравлічних сил розміщуватись у напрямку висхідного фільтрування води шарами від зерен більшого розміру до зерен меншого розміру.

2. Встановлено, що технологічна можливість ефективного застосування процесу висхідного фільтрування води на водоочисних спорудах з зернистим плаваючим фільтрувальним завантаженням поліфракційного складу може бути досягнута за двома варіантами, перший з яких досягається вдосконаленням конструкцій водоочисних споруд, а другий – шляхом формування складу фракцій плаваючого завантаження за науково обґрунтованими критеріями.

3. За першим варіантом технологічна можливість ефективного застосування процесу висхідного фільтрування води через поліфракційне плаваюче завантаження на водозабірно-очисних спорудах досягається шляхом встановлення у фільтрувальних камерах споруд розділових решіток (сіток) між фракціями плаваючого завантаження, а на установках локальної очистки води досягається шляхом розміщення фракцій плаваючих зерен у каркасні або гнучкі сітчасті контейнери, які встановлюють у фільтрувальні камери установок у порядку розміщення контейнерів з меншими фільтрувальними зернами над контейнерами з більшими фільтрувальними зернами.

4. За другим варіантом технологічна можливість застосування процесу висхідного фільтрування на водоочисних спорудах з плаваючим фільтрувальним завантаженням досягається за умови виготовлення зерен плаваючого завантаження з різних матеріалів або за різними технологіями таким чином, що зерна меншого розміру виготовляють з менш щільного матеріалу, а зерна більшого розміру виготовляють з більш щільного матеріалу.

5. Критерієм мимовільного утворення у фільтрувальних камерах водоочисних споруд і установок фільтрувальних шарів з плаваючих зерен меншого розміру вище фільтрувальних шарів з плаваючих зерен більшого розміру є перевищення швидкості спливання у воді під дією гравітаційних та гідравлічних сил зерен меншого розміру швидкості спливання зерен більшого розміру.

Список літератури

1. *Хоружий П.Д.* Ресурсозберігаючі технології водопостачання. / П.Д. Хоружий, Т.П. Хомутецька, В.П. Хоружий. – К.: Аграрна наука, 2008. – 534 с.
2. *Журба М.Г.* Очистка воды на зернистых фильтрах / М.Г. Журба. – Львов: Вища школа, 1980. – 200 с.
3. *Koy-Ging.* Filterability study on secondary effluent filtration / Koy-Ging. – Journal of the Sanitary Engineering Division. Proc. Amer. Soci. of Civ. Eng., 1972, v. v. 98, NSA.
4. *Журба М.Г.* Пенополистирольные фильтры / М.Г. Журба. – М.: Стройиздат, 1992. – 176 с.

5. *Журба М.Г.* Водоочистные фильтры с плавающей загрузкой. Научное издание / М.Г. Журба. – М., 2001. – 536 с.

6. *Патент України* на корисну модель №102063. Спосіб очистки води в системах водопостачання / Петроченко О.В. – Опубл. 12.10.2015, бюл. №19.

7. *Бабкин А.В.* Основы механики сплошных сред: Учебник для вузов / А.В. Бабкин, В.В. Селиванов. – изд. МГТУ им Н.Э. Баумана, 2004. – 376 с.

Надійшло до редакції 02.03.2016