

УДК

ВЫБОР ФИЛЬТРА ДЛЯ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ И ЕГО ОБОСНОВАНИЕ**А.В. СОКОЛОВ***(Представлено: В.К. Ющенко, С.П. СТУДЕНИКИНА)*

В статье ставится задача выбора подходящего фильтра для обезжелезивания питьевой воды. В результате анализа и расчётов автор приходит к мнению рационального выбора сооружения борьбы с избыточным железом нашей страны. На основе проведенного исследования автором предлагается выделить расчётно-технический способ толкования, дается его определение, формулируются основные характеристики рационального анализа, составляющий целью работы и конкретики выводов.

Исходным материалом для образования и накопления железа в природных водах являются водовмещающие породы и породы, с которыми вода контактирует в процессе своей миграции. К их числу относятся песчано-гравийные и глинистые материалы, содержащие большое количество железистых соединений. Выявление форм содержания железа в воде является очень важной задачей, разрешение которой позволит предопределить метод его удаления.

Железо в природных водах может находиться в виде двух- и трехвалентных ионов, коллоидов органического и неорганического происхождения, таких как $\text{Fe}(\text{OH})_3$, FeS , $\text{Fe}(\text{OH})_2$, комплексных соединений с гуматами и фульвокислотами, а также в виде тонкодисперсной взвеси.

Коллоидная гидроокись железа образуется при рН выше 3, а осадок – при рН выше 4,5 (как правило, в окислительной среде). В природных водах значение рН обычно колеблется в пределах 6,2-7,5, поэтому в них не может содержаться трехвалентное железо, но может присутствовать (например, в подземных водах при отсутствии растворенного в воде кислорода и других окислителей) двухвалентное железо в виде ионов или в составе солей. В поверхностных водах железо обычно встречается в виде органических комплексных соединений, либо коллоидных или тонкодисперсных взвесей [1].

Формы, в которых железо находится в природных водах, в настоящее время недостаточно изучены. Однако, очевидно, что преобладающей формой существования железа в подземных водах является гидрокарбонат двухвалентного железа, который устойчив только при наличии больших количеств углекислоты и отсутствии растворенного кислорода. При уменьшении концентрации углекислоты, т.е. при повышении рН и появлении в воде растворенного кислорода или других окислителей, происходит процесс гидролиза, и железо переходит в малорастворимый гидроксид двухвалентного железа:



При этом образуется ряд промежуточных соединений, и в воде одновременно присутствуют как недиссоциированные молекулы, так и ионы: $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Fe}(\text{OH})_2$, Fe^{2+} , $\text{Fe}(\text{OH})^+$. Далее происходит окисление по уравнению:



Здесь также одновременно присутствуют промежуточные соединения, такие, как $\text{Fe}(\text{OH})^{2+}$ и $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$. Процесс окисления двухвалентного железа в трехвалентное во многих случаях в естественных условиях протекает при участии микроорганизмов – железобактерий, которые используют энергию, выделяемую при окислении железа (II).

Образующийся при окислении гидроксид железа (III) мало растворим в воде. Так, при рН = 4 в воде может содержаться до 0,05 мг/л $\text{Fe}(\text{OH})_3$, а при более высоких значениях рН – тысячные и еще меньшие доли мг/л. Гидроксид железа (III) может присутствовать в воде в коллоидном состоянии, которое является одной из основных форм существования железа в поверхностных водах. Устойчивость коллоидного железа в значительной степени повышается благодаря защитному действию гумусовых веществ. Железо может быть переведено из этого комплекса в осадок двумя путями: естественным – при участии бактерий, разрушающих органическое вещество, и искусственным – с помощью сильных окислителей, уничтожающих защитные коллоиды, либо под действием коагулянтов, например, зелей кремниевой кислоты [1].

Выявление форм содержания железа в воде является очень важной задачей, разрешение которой позволяет предопределить метод его удаления.

1. Расчет песчано-гравийного фильтра

Двухступенчатые фильтры загружаются среднезернистым песком (толщина слоя 1–1,5 м). Первая ступень загружается: верхний слой – щебень, гравий 20–40; нижний слой 10–20. Вторая ступень – среднезернистым песком 1–1,5 м.

Длина фильтра определяется по формуле:

$$L = \frac{Q_p \cdot 1000}{3,2 \cdot q \cdot K_3 \cdot K_4}, \quad (1)$$

где q – нагрузка, л/(м·сут); 3,2 – длина оросительных труб; K_3 и K_4 – поправочные коэффициенты.

Для первой ступени:

$$L = \frac{12,5 \cdot 1000}{3,2 \cdot 150 \cdot 1 \cdot 1} = 26 \text{ м}^2.$$

Для второй ступени:

$$L = \frac{12,5 \cdot 1000}{3,2 \cdot 80 \cdot 1 \cdot 1} = 48,82 \text{ м}^2.$$

Принимаем унифицированный двухступенчатый фильтр. Длина первой ступени 26 м, второй ступени – 48,82 м.

