

УДК 628.168.628.161.2.628.164

О. И. БАЛИНЧЕНКО, И. В. ПУЗИК

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

ПРОДЛЕННАЯ УПРОЩЕННАЯ АЭРАЦИЯ ПРИ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИИ ПОДЗЕМНОЙ ВОДЫ

Аннотация. Рассмотрены положительные качества продленной упрощенной аэрации как метода обезжелезивания подземной воды в системе хозяйственно-питьевого водоснабжения поселка Донецкого региона. В этом поселке увеличилась степень загрязнения подземной воды из скважин соединениями железа – с 5 до 6 мг/л. При этом существующие сооружения обезжелезивания, при отсутствии резервов, перестали справляться со своей задачей. В результате ухудшился вкус и цвет воды, не отвечая нормам водоочистки. Предложенный метод обезжелезивания позволит получить максимальную эффективность процесса при минимальных затратах, не предполагая увеличения объемов как сооружений, так и мощности аэраторов. Анализ механизма действия продленной аэрации, почерпнутый из действия аэрации сточных вод, позволил получить технологию и для подземных вод, используемых в хозяйственно-питьевом водоснабжении поселка в Донецком регионе.

Ключевые слова: продленная упрощенная аэрация, обезжелезивание воды, волокнистая ершовая загрузка.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В данных исследованиях произведен поиск решения проблемы обезжелезивания подземной воды, используемой для водоснабжения одного из поселков Севера Донецкого региона. В систему входит хозяйственно-питьевое водоснабжение населения и промышленных предприятий. Проектная производительность системы – 4 000 м³/сутки [1]. В ее состав входят:

- источники водоснабжения – 4 рабочих скважины;
- обезжелезивающая установка;
- обеззараживающая установка;
- резервуар чистой воды;
- насосная станция 2-го подъема;
- установка повторного использования промывных вод.

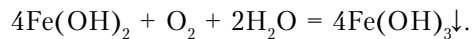
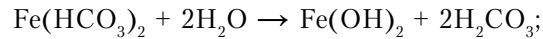
Источниками водоснабжения являются подземные воды верхнего мелового горизонта. Водозабор производится из скважин, оборудованных погружными насосами. Работа водозабора не нарушена.

По данным анализа воды, все показатели соответствуют ее питьевому качеству, кроме общего железа (в наличии – до 6 мг/л при допустимом количестве – 0,3 мг/л) и мутности (в наличии – до 5 мг/л при допустимой – до 1,5 мг/л).

Очевидно, что среднее содержание железа в водах поселка превышает допустимое более чем в 2 раза, а максимальное – в 2,8 раза [7]. Эту дозу железа можно удалить различными способами [2–6].

С учетом химических процессов обезжелезивания литературные источники [2, 3] предлагают окислить железо до нерастворимой формы трехвалентного оксида, отправив его в осадок и произведя затем процесс фильтрования. Проблема очень разнообразна по природным условиям, составу природных вод и рекомендаций технологий решений.

Железо в подземной воде наиболее часто находится в форме бикарбоната Fe(II), который является нестойким соединением, легко окисляется и гидролизует с образованием хлопьев осадка гидроксида железа Fe(III):



Поэтому все способы обезжелезивания требуют предварительного окисления – аэрированием и освобождения от осадка – фильтрованием. Удаление углекислоты ускоряет скорость окисления железа.

Из исходной воды, содержащей небольшое количество железа (до 10 мг/л) и имеющей рН воды выше 6,8 (наш случай), углекислоту специально не удаляют, а обезжелезивают воду методом упрощенной аэрации с задержанием гидроокиси железа на фильтрах [3].

На окисление 1 мг Fe^{2+} расходуется 0,143 мг O_2 . Процесс обогащения воды кислородом при разбрызгивании ее в воздухе происходит весьма интенсивно. При падении капель воды, не содержащей растворенного кислорода, даже с высоты 0,5 м содержание кислорода в воде достигает 5 мг/л, что достаточно для окисления $5 : 0,143 = 35$ мг/л Fe^{2+} в Fe^{3+} .

