

*Третьяков О.В., канд. техн. наук, проф., УЦЗУ,  
Пономаренко Р.В., ад'юнкт, УЦЗУ*

## **ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРА, СВЯЗАННЫХ С ЗАГРЯЗНЕНИЕМ ПОВЕРХНОСТНЫХ ИСТОЧНИКОВ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ИОНАМИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ**

(представлено д-ром техн. наук Куценко Л.Н.)

В статье рассмотрены реагентные методы удаления ионов железа и марганца из воды поверхностных источников. Установлены преимущества и недостатки метода эжекционной аэрации воды. Предложены пути повышения эффективности удаления ионов железа и марганца методом эжекционной аэрации.

**Постановка проблемы.** Централизованным водоснабжением на Украине обеспечено около 80% населения. В питьевой воде, наравне с другими (органолептическими, микробиологическими) показателями качества воды, регламентируется содержание тяжелых металлов (железа и марганца), ионы которых способны образовывать с гуминовыми кислотами водорастворимые комплексные соединения, повышающие миграционную способность этих ионов в системе вода - донные отложения [1]. Их содержание в воде р. Днепр, как основного источника для производства питьевой воды в Украине, превышают уровень установленный санитарно-гигиеническими нормативами ( $[Fe] \leq 0,3$  мг/л,  $[Mn] \leq 0,1$  мг/л) [2] в период бурного цветения водорослей (летне-весенний) в несколько раз [3].

Причинами ухудшения качества питьевой воды, получаемой из воды поверхностных источников, являются:

- постоянное повышение антропогенной нагрузки на природные поверхностные источники воды;
- несовершенные и не ориентированные на существующий состав природной воды технологии подготовки питьевой воды.

Большинство существующих станций подготовки питьевой воды работают по упрощенной технологии обработки исходной воды: коагуляция - механическое фильтрование (фильтры грубой очистки, фильтры тонкой очистки насыпные или барабанные) -

---

Предотвращение возникновения чрезвычайных ситуаций техногенного характера, связанных с загрязнением поверхностных источников водоснабжения ионами тяжелых металлов

обеззараживание (чаще всего хлорирование). Ни одна из этих стадий водоподготовки не обеспечивает полного удаления ионов тяжелых металлов из исходной воды.

Повышение количества ионов железа и марганца в питьевой воде может стать причиной возникновения чрезвычайной ситуации связанной, в частности, с угрозой здоровью населения, поскольку тяжелые металлы, достигая определенной концентрации в организме человека, накапливаются в почках и печени, вызывая отравления и мутации. К основным задачам гражданской защиты относятся разработка и осуществление мер по предупреждению и предотвращению чрезвычайных ситуаций, а также разработка и выполнение научно-технических программ, направленных на предотвращение чрезвычайных ситуаций. Поэтому проблема удаления ионов тяжелых металлов из воды поверхностных источников при приготовлении питьевой воды до концентрации определенной нормативными документами [2] является актуальной для системы гражданской защиты Украины.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Большой вклад в решение проблем подготовки питьевой воды внесли следующие ученые: Г.И. Николадзе, Л.А. Кульский, Г.Г. Руденко, И. Холлюта, В.П. Кудесия и ряд других [4,5,6,7].

По мнению Николадзе Г. И. эффективными методами очистки воды поверхностных источников водоснабжения от железа и марганца являются реагентные методы [4].

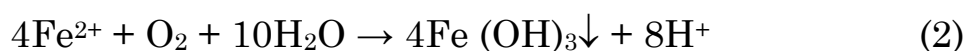
Реагентные методы основаны на введении в исходную воду какого-либо вещества, способствующего переходу растворимых форм двухвалентного железа (II) и марганца (II) в нерастворимые трехвалентную и четырехвалентную формы соответственно. Этого можно добиться двумя способами: введением окислителя (атмосферный кислород, озон, хлор и его соединения, перманганат калия и др.) или повышением рН воды выше 8 (известковое молоко, сода, и другие рН – корректоры), а также сочетанием этих методов. После перевода железа и марганца в нерастворимые формы, их соединения задерживаются в толще фильтрующей загрузки фильтров тонкой очистки, а очищенная вода поступает на дальнейшие стадии подготовки питьевой воды.