2. Расчет песчано-угольного фильтра с загрузкой KMnO_4

Трёхступенчатые фильтры загружаются среднезернистым песком (толщина слоя 1–1,5 м). Первая ступень загружается: верхний слой – активированный уголь, гравий 20–40; 2-й слой загрузка KMnO_4 10; нижний слой песок 10–20. Вторая ступень – среднезернистым песком 1–1,5 м.

Длина фильтра определяется по формуле:

$$L = \frac{Q_p \cdot 1000}{3,2 \cdot q \cdot K_3 \cdot K_4}, \quad (2)$$

где q – нагрузка, л/(м·сут); 3,2 – длина оросительных труб; K_3 и K_4 – поправочные коэффициенты.

Для первой ступени:

$$L = \frac{15 \cdot 1000}{3,2 \cdot 150 \cdot 1 \cdot 1} = 31,25 \text{ м}^2.$$

Для второй ступени:

$$L = \frac{15 \cdot 1000}{3,2 \cdot 80 \cdot 1 \cdot 1} = 58,6 \text{ м}^2.$$

Принимаем унифицированный двухступенчатый фильтр. Длина первой ступени 31,3 м, второй ступени – 58,6 м.

3. Расчёт капитальной стоимости сооружения

Для расчёта одного фильтра гравийно-песчаного:

Определение стоимости сооружения:

$$k + c + v + m = W. \quad (3)$$

$$3 + 8 + 5 + 2 = 18 \text{ млн. руб.}$$

где k – стоимость электроэнергии потребляемой компрессором, мес.; v – стоимость рабочей силы; m – прибавочная стоимость; c – стоимость средств производства, потребленных; W – стоимость товара, состоящая из перечисленных выше элементов стоимости.

3.1. Эксплуатационные затраты гравийно-песчаного фильтра

Если разложить формулу стоимости товара на элементы (по времени), то получим следующее:

$$c + v + m = W - \text{формула стоимости товара, или затрат времени в материальном производстве,}$$

где v – необходимый труд, необходимое рабочее время; m – прибавочный труд, или прибавочное рабочее время; c – овеществленный в средствах производства труд рабочих, или их рабочее время, потребляемое в производстве данного продукта; W_{10} – стоимость товара, состоящая из перечисленных выше элементов времени труда, создающих стоимость продукта.

С течением времени в процессе эксплуатации фильтра, вырождение денег, как надежного инструмента для учета труда, учета рабочего времени на период 10 лет:

$$W_{10} = W + \Delta d, \quad (4)$$

где Δd – прибавочная стоимость.

$$W_{10} = 18 + (3 \cdot 10) = 48 \text{ млн. руб.} + \text{ставка рефинансирования.}$$

Чем больше органическое строение капитала, тем меньшее количество рабочей силы нужно. Меньше рабочей силы – меньше прибыли (прибавочного труда).

3. Расчёт капитальной стоимости сооружения

для расчёта одного фильтра песчано-угольного фильтра с загрузкой KMnO_4 :

$$c + v + m = W.$$

$$12 + 5,2 + 2 = 19,2 \text{ млн. руб.}$$

где v – стоимость рабочей силы; m – прибавочная стоимость; c – стоимость средств производства, потребленных; W – стоимость товара, состоящая из перечисленных выше элементов стоимости.

3.1'. Эксплуатационные затраты песчано-угольного фильтра с загрузкой KMnO_4

Затраты на эксплуатацию принимаем за расчёт предыдущих лет на основании ставки рефинансирования:

Если разложить формулу стоимости товара на элементы (по времени), то получим следующее:

$$c + v + m = W,$$

где v – необходимый труд, необходимое рабочее время; m – прибавочный труд, или прибавочное рабочее время; c – овеществленный в средствах производства труд рабочих, или их рабочее время, потребляемое в производстве данного продукта; W – стоимость товара, состоящая из перечисленных выше элементов времени труда, создающих стоимость продукт.

С течением времени в процессе эксплуатации фильтра, вырождение денег, как надежного инструмента для учета труда, учета рабочего времени на период 10 лет:

$$W_{10} = W + \Delta d,$$

где Δd – прибавочная стоимость.

$$W_{10} = 19,2 + (5 \cdot 10) = 69,2 \text{ млн. руб.} + \text{ставка рефинансирования.}$$

Чем больше органическое строение капитала, тем меньшее количество рабочей силы нужно. Меньше рабочей силы – меньше прибыли (прибавочного труда).

