

ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЕ ВОДЫ

С ЗАМКНУТЫМ ЦИКЛОМ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

В настоящей работе рассмотрена новая технологическая схема водоподготовки, основанная на комплексном подходе. Данный подход позволяет создать замкнутый цикл водопользования с высоким качеством получаемой очищенной воды и позволяет использовать железистый флотошлам. Проведённые исследования по изучению барботажу показали эффективность использования в качестве диспергирующего материала керамических трубчатых мембран.

Введение

Состояние проблемы. Обеспечение населения качественной питьевой водой является приоритетной социальной задачей любой страны. Ухудшение экологической обстановки и качества питьевой воды приводит к снижению защитных сил организма и всплеску заболеваний.

В настоящее время одной из основных проблем, связанных с источниками воды, является многократное превышение в них содержания железа и марганца.

Для этих целей наиболее широко используются методы упрощенной и глубинной аэрации. Упрощенный метод аэрации не позволяет достаточно эффективно окислить органическое железо и не может быть использован при содержании железа более 8-10 мг/л. Эти задачи с успехом решаются методом глубинной аэрации, а именно окислением железа под давлением $P = 3-5$ атм [1, 5, 6].

Основными методами обезжелезивания, применяемыми сегодня на станциях водоподготовки, являются:

1. Упрощенная и глубинная аэрация.
2. Контактная коагуляция и осветление. Наиболее распространен метод коагулирования сульфатом алюминия с предварительным хлорированием, а иногда и известкованием с последующим отстаиванием.
3. Фильтрация с применением каталитических загрузок – наиболее распространенный

Ю.М. Аверина*,
аспирант
Факультета
инженерной химии
Российского химико-
технологического
университета
им. Д.И. Менделеева

Д.В. Павлов,
кандидат
технических наук,
ведущий инженер
кафедры «ТЭП» РХТУ
им. Д.И. Менделеева

С.О. Варакин,
кандидат
технических наук,
ведущий научный
сотрудник кафедры
«ТЭП» РХТУ
им. Д.И. Менделеева



метод удаления железа и марганца, применяемый в высокопроизводительных компактных системах, что обусловлено как коммерческими аспектами, так и высокой технологичностью процессов. Каталитические наполнители – это природные материалы, содержащие диоксид марганца или загрузки, в которые диоксид марганца введен при соответствующей обработке: дробленый пиролюзит, МЖФ, Manganese Green Sand (MGS), Birm, MTM [3].

4. Микро- и ультрафильтрация [5,6].

Каждый из представленных методов имеет определенные недостатки, к основным из которых относятся: применение химических реагентов и сменных загрузок и, следовательно, высокие эксплуатационные затраты; не всегда высокие органолептические показатели очищенной воды; образование требующих утилизации промывных вод и осадков. В настоящее время в промышленности для различных целей начинает применяться мелкопузырчатая аэрация. Это наиболее эффективный и наименее затратный способ насытить воду кислородом. Высокая скорость переноса газа в жидкость обусловлена несколькими факторами: межфазная поверх-

* Адрес для корреспонденции: Averina JM@mail.ru

ность или поверхность контакта фаз, размер пузырьков, газосодержание, скорость всплытия пузырьков и др.

Вопрос поиска наиболее оптимальных диспергирующих материалов, позволяющих проводить эффективный барботаж, до сих пор не решен. Новые материалы должны быть мелкопористыми, механически прочными, обладать довольно высокой воздухопроницаемостью и при этом не пропускать жидкость в воздуховод при атмосферном давлении в барботажном аппарате. Кроме того, поры материала не должны засоряться взвешенными твёрдыми частицами.

Материалы и методы исследования

Перечисленные недостатки традиционных методов успешно решены благодаря применению новой комбинированной технологии разделения жидких смесей с использованием керамических трубчатых мембран для обезжелезивания воды и электрофлотации для утилизации и повторного использования промывных вод. Окисление железа проводится под давлением $P = 3-5$ атм с использованием керамических трубчатых мембран.

В данной работе предлагаются для использования в качестве диспергирующего материала трубчатые керамические мембраны. Проведённое исследование показало эффективность использования такого материала, а предложенный метод позволит интенсифицировать процесс барботажа и снизить затраты на монтаж, ремонт и замену аэрационных элементов.

