

*М.А. Петрова, канд. техн. наук, К.А. Фартушняк
(Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)*

ДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОБУТОВИХ ФІЛЬТРІВ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ПИТНОЇ ВОДИ

Проведена експериментальна оцінка ефективності застосування побутових фільтрів для очищення питної води м. Деражня (Хмельницька обл.) та досліджено її якість. Здійснено оцінку експлуатаційних та динамічних характеристик побутових фільтрів за показником загальної твердості води. Одержані вихідні криві сорбції, розрахована обмінна ємність за солями твердості, ресурс картриджа, об'єм проскоку та пробою фільтра. Запропоновано заходи щодо підвищення ресурсу фільтра, його економічної та експлуатаційної ефективності.

Ключові слова: питна вода, фільтрування, іонний обмін, адсорбція, динамічний режим.

Постановка проблеми. Забезпечення якісною питною водою населення України є одним з пріоритетних завдань держави [1]. Якість води у джерелах питного водопостачання є предметом досліджень багатьох вчених [2-5]. Зокрема, у роботі [2] здійснено медико-екологічну оцінку якості води у централізованому джерелі водопостачання м. Черкаси. Встановлено, що вода у Кременчуцькому водосховищі належить до помірно забруднених (II клас забрудненості). Основними показниками, які викликають занепокоєння, є каламутність, кольоровість, перманганатна окиснюваність та мікробіологічний стан.

Результати дослідження якості води в 11 каптованих джерелах м. Львова показали [3], що вода відповідає нормативам [6] за органолептичними показниками, за вмістом більшості важких металів та поліфосфатів. Занепокоєння викликає підвищений вміст свинцю (на рівні 1,7 ГДК) та перевищення нормативів мікробіологічної безпеки, які були в нормі лише у трьох джерелах. З огляду на недостатню якість питної води у джерелах водопостачання, актуальними стають питання додаткового очищення питної води.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Доочищення питної води, а саме використання індивідуальних та колективних пристроїв, набуває все більшої актуальності. Наприклад, автори з Українського НДІ медицини транспорту [4] досліджували ефективність доочищення води централізованого господарсько-побутового водопостачання м. Одеси на локальних водоочисних установках. Як правило, вода проходить доочищення на механічних фільтрах, піддається озонуванню, сорбційному очищенню на активованому вугіллі та Натіюванню. Після очищення на установках спостерігається покращення органолептичних показників, зниження концентрації залишкового хлору, мутності, кольоровості та концентрації заліза. На жаль, автори не оцінювали ефективність пом'якшення води, хоча твердість води є однією з типових проблем централізованого водопостачання [2,5].

Чинний в Україні норматив якості питної води [6] встановлює менш жорсткі вимоги до якості питної води, ніж міжнародні стандарти та рекомендації ВООЗ [7-9]. Питання невідповідності якості водопровідної води нормативам є відоме [10], тому серед населення все більш популярними стають побутові фільтри. На українському ринку представлений широкий спектр фільтрів [11-14] для доочищення питної води в домашніх умовах: фільтри-глечики, насадки на кран, настільні та стаціонарні проточні фільтри. Вони відрізняються за способами застосування, продуктивністю (швидкістю фільтрації) та ресурсом (кількістю води, яка може бути очищена). Проте експериментальних досліджень очищення водопровідної води міст Хмельницької області побутовими фільтрами немає. У роботі [15] здійснено порівняння ефективності пом'якшення води фільтрами типу «глечик» зі змінними картриджами для пом'якшення водопровідної води із загальною твердістю до 8 мг-екв/дм³, що лише незначно перевищує значення, встановлене нормативами (7 мг-екв/дм³) [6].

Мета роботи. Метою роботи є дослідження динамічних характеристик побутових фільтрів у процесах очищення водопровідної води м. Деражня (Хмельницька обл.).

Методики проведення досліджень. Проби води відбирали у водозабірних пунктах КП «Деражнянський міськводоканал» (Хмельницька обл.) (рис. 1) згідно з загальними нормами пробовідбору [16]. Визначення органолептичних, фізико-хімічних та санітарно-хімічних показників проводили за стандартними методиками ДСТУ [6,16].



