

Бахметьев Александр Викторович, *к.т.н., доцент,*

доцент кафедры «Гидравлики водоснабжения и водоотведения»

Воронежский государственный технический университет (г. Воронеж)

Помогаева Валентина Васильевна, *к.т.н., доцент кафедры «Гидравлики водоснабжения и водоотведения»*

Воронежский государственный технический университет (г. Воронеж)

E-mail: pomogaeva8@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ПАТРОННЫХ ФИЛЬТРОВ ПРИ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИИ ВОДЫ

Аннотация: Статья посвящена проблеме обезжелезивания природной воды. Обосновывается возможность использования патронных фильтров из мелкопористого материала для очистки воды от соединений железа. Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований. Приведен математический анализ процесса фильтрования.

Ключевые слова: фильтрование, обезжелезивания природной воды, патронные фильтры.

Annotation: The article is devoted to the problem of deferrization of natural water. The possibility of using cartridge filters of porous material for water purification from iron compounds is substantiated. The results of theoretical and experimental studies are given. The mathematical analysis of the filtering process is given.

Key words: filtration, deferrization of natural water, cartridge filters.

Обезжелезивание воды – важный момент в технологии водоподготовки. В настоящее время известно много способов обезжелезивания природных вод [1].

В данной статье приведены экспериментальные исследования обезжелезивания воды патронными фильтрами с твердой фильтрующей основой. Экспериментальная установка состояла из четырех фильтров. Каждый, из которых представлял собой цилиндр с помещенным внутрь патроном высотой H , внутренним диаметром D , толщиной стенок δ , осредненным диаметром пор d .

Исходная вода после предварительной аэрации подавалась в патрон, фильтрующая поверхность которого определялась как $S_{\phi} = \pi DH$. Подача воды внутрь патрона, снижая производительность фильтра, улучшает технологический процесс фильтрования. В этом случае «взвесь по мере прохождения сквозь среду испытывает увеличение скорости, так что любые взвешенные частицы, не задержавшиеся на внешних слоях, все с меньшей и меньшей вероятностью могут быть задержанными внутренними» [2, с. 9]. «При внутренней подаче очищаемой воды, наоборот, по мере прохождения взвеси сквозь среду скорость ее уменьшается и, следовательно, повышается вероятность задержания этой взвеси» [3, с. 13]. Следовательно, эксперименты проводились при подаче воды внутрь патрона.

Аэрирование воды позволяет окислять двухвалентное железо в трехвалентное, при этом образуется гидроксид. При фильтровании на фильтрующем материале образуется каталитическая пленка из ионов и оксидов двух- и трехвалентного железа. «Эта пленка активно интенсифицирует процесс окисления и выделения железа из воды. Обезжелезивание воды в загрузке, покрытой пленкой, является гетерогенным автокаталитическим процессом, в результате чего обеспечивается непрерывное обновление пленки как катализатора непосредственно при работе фильтра» [4, с. 128].

Одной из важных характеристик патронных фильтров является поверхностная пористость ϵ , то есть отношение площади пор в данном сечении к площади всего сечения. Конструктивная характеристика патронов представлена в табл. 1.

Номер патрона	Габаритные размеры, мм			Фильтрующая поверхность, S_{ϕ} м ²	Размер пор, d, мм	Поверхностная пористость, ε
	H	D	δ			
Ф1	206	56	9	0,0387	80	0,0024
Ф2	220	40	15	0,0289	100	0,0019
Ф3	105	50	3	0,0184	50	0,0038
Ф4	80	29	7	0,0078	40	0,0028

Таблица 1. Габаритные размеры фильтр-патронов.

При прохождении воды через поры фильтра, осуществляется очистка воды от соединений железа. Для определения основных параметров фильтрования, через определенные промежутки времени t , измерялась скорость фильтрования V_{ϕ} и перепад давления ΔP . Результаты экспериментов сведены в таблицу 2.