Данный метод можно классифицировать как метод глубинной аэрации. Данная технология имеет следующие преимущества:

- является безреагентной (используется только воздух вместо токсичных Cl_2 и O_3);
 - имеет высокую скорость процесса обезжелезивания (10-15 мин);
 - относительно низкое удельное количество промывных вод и осадка;
 - керамические мембранные элементы имеют срок службы 3-5 лет без снижения производительности, нерастворимые электроды электрофлотатора имеют срок службы 5-10 лет;
 - оборудование является компактным, высокопроизводительным и простым в обслуживании;
 - проектирование и строительство станций водоподготовки по данной технологии не требует высоких капитальных затрат.
- Керамические мембраны используются на двух стадиях процесса обезжелезивания

воды. На первой стадии аэрации осуществляется диспергирование воздуха через микрофильтрационные керамические элементы со средним размером пор 0,8 мкм, при этом в воде образуются микропузырьки воздуха диаметром 350-450 мкм. На последующей стадии для удаления гидроксидов железа и марганца, микроорганизмов, и органических веществ массой более 50000 Dalton применяются ультрафильтрационные керамические элементы со средним размером пор 0,09 мкм, при этом в очищенной воде сохраняется 80-110 мг/л солей, необходимых для человеческого организма. Очищенная вода является прозрачной и обладает высокими органолептическими свойствами.

Исследование барботажа через керамические трубчатые мембраны проводилось на экспериментальной установке по изучению барботажа (рис. 1 и 1а).

По напорному трубопроводу насосом 4 вода подаётся в прозрачную аэрационную ячейку ($h_{\text{раб}} = 500$ мм, канал сечением 30×16 мм). Давление в ячейке измеряется манометрами 3а и 3б, регулирование давления производится кранами К2 и К4. Подача воздуха в ячейку 2 осуществляется с помощью компрессора 5. На трубопроводе подачи газа расположены регулирующий вентиль К3, ротаметр и манометр. Выходящий из аэрационной ячейки трубопровод соединён с крестовиной, один выход которой заглушен. В крестовину поме-

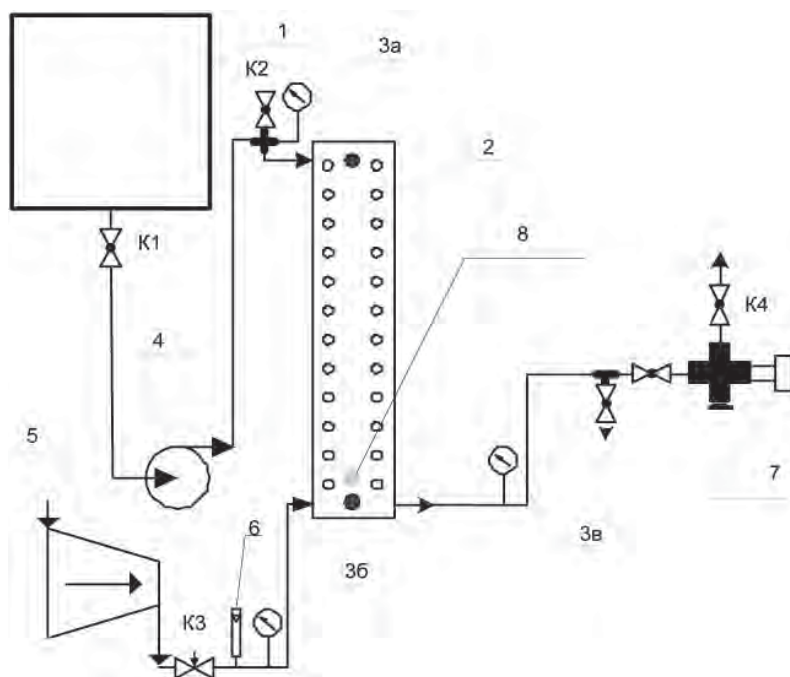


Рис. 1. Экспериментальная установка по изучению барботажа.

1 – емкость с исходной водой; 2 – аэрационная ячейка; 3 – манометры; 4 – насос; 5 – компрессор; 6 – ротаметр; 7 – анализатор кислорода; 8 – отверстие для монтажа аэратора.