Рис. 1. Місця відбору проб води в м. Деражня (Хмельницька обл.):

1 – район Криничне (свердловина); 2 – цукровий завод (башта); 3 – район Трояни (башта); 4 – район Містечко (башта)

Для очищення води використовували фільтри-«гличики» трьох типів, найбільш поширені на ринку Хмельницької області. Фільтрування робочих розчинів проводили зі швидкістю, притаманною кожному фільтру, яка змінювалася в межах 130-160 см³/хв. У фільтр завантажували 1 дм³ води, після закінчення фільтрування відбирали дві проби по 100 см³ фільтрату, в яких визначали загальну твердість води титриметричним методом з етилендіамінтетраоцтовою кислотою [17]. Решта води зливали, і цикл фільтрування повторювали. Проби відбирали після фільтрування 2, 4, 6, 8, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 дм³. Загалом було проведено 100 фільтрувальних циклів. За результатами будували вихідні криві фільтрування.

Результати та обговорення. Першим етапом роботи була оцінка якості питної води м. Деражня і визначення показників, які не відповідають вимогам. Для відібраних проб води були визначені органолептичні, фізико-хімічні, санітарно-хімічні показники (табл. 1). Запаху і присмаку у досліджуваних зразках води не виявлено. Встановлено, що за всіма показниками, окрім твердості, вода відповідає нормативам.

Виявлено перевищення твердості води відносно встановленого нормативу [6] на 40-50% у пробах з району Криничне і Трояни та на 20-25% у пробах з башти цукрового заводу та району Містечко.

На другому етапі були досліджені експлуатаційні характеристики побутових фільтрів у процесах очищення питної води м. Деражня.

Застосування терміну «фільтр» до цих пристроїв є некоректним, оскільки крім фільтрування задіяні інші методи, що застосовують у технологіях водоочищення [18]. Згідно з даними про типові фільтрувальне завантаження, представленими на сайтах виробників найбільш поширених фільтрів [11-14], очищення води відбувається кількома методами: механічна фільтрація, адсорбція на активованому вугіллі, іонний обмін та знезараження наночастинками срібла. Поєднання цих методів дає змогу знижувати кольоровість, мутність, очищати воду від механічних домішок, нітритів, нітратів, знижувати загальну мінералізацію (в т.ч. твердість води), видаляти важкі метали (в т.ч. залізо), покращувати органолептичні показники.

Доочищення питної води із застосуванням побутових фільтрів підпорядковується закономірностям процесу іонного обміну та адсорбції у динамічному режимі, що застосовуються у підготовці води для промислового та питного водопостачання. У загальному випадку очищення води у динамічному режимі проходить через кілька стадій (рис. 2). Спочатку у фільтраті відсутній забруднювач, за яким проходить дослідження, тобто його надходження (проскок) у фільтрат не відбувається (рис. 2, зона 1). Фільтр вважається тим ефективнішим, чим більш розтягнутою є зона адсорбції. Як правило, це забезпечується товщиною шару іонообмінного завантаження, який для промислових установок становить 0,8 – 3 м [18].

По мірі того, як фільтр затримує забруднювач, фронт адсорбції переміщується вглиб шару, і забруднювач з'являється у фільтраті, тобто відбувається проскок (рис. 2, зона 2). Подальше проходження процесу відзначається збільшенням концентрації забруднювача (рис. 2, зона 3), крива виходить на насичення, і відбувається пробій фільтра, тобто концентрація забруднювача сягає того ж значення, що у вихідній воді.

Таблиця 1

Показники якості води у м. Деражня (Хмельницька обл.)

