

РОЗРАХУНОК ВОДООЧИСНИХ СТАНЦІЙ З БІОРЕАКТОРАМИ І КОНТАКТНИМИ ПРОЯСНЮВАЛЬНИМИ ФІЛЬТРАМИ

Василюк А.В. (Одеська державна академія будівництва та архітектури, м. Одеса)

Нинішні технології водопідготовки із використанням лише важкого або плаваючого фільтрувального завантаження не забезпечують потрібної якості питної води. Ця проблема вирішується на водоочисних станціях з волокнисто-пінополістирольними фільтрами, які є дешевими у будівництві, простішими в експлуатації, а також забезпечують необхідні характеристики води при відносно невеликій її собівартості.

У нинішніх умовах гострої кризи в політиці і економіці держави забезпечення населення якісною питною водою було і залишається найважливішою умовою збереження життя людей, нормального існування і розвитку суспільства в цілому [1-3].

Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є застосування децентралізованих систем очищення і розподілу води на групових сільськогосподарських водопроводах, в яких на головних спорудах ведеться підготовка технічної води, що використовується на миття і заправку машин, тракторів, технологічного обладнання, полив присадибних ділянок тощо, а висококондиційна вода в обсязі 10-15% готується за спеціальною технологією і реалізовується населенню у його тару, що може здійснюватись у вигляді бюветів, або продаватись у торгівельну мережу [4].

Технічну воду доцільно готувати на водоочисних станціях з біореакторами (БР) і контактними прояснювальними фільтрами (КПФ).

У нинішніх умовах посиленого антропогенного навантаження на джерела водопостачання та зарегульованості поверхневого стоку виникають проблеми підготовки якісної питної води, оскільки при невеликій каламутності поверхневих вод підвищується її кольоровість внаслідок забруднення органічними домішками та розвитку фітопланктону. Тому нинішні технології водопідготовки із використанням лише важкого або плаваючого фільтрувального завантаження вже не забезпечують потрібної якості питної води [5].

Ця проблема вирішується нині на водоочисних станціях з волокнисто-пінополістирольними фільтрами, які є дешевими у будівництві, простішими в експлуатації у порівнянні з типовими технологіями, а також забезпечують необхідні характеристики води при відносно невеликій її собівартості [6].

Така технологічна схема з успіхом застосовується також для очищення підземних вод та доочищення стічних господарсько-побутових вод і стічних вод промислових підприємств, а також підприємств по переробці сільськогосподарської продукції.

У таких водоочисних станціях застосовують дві основні споруди (рис.1):

1. Фільтр з волокнистим завантаженням, який виконує роль біореактора (БР);
2. Контактний прояснювальний фільтр (КПФ), призначений для глибокого освітлення і знебарвлення води.

Водоочисна станція працює так. Вихідна вода по трубі 1 надходить через аератор 2 на біофільтр 3. В ньому відбувається насичення води киснем, видалення вуглекислого газу та інших газів з води для запобігання пухирцевої кальматації фільтрувального завантаження КПФ. На волокнистому завантаженні БР утворюється біоплівка, що приймає участь в біохімічному окисленні органічних домішок, що знаходяться у вихідній воді.

Розчин реагентів для коагуляції води може подаватись в наступних місцях:

- 1) перед БР (точка 20 рис.1) при обробці каламутних малокольорових вод. В цьому випадку БР виконує роль камери утворення крупних пластівців для освітлення води в КПФ;
- 2) перед КПФ (точка 21 рис.1) при обробці малокаламутних висококольорових вод, що мають багато органічних домішок. В цьому випадку у БР відбувається процес біохімічного окислення органічних речовин і їх сорбції на біоплівці волокнистого завантаження.

Для інтенсифікації роботи водоочисної станції на ній здійснюються такі технологічні процеси: аерація води; біохімічне окислення органічних речовин і їх мінералізація; контактна коагуляція домішок; використання сил гравітації при висхідному русі води; прояснення води в шарі завислого осаду в підфільтровому просторі КПФ.