Аэрация воды при этом может достигаться введением воздуха компрессором в смеситель на подающем трубопроводе при применении напорных фильтров или разбрызгиванием воды в воздухе при изливе ее в карман открытого фильтра (наш случай). Высота падения струй и капель воды в этом случае должна быть не менее 0,5–0,6 м, скорость истечения воды из направленной вверх трубы – 1,5–2 м/сек (как существует в исходном сооружении). Для окисления Fe^{2+} в Fe^{3+} кислородом воздуха на 1 г удаляемого из воды железа нужно вводить в воду 2 л воздуха.

Если подавать воздух насосом, расход аэрируемой воды должен быть меньше производительности насоса. При этом количество засасываемого насосом воздуха должно составлять около 4 м³/ч на каждый килограмм железа, удаляемого из воды.

Окисление Fe^{2+} в Fe^{3+} при обезжелезивании воды можно производить вместо кислорода воздуха другими окислителями – хлором, перманганатом калия и т. п. Безреагентные методы по причине экологичности предпочтительны во всех случаях. По Фрогу [5] безреагентные методы обезжелезивания могут быть применены, когда исходная вода характеризуется: рН – не менее 6,7; щелочность – не менее 1 мг-экв/л; перманганатная окисляемость – не более 7 мг O_2 /л. При наличии в воде железа от 5 до 10 мг/л рекомендуется обезжелезивание методом упрощенной аэрации с одноступенным фильтрованием.

Патент обезжелезивания подземных вод, приведенный в [8] предлагает «Способ обезжелезивания подземных вод аэрацией с последующим фильтрованием, отличающийся тем, что, с целью упрощения и уцешевления способа обезжелезивания высокоминерализованных подземных вод при сохранении основного химического состава, **аэрацию осуществляют при соотношении воды и воздуха 1: (30–35)**», то есть весьма малыми дозами вносимого воздуха, сделав акцент на особенности доставки этого воздуха к окисляемому железу. Естественно, происходит колоссальная экономия воздухоудовных мощностей. Действительно, увеличение количества окислителя – кислорода бесполезно сверх количества, эквивалентного окисляемому железу, **хотя** можно всячески облегчать доступ к нему, то ли с помощью особых аэраторов, то ли увеличивая время аэрации или площадь контакта с воздушными пузырьками.

В нашем случае, чтобы обеспечить беспрепятственную доставку кислорода для окисления двухвалентного железа в трехвалентное, нужно применить метод упрощенной продленной аэрации.

Итак, предлагается метод обезжелезивания упрощенной продленной аэрацией с усовершенствованием аэрационного механизма, уже описанный в литературе по очистке сточных вод [2], но требующий обоснования и подтверждения для обезжелезивания подземной воды в конкретной практике.

Очевидно, что задача продленной аэрации – задержать пузырек воздуха подольше от момента всплытия и удаления из воды. Этому будет способствовать сила гидравлического трения каждого пузырька воздуха. Продленная аэрация означает не продление времени аэрирования (тем более, если оно круглосуточное) и даже не увеличение объемов вносимого воздуха, а увеличение длительности контакта пузырька с железонасыщенной водой. Желательно осуществить это «увеличение длительности контакта» с минимальными капиталовложениями и в строительную часть (например, не увеличивая объем входного канала фильтра) либо установив какие-либо особенные дробящие поток изливные устройства на входе в этот канал.

Но можно поступить еще проще, уложив во входной канал фильтра своеобразную «волоконистую ершовую загрузку» [2], способную связать огромное количество пузырьков воздуха и удерживать

достаточно долго, способствуя их окислительной работе по переводу двухвалентного железа в трехвалентное. А дальше обезжелезенная вода уйдет в песчаную загрузку и, профильтровавшись – в РЧВ (с обеззараживанием), после чего – потребителям.

На рис. 1 приведена итоговая технологическая схема обезжелезивания, а именно, продленной упрощенной аэрацией с минимальными затратами (только на волокнистую загрузку).

