

## ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРАВЛІЧНОГО ОПОРУ ЗАВАНТАЖЕННЯ ФІЛЬТРІВ

*Представлено результати експериментальних досліджень роботи швидких фільтрів. Приведено графічні залежності для визначення гідравлічного похилу в чистому завантаженні, зміни втрат напору з часом та за висотою фільтра, зміни концентрації затриманих забруднень і коефіцієнта фільтрації різних шарів протягом часу.*

**Ключові слова:** фільтрування; суспензія; коефіцієнт фільтрації; осад.

*Представлены результаты экспериментальных исследований работы скорых фильтров. Приведены графические зависимости для определения гидравлического уклона в чистой загрузке, изменения потерь напора со временем и по высоте фильтра, изменения концентрации задержанных загрязнений и коэффициента фильтрации разных слоев со временем.*

**Ключевые слова:** фильтрование; суспензия; коэффициент фильтрации; осадок.

*The results of rapid filters operation experimental research are presented. Graphs for hydraulic gradient determination, headloss variation with time and with filter height, variation of slowed contaminants and filtration coefficient for various beds with time are described.*

**Key words:** filtration; suspension; filtration coefficient, sediment.

Як відомо, одними з основних споруд, які використовуються для очистки води, є швидкі безнапірні фільтри. Їх дослідженню у вітчизняній і зарубіжній практиці приділено досить багато теоретичних і експериментальних досліджень [1-3]. Однак, окремі питання, зокрема робота споруд в режимі змінної в часі швидкості фільтрування, застосування нових фільтруючих матеріалів, потребують додаткового вивчення.

Для оцінки ефективності використання в якості завантаження кварцового піску, який застосовується у швидких фільтрах на Дніпровській водопровідній очисній станції м. Києва, в лабораторії водопостачання Київського національного університету будівництва і архітектури було змонтовано спеціальну модельну установку фільтра, схема якої приведена на рис. 1. В якості модельних забруднень, які необхідно видалити фільтруванням з води, прийнято молоту спондилову глину.

