

УДК 628.16

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВТРАТ НАПОРУ ПІД ЧАС РОБОТИ ШВИДКОГО ФІЛЬТРА ЗІ ЗМІННОЮ З ЧАСОМ ШВИДКІСТЮ ФІЛЬТРУВАННЯ

Олександр Кравчук

*Київський національний університет будівництва і архітектури
03037, Повітрофлотський просп., 31, Київ, Україна
e-mail: kravchuk.aa2@knuba.edu.ua*

EXPERIMENTAL RESEARCH OF HEAD LOSS DURING RAPID FILTERS OPERATION IN CHANGING VELOCITY CONDITIONS OVER TIME

Oleksandr Kravchuk

*Kyiv National University of Construction and Architecture
03037, Povitroflotsky prosp., 31, Kyiv, Ukraine
e-mail: kravchuk.aa2@knuba.edu.ua*

АНОТАЦІЯ. В роботі представлено результати експериментальних досліджень роботи швидких фільтрів. Наведено графічні залежності зміни втрат напору в фільтрі з часом при різних початкових концентраціях забруднень. Показано зміну швидкості втрат напору з часом, а також інтенсивність підйому рівня води над завантаженням для варіантів роботи фільтра при різних початкових швидкостях фільтрування.

Ключові слова: фільтрування, суспензія, втрати напору, фільтруюче завантаження.

АННОТАЦИЯ. В работе представлены результаты экспериментальных исследований работы скорых фильтров. Приведены графические зависимости изменения потерь напора в фильтре со временем при различных начальных концентрациях загрязнений. Показано изменение скорости потерь напора со временем, а также интенсивность подъема уровня воды над загрузкой для вариантов работы фильтра при различных начальных скоростях фильтрования.

Ключевые слова: фильтрование, суспензия, потери напора, фильтрующая загрузка.

ABSTRACT. Purpose. Experimental research of head loss during rapid filters operation in changing velocity conditions over time is a purpose of this work. Methodology/approach. For reaching the goal of this article experimental researches were conducted. Findings. Graphs have illustrated the variation of head loss during rapid filters operation at typical initial data. Research limitations/implications. The results received in the work allow to predict the dynamics of head loss in rapid filters at typical initial data. Originality/value. The work has scientific and practical interest.

Key words: filtration; suspension; head loss; filtration medium.

ВСТУП

Провідна роль в процесах очистки води від завислих та колоїдних речовин для господарсько-побутових та промислових потреб належить швидким фільтрам з зернистою засипкою. Вони призначені для часткового або практично повного прояснення води в залежності від вимог до оброблюваної води. Дослідженням роботи швидких фільтрів протягом тривалого часу продуктивно займались як вітчизняні, так і зарубіжні вчені [1–4]. Проте, незважаючи на велику кількість теоретичних та експериментальних досліджень, окремі питання,

зокрема, робота споруд в режимі змінної в часі швидкості фільтрування застосування нових фільтруючих матеріалів, потребують додаткового вивчення.

При русі води, яка містить завислі речовини, через зернисте завантаження фільтрів завислі та колоїдні частинки затримуються і вода прояснюється. Одночасно в товщі завантаження накопичується осад, внаслідок чого зменшується вільний об'єм пор і збільшується гідравлічний опір завантаження. Збільшення гідравлічного опору призводить до зростання втрат напору в завантаженні та підйому рівня води над ним [5, 6].

Прояснення води шляхом фільтрування є основним робочим процесом 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.

МЕТА РОБОТИ

Метою роботи є експериментальне дослідження динаміки зміни втрат напору під час роботи швидкого фільтра зі змінною з

часом швидкістю фільтрування рідини при різних типових вихідних даних.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Для експериментального дослідження основних характеристик процесу фільтрування в лабораторії водопостачання Київського національного університету будівництва і архітектури було змонтовано спеціальну модельну установку швидкого фільтра, схема якої наведена на рис. 1. Фільтраційна колона виготовлена з полімерної труби діаметром 150 мм і висотою 2,0 м. Як