Показники якості води	Нормативне значення [6]	Місце відбору проб води			
		Криничне, свердловина	Цукровий завод, башта	Трояни, башта	Містечко, башта
Кольоровість, град	20	6,84	8,4	8,42	8,9
Мутність	1,5	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
Прозорість, см	30	30	30	30	30
pH	6,0 - 9,0	6,94	6,93	6,9	6,9
Окисність, мг О ₂ /дм ³	5	2,6	2,28	2,56	2,6
Азот амонійний, мг/дм ³	2	0,19	0,39	0,21	0,28
Нітриди, мг/дм ³	3	0,026	0,07	0,08	0,01
Нітрати, мг/дм ³	45	10,41	< 2,4	2,4	17,15
Загальна твердість, мг-екв/дм ³	7	10,25	8,76	9,55	8,47
Сухий залишок, мг/дм ³	1000	340	360	280	320
Хлориди, мг/дм ³	350	56	17,5	14,5	54,5
Сульфати, мг/дм ³	500	58,64	67,9	67,38	53,5
Залізо, мг/дм ³	0,3	0,13	0,12	0,14	0,12
Мідь, мг/дм ³	1	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Фтор, мг/дм ³	1,2	0,1	< 0,08	< 0,08	< 0,08
Марганець, мг/дм ³	0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1

При обробці питної води встановлюють досить високе об'ємне фільтрувальне навантаження, і годинна продуктивність фільтрації сягає 5-10 об'ємів води на 1 об'єм фільтрувального матеріалу [18]. Об'єм фільтрувального завантаження для побутових фільтрів, згідно з нашими розрахунками, становить приблизно 300-400 см³, і за даною оцінкою має забезпечувати витрату води в межах 3-4 дм³/год або 50-65 см³/хв. Реальна швидкість фільтрування є вищою, що дає змогу прогнозувати звуження зони адсорбції і швидкий проскок.

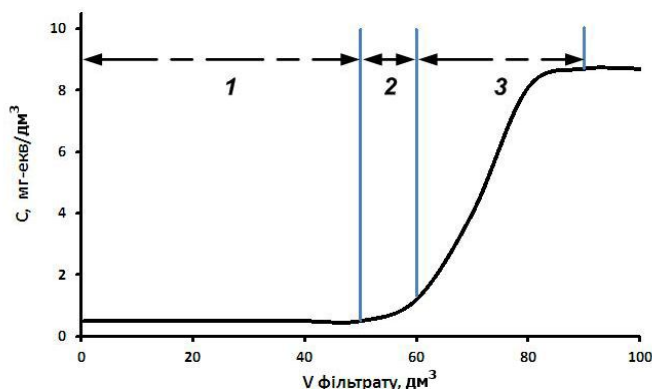


Рис. 2. Вихідні криві фільтрування води: 1 – зона адсорбції; 2,3 – зона насичення [18-19]

Результати дослідження побутових фільтрів у процесі очищення води щодо показника, який не відповідає нормативу, наведено на рис. 3-7. Очевидно, що у всіх досліджених випадках зона адсорбції практично відсутня. В загальному, майже одразу спостерігається проскок солей твердості (лише у деяких випадках проскок не відбувається до 8 дм³ фільтрату), і вихідні криві переходять у зону насичення. Ефективність роботи фільтра оцінювали за моментом перевищення твердості води нормативного значення у 7 мг-екв/ дм³. Для різних проб води зона насичення відповідає різним об'ємам фільтрату, причому для проб з району Криничне і Трояни, що характеризуються високою твердістю, вона є меншою і становить 28-32 дм³ фільтрату (для фільтрів А і В).

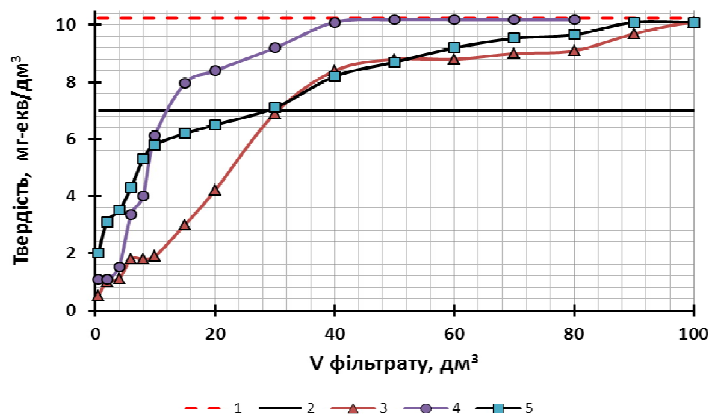


Рис. 3. Вихідні криві фільтрування проб води з району Криничне (свердловина): 1 – вихідна твердість води; 2 – норматив твердості; 3 – фільтр А; 4 – фільтр Б; 5 – фільтр В