Для рівномірного розподілу води по площі фільтра застосовують верхню і нижню дренажно-розподільні системи. Тривалість фільтроциклу визначається при досягненні граничних втрат напору на станції $h_{\text{ф}} = Z_{\text{max}} - Z_{\text{min}} = 1\text{м}$.

Промивку фільтра здійснюють зворотнім рухом води. Промивну воду відводять по скидній трубі в каналізацію.

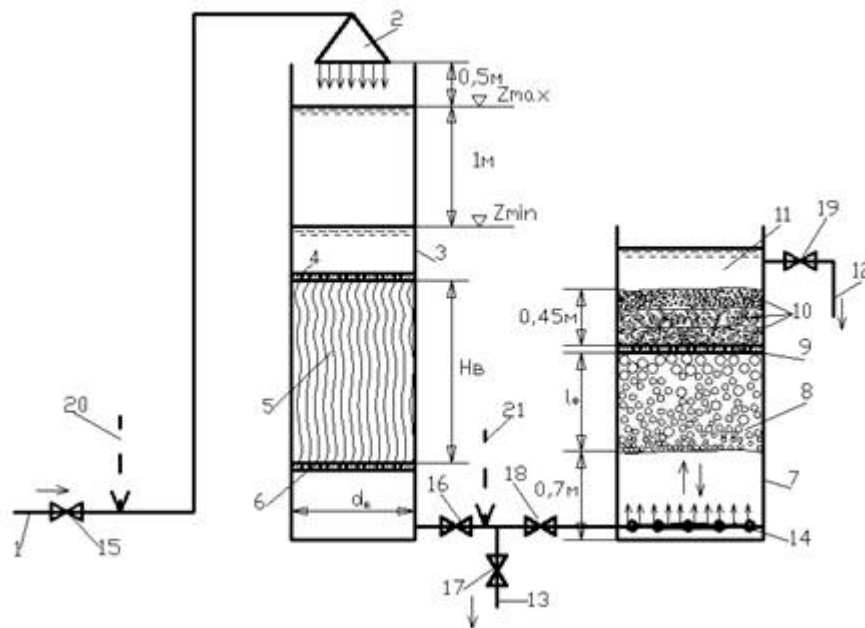


Рис. 1. Технологічна схема водоочисної станції з безнапірними КПФ:

1 – подача вихідної води; 2 – аератор; 3 – біореактор; 4 – верхня колосникова решітка БР; 5 – волокнисте завантаження; 6 – нижня колосникова решітка БР; 7 – КПФ; 8 – пінополістирольне завантаження; 9 – колосникова решітка КПФ; 10 – гравійно-щебеневий дренаж; 11 – надфільтровий об'єм води; 12 – відведення проясненої води; 13 – скидання промивної води; 14 – дренажно-розподільна система КПФ; 15-19 – засувки; 20 і 21 – можливі точки подачі коагулянту.

Для завантаження біореакторів слід застосовувати волокнисті матеріали із полістиролу, капрону або лавсану, допущені Міністерством охорони здоров'я України для застосування в системах питного водопостачання. Ці матеріали використовуються як насадки для закріплення природних біоценозів: залізобактерій – при очищенні підземних вод, гідробіонтів – при очищенні поверхневих природних вод та доочищенні стічних вод з метою інтенсифікації очищення води від органічних, неорганічних і мікробіологічних домішок. Характеристики волокнистого завантаження слід приймати по табл. 1.

Таблиця 1

Діаметр ниток d_B , мм	Довжина ниток H_B , м	Відстань між осями ниток Δ , мм	Швидкість фільтрування V_Φ , м/год	Коефіцієнт масопереносу K_C , м/год	Товщина біоплівки δ_p , мкм
1-2,5	1-1,5	7-20	3-5	0.025-0,08	25-100

Для забезпечення виходу газів з рідини в біореакторі час перебування води в ньому повинен бути не менше 1 хвилини, а максимальна швидкість руху води в кінці фільтроциклу між нитками завантаження не повинна перевищувати 0,05 м/с.