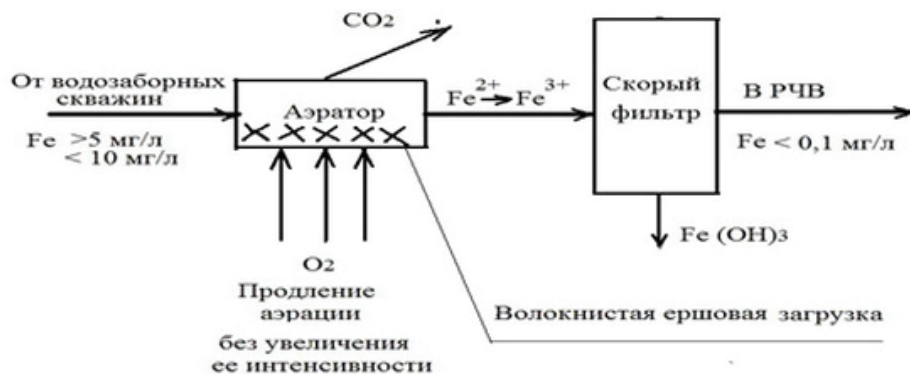


Рисунок 1 – Принципиальная схема обезжелезивания.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Схема лабораторной установки по продленной упрощенной аэрации воды представлена на рис. 2. В качестве волокнистой ершовой загрузки – «собираателя» пузырьков воздуха послужила елочная гирлянда, приобретенная в торговой сети г. Макеевки в 2018 г. Вода от подземного источника доставлялась в герметичных канистрах.

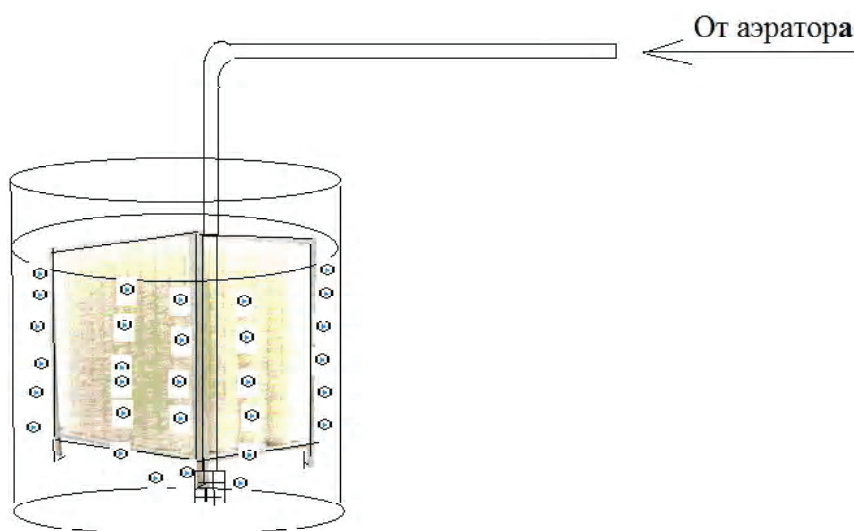


Рисунок 2 – Лабораторная установка в составе 5-литровой емкости, блока ершовой волокнистой загрузки и прикрепленного аквариумного аэратора.

Сравнивались основные показатели обезжелезивания (снижения концентраций закисного, окисного и общего железа, общей жесткости и общей щелочности и повышения водородного показателя pH в течение суток без применения ершовой волокнистой загрузки и с ней при одинаковой интенсивности аэрации и за одно время – 1 сутки. Ставилась задача: **ощутить положительный эффект от применения загрузки и дать рекомендации по его использованию на практике водоснабжения в конкретных производственных условиях.**

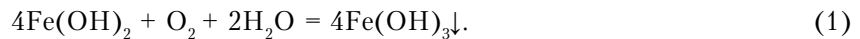
Сравнительные результаты окислительных процессов с классической упрощенной и продленной (волокнистой ершовой загрузкой) упрощенной аэрацией даны в таблице.

Таблица – Результаты окислительных процессов с обычной и продленной (волоконистой загрузкой) аэрацией (в течение суток)

Снижение концентрации железа общего, %		Снижение концентрации железа закисного, %		Снижение концентрации железа окисного, %		Снижение общей жесткости, %		Снижение общей щелочности, %	
без загрузки	с загрузкой	без загрузки	с загрузкой	без загрузки	с загрузкой	без загрузки	с загрузкой	без загрузки	с загрузкой
34	98	6,8	97	37	96	16	21	10	24

Как видно из таблицы, продленная аэрация (с загрузкой) существенно ускоряет окислительные процессы. При этом объемы поступающего в загрузку воздуха не увеличиваются, а с помощью ершей удерживаются в толще воды и продлевают свое окислительное действие.