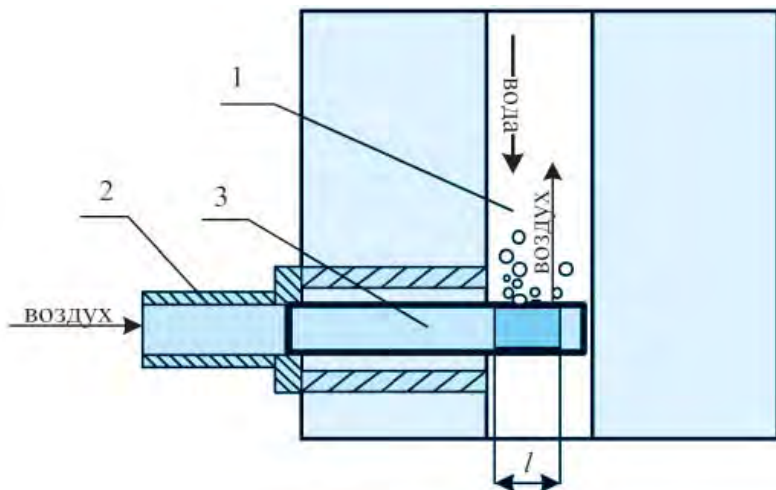


Рис. 1а. Схема аэрационной ячейки
 1 – аэрационная зона, 2 – аэрирующий элемент,
 3 – керамическая трубка (КТ) – мембрана, l – рабочая длина КТ.

щается электрод анализатора кислорода (АКПМ-02Б) 7. Ввод воздуха в ячейку происходит через аэрирующий элемент, который герметично вкручивается в отверстие с резьбой 8.

Была сформирована матрица эксперимента, представленная в табл. 1. Эксперименты проводились для различного давления в ячейке и соответствующего ему различного перепада давлений. Для каждой исследуемой керамической трубки составлялась своя таблица.

Технологическая схема обезжелезивания воды с применением комбинирования глубинной аэрации, ультраfiltrации и электрофлотации представлена на рис. 2.

Согласно технологической схеме исходная вода насосом Н1 подается в аэратор А, в кото-



рый противотоком компрессором К подается сжатый воздух. Аэрация осуществляется через керамические трубчатые мембраны. Движущая сила процесса аэрации

$$\Delta P = P_{\text{воздуха}} - P_{\text{воды}} \text{ составляет } 3 \text{ атм.}$$

Исходная вода насыщается кислородом воздуха под давлением. Затем на выходе из аэратора давление резко сбрасывается, разрушая сложные органические комплексы и позволяя кислороду окислить примеси.

Далее вода через узел контакта фаз УКФ, представляющий собой компактную бухту силиконового шланга, работающую по модели реактора идеального вытеснения, попадает в емкость Е1. Из емкости Е1 насосом Н2 жидкость подается в модуль ультраfiltrации УФМ, где в «тупиковом» режиме происходит отделение окисленных примесей. Ультраfiltrационный модуль построен на основе керамических мембранных фильтров (КМФ). В КМФ устанавливаются керамические трубчатые мембраны малого диаметра 5-10 мм с толщиной стенки 1 мм (у лучших зарубежных аналогов – не менее 2,5 мм) и средним размером пор 0,1 мкм. Очищенная вода на выходе из УФМ соответствует СанПиН 2.1.4.1074-01.

Модуль УФМ оснащен системой периодической регенерации с использованием электромагнитных клапанов и контроллера управления. Регенерация осуществляется обратной продувкой мембран сжатым воздухом с одновременной подачей воды. Для этого через линию фильтрата компрессором К подается воздух и одновременно вдоль поверхности мембраны подается небольшое количество воды.

Водовоздушная смесь, образующаяся в процессе регенерации УФМ, с повышенным

Таблица 1

Концентрация кислорода на выходе из аэрационной ячейки для различных давлений

| | ΔP_1 | ΔP_2 | ΔP_3 | ΔP_4 | ΔP_5 | ΔP_5 |
|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| P_1 | C_{11} | C_{12} | C_{13} | C_{14} | C_{15} | C_{16} |
| P_2 | C_{21} | C_{22} | C_{23} | C_{24} | C_{25} | C_{26} |
| P_3 | C_{31} | C_{32} | C_{33} | C_{34} | C_{35} | C_{36} |
| P_4 | C_{41} | C_{42} | C_{43} | C_{44} | C_{45} | C_{46} |
| P_5 | C_{51} | C_{52} | C_{53} | C_{54} | C_{55} | C_{56} |
| P_6 | C_{61} | C_{62} | C_{63} | C_{64} | C_{65} | C_{66} |

P_i – давление в аэрационной ячейке, атм ;
 ΔP_j – перепад давлений, атм, равный $\Delta P_j = P_v - P_i$, P_v – давление подачи воздуха в аэрационную ячейку;
 C_{ij} – концентрация кислорода в воде на выходе из аэрационной ячейки при ij условиях, мг/л.