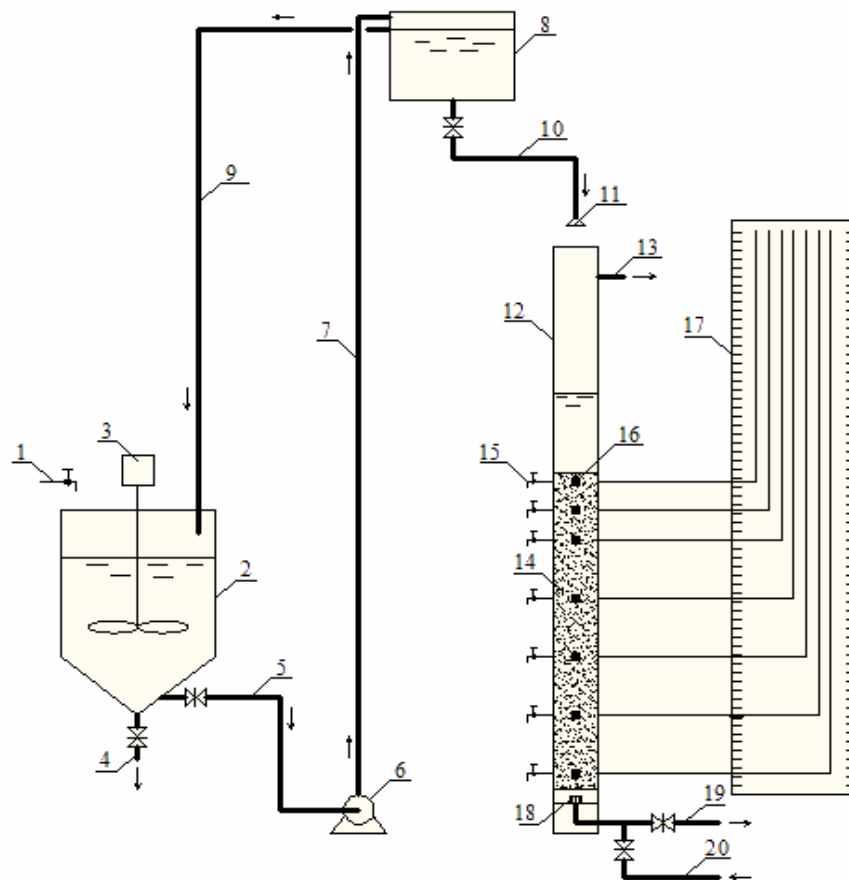


Рис. 1. Схема експериментальної установки: 1 – подача води з водопровідної мережі; 2 – бак для приготування суспензії; 3 – механічна мішалка; 4 – випуск в каналізацію; 5 – трубопровід подачі суспензії до насоса; 6 – насос; 7 – напірний трубопровід подачі суспензії до витратного баку; 8 – витратний бак; 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

Fig. 1. Scheme of the experimental adjustment: 1 – water serving from the water supply network; 2 – tank for suspension preparation; 3 – mechanical mixer; 4 – outlet into canalization; 5 – pipeline for suspension serving to the pump; 6 – pump; 7 – pressure pipeline for suspension serving to the charge tank; 8 – charge tank; 9 – overflow pipeline; 10 – pipeline for suspension serving to the filter; 11 – distribution device; 12 – filtration adjustment; 13 – overflow pipeline; 14 – filtration medium; 15 – taps for suspension samples selection; 16 – place for medium samples selection; 17 – piezometer panel; 18 – drain cap; 19 – pipeline for purified water outlet; 20 – water supply for washing

фільтруюче завантаження використано 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 виконання робіт були проведені дослідження основних характеристик фільтруючого матеріалу [7]. 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 $d_{\text{екв}} = 1,15 \text{ мм}$ визначався по результатах ситового аналізу за формулою [8]

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

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

Як модельні забруднення, які необхідно видалити фільтруванням з води, прийнято молоту спондилову глину. Приготування експериментальної суспензії, що очищається на моделі, здійснювалось 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 проводилась промивка фільтруючого завантаження, яка відбувалась знизу вгору. Промивна вода по спеціальному переливному трубопроводу відводилась у каналізаційну мережу.

В роботі представлені результати проведених експериментальних досліджень, які були присвячені визначенню зміни втрат напору у фільтрі з часом при пропуску різних витрат води (швидкостях фільтрування) і різних початкових концентраціях забруднень. Причому, при швидкості фільтрування $V < 15 \text{ м/год}$ ($Re < 4$) процес про-

ходить у ламінарному режимі [9,10]. Число Рейнольдса розраховувалось за формулою

$$Re = \frac{Vd_{\text{екв}}}{6\nu(1-n_0)}, \quad (2)$$

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

Окремі характерні результати вимірів наведені нижче.

На рис. 2 представлено характер зміни втрати напору в цілому по всьому фільтрувальному завантаженню при початковій концентрації забруднень $C_0 = 100 \text{ мг/л}$.

