

Физико-химические основы работы многоступенчатой системы водоочистки: от адсорбции до ионного обмена

А. А. Афанасьева, С. М. Козина¹, К. И. Бажан

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

¹ruskiisufiks@gmail.com

Аннотация. В работе исследуются физико-химические процессы, лежащие в основе работы бытового многоступенчатого фильтра для очистки воды. Рассматриваются процессы механической фильтрации, адсорбции и ионного обмена. Приводятся результаты экспериментальных измерений скорости фильтрации, жесткости воды, общей минерализации и содержания остаточного хлора. Результаты демонстрируют эффективность фильтра и подтверждают снижение основных загрязнений воды.

Ключевые слова: многоступенчатый фильтр; механическая фильтрация; адсорбция; ионный обмен; качество воды; бытовая очистка

I. ВВЕДЕНИЕ

Качество питьевой воды является важным фактором, влияющим на здоровье человека и бытовые условия жизни. Несмотря на централизованную систему водоочистки, водопроводная вода может содержать различные примеси: механические частицы, растворенные соли кальция и магния, остаточный хлор и органические вещества.

Повышенная жесткость воды вызывает образование накипи в бытовых приборах, а наличие хлора ухудшает вкус и запах воды. Для дополнительной очистки воды широко применяются бытовые фильтры, в частности фильтры-кувшины с многоступенчатой системой очистки.

Работа таких устройств основана на сочетании нескольких физико-химических процессов:

- механическая фильтрация;
- адсорбция загрязнений;
- ионный обмен.

Изучение принципов работы таких систем представляет интерес как с научной, так и с практической точки зрения.

Цель работы — исследовать эффективность работы бытового многоступенчатого фильтра для очистки воды.

II. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОЧИСТКИ ВОДЫ

A. Основные загрязнения водопроводной воды

В водопроводной воде могут присутствовать различные типы загрязнений:

- механические примеси (песок, частицы ржавчины);
- растворенные соли кальция и магния;

- остаточный хлор;
- органические соединения.

Эти вещества ухудшают качество воды и могут влиять на работу бытовых приборов.

ТАБЛИЦА I. ОСНОВНЫЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДОПРОВОДНОЙ ВОДЫ

Тип загрязнения	Примеры веществ	Последствия
Механические	песок, ржавчина	мутность воды
Минеральные соли	Ca ²⁺ , Mg ²⁺	образование накипи
Хлор	остаточный хлор	запах и вкус
Органические вещества	гуминовые соединения	изменение цвета

B. Принцип работы многоступенчатых фильтров

Многоступенчатые фильтры очищают воду последовательно, пропуская её через несколько слоев фильтрующих материалов. Каждый слой выполняет свою функцию.

Основные этапы очистки:

вода → механический фильтр → активированный уголь → ионообменная смола → очищенная вода.

C. Основные процессы очистки воды

- Механическая фильтрация (Удаляет взвешенные частицы при прохождении воды через пористый материал).
- Адсорбция (Активированный уголь адсорбирует органические соединения и остаточный хлор).
- Ионный обмен (Ионы кальция и магния частично заменяются ионами натрия, что снижает жесткость воды).

III. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

A. Объект исследования

В качестве объекта исследования использовался бытовой фильтр-кувшин для очистки воды. Устройство состоит из:

- верхнего резервуара для исходной воды,
- фильтрующего картриджа,
- нижнего резервуара для очищенной воды.

В. Состав фильтрующего картриджа

ТАБЛИЦА II. ОСНОВНЫЕ СЛОИ ФИЛЬТРА

Слой	Материал	Функция
Механический	полипропилен	удаление частиц
Сорбционный	активированный уголь	адсорбция органики и хлора
Ионообменный	ионообменная смола	снижение жесткости

С. Используемое оборудование

ТАБЛИЦА III. ПРИБОРЫ И МАТЕРИАЛЫ

Прибор	Назначение
TDS-метр	измерение минерализации
тест на жесткость	определение Ca^{2+} и Mg^{2+}
тест на хлор	определение остаточного хлора
секундомер	измерение времени фильтрации
мерный стакан	измерение объема

Д. Методика проведения эксперимента

Эксперимент проводился следующим образом:

В качестве исходной использовалась водопроводная вода комнатной температуры.

1. Измерялись исходные параметры воды:

- жесткость (с помощью текст-полосок);
- минерализация (TDS-метр);
- содержание остаточного хлора (тест-набор).

Через фильтр-кувшин пропускался объем воды 1 литр. Фиксировалось время фильтрации с помощью секундомера.

1. После фильтрации проводились повторные измерения тех же параметров.

2. Эксперимент повторился три раза для повышения точности результатов.