Из всех окислителей наиболее безопасным и дешевым является атмосферный кислород, основным методом его подачи в воду в составе атмосферного воздуха является аэрирование. Метод аэрации заключается в том, что в системе вода - воздух, создается

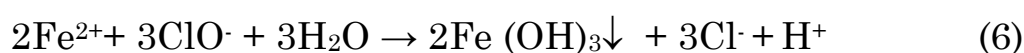
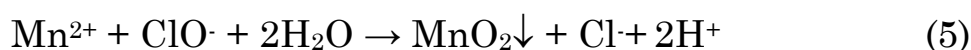
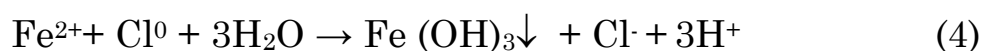
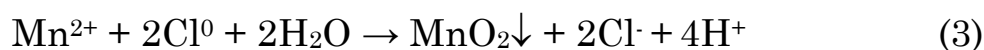
развитая поверхность межфазового контакта, происходит интенсификация процесса массообмена между водой и атмосферным воздухом, путем диспергирования, барботирования, разбрызгивания или одновременным сочетанием этих методов [3].

Самые распространенные методы подачи воздуха – вакуумно-эжекционный (использование различных конструкций эжекторов для подсоса воздуха в поток воды) и напорно аэрационный – подача воздуха в поток воды компрессором.

При реализации этих методов обеспечивается протекание реакций



Аналогичные вышеперечисленным реакции происходят при окислении  $\text{Fe}^{2+}$  и  $\text{Mn}^{2+}$  активным хлором или гипохлоритом



Экспериментальными исследованиями эффективности эжекционного метода занимался Парияр Чет Бахадур [4]. При проведении исследований использовалась экспериментальная установка, состоящая из приемной камеры, щелевого аэратора, помещенного в лоток, по которому самотеком вода попадает в отстойник (рис. 1).

При движении воды по лотку с уклоном обеспечивается турбулентный режим течения воды, при котором в областях щелей образуются вакуумные зоны, обеспечивающие подсос воздуха в поток воды и быстрое насыщение кислородом до равновесной концентрации, при соответствующей температуре. Предложенная конструкция установки обеспечивает получение диспергированной водо-воздушной смеси по всей глубине и длине аэратора.

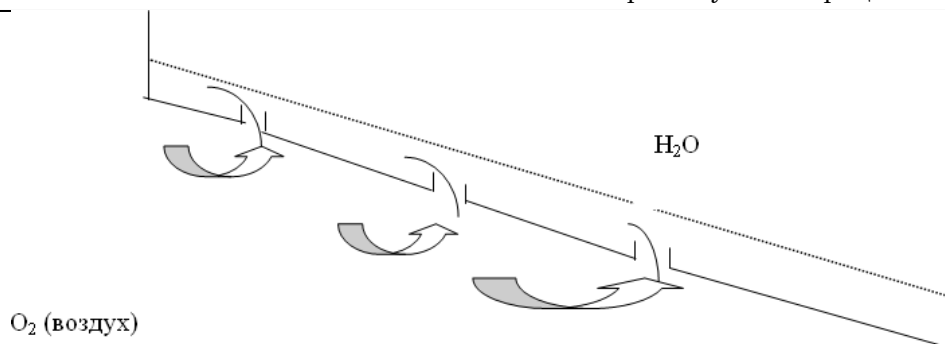


Рис. 1 – Схема эжекционного аэратора

Степень очистки воды от железа и марганца при использовании данного метода эжекционной аэрации определялась по формуле [8]

$$\mathcal{E} = [1 - \exp(-K \cdot [O_2] \tau)] \cdot 100, \quad (7)$$

где  $K$  – константа скорости реакции окисления, [1/мин.];  $\tau$  – общее время пребывания воды на установке

$$\tau = \tau_a + \tau_{om} + \tau_{\phi}, \quad (8)$$

где  $\tau_a$  – время аэрации;  $\tau_{om}$  – продолжительность отстаивания;  $\tau_{\phi}$  – время фильтрования.

Эффективности выведения железа ( $\mathcal{E}_1$ ) и марганца ( $\mathcal{E}_2$ ) из природной воды данным методом приведены в таблице.