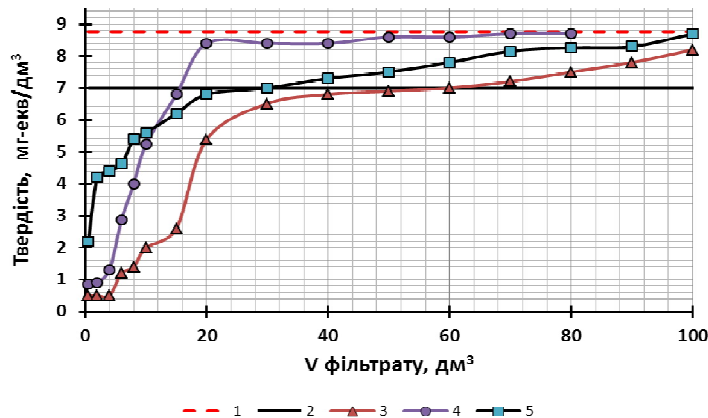


Рис. 4. Вихідні криві фільтрування проб води з цукрового заводу (башта): 1 – вихідна твердість води; 2 – норматив твердості; 3 – фільтр А; 4 – фільтр Б; 5 – фільтр В

Для проб води з перевищенням нормативу твердості на 20-30% об'єм фільтрату, що може бути очищений до нормативних вимог, становить 40 дм³ (для фільтрів А і В). При подальшому фільтруванні спостерігається поступове зростання твердості у фільтраті, і при об'ємах фільтрату 40 дм³ (рис. 4, крива 4, рис. 5, крива 3), 80 дм³ (рис. 6, крива 4), 100 дм³ (рис. 6, крива 3) спостерігається пробій фільтра. Результати відповідають повній ємності іоніту 0,4-0,8 г-екв/дм³ іонообмінної смоли, що є достатньо мало.

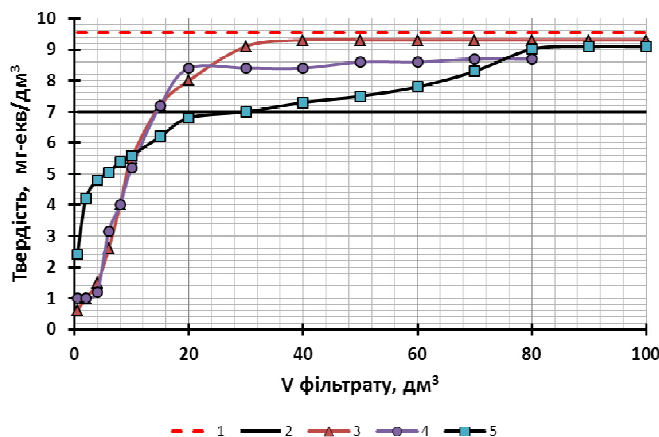


Рис. 5. Вихідні криві фільтрування проб води з району Трояни (башта): 1 – вихідна твердість води; 2 – норматив твердості; 3 – фільтр А; 4 – фільтр Б; 5 – фільтр В

Типові значення повної ємності іоніту становлять 1,4-4,2 г-екв/дм³ [18]. Низькі значення розраховані за кривими виходу повної ємності іоніту пояснюються тим, що в процесі очищення, окрім кальцію та магнію проходить видалення катіонів, що є складовими хлоридів і сульфатів, найбільш імовірно, натрію.