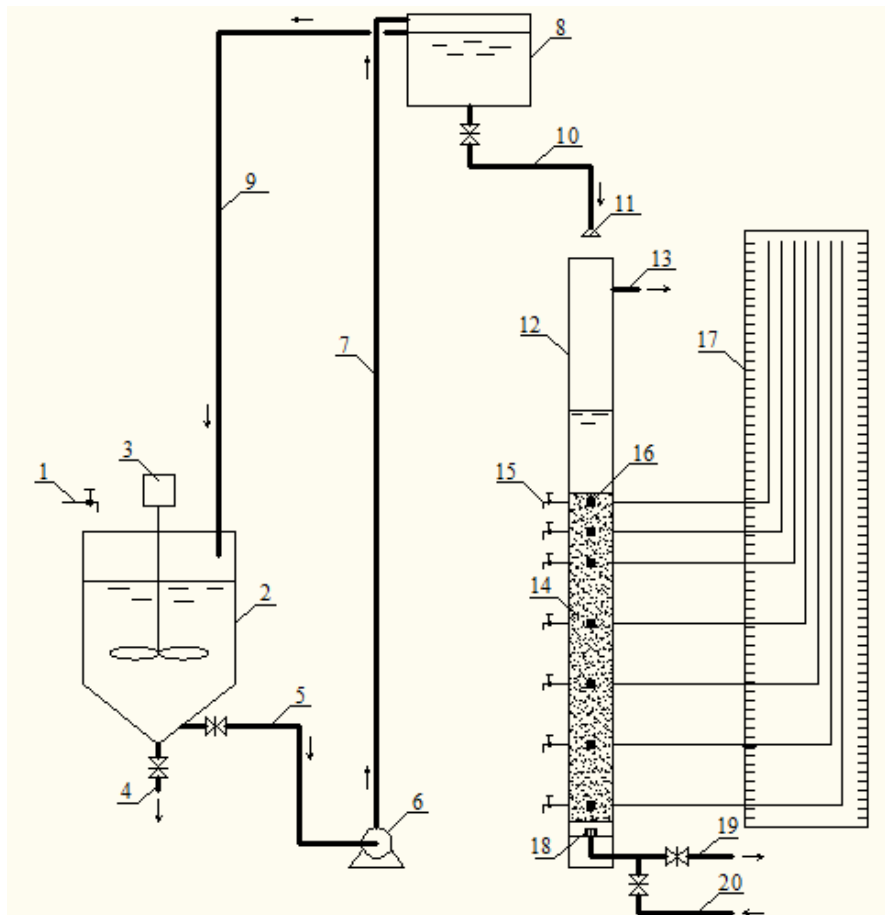


Рис. 1. Схема експериментальної установки: **1** – подача води з водопровідної мережі; **2** – бак для приготування суспензії; **3** – механічна мішалка; **4** – випуск в каналізацію; **5** – трубопровід подачі суспензії до насоса; **6** – насос; **7** – напірний трубопровід подачі суспензії до витратного 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

Приготування експериментальної суспензії, що очищується на моделі, здійснюється в спеціальному змішувальному баку, після якого суспензія насосом подається у витратний бак і далі у фільтраційну колону. Фільтрування відбувалось зверху вниз. Сама фільтраційна колона виготовлена з полімерної труби діаметром 150 мм і висотою 2,0 м. Висота шару завантаження піску становила 1,0 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 було підключено спеціальні п'єзометричні трубки для отримання показань напору у відповідних перерізах фільтруючого завантаження. Промивка завантаження здійснювалась знизу вгору. Промивна вода по переливному трубопроводу відводилась у каналізаційну мережу.

Перед початком основних вимірювань гідравлічних характеристик системи були виконані спеціальні дослідження особливостей фільтруючого завантаження. Його щільність в насипному стані становила  $1412 \text{ кг/м}^3$ , у щільному тілі –  $2650 \text{ кг/м}^3$ , пористість  $m = 0,47$ , коефіцієнт форми  $K_f = 1,19$ , щільність частинок забруднень із спондилової глини –  $1,4 \text{ кг/м}^3$ , еквівалентний діаметр частинок завантаження  $d_{\text{екв}} = 1,15 \text{ мм}$  визначався по результатах ситового аналізу за формулою

$$\frac{1}{d_{\text{екв}}} = \sum \frac{p_i}{d_i}, \quad (1)$$

де  $p_i$  – відносний ваговий склад фракцій завантаження з діаметром  $d_i$ .

Попередня серія вимірювань проводилась при фільтрації чистої води через незабруднене завантаження. При різних витратах води (швидкостях фільтрування) знімалися показання в першому і останньому п'єзометрах. Далі за формулою (2) визначався гідравлічний похил

$$i = \frac{\Delta P}{L}, \quad (2)$$

де  $\Delta P$  – різниця в показаннях п'єзометрів, м;  $L = 1 \text{ м}$  – довжина (висота) шару піску в колоні.

Результати вимірів приведені на рис. 2.

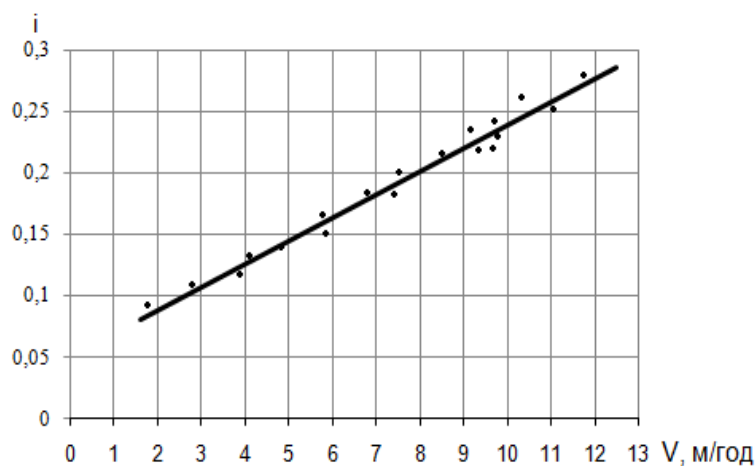


Рис. 2. Визначення гідравлічного похилу в чистому завантаженні

Як бачимо, залежність між швидкістю фільтрування і гідравлічним похилом лінійна, що відповідає загальноприйнятій умові про ламінарний режим руху рідини у фільтруючому завантаженні швидких фільтрів при швидкостях фільтрування  $V < 15 \text{ м/год}$ . Коефіцієнт фільтрації незабрудненого завантаження при цьому становив  $K_f = 49 \text{ м/год}$ .