Бикарбонат железа, кстати, в исходной воде от скважин содержаться не должен, ввиду наличия щелочной среды ($pH > 7$), а в воде, прошедшей аэрацию – тем более (при еще большем $pH = 8,05$ и $8,4$). Реакция образования осадка в щелочной среде проходит следующим образом:



Определим дозу необходимого кислорода. По уравнению (1) на окисление можно взять усредненное значение содержания кислорода в воздухе – 21 %. Из справочных таблиц по физике удельный вес воздуха при температуре 20 °С и давлении 760 мм рт. ст. равен 1,205 кг/м³ [9].

Тогда для обеспечения максимальной растворимости кислорода в подземной артезианской скважине потребуется на 1 м³ подземной воды: $13,1 \cdot 100 / 21 = 62,38$ г воздуха, что составит в объеме: $62,38 / 1,205 = 0,052$ м³ воздуха.

Производительность компрессора-аэратора для аэрации воды 315 м³/ч должна быть $315 \cdot 0,052 = 16,4$ м³/ч = 273 л/мин.

По формуле, полученной в более ранних исследованиях [6] по обезжелезиванию подземных вод, аппроксимацией кривой снижения концентрации общего железа (по программе «Curve expert») рассчитаем время окисления общего железа до остаточной концентрации, разрешенной в питьевой воде: $Y = 3,82e^{-0,23x}$, где y – концентрация общего железа, т. е. 0,3 мг/л; x – время аэрации, часов. $0,3 = 3,82e^{-0,23x}$, откуда $x = 2,23$ часа. На это время нужно рассчитать **емкость резервуара по пузырьковому объему** с аэрируемой загрузкой. Получается $16,4 \cdot 2,23 = 11\,520$ м³ рабочей емкости. В рабочий объем потребуется разместить $11\,520 / 400 = 30$ м ершей волокна.

Технологическая схема обезжелезивания поселка в Донецком регионе дана на рис. 3. Предложенная новация – отмечена красным.

В качестве экономичности предложенного метода обезжелезивания подземной воды конкретного существующего поселка Донецкого региона было определено увеличение себестоимости очистки 1 м³ воды, руб/м³ (с учетом повышения эксплуатационных затрат на предложенные новации и удешевления на сумму рассчитанного предотвращенного экологического ущерба [10]):

$$C_y = \frac{\sum E_n}{365 Q_{cym}} = 488\,732 / 365 \cdot 4\,000 = 0,33 \text{ грн,}$$

(без учета стоимости волоконистой ершовой загрузки в аэраторе для интенсификации процесса упрощенной аэрации). По курсу рубля 1 : 0,4 $C_y = 0,33 / 0,4 = 0,83$ р. Это достаточно низкий показатель увеличения затрат от предложенного решения, благодаря которому население будет пить воду, соответствующую нормативам качества.

ВЫВОДЫ

1. При анализе путей улучшения системы хозяйственно-питьевого водоснабжения поселка в Донецком регионе, питаемой из нескольких скважин, обнаружено несоответствие норме по показателю содержания железа в воде, подаваемой потребителю. Это сказывается на качестве воды (вкус, запах).

2. На основании данных литературы, в качестве метода обезжелезивания была предложена упрощенная продленная аэрация, в основе которой лежит увеличение интенсивности контакта воздушно-газовых пузырьков с водой, содержащей неокисленные формы железа, окисляя и осаждая его.

3. При продлении аэрации подземной воды аэрацией с ершовой волоконистой загрузкой скорость окисления всех форм железа существенно возрастает (до 3 раз).