Таблица – Эффективность выведения железа ( $\mathcal{E}_1$ ) и марганца из природной воды ( $\mathcal{E}_2$ ) методом эжекционной аэрации

$\mathcal{E}_1$	$C_{\text{Fe}}$ , мг/л (исходная)	$\mathcal{E}_2$	$C_{\text{Mn}}$ , мг/л (исходная)
65,64%	1,95	36%	5,01
91,58%	2,97		
98,48%	6,60		

Метод эжекционной аэрации, исходя из значений эффективности выведения железа и марганца из природной воды (табл.), обеспечивает высокую эффективность удаления железа, но крайне низкую эффективность удаления марганца из исходной воды, ос-

таточная концентрация которого превышает установленную норму более чем в 30 раз.

**Постановка задачи и ее решение.** Установить причины низкой эффективности удаления ионов марганца из природной воды при ее обработке методом эжекционной аэрации. Разработать рекомендации для повышения эффективности удаления марганца при реализации этого метода с целью достижения его концентрации в питьевой воде, соответствующей установленным нормам.

Основополагающими факторами, влияющими на степень удаления ионов марганца из поверхностных источников водоснабжения методом эжекционной аэрации являются: исходная концентрация ( $C_0$ ) ионов марганца в воде, концентрация растворенного кислорода в воде и время аэрации. Другими словами, эффективность перевода ионов марганца (+2) в нерастворимую форму диоксида марганца определяется кинетикой реакции (1). Основываясь на кинетическом уравнении реакции окисления ионов марганца, растворенным в воде кислородом, полученным в [8] на промышленной установке

$$\ln \frac{C}{C_0} = -K \cdot [O_2] \cdot \tau_a, \quad (9)$$

где:  $C$  – остаточная концентрация  $[Mn^{2+}]$ , мг/л;  $C_0$  – исходная концентрация  $[Mn^{2+}]$ , мг/л;  $\tau_a$  – время аэрации воды, мин.

Была произведена оценка возможности повышения эффективности выделения ионов марганца в твердую фазу, путем изменения концентрации растворенного кислорода и времени аэрации. Результаты проведенной оценки приведены на рис. 2 и 3.

Из приведенных результатов следует, что для достижения остаточной концентрации  $[Mn^{2+}] < 0,1$  мг/л, при времени аэрации 10 минут требуется обеспечить концентрацию растворенного кислорода на уровне 42,3 мг/л, что не возможно обеспечить в режиме проведения эжекционного аэрирования в открытом лотке. При увеличении времени аэрирования до 20 мин требуемая концентрация растворенного кислорода – 21,2 мг/л. Для достижения такой концентрации растворенного кислорода в замкнутом объеме, в соответствии с законом Генри, необходимо создать парциальное

давление кислорода – 0,49 атм, что соответствует избыточному давлению воздуха – 2,5 атм.