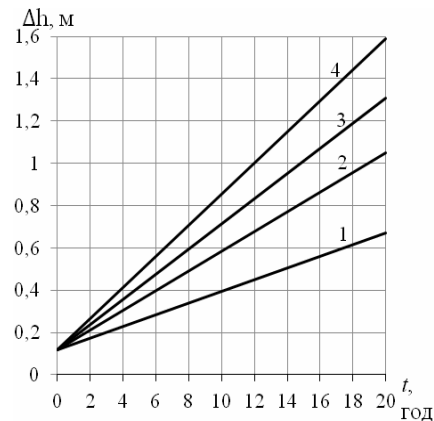


Рис. 2. Зміна втрат напору у фільтрі при $C_0 = 100 \text{ мг/л}$ при швидкості фільтрування: 1 – $V = 3,97 \text{ м/год}$; 2 – $V = 6,93 \text{ м/год}$; 3 – $V = 9,99 \text{ м/год}$; 4 – $V = 12,84 \text{ м/год}$

Fig. 2. Head loss variation under $C_0 = 100 \text{ mg/l}$ and filtration velocity:

1 – $V = 3,97 \text{ m/hour}$; 2 – $V = 6,93 \text{ m/hour}$; 3 – $V = 9,99 \text{ m/hour}$; 4 – $V = 12,84 \text{ m/hour}$

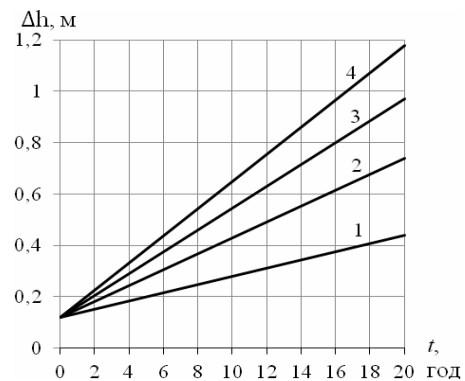


Рис. 3. Зміна втрат напору у фільтрі при $C_0 = 50 \text{ мг/л}$ при швидкості фільтрування:

1 – $V = 4,08 \text{ м/год}$; 2 – $V = 6,93 \text{ м/год}$; 3 – $V = 9,78 \text{ м/год}$; 4 – $V = 13,04 \text{ м/год}$

Fig. 3. Head loss variation under $C_0 = 50 \text{ mg/l}$ and filtration velocity:

1 – $V = 3,97 \text{ m/hour}$; 2 – $V = 6,93 \text{ m/hour}$; 3 – $V = 9,99 \text{ m/hour}$; 4 – $V = 12,84 \text{ m/hour}$

На рис. 3 представлено залежність втрат напору в цілому по всьому фільтрувально-

му завантаженню при початковій концентрації забруднень $C_0 = 50$ мг/л.

З наведених графіків витікає, що підвищення швидкості фільтрування призводить до суттєвого збільшення втрат напору при різних швидкостях фільтрування. Також очевидне підвищення втрат напору з часом. Причому, слід відмітити їх лінійне зростання в усіх досліджуваних випадках, що підтверджує те, що фільтрування суспензії відбувалось при ламінарному режимі руху рідини. Порівняння графіків зміни втрат напору при початкових концентраціях забруднень 100 мг/л і 50 мг/л показує, що збільшення початкової концентрації забруднень в 2 рази призводить до збільшення втрат напору приблизно в 1,7 рази протягом всього розрахункового часу фільтрування.

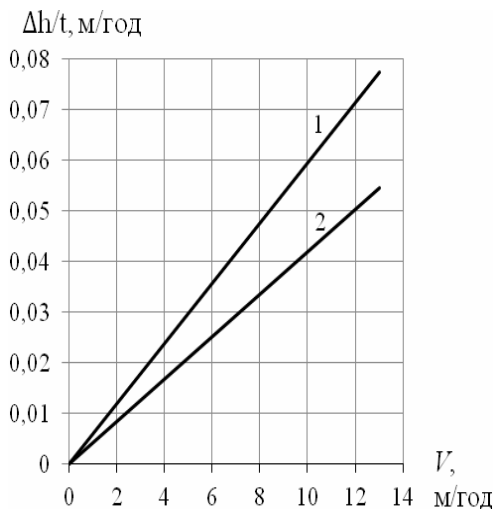


Рис. 4. Характеристика зміни інтенсивності втрат напору з часом:

1 – $C_0 = 100$ мг/л; 2 – $C_0 = 50$ мг/л

Fig. 4. Characteristics of head loss intensity variation over time:

1 – $C_0 = 100$ mg/l; 2 – $C_0 = 50$ mg/l

На рис. 4 представлено графік залежності втрат напору ($\Delta h/t$) з часом для різних початкових концентрацій забруднень при зміні швидкості фільтрування. З нього слідує, що підвищення початкової концентрації забруднень призводить до суттєвого збільшення швидкості зміни втрат напору в завантаженні. В нашому випадку підвищення C_0 в 2 рази викликає збільшення $\Delta h/t$ в 1,7 рази.