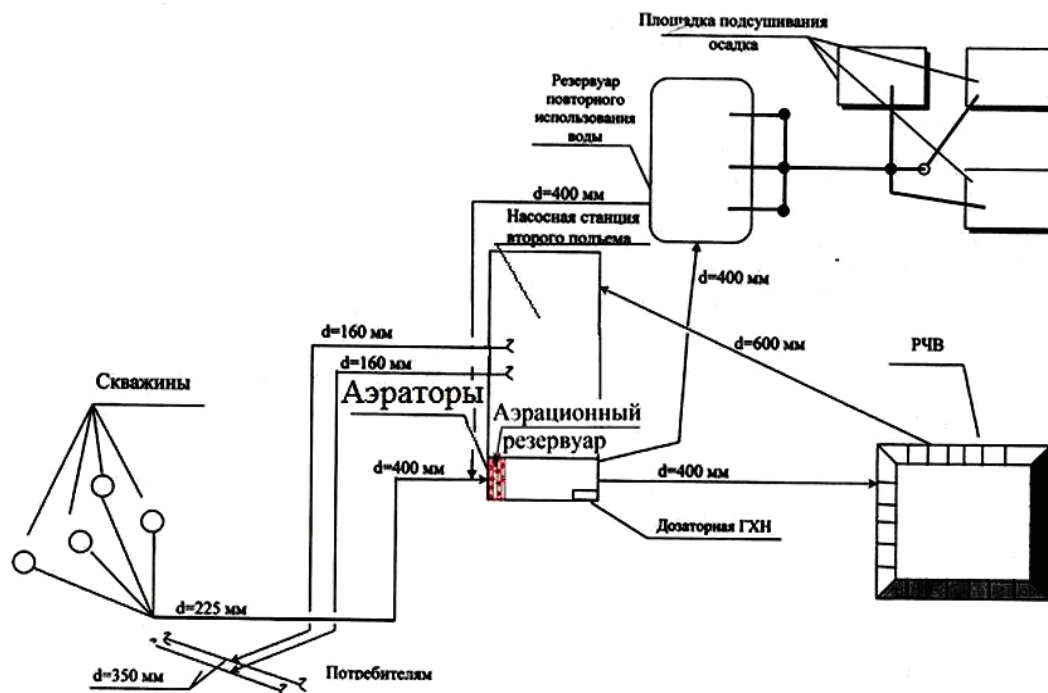


Рисунок 3 – Технологическая схема обезжелезивания сооружений водопровода пгт. Зеленый: *красным цветом обозначена новация (аэрационный резервуар с волокнистой загрузкой).

4. При аэрации с волокнистой загрузкой также снижается жесткость (чуть менее, чем вдвое) и щелочность воды (вдвое) и повышается рН (на пару десятых). Эти изменения в малых пределах, но в пользу улучшения качества воды и не противоречат литературе.

5. Предложенная схема обезжелезивания методом упрощенной продленной аэрации приведет к увеличению себестоимости очистки 1 м³ подземной воды на 0,83 р. Это достаточно низкий показатель увеличения затрат от предложенного решения. Взамен – обеспечение населения водой нормативного качества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технологический регламент по эксплуатации водозабора «Краснолиманский-7» [Текст] : инструкция персоналу ; разработ. ЦКИПИВЛКП «Компания "Вода Донбасса"» ; утв. тех. директ. КП "Вода Донбасса В. В. Чугай. – [Красный Лиман] : Коммунальное предприятие «Компания "Вода Донбасса"». Красно-лиманское управление. – 2012. – 36 с.
2. Теоретические основы очистки воды [Текст] : учебное пособие / Н. И. Куликов, А. Я. Найманов, Н. П. Омельченко. – Донецк : изд-во «Ноулидж» (Донецкое отделение). – 2009. – 298 с.
3. Обезжелезивание воды, обезжелезивание воды из скважины, обезжелезивание воды НН [Электронный ресурс] // ЭкоВодоСистемы. – Нижний Новгород. – 2019. – Режим доступа : <http://eco-waters.ru/ru/articles/obezzhelezivanie-vody.html>.
4. Клячко, В. А. Очистка природных вод [Текст] / В. А. Клячко, А. С. Апельцин. – М. : Стройиздат, 1971. – 579 с.
5. Фрог, Б. Н. Водоподготовка [Текст] : учебник для вузов / Б. Н. Фрог, А. Г. Первов. – М. : Изд. АСВ, 2015. – 512 с.
6. Балинченко, О. И. Интенсификация удаления из воды высоких концентраций железа [Текст] / О. И. Балинченко // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – 2010. – Вип. 2010-6(86) Інженерні системи та техногенна безпека. – С. 3–9.
7. СП 2.1.5.1059-01 Гигиенические требования к охране подземных вод от загрязнения [Электронный ресурс] / РАПО, НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды им. А. Н. Сысина РАМН и др. – Введены впервые ; введ 2001-10-01 / утв. главным врачом РФ Г. Г. Онищенко. – 2010. – Режим доступа : <http://gostrf.com/normadata/1/4294846/4294846954.pdf>.
8. Патент 73/732211 РФ, МПК, С02F 1/64(2006.01), С02F 101/20(2006.01), С02F 103/06(2006.01). Способ обезжелезивания подземных вод [Текст] / В. П. Евстафьев, Г. И. Николадзе, Э. З. Пен, Е. С. Райхман, А. И. Тимченко, Ю. И. Федькушов ; патентообладатель Бальнеотехническая партия по завершению гидрогеологических работ конторы «Геоминвод» Центрального научно-исследовательского института курортологии и физиотерапии. – № 2501375/29-26 ; заяв. 14.07.1977 ; опублик. 05.05.1980. – Бюл. № 17. – 4 с.