3. На основе полученных данных рассчитывались:

- скорость фильтрации;
- изменение показателей качества воды.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

А. Скорость фильтрации

ТАБЛИЦА IV. СКОРОСТЬ ФИЛЬТРАЦИИ ВОДЫ

№	Объем (л)	Время (с)	Скорость (л/с)
1	1	92	0.0109
2	1	95	0.0105
3	1	90	0.0111
Среднее	1	92.3	0.0108

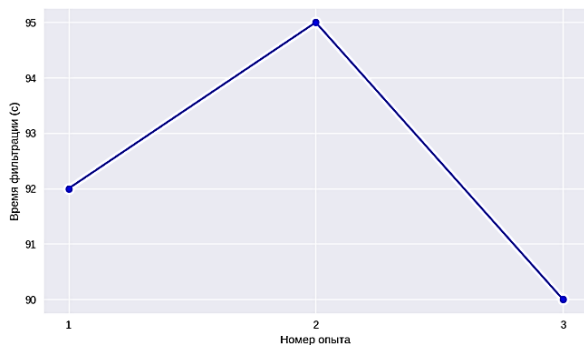


Рис. 1. График времени фильтрации

В. Изменение жесткости воды

ТАБЛИЦА V. ЖЕСТКОСТЬ ВОДЫ

Образец	Жесткость (°dH)
До фильтрации	8
После фильтрации	5

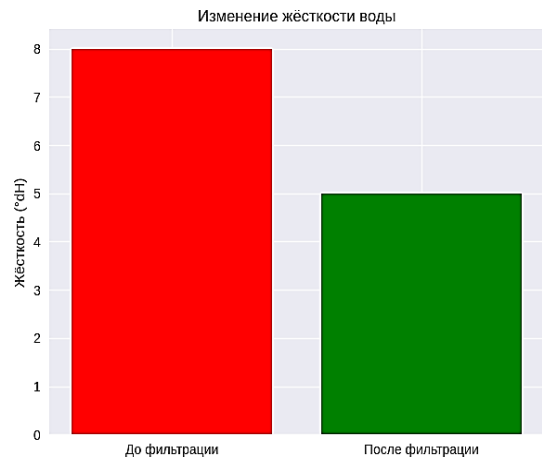


Рис. 2. Диаграмма изменения жесткости воды

Снижение жесткости составило около 37,5 %.

С. Минерализация воды

ТАБЛИЦА VI. МИНЕРАЛИЗАЦИЯ ВОДЫ

Образец	Минерализация (ppm)
До фильтрации	310
После фильтрации	240

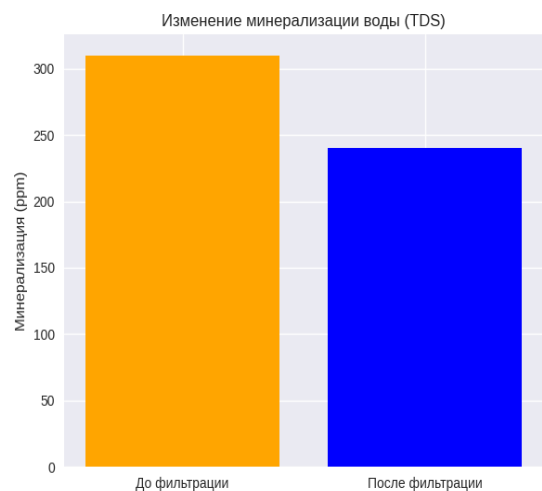


Рис. 3. Диаграмма изменения минерализации воды

Д. Содержание остаточного хлора

ТАБЛИЦА VII. КОНЦЕНТРАЦИЯ ХЛОРА

Образец	Хлор (мг/л)
До фильтрации	0.35
После фильтрации	0.05

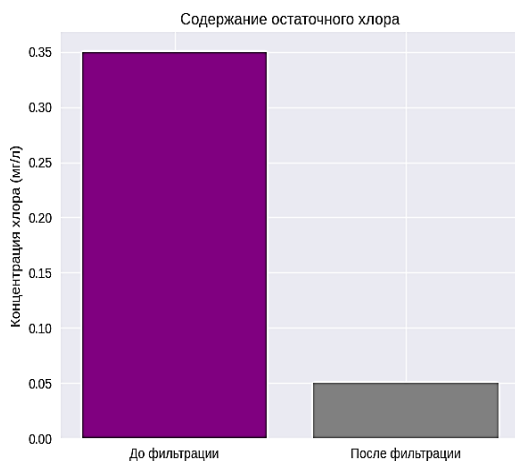


Рис. 4. Диаграмма данных об изменении содержания хлора

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные результаты показывают, что бытовой многоступенчатый фильтр эффективно улучшает качество воды. Наиболее заметным оказалось снижение концентрации остаточного хлора, что связано с адсорбционными свойствами активированного угля.

Снижение жесткости воды подтверждает эффективность работы ионно-обменной смолы, однако полное удаление ионного кальция и магния не происходит из-за ограниченной емкости фильтрующего материала.

Эксперимент с красителем показал уменьшение окраски после фильтрации, что свидетельствует о наличии адсорбционных процессов.

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы были изучены физико-химические процессы, лежащие в основе работы бытового многоступенчатого фильтра для очистки воды.

Экспериментальные обследования показали:

- снижение жесткости воды примерно на 37,5%;
- уменьшение общей минерализации;
- значительное снижение содержания остаточного хлора.

Полученные результаты подтверждают эффективность использования бытовых фильтров для улучшения качества питьевой воды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Кульский Л.А. Основы очистки воды. Киев: Наукова думка, 2006. 318 с.
- [2] Первов А.Г. Технологии очистки природных вод : учебник. Москва : Ассоциация строительных вузов, 2020. 600 с.
- [3] Фесенко Л.Н. Очистка у воды: фильтры, сорбенты, реагенты : справочник. Москва : ИНФРА-М, 2018. 352 с.
- [4] Соколов Л.И. Очистка сточных вод: учебное пособие. Москва : ИНФРА-М, 2020. 280 с.
- [5] Ксенофонтов Б.С. Очистка сточных вод: флотация и сгущение. Москва : ИД
- [6] «ФОРУМ» ИНФРА-М, 2019. 400 с.