Нитки волокнистого фільтрувального завантаження діаметром d_B і на відстані між їх осями Δ повинні бути натягнуті між верхньою і нижньою колосниковими решітками, через які проходить вода.

Потрібна довжина ниток волокнистого фільтрувального завантаження визначається за формулою

$$H_B = \frac{2V_\Phi}{K_0} \ln \frac{C_0}{C_\Phi}, \text{ м} \quad (1)$$

де V_Φ – швидкість фільтрування води в біореакторі, м/год; C_0 і C_Φ – вміст домішок, відповідно у вихідній і фільтрованій воді, мг/дм³; K_0 – параметр біосорбції, год⁻¹, що визначається за формулою

$$K_0 = \frac{2\pi K_C}{\Delta^2} (r_B + \delta_n), \text{ год}^{-1} \quad (2)$$

K_C – коефіцієнт масопереносу в біореакторі, м/год, що приймається по табл. 1; r_B – радіус ниток волокнистого завантаження, м; δ_n – середня товщина біоплівки навколо ниток за період фільтроциклу; C_0/C_Φ – розрахункова глибина очищення води в біореакторі.

Схему руху вихідної води між нитками волокнистого завантаження БР показано на рис.2.

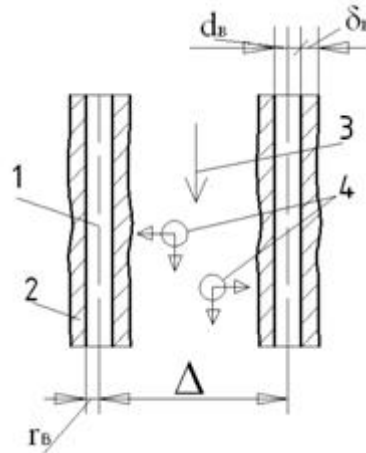


Рис. 2. Схема руху вихідної води між нитками волокнистого завантаження БР: 1 - нитка завантаження; 2 - біоплівка; 3 - напрямок руху вихідної води; 4 - частинки домішок у воді.

Загальна площа поперечного перерізу біореактора (брутто) визначається за формулою

$$F_B = Q_{p,max} / V_\Phi, \text{ м}^2 \quad (3)$$

де $Q_{p,max}$ – розрахункова витрата води через біореактор, м³/год.

Ця площа повинна бути перевірена на можливість виходу газів з біореактора в кінці фільтроциклу:

$$F_0 \geq F_0 + K_1 K_2 F_B, \text{ м}^2 \quad (4)$$

F_0 – мінімальна вільна площа поперечного перерізу біореактора в кінці фільтроциклу, через яку проходить вихідна вода;

$$F_0 \geq Q_{p,max} / 180, \text{ м}^2 \quad (5)$$

K_1 – коефіцієнт, що враховує ступінь заповнення поперечного перерізу корпусу біореактора нитками завантаження

$$K_1 = N \left(\frac{d_B}{d_B} \right)^2 ; \quad (6)$$

N – кількість ниток завантаження в поперечному перерізі біореактора; d_B і d_B – діаметри, відповідно, ниток завантаження і біореактора, мм; K_2 – коефіцієнт, що враховує ступінь обростання ниток волокнистого завантаження біоплівкою та домішками з вихідної води

$$K_2 = \left(1 + \frac{2\delta_n}{d_B} \right)^2 ; \quad (7)$$

Кількість біореакторів повинна бути не меншою двох. По площі одного біореактора визначають його розміри в плані. Загальна висота біореактора повинна бути не меншою 4 м.

