

УДК 628.16

Кравчук О.А.,

Київський національний університет будівництва і архітектури

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ШВИДКОСТІ ФІЛЬТРУВАННЯ ПІД ЧАС РОБОТИ ШВИДКОГО ФІЛЬТРА

Представлено результати експериментальних досліджень роботи швидких фільтрів. Приведено графічні залежності, які відображають зменшення відносної швидкості фільтрування з часом при різних значеннях початкової швидкості фільтрування. Показано зміну про цього коефіцієнта фільтрації з часом.

Ключові слова: фільтрування; суспензія; коефіцієнт фільтрації; фільтруючий матеріал.

Вступ. Підготовка природних вод для господарсько-питних потреб населення та потреб промислових підприємств здійснюється на очисних спорудах за різними технологічними схемами для приведення їх фізико-хімічних показників у відповідність до вимог споживачів. В Україні, як і за кордоном, одним із основних елементів цих схем є швидкі фільтри з зернистою засипкою. Фільтрування дає змогу затримувати найменші завислі й колоїдні частинки з води в пористому середовищі. При цьому подача очищуваної води на фільтри, як правило, здійснюється з постійною витратою. Проте, в зв'язку з недостатньою проникністю фільтруючого матеріалу, над його поверхнею з часом накопичується певний шар води, який здатен прискорювати фільтрувальний процес. З іншого боку, по мірі відкладення завислих речовин в порах завантаження, збільшується його гідравлічний опір, що врешті решт призводить до різкого зниження швидкості фільтрування, а отже і продуктивності фільтра. Прояснення води шляхом фільтрування є основним робочим процесом швидких фільтрів. Зміна гідравлічного опору фільтруючого завантаження і приросту втрат напору – це супутній процес. Проте, обидва процеси в однаковій мірі повинні враховуватись при проектуванні, розрахунку та експлуатації фільтрів.

Дослідженням роботи швидких фільтрів протягом тривалого часу продуктивно займались багато вчених [1-3]. Тому при постійній швидкості руху рідини в цих спорудах, параметри фільтрувального процесу вивчені досить повно. Однак, при змінній швидкості фільтрування в існуючих моделях використано значну кількість припущень та спрощень.

Результати досліджень. Для експериментального дослідження основних характеристик процесу фільтрування в лабораторії водопостачання Київського національного університету будівництва і архітектури було змонтовано модельну установку швидкого фільтра, схема якої приведена на рис. 1.

