

# ИНТЕНСИФИКАЦИЯ КОАГУЛЯЦИОННОЙ ОЧИСТКИ ПРОМЫВНЫХ ВОД СТАНЦИЙ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

*Житенев Б. Н., Науменко Л. Е.*

*Учреждение образования «Брестский государственный технический университет»,  
г. Брест, Республика Беларусь*

Неотъемлемым технологическим приемом обезжелезивания подземных вод фильтрованием является регенерация (промывка) фильтрующей загрузки водяным или водовоздушным потоком воды. В результате образуются высококонцентрированные промывные воды с концентрацией железа порядка 100—200 мг/л. Объем воды на промывку достигает от 2% до 10% от общего объема обрабатываемой воды.

На основании физико-химических процессов обезжелезивания подземных вод фильтрованием и анализа качества промывной воды, можно утверждать, что основным загрязняющим компонентом промывных вод является трехвалентное железо в форме гидроксида железа  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , представленное мелкодисперсными и коллоидными частицами. Величина электрокинетического потенциала коллоидных частиц  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  в промывных водах, измеренная электрофорезом по методу подвижной границы, составляет порядка  $\xi = -40$  мВ [1]. Высокий поверхностный заряд отталкивает частицы друг от друга, препятствуя их укрупнению и осаждению. Поэтому типовые сооружения повторного использования промывных вод, рекомендуемые действующими техническими нормативно-правовыми актами, работают неэффективно [2]. Остаточная концентрация железа в воде, осветленной отстаиванием, составляет 20—40 мг/л. Возврат такой

## Секция 1. Охрана водных ресурсов и оценка их состояния.

### Регулирование воздействий на водные ресурсы.

воды для последующей обработки с исходной приводит к неудовлетворительной работе станции: к повышению содержания железа в фильтрате, уменьшению фильтроцикла, перерасходу воды на собственные нужды станции. Это является основной причиной того, что предприятия водопроводно-канализационного хозяйства отказываются от применения сооружений по обработке промывных вод и их повторному использованию.

В настоящее время высококонцентрированные железосодержащие промывные воды сбрасываются в канализацию либо в прилегающие водоемы или на рельеф местности, что приводит к нерациональному использованию высококачественной подземной воды и загрязнению окружающей среды соединениями железа.

Для осаждения коллоидных соединений железа обработку промывной воды целесообразно осуществлять реагентами (коагулянтами), нейтрализующими поверхностный заряд частиц, в результате чего уменьшается двойной электрический слой и примеси декантируются.

Менее эффективны для осаждения соединений железа железосодержащие или хлорсодержащие коагулянты, так как может происходить процесс пептизации [3]. Так,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{AlCl}_3$  являются пептизаторами коагеля гидроксида железа. При действии на гидроксид железа (III) раствора хлорида железа (III) ионы железа, адсорбируясь на поверхности частиц, сообщают им положительный заряд. Одновременно заряженные частицы взаимно отталкиваются и переходят из осадка в раствор. Следовательно, введение железосодержащих и хлорсодержащих коагулянтов не интенсифицирует процесс осаждения примесей промывных вод, а усугубляет его, так как образуются новые коллоидные частицы, имеющие уже отличный химический состав.

Наиболее распространенным и доступным коагулянтом является сульфат алюминия. В результате гидролиза коагулянта образуется коллоидный гидроксид алюминия  $\text{Al}(\text{OH})_3$ . Он обладает большой суммарной поверхностью, на которой происходит адсорбция примесей, в результате чего  $\zeta$ -потенциал падает до критического значения и золь коагулирует. Однако при одних и тех же условиях коллоидные частицы  $\text{Al}(\text{OH})_3$  и  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  будут иметь одинаковый заряд, так как дисперсной фазой этих золь является амфотерное соединение [4].

Коагуляция соединений железа при введении серноокислого алюминия будет происходить вследствие фиксации (закрепления) соединений железа на сорбционной поверхности коллоидной частицы гидроксида алюминия, а не из-за сил межмолекулярного взаимодействия. Для более эффективного удаления соединений железа из промывных вод потребуются более высокие дозы сульфата алюминия, что вызовет перезарядку золь и взаимную их коагуляцию, однако это повлечет дополнительные экономические затраты.

Для нарушения устойчивости коллоидной системы промывных вод и осаждения частиц исследован процесс коагуляции в присутствии фосфатов, а именно при обработке воды фосфатом натрия  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ . Использование фосфатов основано на том, что:

- фосфаты способны переводить железо в нерастворимые соединения или малорастворимые фосфаты;
- из фосфатов катионов III группы фосфат железа наименее растворим, и имеет низкое произведение растворимости;
- для полноты осаждения фосфат-иона требуется избыток  $\text{Fe}^{3+}$  в воде, не имеющей кислой реакции.

При совместной обработке промывных вод фосфатом натрия  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  и коагулянтом сульфатом алюминия  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  происходило активное образование флоккул и интенсивная коагуляция коллоидов, увеличилась скорость осаждения частиц. Так как гидроксид железа  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  малорастворимое соединение, в данном случае происходит поверхностный обменный гетерофазный процесс, заключающийся в образовании на поверхности коллоидов гидроксида железа фосфатных соединений. Это изменяет природу поверхности гидроксида железа (III) и способствует снижению электрокинетического потенциала частиц.

Фосфаты оказывают также значительное воздействие на процесс коллоидообразования частиц коагулянта, способствуя их росту и флокуляции. Механизм воздействия фосфатов комплексный. Образующиеся соединения и коллоидные частицы гидроксида алюминия  $\text{Al}(\text{OH})_3$  под-

## Материалы IV МЕЖДУНАРОДНОГО ВОДНОГО ФОРУМА

вергаются взаимной коагуляции. В результате ускоряется процесс осветления промывных вод и увеличивается эффект очистки до 99,0—99,5%.