Наступна серія досліджень була присвячена визначенню втрат напору у фільтрі при пропуску різних витрат води (різних швидкостях фільтрування) і початковій концентрації забруднень протягом заданого часу роботи. На рис. 3 приведені результати експерименту для випадку швидкості фільтрування  $V = 6,93 \text{ м/год}$ , початковій концентрації забруднень  $C_0 = 48 \text{ мг/л}$  протягом 20 годин роботи фільтра.

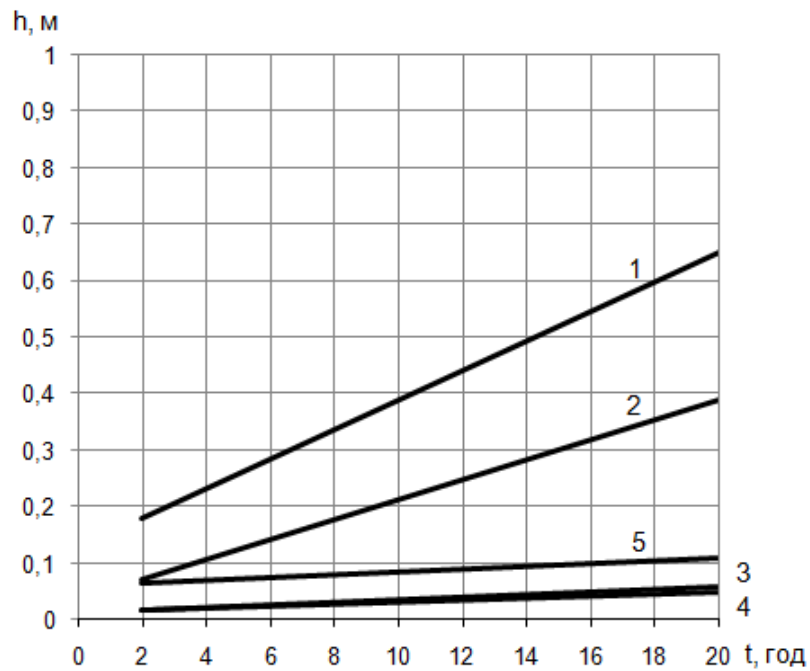


Рис. 3. Зміна втрат напору у фільтрі протягом часу: **1** – загальні втрати напору по всій висоті фільтра; **2** – втрати напору між створами 1-2; **3** – втрати напору між створами 2-3; **4** – те ж саме між створами 3-4; **5** – те ж саме між створами 4-7

Як впливає з цього графіку, основні втрати напору виникають між створами 1-2 у верхньому по руху води шарі завантаження. В наступних, за товщиною завантаження створах, втрати напору різко зменшуються.

Підтвердженням отриманих висновків може служити графік на рис. 4, на якому показано на якій висоті (глибині) фільтра виникають ті чи інші втрати напору.