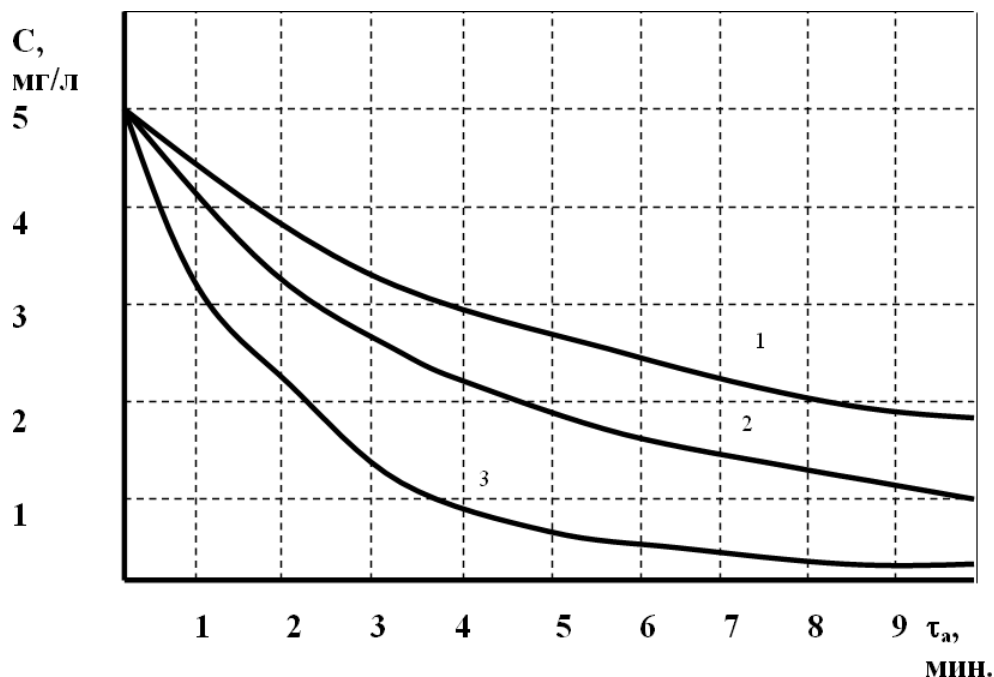


Рис. 2 – Зависимость изменения концентрации ионов марганца в исходной воде от времени аэрации, при концентрации растворенного в воде кислорода: 1 – 10,75 мг/л; 2 – 21,2 мг/л; 3 – 42,3 мг/л

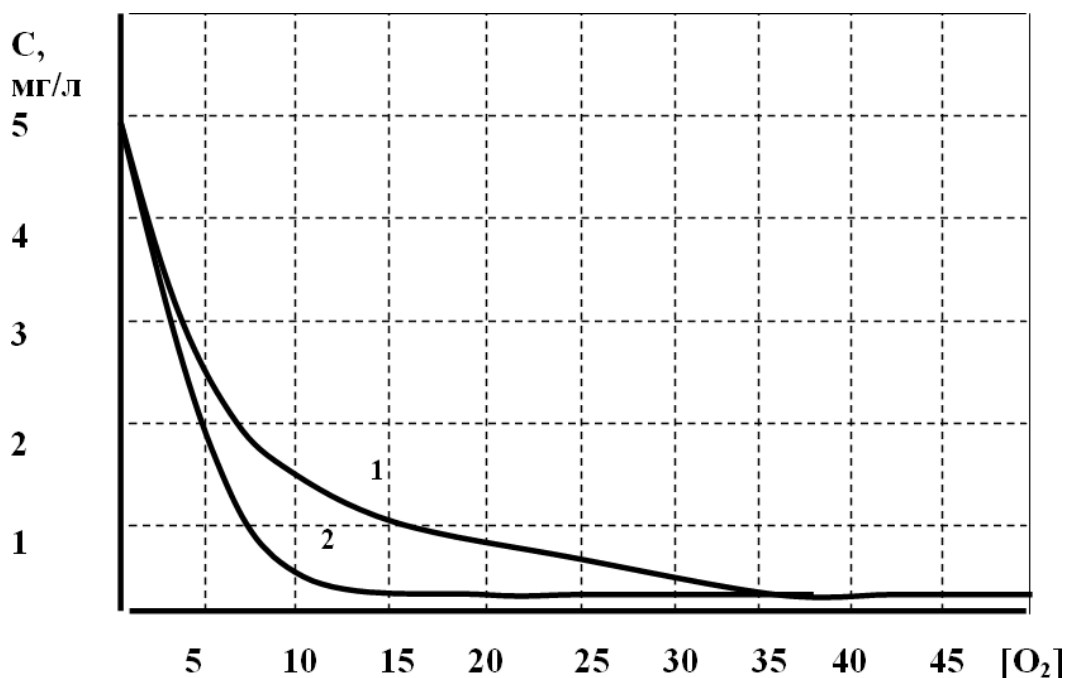


Рис. 3 – Зависимость изменения концентрации ионов марганца в исходной воде от концентрации растворенного кислорода при времени аэрации: 1 – 10 мин.; 2 – 20 мин

Таким образом, для повышения эффективности удаления ионов марганца до уровня, соответствующего требованиям нормативных документов [2], следует отказаться от использования лоткового устройства эжекционного аэрирования, а необходимо обеспечить подачу воздуха под давлением не менее 2,5 атм. в герметичную реакционную камеру, с габаритами обеспечивающими пребывание обрабатываемой воды не менее 20 мин (рис. 4). Подачу нагнетаемого воздуха необходимо организовать одновременно в двух режимах – барботирование сквозь толщу воды по длине всей реакционной камеры и нагнетание воздуха над поверхностью воды, что будет обеспечивать ускорение процесса растворения кислорода в воде. Использование такого режима аэрации исходной воды обеспечит не только полное удаление ионов железа (II), но и ионов марганца (II).