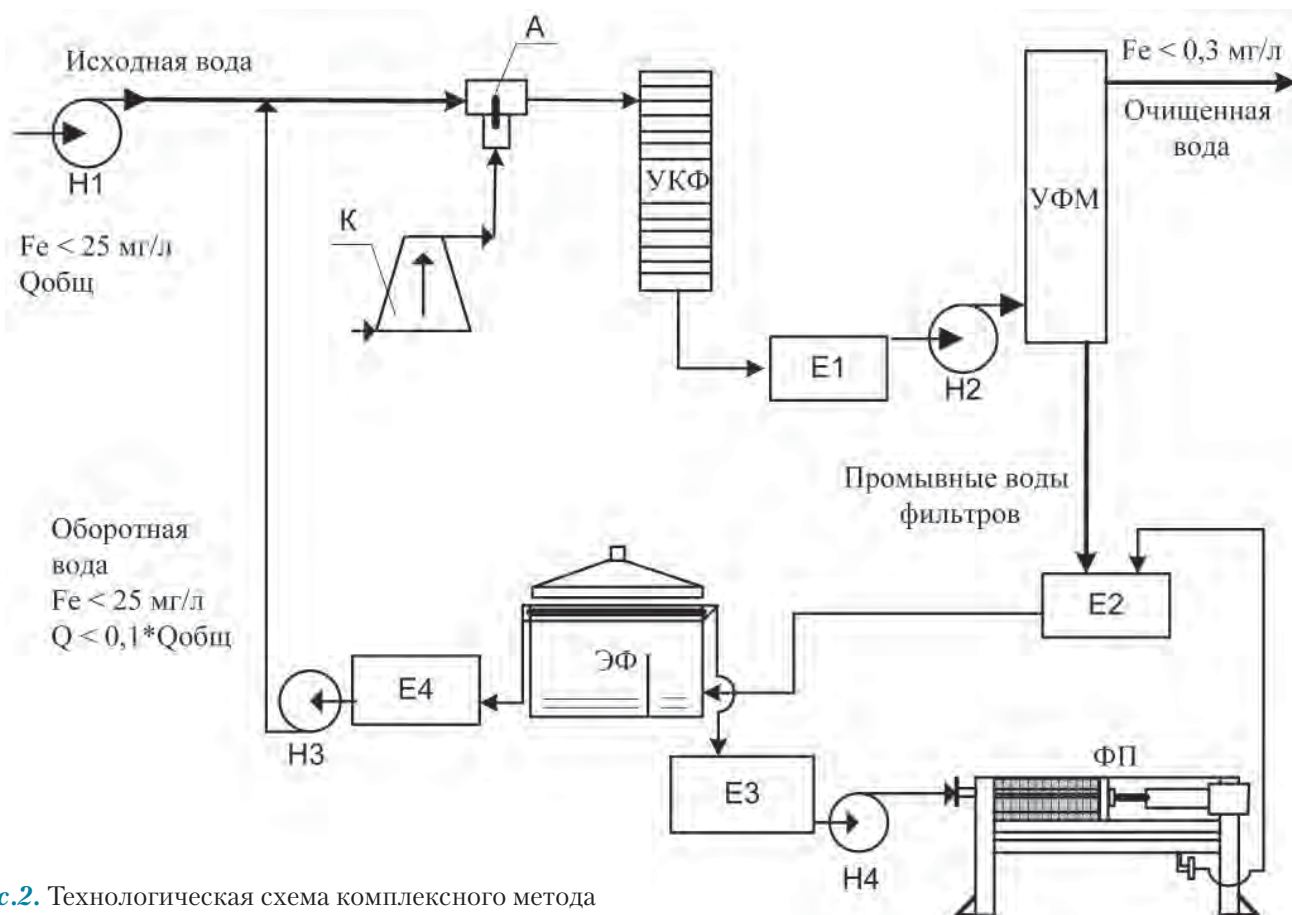


Рис.2. Технологическая схема комплексного метода обезжелезивания.

Н – насосы; К – компрессор; А – аэратор; УКФ – узел контакта фаз; УФМ – ультрафильтрационный модуль; Е – накопительные емкости и усреднители; ЭФ – электрофлотатор; ФП – фильтр-пресс; Q – расход воды.

содержанием дисперсных веществ 100-300 мг/л, и имеющая рН 6,5-8,0 поступает в накопительную емкость E2, где производится отделение воздуха и усреднение промывных вод. Из E2 промывные воды поступают в электрофлотатор ЭФ, в котором происходит выделение микропузырьков электролитических газов диаметром 10-70 мкм. Микропузырьки захватывают хлопья дисперсной фазы ($Fe(OH)_3$ и пр.) и поднимают их на поверхность воды, где последние накапливаются в пенном слое флотошлама. Флотошлам периодически удаляется пеносорным устройством в сборник E3. Остаточное содержание ионов железа в очищенной воде после электрофлотации составляет не более 10 мг/л.