Интервал времени от начала фильтрования, ч	Скорость фильтрования, V_{ϕ} , м/ч				Перепад давлений, ΔP , кПа			
	Ф1	Ф2	Ф3	Ф4	Ф1	Ф2	Ф3	Ф4
0	2,45	2,45	2,60	0,66	14	19	9	11
24	2,58	2,56	2,57	0,67	24	26	15	18
48	2,51	2,49	2,60	0,67	35	37	22	32
72	2,45	2,45	2,57	0,67	46	48	32	44
82	2,39	2,40	2,54	0,66	56	57	40	48

Таблица 2. Технологические параметры работы патронных фильтров при обезжелезивании воды

Анализ табл. 2 показывает, что при практически одинаковой скорости фильтрования перепад давлений к концу фильтроциклов возрастает в три-четыре раза. Эффективность работы экспериментальных фильтров представлена в табл. 3.

Интервал времени от начала фильтрования, ч	Концентрация железа в исходной воде, $C_{исх}$, мг/дм ³	Концентрация железа в фильтрате, C , мг/дм ³			
		Ф1	Ф2	Ф3	Ф4
0	5,73	5,05	5,11	5,11	4,48
10	5,69	3,32	4,48	4,46	2,73
24	5,63	3,72	3,66	3,88	1,38
34	5,72	3,37	3,48	3,65	1,01
48	5,65	3,08	3,15	3,23	0,85
58	5,57	2,62	2,67	2,68	0,61
72	5,72	2,37	2,43	2,38	0,53
82	5,81	2,32	2,38	2,42	0,41

Таблица 3. Эффективность работы патронных фильтров при обезжелезивании воды подвергшейся аэрации

Обработка результатов эксперимента показала, что при практически постоянной скорости фильтрования V_{ϕ} , перепад давлений ΔP линейно возрастает во времени:

$$\Delta P = \Delta P_0 + b_p t, \quad (1)$$

а зависимость концентрации железа в фильтрате от времени фильтрования хорошо аппроксимируется уравнением (2):

$$-\ln \frac{C}{C_{исх}} = a + bt. \quad (2)$$

Математическая обработка экспериментальных данных методом наименьших квадратов позволила получить значения параметров, входящих в уравнения (1) и (2). Их численные значения приведены в табл. 4.

Номер фильтра	Значение констант уравнений (1) – (2)			
	ΔP_0 , Па	b_p , Па/с	a	b , 1/с
Ф1	12800	0,136	0,1676	$2,7 \cdot 10^{-6}$
Ф2	16900	0,125	0,1566	$2,6 \cdot 10^{-6}$
Ф3	7100	0,100	0,1325	$2,7 \cdot 10^{-6}$
Ф4	9300	0,131	0,5250	$7,7 \cdot 10^{-6}$

Таблица 4. Константы, определяющие зависимость перепада давления и концентрации железа в фильтрате от времени

Из физических представлений ясно [5], что сопротивление ΔP потоку в патронном фильтре складывается из сопротивления фильтрующей перегородки ΔP_0 и сопротивления слоя осадка. Сопротивление фильтрующей перегородки подчиняется закону Стокса:

$$\Delta P_0 = \frac{32\mu\delta V_\phi}{\varepsilon d^2}, \quad (3)$$

где μ - динамическая вязкость воды. Сопротивление слоя осадка пропорционально его толщине к моменту времени t :

$$b_p t = k_1 \frac{1}{S_\phi \rho_c} \int_0^e (C_{ucx} - C) S_\phi V_\phi dt \cong k V_\phi C_{ucx} (1 - e^{-a}) t. \quad (4)$$

Отсюда для коэффициента пропорциональности k получим

$$k = \frac{b_p}{V_\phi C_{ucx} (1 - e^{-a})}. \quad (5)$$

Коэффициент k для всех фильтров оказался одинаковым $k = 240 \text{ Па/м} \cdot \text{дм}^3/\text{мг}$.