При рівномірному розташуванні ниток волокнистого фільтрувального завантаження в поперечному перерізі їхня кількість визначається за формулами для біореакторів:

- квадратної форми в плані

$$N_{кв} = \left(\frac{a}{\Delta} - 1 \right)^2 ; \quad (8)$$

- циліндричного типу

$$N_{цр} = \frac{\pi}{4} \left(\frac{d_B}{\Delta} - 1 \right)^2 ; \quad (9)$$

де a і d_B – відповідно, довжина сторони квадрата і діаметр біореактора, мм.
 Пористість волокнистого фільтрувального завантаження біореакторів циліндричного типу визначається за формулами:

- на початку фільтроциклу

$$P = 1 - \frac{\pi d_B^2}{4} \left(\frac{1}{\Delta} - \frac{1}{d_B} \right)^2 ; \quad (10)$$

- в кінці фільтроциклу

$$P = 1 - \frac{\pi (d_B + \delta_B)^2}{4} \left(\frac{1}{\Delta} - \frac{1}{d_B} \right)^2 ; \quad (11)$$

де d_B – середня товщина прикріпленої до волокон біомаси, мм

Для біореакторів з поперечним перерізом квадратної форми пористість волокнистого фільтрувального завантаження визначається за формулами (10) або (11), в яких замість d_B підставляється величина a .

Для очищення вихідної води від органічних домішок (окиснюваність, БСК) з ефективністю не менше 50% на біореакторі з волокнистим фільтрувальним завантаженням довжиною $H_B = 1$ м швидкість фільтрування води V_Φ повинна бути не більшою 5 м/год, а параметр біосорбції K_O – не менше 7 год⁻¹.

Оптимальні конструктивні (d_B , H_B , d_B і Δ) та технологічні параметри (V_Φ і K_C) біореактора визначаються техніко-економічними розрахунками, виходячи із вимог досягнення потрібної глибини очищення води C_O/C_Φ при найменших витратах на будівництво і експлуатацію водоочисних споруд.

Вихідну воду, що надходить в біореактор, потрібно насичувати киснем повітря, шляхом її розбризкування на дрібні крапельки і їх падіння з висоти не менше 0,5 м над найвищим рівнем води в біореакторі.

Режим роботи біореактора повинен бути відпрацьований таким чином, щоб забезпечити на першому етапі накопичення і закріплення мікроорганізмів, окислення і видалення з води забруднень, а на другому етапі – видалення з поверхні волокон мінеральних частинок під дією гідродинамічних сил фільтраційного потоку.

Біореактори повинні бути сконструйовані таким чином, щоб швидкість руху води в них не перевищувала критичну, при якій змиваються з волокон прикріплені мікроорганізми, а з іншого боку, була цілком достатньою, щоб виносити з біореактора рештки біомаси, що наросла і не прикріпилась до волокон.

Для завантаження контактано-прояснювальних фільтрів (КПФ) слід використовувати гранули із спіненого полістиролу тих марок, на які існує дозвіл Міністерства охорони здоров'я України для застосування в системах питного водопостачання після 10-ти годинного відмивання фільтрувального завантаження у проточній воді.

На рис.3 наведено схему обладнання напірного КПФ.

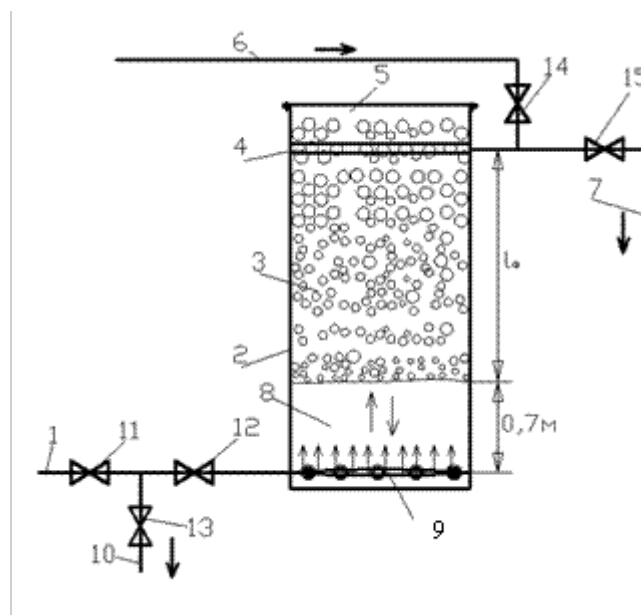


Рис. 3. Схема обладнання напірного КПФ:

1 - подача води від БР; 2 - корпус КПФ; 3 - пінополістирольне завантаження; 4 – ковпачковий дренаж; 5 - кришка; 6 - подача вихідної води на промивку КПФ; 7 - відведення очищеної води; 8 - підфільтровий простір; 9 - нижня дренажно-розподільна система; 10 - скидання промивної води; 11-15 – засувки.