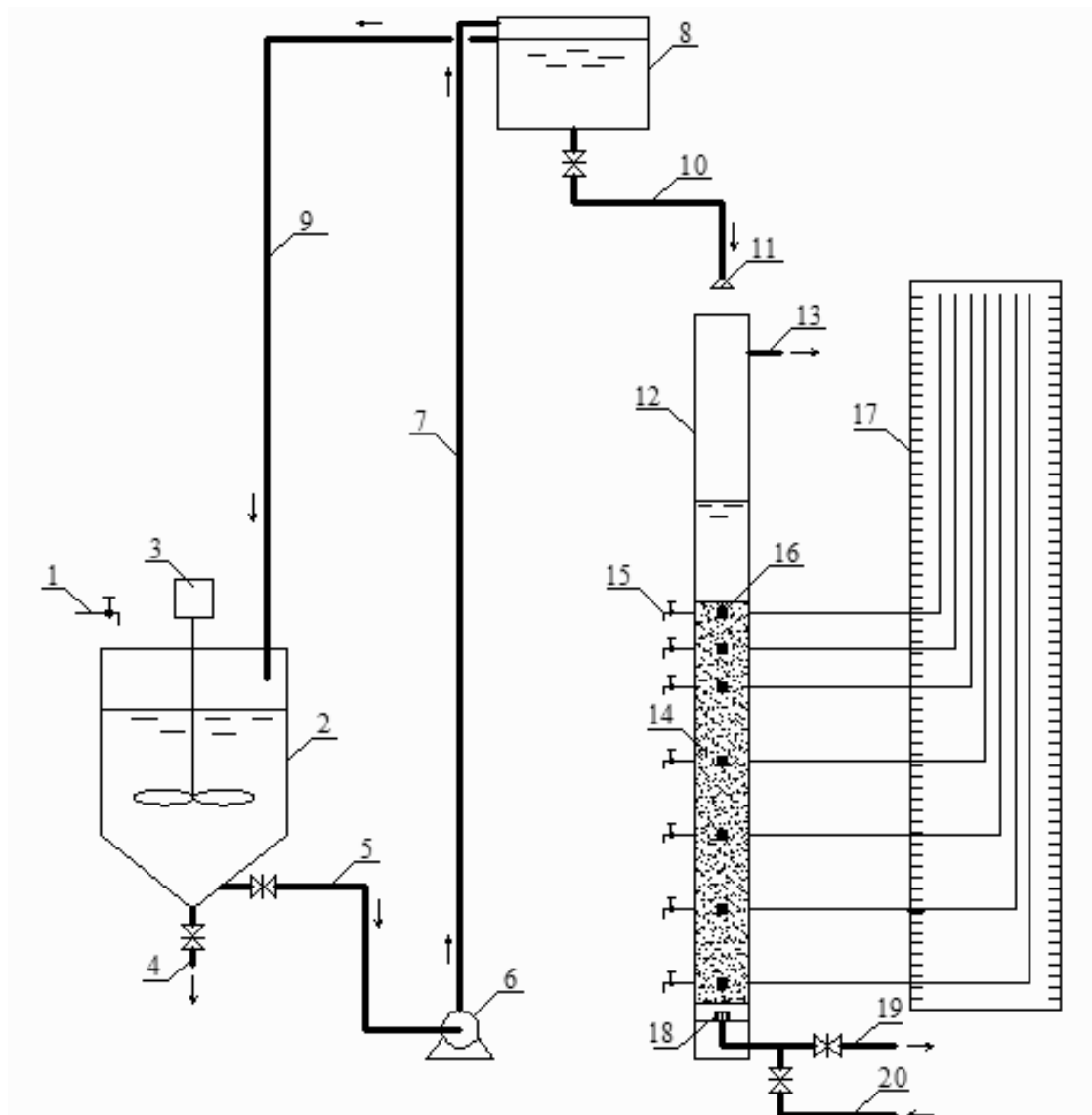


Рис. 1. Схема експериментальної установки:

1 – подача води з водопровідної мережі; 2 – бак для приготування суспензії; 3 – механічна мішалка; 4 – випуск в каналізацію; 5 – трубопровід подачі суспензії до насоса; 6 – насос; 7 – напірний трубопровід подачі суспензії до витратного баку; 8 – витратний бак; 9 – переливний трубопровід; 10 – трубопровід подачі суспензії на фільтр; 11 – розподільчий оголовок; 12 – фільтрувальна установка; 13 – переливний трубопровід; 14 – фільтруюче завантаження; 15 – крани для відбору проб суспензії; 16 – місце для відбору проб завантаження; 17 – щит п'єзометрів; 18 – дренажний ковпачок; 19 – трубопровід відводу очищеної води; 20 – трубопровід подачі води на промивку

Фільтраційна колона виготовлена з полімерної труби діаметром 150 мм і висотою 2,0 м. В якості фільтруючого завантаження виступає кварцовий пісок,

аналогічний тому, що використовується у швидких фільтрах на Дніпровській водопровідній очисній станції м. Києва. Висота його шару становить 1 м. На трубі влаштовано 7 створів (1, 2, 3 – на відстані 0,1 м, 4, 5, 6, 7 – через 0,2 м), в яких відбувався відбір води, що очищається, і проб піску після процесу очистки. В цих же створах підключені спеціальні п'єзометричні трубки для отримання показань напору у відповідних перерізах фільтруючого завантаження.

Перед початком проведення експериментальних досліджень були проведені дослідження основних характеристик фільтруючого матеріалу. Його щільність в насипному стані становила 1412 кг/м^3 , у щільному тілі – 2650 кг/м^3 , пористість $n_0 = 0,47$, коефіцієнт форми $k_\phi = 1,19$, еквівалентний діаметр частинок завантаження $d_{\text{ек}} = 1,15 \text{ мм}$.