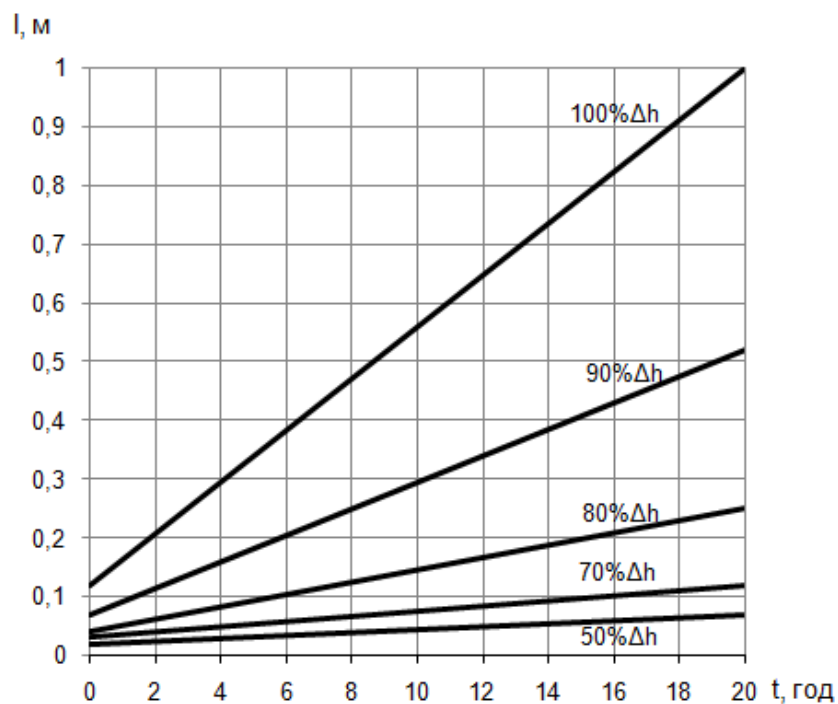


Рис. 4. Визначення втрат напору на різних висотах фільтра

Наприклад, 100% втрат напору досягаються на всій висоті фільтра ( $L = 1$  м), 80% втрат напору будуть на висоті  $l = 0,25$  м, 50% – на висоті  $l = 0,07$  м.

Очевидно, що збільшення втрат напору в тілі завантаження відбувається за рахунок накопичення ньому частинок забруднень. І чим більша концентрація затриманих забруднень в шарі, тим втрати напору в ньому більші. Графіки, які підтверджують цей висновок, приведені на рис. 5. Де показана зміна концентрації затриманих забруднень по висоті фільтра в залежності від часу роботи фільтра.

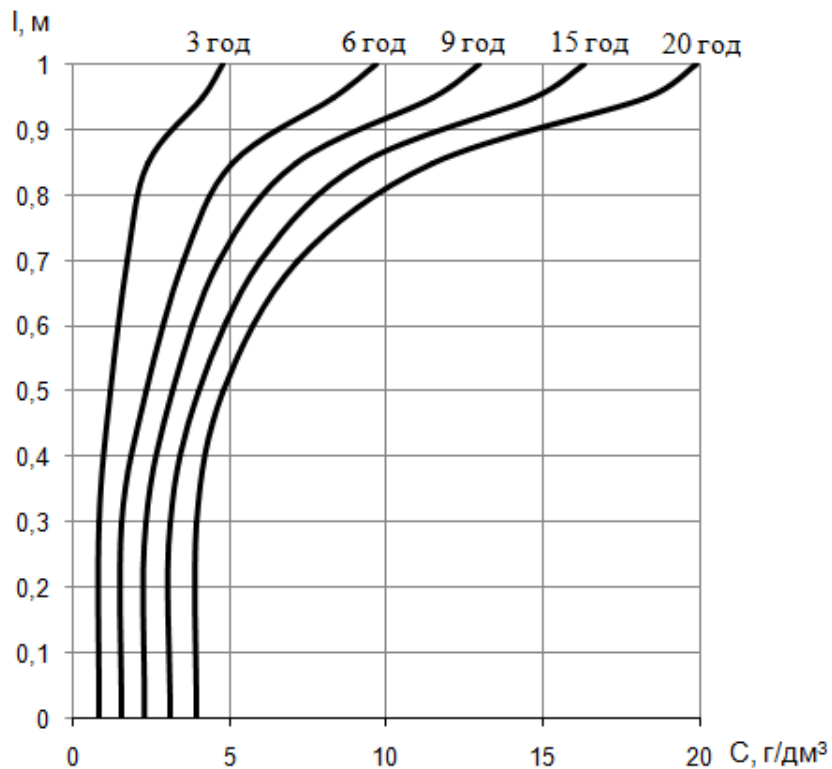


Рис. 5. Зміна концентрації затриманих забруднень за товщиною фільтра протягом часу

З нього також слідує висновок, що основна маса забруднень затримується у верхніх шарах фільтра протягом всього часу його роботи. В розглядуваному випадку при загальній товщині завантаження рівній 1 м в першому шарі товщиною 0,2 м затримується більше 50% всієї маси забруднень.