Очищенная вода из ЭФ самотеком поступает в промежуточную емкость E4, откуда насосом H3 подается в нагнетательный трубопровод насоса H1 и, смешиваясь с исходной водой, образует замкнутый контур водоснабжения.

Флотошлам из E3 насосом H4 подается на фильтр-пресс ФП для обезвоживания до 70%. Обезвоженный шлам можно использо-

вать для приготовления коагулянтов либо в качестве вторичного сырья.

Железосодержащие шламы могут быть использованы как добавки к сырью, для производства цементного клинкера. Включение в сырьевые смеси для производства цементного клинкера небольших количеств этих добавок по существу почти не изменяет применяемые на цементных предприятиях технологии обжига и не влияет на качество производимого клинкера. Железосодержащие шламы можно использовать также в составе ингредиентов различного функционального назначения – наполнителей, промоторов адгезии резины к металлам, активаторов вулканизации [4].

Заключение

Разработана высокоэффективная технология обезжелезивания воды и очистки промывных вод с применением комбинирования глубинной аэрации, ультрафильтрации и электрофлотации, рекомендуемая к внедрению на модернизируемых и вновь

строящихся станциях обезжелезивания в регионах с повышенным содержанием соединений железа в воде.

В ходе проведения работы была опробована возможность применения керамических трубчатых мембран в качестве диспергирующего материала. Был изучен барботаж через трубчатые элементы разного диаметра (6 мм, 8 мм, 10 мм), трубки также различались по количеству нанесённых слоёв (подложка без слоя, 1 слой, 2 слоя, 3 слоя). Для всех керамических трубок наблюдается увеличение концентрации кислорода в воде при повышении давления внутри аэрационной ячейки. По результатам экспериментов для использования в промышленности рекомендуется керамическая трубка диаметром 10 мм с нанесением двух мембранных слоёв. Оптимальный перепад давления 3 атм (давление в ячейке 3 атм и давление подачи воздуха 6 атм).

Показано, что применение данной технологии позволяет сократить водозабор, обеспечить отсутствие жидких отходов, а также снизить количество твердых отходов и направить их на утилизацию. При этом снижается себестоимость очищенной воды без ухудшения ее качества и органолептических свойств.

Использование комбинации методов глубокой аэрации, ультрафильтрации и электрофлотации позволяет отказаться от использования химических реагентов и сократить эксплуатационные затраты на сменные элементы. Срок службы керамических мембран составляет 3-5 лет, срок службы нерастворимых электродов электрофлотатора составляет 5-10 лет. При этом существенно повыша-

Ключевые слова:

водоподготовка,
 обезжелезивание,
 электрофлотация,
 ультрафильтрация,
 керамические
 мембраны

ется рентабельность эксплуатации станций обезжелезивания.

Благодаря модульности исполнения системы можно наращивать производительность станций обезжелезивания без замены существующего оборудования.

Литература

1. Терпугов Г.В., Мынин В.Н., Комягин Е.А., Аверина Ю.М., Скопин А.Л., Кабанов О.В. Бытовые водоочистные устройства, учебное пособие, РХТУ им. Д.И. Менделеева, М.: 2008. – 60 с.
2. Рябчиков Б.Е., Современные методы подготовки воды для промышленного и бытового использования. – М., ДеЛи принт, 2004. –328 с.
3. Водоподготовка: Справочник. /Под ред. д.т.н. С.Е. Беликова. М.: Аква-Терм, 2007. 240 с.
4. Систер В.Г., Клушин В.Н., Родионов А.И., Переработка и обезвреживание осадков и шламов. М.: Дрофа, 2008. 248 с.
5. Николадзе Г.И. Обезжелезивание природных и оборотных вод. М.: Строй-издат, 1978. 160 с.
6. Беликов С.Е. Водоподготовка. М.: Акватерм, 2007. 240 с.
7. Мешенгиссер Ю.М. Теоретическое обоснование и разработка новых полимерных аэраторов для биологической очистки сточных вод. Дисс. на соискание ученой степени д.т.н. М.: ФГУП «НИИ ВОДГЕО», 2005. 311 с.



Yu.M. Averina, D.V. Pavlov, S.O. Varaksin

IRON REMOVAL IN CLOSED CYCLE WATER MANAGEMENT

New water treatment manufacturing scheme has been developed with comprehensive approach involved. Such approach uses ferrous sludge and allows

closed cycle water consumption with obtained water of high quality. Ceramic tube membranes were shown to be very good as dispersive material in the bubbling process.

Key words: water treatment, iron removal, electroflotation, ultrafiltration, ceramic membrane