В якості модельних забруднень, які необхідно видалити фільтруванням з води, прийнято молоту спондилову глину. Приготування експериментальної суспензії, що очищується на моделі, здійснюється в спеціальному змішувальному баку. Після цього суспензія насосом подавалась у витратний бак і далі у фільтраційну колону. Фільтрування відбувалось зверху вниз.

Після закінчення роботи фільтрувальної установки здійснювалась промивка фільтруючого завантаження, яка відбувалась знизу вгору. Промивна вода по спеціальному переливному трубопроводу відводилась у каналізаційну мережу.

В даній роботі представлені результати експериментальних досліджень, присвячених зміні швидкості фільтрування з часом. Причому, при швидкості фільтрування $V < 15 \text{ м/год}$ ($Re < 4$) процес проходить у ламінарному режимі [4, 5]. Число Рейнольдса при цьому розраховувалось за формулою (1).

$$Re = \frac{V d_{\text{ек}}}{6\nu(1 - n_0)}, \quad (1)$$

де ν – кінематична в'язкість, $\text{м}^2/\text{с}$.

На рис. 2 приведені окремі характерні приклади зміни відносної швидкості фільтрування з часом при різних значеннях початкової швидкості V_0 і концентрації забруднень C_0 .

Аналіз представленого графіка підтверджує той факт, що збільшення початкової концентрації забруднень і початкової швидкості фільтрування зменшує час фільтроциклу, тобто того часу коли фільтр буде очищати воду до заданої концентрації забруднень на виході з очисної споруди. Окрім цього зменшується час, при якому фільтр буде працювати з мінімально допустимою швидкістю (витратою).

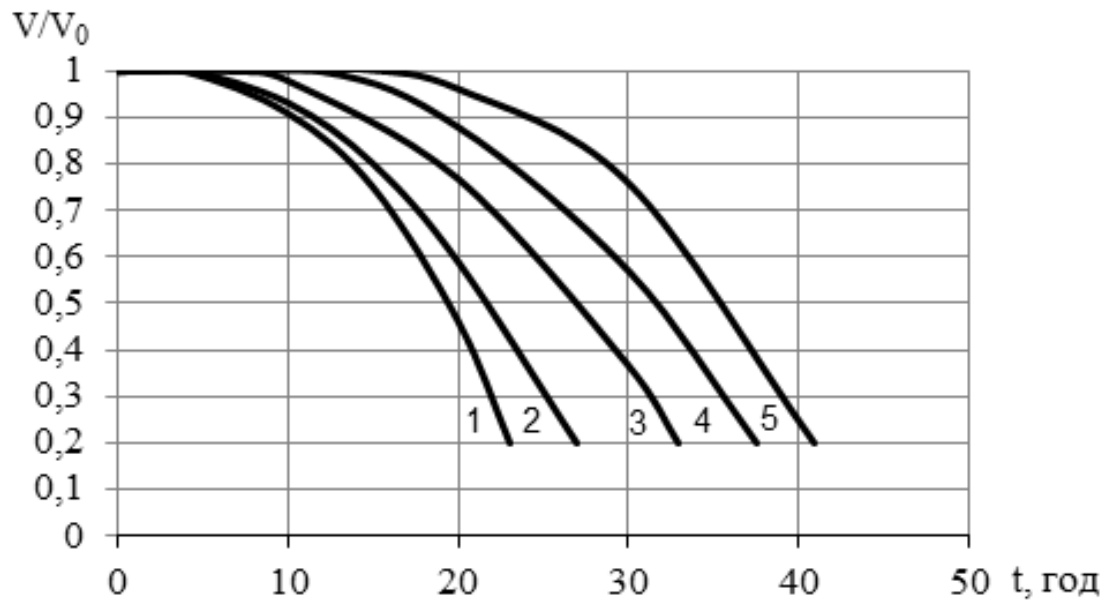


Рис. 2. Зміна відносної швидкості фільтрування з часом при початковій концентрації $C_0 = 100 \text{ мг/л}$ і швидкості V_0 :
 1. $V_0 = 7,95 \text{ м/год}$ ($C_0 = 195 \text{ мг/л}$); 2. $V_0 = 10,1 \text{ м/год}$;
 3. $V_0 = 7,85 \text{ м/год}$; 4. $V_0 = 5,91 \text{ м/год}$; 5. $V_0 = 3,97 \text{ м/год}$