9. Водоснабжение [Текст] / [А. Я. Найманов, С. Б. Никиша, Н. Г. Насонкина, Н. П. Омельченко и др.]. – Донецк : «Норд-Пресс», 2004. – 650 с.
10. Временная типовая методика определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценки экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды [Электронный ресурс] : приложение 7 / Объединенная комиссия АН СССР и ГКНТ по экономической оценке природных ресурсов и мероприятий по охране окружающей природной среды, Научный совет АН СССР по экономической эффективности основных фондов, капитальных вложений и новой техники ; № 254/284/134 от 21.10.1981. – М. : Экономика, 1986. – Режим доступа : <http://www.gostrf.com/normadata/1/4293854/4293854046.htm>.

Получено 06.10.2019

О. І. БАЛІНЧЕНКО, І. В. ПУЗІК
ПРОДОВЖЕНА СПРОЩЕНА АЕРАЦІЯ ПРИ ЗНЕЗАЛІЗНЕННІ ПІДЗЕМНОЇ
ВОДИ
ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. Розглянуто позитивні якості продовженої спрощеної аерації як методу знезалізнення підземної води в системі господарсько-питного водопостачання селища Донецького регіону. У цьому селищі збільшився ступінь забруднення підземної води зі свердловин сполуками заліза – з 5 до 6 міліграм/л. При цьому існуючі споруди знезалізнення, за відсутності резервів, припинили справлятися зі своєю задачею. У результаті погіршав смак і колір води, не відповідаючи нормам водоочищення. Запропонований метод знезалізнення дозволить одержати максимальну ефективність процесу при мінімальних витратах, не передбачаючи збільшення як об'ємів споруд, так і потужності аераторів. Аналіз механізму дії продовженої аерації, що почерпнутий з дії аерації стічних вод, дозволив одержати технологію і для підземних вод, використовуваних в господарсько-питному водопостачанні селища в Донецькому регіоні.

Ключові слова: продовжена спрощена аерація, знезалізнення води, волоконне йоржисте завантаження.

OKSANA BALYNCHENKO, IGOR PUZYK
EXTENDED SIMPLIFIED AERATION IN THE PROCESS OF UNDERGROUND
WATER DEIRONING
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. Positive qualities of extended simplified aeration as method of deironing of underground water in the economic-drinkable water system of settlement of the Donetsk region have been considered. In this settlement it has been expanded the degree of contamination of underground water from mining holes by connections of iron – from 5 to 6 mgs. Thus existent deironing structures, while there are no backlogs, stopped controlling their task. Taste and color of water became worse as a result, falling short of standards water purification. The offered deironing method will allow getting maximal efficiency of process at minimum expenses, not supposing the increase of volumes of structures, as well as aeration powers. The analysis of extended aeration mechanism, drawn from sewage aeration running, allowed to get technology and for the underground waters made use in the economic-drinkable water-supply of settlement in the Donetsk region.

Key words: extended simplified aeration, water deironing, wavy brush filtering

Балинченко Оксана Йосифовна – кандидат технических наук, доцент кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: коррозия и защита водопроводов, защита трубопроводов от накипи.

Пузик Игорь Викторович – магистрант ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: удаление железа из природных подземных вод.

Балінченко Оксана Йосипівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри водопостачання, водовідведення та охорони водних ресурсів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: корозія і захист водопроводів, захист трубопроводів від накипу.

Пузік Ігор Вікторович – магистрант ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: видалення заліза з природних підземних вод.

Balynchenko Oksana – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Water Supply, Sanitation and Protection of Water Resources Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: corrosion and defense of plumbings, defense of pipelines from scum.

Puzyk Igor – Master's student, Water Supply, Sanitation and Protection of Water Resources Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: iron removal from natural underground waters.