Наявність втрат напору в процесі фільтрування, в свою чергу, призводить до утво-

рення шару води, що очищається, над поверхнею фільтруючого завантаження. З часом в зв'язку із збільшенням втрат напору рівень вільної поверхні води над завантаженням зростає. Результати досліджень з визначення висоти шару води над завантаженням для початкової концентрації забруднень $C_0 = 50$ мг/л в залежності від швидкості фільтрування приведені на рис. 5.

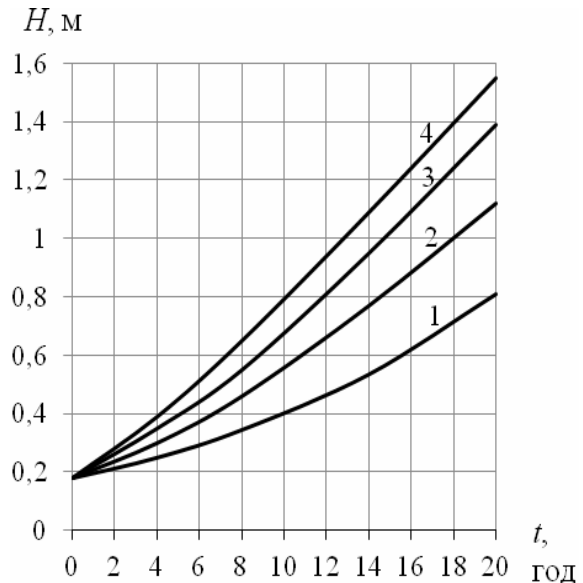


Рис. 5. Зміна висоти шару води над завантаженням протягом часу при:

1 – $V = 4,08$ м/год; 2 – $V = 6,93$ м/год;

3 – $V = 9,78$ м/год; 4 – $V = 13,04$ м/год

Fig. 5. Variation of water level above the medium over time:

1 – $V = 3,97$ m/hour; 2 – $V = 6,93$ m/hour;

3 – $V = 9,99$ m/hour; 4 – $V = 12,84$ m/hour

Даний параметр є дуже важливим, оскільки на практиці відключення фільтру на промивку здійснюється при досягненні певної розрахункової відмітки рівня води над поверхнею зернистого завантаження, яка залежить від конструктивних характеристик споруди.

ВИСНОВКИ

В роботі представлені результати особистих експериментальних досліджень втрат напору в фільтрі протягом часу його експлуатації. Підтверджено, що процес фільтрування при обраному діапазоні швидкостей проходить у ламінарному режимі, про

що свідчить лінійне зростання втрат напору в зернистому завантаженні. Також показано, що зростання швидкості фільтрування та концентрації забруднень у вихідній суспензії призводить до значного зростання втрат напору. Це пояснюється більшою інтенсивністю надходження забруднень у фільтруюче завантаження, в результаті чого фільтруючий матеріал замулюється швидше.