Важнейшим фактором, от которого зависят константы a , b кинетического уравнения (2), является скорость фильтрования V_ϕ . Вторым существенным фактором, определяющим эти константы, является отношение χ - величины адгезионной поверхности, на которую налипают частицы железа, к объему воды, поступающей на эту поверхность в единицу времени. Адгезионной поверхностью является суммарная поверхность внутренних канальцев пор диаметром d и длиной δ (толщина стенок). Площадь адгезионной поверхности можно определить по формуле:

$$S_{адз} = N\pi d\delta, \quad (6)$$

где $N = \frac{4\varepsilon S_\phi}{\pi d^2}$ - число пор диаметром d на поверхности S_ϕ .

Таким образом

$$\chi = \frac{S_{адз}}{V_\phi d} = \frac{4\varepsilon\delta}{V_\phi d}, \quad (7)$$

С учетом сказанного, можно предположить, что зависимости a , b от V_{ϕ} и χ являются линейными. Следовательно, с учетом опытных данных, для нахождения коэффициентов используя метод наименьших квадратов, получим:

$$a = -0,0085 + 125,52 V_{\phi} + 4,82 \cdot 10^{-10} \cdot \chi ; \quad (8)$$

$$b = 1,3712 \cdot 10^{-6} + 6,289 \cdot 10^{-4} \cdot V_{\phi} + 5,852 \cdot 10^{-10} \cdot \chi . \quad (9)$$

В этих уравнениях скорость V_{ϕ} измеряется в м/с, а χ в с/м.

Проверка экспериментальных и теоретических исследований осуществлялась на патронном фильтре Ф5, выполненным по аналогии с Ф4, показавшем наилучшие результаты. Конструктивные параметры фильтр-патрона Ф5: $H = 110$ мм, $D = 50$ мм, $d = 60$ мкм, $\delta = 20$ мм, $S = 0,0192$. Результаты экспериментальных исследований приведены в табл. 5.

Технологические параметры				
Время, t, ч	Скорость, V_{ϕ} , м/с	Перепад давлений, ΔP , кПа	Концентрация железа в исходной воде $C_{исх}$, мг/дм ³	Концентрация железа в фильтрате C_{ϕ} , мг/дм ³
1	0,30	25	5,65	3,5
24	0,29	28	5,81	1,93
48	0,32	33	5,64	1,0
72	0,28	36	5,77	0,57
82	0,31	37	5,63	0,43

Таблица 5. Результаты работы патронного фильтра Ф5

Приведенные выше уравнения математической модели работы патронного фильтра можно использовать для выбора фильтров с заданными технологическими характеристиками, при проектировании систем очистки воды от железосодержащих веществ.

Выводы

1. Одним из важнейших факторов при обезжелезивании воды патронными фильтрами является скорость фильтрования.

2. Вторым не менее важным фактором является отношение χ величины адгезионной поверхности, на которую налипают частицы железа, к объему воды, поступающей на эту поверхность в единицу времени.

Библиографический список:

1. Николадзе Г.И. Обезжелезивание природных и оборотных вод. – М.:Стройиздат, 1978 – 161с.

2. Бахметьев А.В. Закономерности фильтрования на патронных фильтрах в зависимости от способа подачи воды. Российский Инженер. 2017. № 1 (7). С. 11-14.

3. Бахметьев А.В. Разработка технологии обезжелезивания воды на малогабаритных водоочистных установках с твердыми фильтрующими основами. Автореферат дис. ... кандидата технических наук / НИИ коммунал. водоснабжения. Воронеж, 2000 -20с.

4. Помогаева В.В. Повышение эффективности струйной аэрации естественных водоемов и биологических прудов: дис. ... канд. техн. наук./ГОУВПО "Московский государственный строительный университет". Москва, 2009. 187с.

5. Жужиков В.А. Фильтрование. Теория и практика разделения суспензий. – М.: Изд. Химия, 1980 – 400 с.