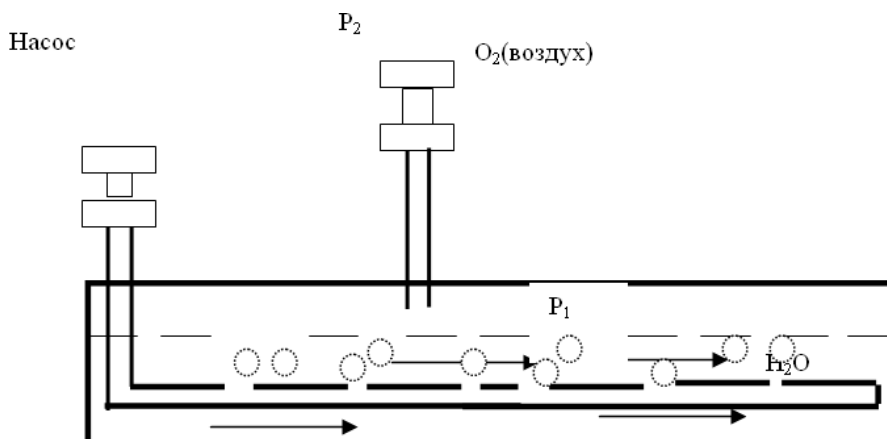


Рис. 4 – Схема нагнетательно-эжекционного аэратора

Целесообразно создавать геометричную реакционную камеру несколько секционной с ориентацией на возможное увеличение концентрации ионов марганца в исходной воде природного поверхностного источника.

**Выводы.** Установлены причины низкой эффективности удаления ионов марганца из природной воды при ее эжекционной аэрации. Предложены путь и устройство для его реализации с повышением эффективности удаления ионов марганца методом нагнетательно-эжекционной аэрации.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Хвесик М.А., Файфура В.В. Актуальные проблемы охраны и воспроизводства водных ресурсов Украины // Материалы международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы охраны окружающей среды от антропогенного воздействия» 18-20 мая 1994 г. г. Кременчуг, с. 85 – 93.
2. Государственные санитарные правила и нормы "Вода питьевая. Гигиенические требования к качеству воды централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения". Утверждены МОЗ Украины, постановление № 383 от 23.12.96.
3. Третьяков О.В., Андронов В.А. Проблеми забезпечення населення якісною питною водою з поверхневих джерел в сучасних умовах. / Зб. наук. пр. УЦЗ України "Проблеми надзвичайних ситуацій". - Харків: - ст. 180 - 185.
4. Николадзе, Г.И. Водоснабжение: книга / Г. И. Николадзе. - М.: Стройиздат, 1979. - 140 с.
5. Кульский Л.А. Справочник по свойствам, методам анализа и очистке воды. Т. 1. – Киев: 1980. – 1206 с.
6. Г. Г. Руденко, В.А. Кравченко, В.Е. Полякова. Очистка питьевой воды с использованием клиноптилолитовых фильтров // Химия и технология воды. – 1979. – № 1. С. 66 – 69.
7. Кудесия В. П. «Кинетика и катализ» 1972. – 328 с.
8. Парияр Ч.Б. Метод очистки природных вод от соединений железа, марганца и аммония, взвеси и т.д. // Тез. док. 49-й науч. – тех. конф. / Под ред. Д. Ф. Гончаренко. – Харьков: 1994. – с. 114.
9. Афанасьев А. В. Очистка подземных вод от железа и марганца. / Статьи по очистке воды и водоподготовке / А. В. Афанасьев.
10. Андронов В. А., Пономаренко Р.В. Можливості виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру, пов'язаних із антропогенним впливом на поверхневі водойми. / Зб. наук. пр. УЦЗ України "Проблеми надзвичайних ситуацій". Вип. 7 – Харків: УЦЗУ, 2008. – 12 - 22.  
nuczu.edu.ua