Розрахункові параметри пінополістирольного завантаження КПФ слід приймати по табл. 2.

Таблиця 2

Розрахункові параметри пінополістирольного завантаження КПФ

Діаметр гранул, мм	Товщина шару, мм	Швидкість фільтрування води, м/год	Інтенсивність промивки, $\text{дм}^3/\text{с}\cdot\text{м}^2$	Тривалість промивки, хв	Відносне розширення завантаження, %
1-2,5	700-1000	8-12	15-20	2-3	45-50

Вибір контактено-прояснювальних фільтрів напірного або безнапірного типу слід виконувати залежно від площі фільтра в плані на основі техніко-економічних розрахунків.

Для утримання пінополістирольного фільтрувального завантаження від спливання і виносу його за межі фільтра при фільтруванні води слід передбачати:

- для безнапірних фільтрів – колосникові решітки, привантажені зверху гравійно-щебеним дренажем;
- для напірних фільтрів – металеву кришку, герметично з'єднану з корпусом фільтра.

Колосникову решітку безнапірних контактено-прояснювальних фільтрів з пінополістирольним завантаженням слід розраховувати на утримання ваги гравійно-щебенового дренажу при відсутності води у фільтрах і перевіряти її на підйомну силу спливаючого завантаження при висхідному фільтруванні води.

Для виключення виносу гранул плаваючого завантаження з фільтра висоту підфільтрового простору належить приймати не менше 0,7 м і не допускається випускати воду з фільтра під час його промивки при закритій засувці на трубопроводі подачі промивної води.

Наші дослідження показали, що при щільному упакуванні пористість чистого фільтрувального завантаження із гранул кулеподібної форми не залежить від їх діаметрів, а по всій висоті пінополістирольного фільтра кожний його шар на початку фільтроциклу має однакову пористість, яка визначається за формулою

$$P_0 = 1 - \pi/6 = 0,476, \quad (12)$$

тобто становить 47,6%.

У процесі фільтрування попередньо обробленої води водопрхідні канали завантаження заповнюються осадою, що призводить до зменшення його пористості, яка для і-го шару товщиною dh_i визначається за формулою

$$P_{t,i} = P_0 - \frac{G_{t,i}}{\rho_n dh_i}, \quad (13)$$

де ρ_n – густина осаду, накопиченого в порових каналах завантаження, $\text{кг}/\text{м}^3$; $G_{t,i}$ – питома брудомісткість в і-ому шарі на момент часу t визначається за виразом

$$G_{t,i} = 0,001V_\phi \int_0^t (D_{k,j} + M_j) E_{i,j} dt_j, \quad \text{кг}/\text{м}^2, \quad (14)$$

де V_ϕ – швидкість висхідного фільтрування води ($V_\phi = \text{const}$), м/год; $D_{k,j}$ – доза коагулянту в j-ий момент часу протягом терміну фільтрування води від 0 до t , $\text{мг}/\text{дм}^3$; M_j – вміст завислих речовин у вихідній воді в цей момент роботи фільтра, $\text{мг}/\text{дм}^3$; $E_{i,j}$ – ефективність процесу затримання завислих речовин в і-ому шарі фільтра та в j-ий момент часу його роботи, в долях одиниці, яка залежить від конструктивних (l_ϕ ; d_ϕ) і технологічних (V_ϕ) параметрів фільтра, а також його питомої брудомісткості в даний момент часу $G_{t,i}$.

При висхідному фільтруванні води основне навантаження в затриманні забруднень припадає на перші нижні шари фільтрувального завантаження до висоти 0,5-0,6 м. Верхні шари виконують роль зворотного фільтра, а тому загальна висота фільтра не повинна перевищувати 0,8-1 м.