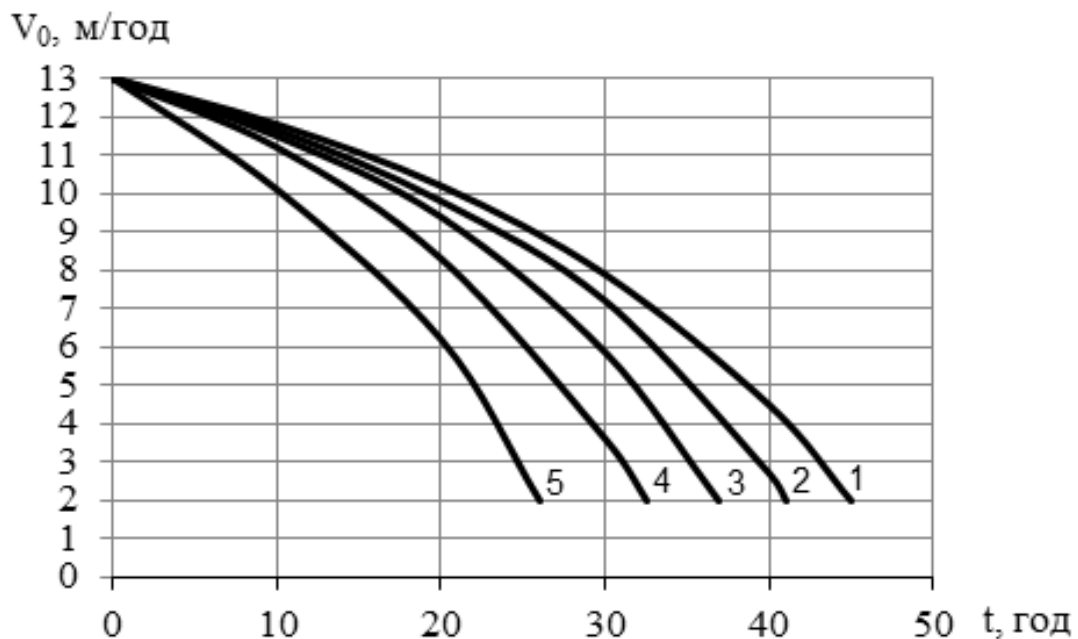


Рис. 3. Визначення часу роботи фільтра при забезпеченні заданої величини відносної швидкості фільтрування V/V_0 :
 1. $V/V_0 = 0,2$; 2. $V/V_0 = 0,4$; 3. $V/V_0 = 0,6$; 4. $V/V_0 = 0,8$; 5. $V/V_0 = 0,9$

Час роботи фільтра (тривалість фільтроциклу), виходячи з критерію падіння швидкості фільтрування до мінімально допустимої (V/V_0), в представлених нами дослідних умовах зручно визначати за графіком на рис. 3.

З приведенного рисунку слідує, що на зменшення швидкості фільтрування з часом (витрати води) активно впливає величина концентрації забруднень і

швидкості руху середовища на вході в очисну споруду. Очевидно, що при конкретній початковій концентрації забруднень, існує відповідне оптимальне значення початкової швидкості фільтрування, при якому буде забезпечуватися максимальний час роботи фільтра (тривалість фільтроциклу) і досягнення при цьому необхідної ступені очистки води. Наприклад, в нашому випадку: при початковій швидкості фільтрування $V_0 = 7$ м/год і початковій концентрації забруднень $C_0 = 100$ мг/л величина відносної швидкості $V/V_0 = 0,5$ (величина витрати дорівнює половині розрахункової) буде досягнута через 28 годин роботи фільтра.

Як відомо, при роботі фільтра з постійною в часі швидкістю фільтрування коефіцієнт фільтрації зернистого завантаження суттєво зменшується [6, 7]. Очевидно, та ж сама тенденція буде зберігатись і при змінній в часі швидкості фільтрування.

На рис. 4 показано характер зміни середнього за товщиною всього завантаження значення коефіцієнта фільтрації ($k_{\text{ср}}$) в залежності від зміни відносної швидкості фільтрування з часом V/V_0 .