Внаслідок прогресуючого замулення фільтруючого матеріалу над його поверхнею з часом накопичується певний шар води. Наведені графічні залежності показують, що при збільшенні швидкості фільтрування інтенсивність підйому рівня води над завантаженням значно зростає з часом. Це в свою чергу є одним із факторів, що впливають на тривалість роботи фільтра.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Минц Д.М.* Теоретические основы технологии очистки воды / Д.М. Минц. – М.: Стройиздат, 1964. – 155 с.
2. *Deb A.* Theory of sand filtration / A. Deb // Journal of the sanitary engineering division. – 1969. – Vol. 95. P. 399-422.
3. *Венецианов Е.В.* Динамика сорбции из жидких сред / Е.В. Венецианов, Р.Н. Рубинштейн. – М.: Наука, 1983. – 237 с.
4. *Орлов В.О.* Водоочисні фільтри із зернистою засипкою / В.О. Орлов. – Рівне: НУВГП, 2005. – 163 с.
5. *Грабовский П.А.* Фильтрование воды через зернистый слой с убывающей во времени скоростью / П.А. Грабовский, Н.А. Гуринич // Вода и экология. Проблемы и решения. – 2008. – 37, № 4. – С. 3-11.
6. *Ives K.* Theory of filtration. Special subject / K. Ives // London Inst. Water Supply Assoc. – 1959. – No 7. P. 3-28.
7. *Аюкаев Р.И.* Производство и применение фильтрующих материалов для очистки воды. Справочное пособие. / Р.И. Аюкаев, В.З. Мельцер. – Л.: Стройиздат, 1985. – 118с.
8. *Кастальский А.А.* Подготовка воды для питьевого и промышленного водоснабжения / А.А. Кастальский, Д.М. Минц. – М.: Высшая школа, 1962. – 558 с.
9. *Журба М.Г.* Очистка воды на зернистых фильтрах / М.Г. Журба. – Львов: Вища школа, 1980. – 200 с.
10. *Поляков В.Л.* Расчет фильтрования суспензий через многослойную загрузку при линейной кинетике массообмена / В.Л. Поляков // Химия и технология воды, 2008, т. 33, № 1. – С. 3-14.
11. *Салив Э.* Методика определения ремонтнопригодности трубопроводов / Э. Салиев, З. Велияева // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – № 82, – 2013. – С. 52-56.
12. *Пелевін Л.* Оцінка застосування рукавів високого тиску за допомогою математичної моделі розрахунку розподілу навантажень між металевими обплетеннями / Л. Пелевін, Г. Мачишин, М. Богдівчус, М. Карпенко // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – №88, – 2016. – С. 64-70.

REFERANCES

1. *Minc D.M., 1964.* Teoreticheskie osnovy tehnologii ochistki vody [Theoretical basis of water treatment technology]. Moscow, Strojizdat, 155. – (in Russian).
2. *Deb A., 1969.* Theory of sand filtration. Journal of the sanitary engineering division, Vol. 95, 399-422.
3. *Venecianov E.V., Rubinshtejn R.N., 1983.* Dinamika sorbcii iz zhidkih sred [Dynamics of sorption from liquid media]. Moscow, Nauka, 237. – (in Russian).
4. *Orlov V.O., 2005.* Vodoochysni filtry iz zernystoju zasypkoju [Water treatment filters with granular feeding]. Rivne, NUVGP, 163. – (in Ukrainian).
5. *Grabovskij P.A., Gurinichik N.A., 2008.* Filtrovanie vody cherez zernistyj sloj s ubyvajushhej vo vremeni skorostju [Water filtration through a granular layer under variable velocity]. Voda i jekologija. Problemy i reshenija [Water and ecology. Problems and decisions], Vol. 37, No 4, 3-11. – (in Russian).
6. *Ives K., 1959.* Theory of filtration. Special subject. London Inst. Water Supply Assoc., No 7, 3-28.
7. *Ajukaev R.I., Melcer V.Z., 1985.* Proizvodstvo i primenenie filtrujushhih materialov dlja ochistki vody. Spravochnoe posobie [Production and application of filtering materials for water purification. Reference manual]. Leningrad, Strojizdat, 118. – (in Russian).
8. *Kastalskij A.A., Minc D.M., 1962.* Podgotovka vody dlja pit'evogo i promyshlennogo vodosnabzhenija [Preparation of water for

- drinking and industrial water supply]. Moscow, Vysshaja shkola, 558. – (in Russian).
9. *Zhurba M.G., 1980.* Ochistka vody na zernistih filtrah [Water treatment on granular filters]. Lvov, Vishha shkola Publ., 200. – (in Russian).
 10. *Poljakov V.L., 2008.* Raschet filtrovanija suspenzij cherez mnogoslujnuju zagruzku pri linejnoj kinetike massoobmena [Calculation of suspension filtration through the multilayer medium under the linear kinetics of mass transfer]. Himija i tehnologija vody [Water chemistry and technology], Vol. 33, No 1, 3-14. – (in Russian).
 11. *Saliev E., Velilyaeva Z., 2013.* [The technique of definition of maintainability pipelines]. Girnichi, budivelni, dorozhni ta meliorativni mashiny [Mining, constructional, road and melioration machines], No.82, 52-56. – (in Russian).
 12. *Leonid Pelevin L., Machyshyn G., Bogdevičius M., Karpenko N., 2016.* [Assessment of application high pressure hoses using mathematical model calculation load distribution between the metal braid]. Girnichi, budivelni, dorozhni ta meliorativni mashiny [Mining, constructional, road and melioration machines], No.88, 64-70. – (in Ukrainian).