Суммарная стоимость реагентов для приготовления растворов равна:

$$80 \text{ руб.} (5 \text{ г } \text{KMnO}_4) + 240 \text{ руб.} (2,5 \text{ г } \text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6) + 240 \text{ руб.} (2,5 \text{ г } \text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6) = 560 \text{ руб.} \quad (5)$$

Этого количества хватает на три цикла, то есть примерно для получения 25 литров воды. В настоящее время один из самых дешевых фильтров в Центральном универмаге г. Минска стоит 20 тысяч 130 рублей (фильтр «Аквафор»). Его ресурс – 1000 литров воды.

Расчет показывает, что для очистки 1000 литров нашего рабочего раствора на нашей установке надо израсходовать 22 тысячи рублей, для природной воды эта сумма может быть намного меньше. Следовательно, по экономической оценке наша установка может успешно конкурировать с фирменными фильтрами.

Таким образом, проведенные исследования позволили получить следующие результаты:

- 1) выбран гравийно-песчаный фильтр обезжелезивания воды, наиболее приемлемый для удаления Fe^{2+} ;
- 2) изучена эффективность действия фильтрующих загрузок с марганцевым катализатором и песчаная аэрируемая загрузка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Исаев, Д.С. Анализ загрязнений воды // Химия воды. – 2001. – № 5. – С. 77.
2. Гусева, Н.Е., Проскурина И.Н. Разработка химического эксперимента с экологическим содержанием // Химия воды. – 2002. – № 10. – С. 72.
3. Кукушкин, Ю.Н. Химия вокруг нас / Ю.Н. Кукушкин. – М., Высшая школа, 1992. – С. 114.
4. Рыбалко, А.Б. Ситуация с питьевой водой в Беларуси в целом. «Вода», июнь, 2013.

УДК

ВЫБОР ФИЛЬТРА ДЛЯ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

А.В. СОКОЛОВ

(Представлено: В.К. Ющенко, С.П. Студеникина)

Изучены возможности использования угольных материалов для обезжелезивания подземных вод малых населенных пунктов. В данной работе разработана технологическая схема, которую можно применить к существующим системам централизованного водоснабжения малых населенных пунктов.

Качество воды хозяйственно-питьевого назначения в населенных пунктах Республики Беларусь должно соответствовать требованиям СанПиН 10–124 РБ 99 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества».

Однако, по данным [1, 2, 3] в большинстве источниках подземных вод из скважин наблюдается повышенное содержание железа, иногда с сопутствующими другими, превышающими нормативы, веществами, например марганец, растворенные газы, очень редко – комплексные органические радикалы.

Повышенное содержание железа в воде у потребителя доставляет много неприятностей в быту. Сантехника, эксплуатируемая в такой воде, довольно быстро покрывается ржавыми потеками, на белье при стирке появляются ржавые пятна, и даже такие низкие концентрации, как 0,3–0,4 мг/л, могут вызвать появление пятен на раковинах, посуде, ткани и других поверхностях [4]. Более высокие концентрации железа придают воде характерный металлический привкус и могут изменить вкус и внешний вид чая, кофе и других напитков. Также повышенное содержание железа в воде является причиной брака в пищевой, а также текстильной, бумажной, химической и других отраслях промышленности. Кроме того, железо приводит к образованию осадков на стенах труб и накипи на поверхности нагрева, что со временем приводит к снижению давления трубопровода и повышению энергетических затрат [5].

В железистых отложениях идёт размножение железобактерий. Оно начинается уже при концентрации железа 1–2 мг/л, и скорость их размножения зависит от того, насколько много кислорода и тепла [8]. В результате жизнедеятельности этих бактерий образуется масса бурого цвета, которая оседает на стенках трубопровода, нередко в виде твердых отложений, таким образом, уменьшая их живое сечение. Срок службы сантехнического оборудования снижается в несколько раз.

Но особенно, повышенное содержание железа в питьевой воде вредно для здоровья человека. При хронической перегрузке организма железом происходит его отложение в тканях, которое носит очаговый или генерализованный характер (гемосидероз). Если общее содержание железа в организме превышает 15г, то поражаются внутренние органы, включая суставы, печень, эндокринные железы и сердце. Такое состояние называется гемохроматозом. Железо может создавать питательную среду для роста вредных микроорганизмов и клеток злокачественных опухолей, а также дополнительно стимулировать канцерогенное действие свободных радикалов. Высокие концентрации железа обнаруживаются в мозге людей, страдающих болезнью Паркинсона. Избыток железа нарушает функцию центральной нервной системы, усугубляя психические расстройства. Слишком большое количество железа в организме пожилых мужчин и женщин способствует накоплению свободных радикалов, может ускорить развитие общего старения. Поэтому взрослым мужчинам и женщинам препараты железа следует принимать крайне осторожно, только при наличии соответствующих показаний. Железо стимулирует окисление «плохого» холестерина