Накопичення забруднень в тілі фільтра, збільшуючи його опір, одночасно зменшує коефіцієнт фільтрації цієї частини завантаження. Даний висновок підтверджується графіками на рис. 6, де показано зміну коефіцієнта фільтрації різних шарів завантаження протягом часу роботи фільтра.

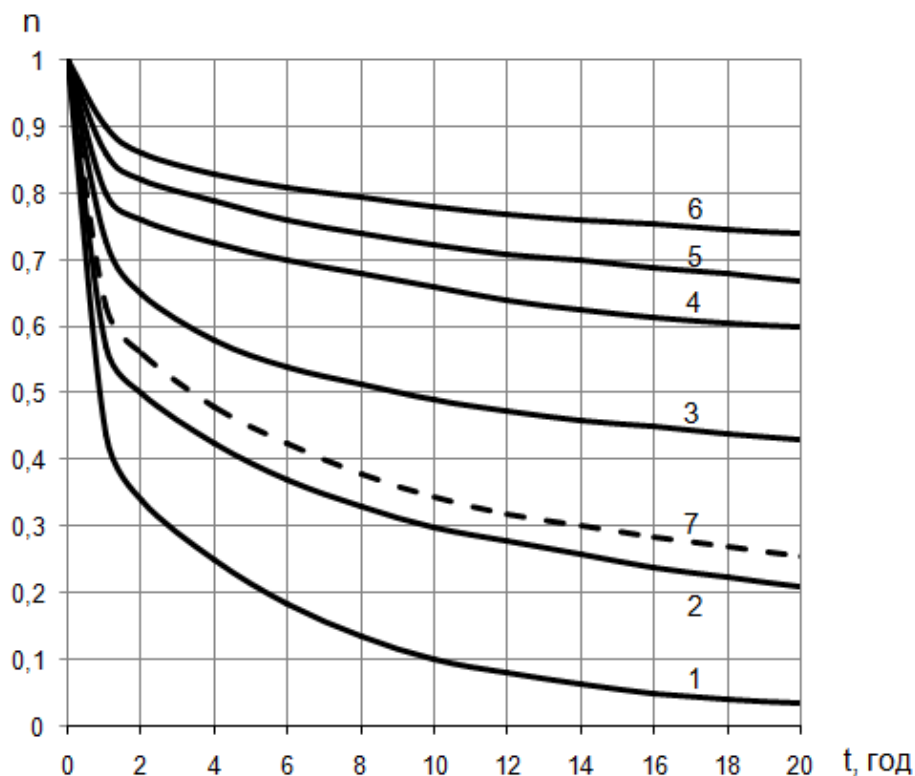


Рис. 6. Зміна відносного коефіцієнта фільтрації різних шарів Завантаження ( $n = K_f/K_{f0}$ ) протягом часу: **1** – між створами 1-2; **2** – між створами 2-3; **3** – між створами 3-4; **4** – між створами 4-5; **5** – між створами 5-6; **6** – між створами 6-7; **7** – те ж саме в середньому для всього фільтра.

Тут же показано зміну середнього для всього фільтра значення відносного коефіцієнта фільтрації. Як видно з цього графіка, найбільше змінюється коефіцієнт фільтрації верхніх шарів завантаження, в нижніх шарах – зміни не такі суттєві.

**Висновок.** В даній роботі представлені результати особистих експериментальних досліджень зміни гідравлічного опору в фільтрі протягом часу його експлуатації. Показано, що основні втрати напору зосереджені у верхніх шарах по висоті фільтра. При цьому найбільшим втратам напору відповідають найменші значення коефіцієнта фільтрації матеріалу завантаження.

#### Список літератури

1. *Минц Д.М.* Теоретические основы технологи очистки воды. М.: Стройиздат, 1964. 156 с.
2. *Кравцов М. Л.* Гидравлика зернистых материалов. Минск: Наука и техника, 1980. 168 с.
3. *Орлов В.О.* Водоочисні фільтри із зернистою засипкою. Рівне: НУВГП, 2005. 163 с.

Надійшло до редакції 10.11.2016