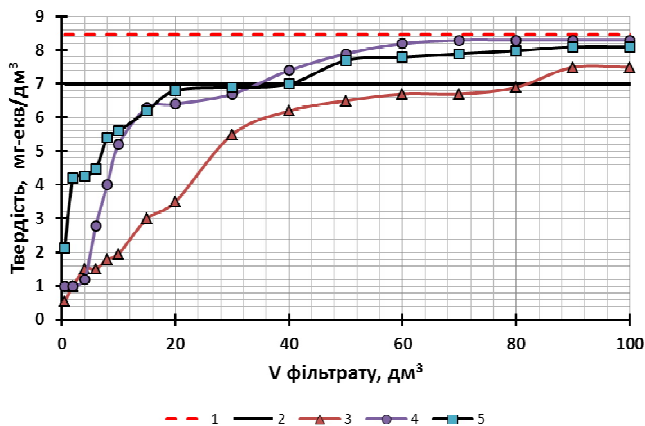


Рис. 6. Вихідні криві фільтрування проб води з району Містечко (башта): 1 – вихідна твердість води; 2 – норматив твердості; 3 – фільтр А; 4 – фільтр Б; 5 – фільтр В

Очевидно, що ємнісні характеристики фільтрів є різними. Повна ємність іоніту фільтра Б становить 0,4 г-екв/дм³ іонообмінної смоли, що суттєво відрізняється від фільтрів А і В, і відповідно прорив відбувається швидше.

Загалом, застосування побутових фільтрів для пом'якшення твердої води, найбільш ймовірно, є економічно недоцільним, хоча і досить ефективним, оскільки різко знижує ресурс картриджа. Більш раціональним слід вважати попереднє кип'ятіння води з наступним фільтруванням, в результаті чого зникне тимчасова твердість і знизиться загальна мінералізація. Також у такому випадку будуть ефективно видалятися мікрозабруднювачі.

Згідно з загальними уявленнями про теорію адсорбції та йонного обміну [19], в першу чергу проходить видалення з розчину макрокомпонентів. Таким чином, забрудненість води макрокомпонентами (сульфатами, хлоридами, солями кальцію та магнію) перешкоджає видаленню забруднювачів, що знаходяться у мікрокількостях (нафтопродукти, хлорвмісні органічні речовини, залишковий хлор, фенол, пестициди, важкі метали, радіонукліди), якщо у завантаженні відсутні селективні адсорбенти. Це пояснюється тим, що макрокомпоненти виступають конкурентами мікрозабруднювачів за адсорбційні та іонообмінні центри. Тому найбільш ймовірно, що за наявності макрокомпонентів видалення мікрозабруднювачів буде менш інтенсивним. Щодо радіонуклідів, то їх видалення неможливе, оскільки їх концентрації становлять близько 0,001 нг/дм³. Враховуючи, що активоване вугілля ефективно видаляє органічні речовини, можна припустити, що вони будуть видалені. Однак це питання потребує подальших досліджень.

Висновки. У роботі оцінено якість питної води м. Деражня (Хмельницька обл.) та ефективність застосування побутових фільтрів для її доочищення. Вода відповідає нормативам якості за всіма показниками, окрім твердості. Виявлено, що побутові фільтри практично не мають часу захисної дії, і прорив солей твердості у фільтрат проходить практично одразу. Встановлено, що кількість води, яка може бути очищена до нормативного показника твердості, становить 28-40 дм³, а пробій фільтра відбувається після фільтрування 40-100 дм³, залежно від твердості вихідної води, що відповідає повній ємності іоніту 0,4-0,8 г-екв/дм³ за солями твердості.

Список літератури:

1. Закон України "Загальнодержавна програма "Питна вода України" на 2006-2020 роки" № 24555-IV від 03.03.2005 // Офіційний вісник України. – 2005. – № 13. – С. 30.
2. Бондаренко Ю. Г. Медико-екологічна оцінка води поверхневого джерела централізованого водопостачання м. Черкаси / Ю. Г. Бондаренко, І. В. Хоменко, Л. І. Білик, Н. В. Загоруйко // Довкілля та здоров'я. – 2010. – № 3. – С. 30–35.
3. Лотоцька-Дудик У. Б. Гігієнічна оцінка якості води джерел м. Львова / У. Б. Лотоцька-Дудик, Н. О. Крупка, О. А. Галай, О. М. Станько // Довкілля та здоров'я. – 2013. – № 2. – С. 60–62.
4. Мониторинг качества воды в локальных водоочистных установках / Н. Ф. Петренко, Е. Л. Винницкая, О. В. Лагода, Н. И. Андрейцова, Т. Н. Дмитриева // Актуальные проблемы транспортной медицины. – 2006. – № 1. – С. 74-78.
5. Гончарук В. В. SOS: питьевая вода / В. В. Гончарук // Химия и технология воды. – 2010. – Т. 32, № 5. – С. 463-512.
6. ГОСТ 2874-82. Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством. – М.: Госстандарт СССР, 1983. – 7 с.
7. Кофанов В. І. Нормативно-методичне забезпечення визначення якості води при оцінці впливу на навколишнє середовище / В. І. Кофанов, М. С. Огняник // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – №4. – 2008. – С. 15-23.
8. Гончарук В. В. Концепция выбора перечня показателей и их нормативных значений для определения гигиенических требований и контроля за качеством питьевой воды в Украине / В. В. Гончарук // Химия и технология воды. – 2007. – Т. 29, № 4. – С. 297–256.
9. Guidelines for drinking water quality. First addendum to third edition. Volume 1. Recommendations. Electronic version for the Web. World Health Organization 2006. – 493 p.
10. Княжанський В. В. Якість життя починається з якості води / В. В. Княжанський // Панорама "Дня". – № 124. – 2012. – С. 2-3.
11. Наша Вода [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://nashavoda.ua>.
12. Барьер. Фильтры для очистки воды [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.barrier.ua>.
13. Аквафор. Фильтры для воды [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://aquaphor.ua>.
14. Aqua UA [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.aqua-ua.com/>

15. **Мацієвська О. О.** Експериментальне порівняння роботи фільтрів для пом'якшення води картриджного типу / О. О. Мацієвська, Н. В. Долінська, І. З. Шевчук // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Серія: Теорія і практика будівництва. – № 655. – 2009. – С. 178-182.

16. **ДСТУ 4808:2007.** Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні і екологічні вимоги щодо якості води та правил вибирання. Прийнято та надано чинності 05.07.2007. – К. : Держспоживстандарт України, 2007. – 36 с.

17. **ДСТУ ISO 6059:2003** Якість води. Визначання сумарного вмісту кальцію та магнію. Титриметричний метод із застосуванням етилендіамінтетраоцтової кислоти. Прийнято та надано чинності 10.06.2003. – К. : Держспоживстандарт України, 2003. – 10 с.

18. **Технический справочник** по обработке воды: в 2 т. Т. 2 : пер.с фр. – СПб. : Новый журнал, 2007. – 897 с.

19. **Кельцев Н. В.** Основы адсорбционной техники. – М. : Химия, 1984. – 592 с.

М.А. Петрова, К.А. Фартушняк

ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БЫТОВЫХ ФИЛЬТРОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

Проведена експериментальна оцінка ефективності застосування побутових фільтрів для очищення питної води г. Деражня (Хмельницька обл.) і досліджено її якість. Здійснено оцінку експлуатаційних і динамічних характеристик побутових фільтрів за показателем загальної твердості води. Отримано вихідні криві сорбції, розраховано обмінна ємність за солями твердості, визначено ресурс картриджа, об'єм проскока і пробоя фільтра. Предложено заходи по підвищенню ресурсу фільтра, його економічної і експлуатаційної ефективності.

Ключевые слова: питная вода, фільтрація, іонний обмін, адсорбція, динамічний режим.

М.А. Petrova, К.А. Fartushnyak

DYNAMIC CHARACTERISTICS OF HOUSEHOLD FILTERS FOR DRINKING WATER PURIFICATION

The experimental estimation of household filters application efficiency for drinking water purification of Derazhnya (Khmelnyskyi region) and its quality is studied. Operating and dynamic characteristics of household filters in terms of total hardness of water have been specified. Sorption breakthrough chromatograms have been obtained, the filters exchange capacity for hardness salts, cartridge resource, breakthrough capacity, and filter sample are determined. The means to enhance the operation volume, economic and performance efficiency have been proposed.

Key words: drinking water, filtration, ion-exchange, adsorption, dynamic conditions.