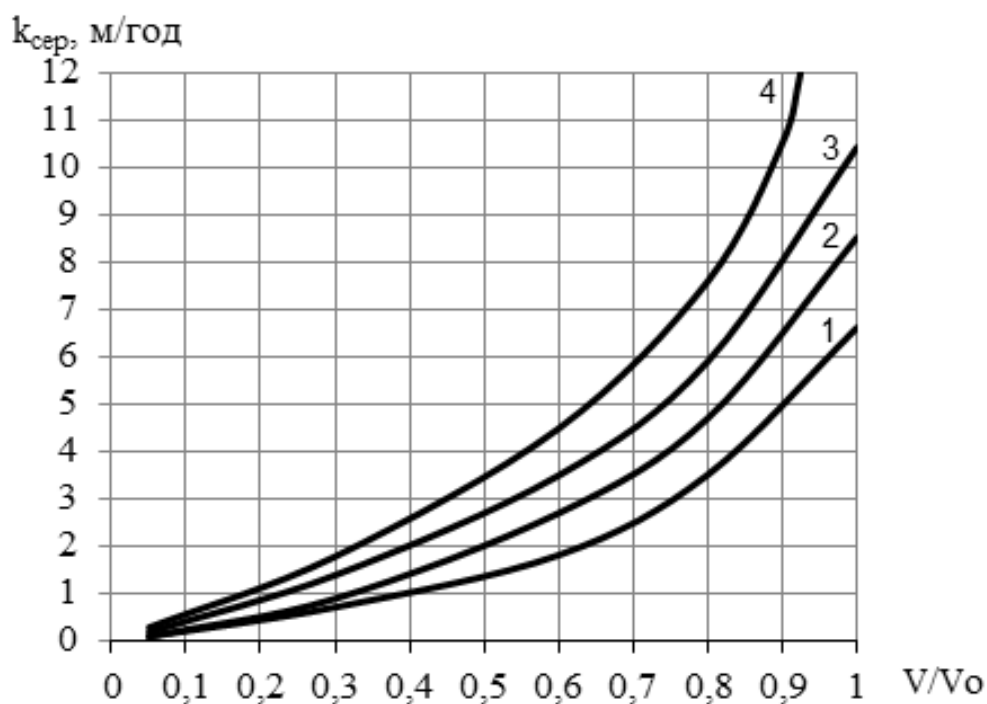


Рис. 4. Зміна середнього для всього фільтра коефіцієнта фільтрації в залежності від відносної швидкості фільтрування при початковій швидкості фільтрування V_0 :

1. $V_0 = 3,97$ м/год; 2. $V_0 = 5,91$ м/год; 3. $V_0 = 7,85$ м/год; 4. $V_0 = 9,78$ м/год

З графіка слідує, що більшим значенням швидкості фільтрування при однаковій величині співвідношення V/V_0 , відповідають більші значення середнього коефіцієнта фільтрації $k_{\text{ср}}$.

Більш наочним і інформаційним для характеристики роботи фільтра є графік приведений на рис. 5, на якому показано, як змінюється коефіцієнт фільтрації не в середньому для всього фільтра, а для конкретного шару фільтра коефіцієнта фільтрації k_{ϕ} (в даному випадку шар між створами 1 і 2 товщиною 0,1 м). Оскільки цей шар є першим за рухом рідини, що очищається, і в ньому затримується найбільша частина забруднень, які переносяться рідиною.