Проведенные эксперименты позволили определить оптимальные дозы и соотношения реагентов. Дозу фосфата натрия  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  следует принимать 30 мг/л до 50 мг/л, дозу коагулянта  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  — от 50 мг/л до 70 мг/л при концентрации железа в промывных водах от 100 мг/л до 200 мг/л при продолжительности отстаивания 2 ч [5]. При использовании доочистки промывных вод на фильтрах дозы реагентов могут быть снижены. В каждом случае дозы следует уточнять пробным осаждением.

Для глубокой доочистки промывных вод, прошедших стадию реагентного осветления, перед обеззараживанием (при необходимости) и подачей очищенных вод для повторного использования целесообразно использовать механические осветлительные фильтры. Так, в процессе фильтрования происходит отделение скоагулированных не осевших частиц примесей, обеспечивающее остаточную концентрацию железа менее 0,1—0,3 мг/л, что соответствует эффекту очистки более 99,7%. При этом остаточное содержание алюминия, фосфатов и сульфатов не превышает предельно допустимые концентрации.

В таблице 1 представлены показатели качества очищенной промывной воды коагулированием в присутствии фосфатов.

**Таблица.** Показатели качества промывной воды после очистки коагулированием в присутствии фосфатов

Показатель	Исходная вода	После отстаивания (2 часа)	После механической доочистки	Требования СанПиН
Железо общее, $[\text{Fe}_{\text{общ}}]$ , мг/л	100...200	1,0...2,0	0,1...0,2	0,3
Взвешенные вещества, мг/л	200...400	1,5...2,0	-	1,5...2,0
Цветность, град	более 100	менее 20	менее 20	20
Жесткость карбонатная, мг-экв/л	4,2...4,8	4,0	3,5...3,8	-
Жесткость общая, мг-экв/л	4,2...4,9	4,2	3,6...4,0	-
Щелочность, мг-экв/л	4,6...4,8	3,3	3,6	-
pH	7,0...8,0	7,5...8,0	7,5...8,0	7,0...8,0
Eh, В	0,15...0,25	0,228	0,244	-
Стабильность	0,92...0,96	0,93...0,97	~1	1
Перманганатная окисляемость, $\text{MgO}_2/\text{л}$	4,5...5,5	4,5...5,5	4,5...5,0	5,0
Кальций, $[\text{Ca}^{2+}]$ , мг-экв/л	3,6...3,9	3,6...3,7	3,2...3,5	-
Магний, $[\text{Mg}^{2+}]$ , мг-экв/л	0,5...0,9	0,6...0,7	0,4...0,5	-
Алюминий, $[\text{Al}^{3+}]$ , мг/л	-	0,2...0,4	0,2...0,4	менее 0,5
Сульфаты, $[\text{SO}_4^{2-}]$ , мг/л	3,5...11,5	10...100	10...100	500
Фосфаты, $[\text{PO}_4^{3-}]$ , мг/л	-	1,0...1,5	0,5...1,0	менее 3,5

Для осуществления коагуляционной очистки промывных вод станций обезжелезивания в присутствии фосфатов разработана технология, состоящая из отстойников промывных вод, насосных станций отвода осветленной воды и перекачки осадка, сооружений реагентного хозяйства фосфата натрия и коагулянта сульфата алюминия, барьерного механического фильтра, сооружений механического обезвоживания осадка, обеспечивающая высокотехнологичный процесс осаждения соединений железа и повторное использование промывных вод [6].

**Секция 1. Охрана водных ресурсов и оценка их состояния.  
Регулирование воздействий на водные ресурсы.**

Эффективность данной технологии заключается в интенсификации коагуляционной очистки при совместной обработке промывных вод реагентами фосфатом натрия и сульфатом алюминия, в результате резко увеличивается степень осветления промывных вод и скорость осаждения тонкодисперсных и коллоидных соединений железа. Применение технологии на предприятиях водопроводно-канализационного хозяйства позволит уменьшить объемы загрязнений и концентрации вредных веществ в водной среде и почве; сэкономить чистую подземную воду и, как следствие, снизить себестоимости водоподготовки за счет повторного использования очищенных промывных вод.

**Литература**

1. Практикум по физической и коллоидной химии: Учебное пособие для фармацевтических вузов и факультетов/Е. В. Бугреева [и др.]; под общ. ред. К. И. Евстратовой.— М.: Высш. шк., 1990.— 255 с.
2. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения: СНиП 2.04.02—84.— Введ. 01.01.85.— М.: Стройиздат, 1985.— 136 с.
3. Болдырев, А. И. Физическая и коллоидная химия: учебник для сельскохозяйственных вузов/А. И. Болдырев.— 2-е изд., перераб. и доп.— М.: Высш. шк., 1983.— 408 с.
4. Воюцкий, С. С. Курс коллоидной химии/С. С. Воюцкий.— М.: издательство “Химия”, 1964.— 574 с.
5. Шеина, Л. Е. Определение оптимальных параметров очистки промывных вод станций обезжелезивания реагентами-осадителями/Л. Е. Шеина//Вестник БГТУ. Водохозяйственное строительство и теплоэнергетика.— № 2 (26).— 2004.— С. 79—83.
6. Устройство для очистки и повторного использования промывных вод станций обезжелезивания: пат. 3759 ВУ, МПК С02 F 1/52, С02 F 3/00/Б. Н. Житенев, Л. Е. Науменко; заявитель Брестский гос. техн. ун-т.— № u20070073; заявл. 01.02.2007; опубл. 30.08.2007/Гос. реестр патент. моделей.