Закінчення робочого періоду фільтрування води на контактних освітлювальних фільтрах слід визначати по досягненню граничних витрат напору:

- для безнапірних фільтрів 1 м;
- для напірних фільтрів 2 м.

Розрахункову дозу коагулянту D_k , $\text{мг}/\text{дм}^3$, на початку фільтроциклу слід приймати при обробці кольорових поверхневих вод:

$$D_x = 175,5 \left(0,87 - \frac{20}{K} \right)^{1,19} ; \text{ мг/дм}^3 \quad (15)$$

де K – кольоровість оброблюваної води ($K \geq 23^\circ$ ПКШ).

Промивку фільтра допускається здійснювати вихідною водою або фільтрованою водою. У першому випадку кількість робочих фільтрів повинна бути не меншою

$$N_{\text{роб}} = 3,6 q_{\text{пр}} / V, \quad (16)$$

а після промивки фільтра перший фільтрат потрібно скидати в каналізацію протягом

$$t = 60 \cdot l_{\text{ф}} / V_{\text{ф}}, \text{ хв} \quad (17)$$

де $q_{\text{пр}}$ – інтенсивність промивки фільтра, $\text{дм}^3/\text{с} \cdot \text{м}^2$; $l_{\text{ф}}$ – товщина фільтрувального завантаження, м; $V_{\text{ф}}$ – швидкість фільтрування води, м/год.

Інтенсивність і тривалість промивки контактних прояснювальних фільтрів слід визначати при пусконаладжувальних роботах споруд, виходячи з вимог, щоб була забезпечена розрахункова «зарядка» пінополістирольного фільтра (мінімальна брудомісткість фільтра G_{min} , кг/м^2), при якій досягається потрібна якість очищеної води по її кольоровості на початку фільтроциклу. Для фільтрів з пінополістирольним завантаженням та висхідним рухом води $G_{\text{min}} = 4-5 \text{ кг/м}^2$.

Висновки

При експлуатації контактних прояснювальних фільтрів з метою збільшення тривалості фільтроциклу $T_{\text{ф}}$ при нормативних якостях фільтрованої води по її кольоровості та значної економії витрат коагулянту слід застосовувати перемінне коагулювання води, коли на початку фільтрування тривалістю $0,3 T_{\text{ф}}$ подається посилена доза коагулянту, що визначається за формулою (15), а протягом $0,7 T_{\text{ф}}$ подається коагулянт в десять разів меншою дозою.

Summary

Present technology of water-changeround, using only heavy or floating filter load, don't supply necessary quality of fresh water. This problem is solved on water-purifying stations with foamplastic filters, which are more cheaper in the construction, more simple in usage and also supply necessary characteristics of water with it's relatively small cost.

1. Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством: ГОСТ 2874-82. - [Введ.1985.01.01]. М.: ИПК Изд-во стандартов, 1989. – 9с.

2. Вода питна. Гігієнічні вимоги до якості води централізованого господарсько-питного водопостачання: ДСанПіН. №136/1940. – К.: МОЗ України. – 1997. – 21с.

3. Загальнодержавна програма "Питна вода України на 2006-2020 роки", затверджена Законом України від 3 березня 2005 року, № 2455 – IV.

4. Хоружий П.Д., Хомутецька Т.П., Хоружий В.П. Ресурсозберігаючі технології водопостачання. – К.: Аграрна наука, 2008 – 534 с.

5. Прокопов В.О., Кузьмінець О.М., Соболев В.А. Гігієнічна оцінка централізованого господарсько-питного водопостачання України // Довкілля та здоров'я. – 2008 - №4 – с.14-18.

6. Хоружий П.Д., Хомутецька Т.П., Хоружий В.П., Василюк А.В. Шляхи ресурсозбереження в системах водопостачання // Зб.доп. Міжнар. конгресу "ЕТЕВК-2009", м.Ялта, 1-5 червня 2009 р. – К.: Друк ТОВ "Гнозіс". – с.105-109.