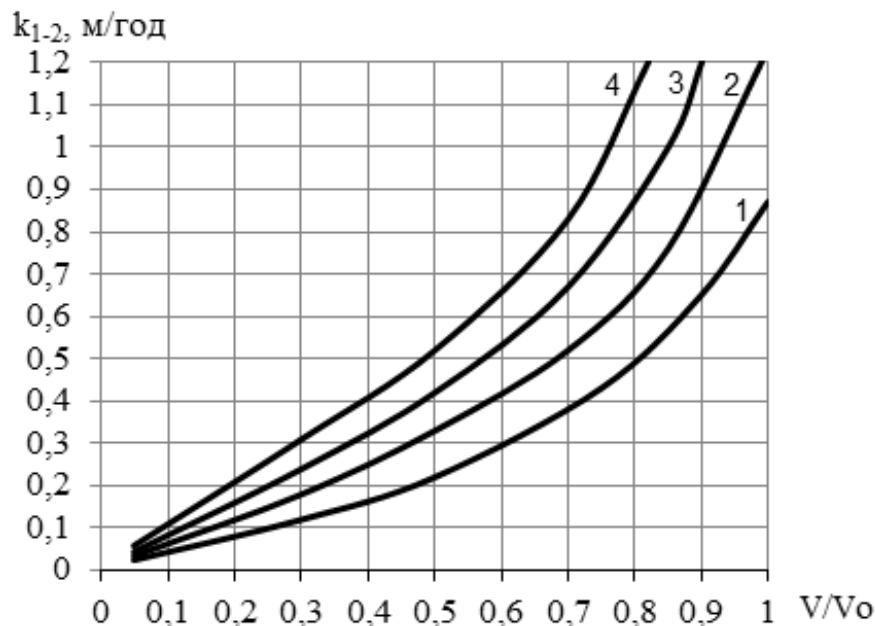


Рис. 5. Зміна коефіцієнта фільтрації шару завантаження між створами 1-2 в залежності від відносної швидкості фільтрування при початковій швидкості V_0 :

1. $V_0 = 3,97$ м/год; 2. $V_0 = 5,91$ м/год; 3. $V_0 = 7,85$ м/год; 4. $V_0 = 9,78$ м/год

Як бачимо, в цьому шарі завантаження зберігається загальна для всього фільтра тенденція, збільшення величини коефіцієнта фільтрації при збільшенні швидкості руху рідини, однак, конкретні значення коефіцієнта фільтрації цього шару на порядок менші ніж в середньому для всього фільтру.

Висновки. В даній роботі представлені результати особистих експериментальних досліджень зміни швидкості фільтрування з часом. Показано, що збільшення початкової концентрації забруднень та початкової швидкості фільтрування призводить до значного зниження швидкості фільтрування з часом, а отже і скорочення тривалості фільтроциклу.

Приведені залежності зміни коефіцієнта фільтрації протягом часу роботи фільтра при різних початкових швидкостях фільтрування показують, що більшим значенням швидкості фільтрування при однаковій величині співвідношення V/V_0 , відповідають більші значення коефіцієнта фільтрації.

Література

1. Кастальский А.А., Минц Д.М. Подготовка воды для питьевого и промышленного водоснабжения. – М.: Высшая школа, 1962. – 558 с.
2. Ives K. J. Theory of Filtration. Special Subject // London Inst. Water Supply Assoc. – 1969. – №7. – Р. 3-28.
3. Орлов В.О. Водоочисні фільтри із зернистою засипкою. – Рівне: НУВГП, 2005. – 163 с.
4. Журба М.Г. Очистка воды на зернистых фильтрах. – Львов: Вища школа, 1980. – 200 с.
5. Поляков В.Л. Расчет фильтрования суспензий через многослойную загрузку при линейной кинетике массообмена // Химия и технология воды, 2008, т. 33, № 1. – С. 3-14.
6. Венецианов Е.В., Рубинштейн Р.Н. Динамика сорбции из жидких сред. – М.: Наука, 1983. – 237 с.
7. Поляков В.Л. Фильтрование суспензий с убывающей скоростью при линейной кинетике массообмена // Химия и технология воды, 2012. – т. 34, № 2. – С. 107-130.

Аннотация

В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований работы скорых фильтров. Приведены графические зависимости, которые отражают изменение относительной скорости фильтрования со временем при различных значениях начальной скорости фильтрования. Показано изменение при этом коэффициента фильтрации со временем.

Ключевые слова: фильтрование; суспензия; коэффициент фильтрации; фильтрующий материал.

Abstract

The results of experimental research of rapid sand filters operation are presented in this article. Graphs, which illustrate the variation of relative filtration velocity under its different initial values, are considered. Variation of filtration coefficient over time under these conditions is shown.

Keywords: filtration; suspension; filtration coefficient; filtration material.