

аналитическая система Пех. – Режим доступа: <https://ilex-private.ilex.by/view-document/BELAW/159729>. – Дата доступа: 01.08.2023.

2. Подписано новое тарифное соглашение [Электронный ресурс] / Портал коммунальной грамотности. – Режим доступа: <https://gkx.by/novosti/ofitsialno/4167-podpisano-novoe-tarifnoe-soglashenie>. – Дата доступа: 30.01.2024.

УДК 628.16

О применимости эжектирующих устройств при обработке подземных вод для малых населенных пунктов

Велого Е.С.¹, Ющенко В.Д.¹, Козицин Т.В.²

¹Учреждение образования «Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой»,

Новополоцк, Беларусь,

²Частное предприятие «АкваПром», Полоцк, Беларусь

Описаны результаты исследований, проводимых на пилотных установках и производственных напорных фильтрах существующих станций обезжелезивания Витебской области. Представлены расчеты эжекторов и их сравнение с литературными данными. Показаны результаты экспериментов и выводы по эффективности удаления железа, применяя различное водовоздушное соотношение.

В Витебской области Республики Беларусь, несмотря на ежегодное увеличение концентраций аммонийного азота и перманганатной окисляемости в подземной воде, основным загрязняющим элементом остается железо [1].

Аналитический обзор существующих методов обезжелезивания воды при малом водопотреблении показывает, что метод упрощенной аэрации с последующим фильтрованием на напорных песчаных фильтрах считается наиболее простым и дешевым методом удаления железа [2; 3]. А поскольку задачей водопроводно-канализационного хозяйства является использование доступных материалов и надежных технологий, то наиболее часто применяемым основным компонентом при аэрации подземных вод является кислород воздуха. Но, как показывает практика эксплуатации напорных фильтров станций обезжелезивания для малых населенных пунктов, уровень его содержания в большинстве случаев недостаточен даже для выполнения нормированных требований при удалении общего железа.

Именно поэтому для требуемой степени очистки подземных вод необходимо правильно рассчитать и применить количество растворенного кис-

лорода в воде для полного окисления не только железа, но и сопутствующих загрязнений.

Для аэрации воды в напорных условиях применяются эжекторы или компрессоры.

Эжекторы являются практически реакторами идеального смешения, их отличает простота конструкции, несложности ремонта и обслуживания, отсутствие подвижных деталей [4]. Однако в силу конструктивных особенностей эжектор адекватно функционирует только при высокой скорости движения воды и создании большого перепада давления между входом и выходом из него. Недостаточная скорость движения воды через сопло эжектора не способна обеспечить создание локального разрежения на периферии камеры смешивания эжектора, необходимого для поступления воздуха в напорный трубопровод.

Технологическая схема аэрации эжектором может отлично работать, если обеспечить потоку воды нужную стабильность. Но, следует отметить, что к.п.д. эжектора обычно мал и находится в пределах 25–45 %. И, как показывает опыт эксплуатации станций обезжелезивания Витебской области, подбор эжектирующих устройств требует пристального внимания.

Цель данной работы – изучить область применения эжектирующих устройств для аэрации кислородом воздуха подземных вод перед напорными фильтрами с песчаной загрузкой

Задачей исследований явилось определение влияния степени аэрации воды на эффективность удаления железа при смешении воды с воздухом с помощью эжектора, как самостоятельной единицы, а также при наличии струйного аэратора и аэрационной колонны.

Рассмотрим основы подбора эжекторов для аэрации воды. Показателем работы водовоздушного эжектора считается коэффициент эжекции:

$$U = \frac{q_1}{q_2} \quad (1)$$

где q_1 – расход воды через напорный фильтр, $\text{м}^3/\text{ч}$; q_2 – объем всасываемого воздуха за единицу времени, $\text{м}^3/\text{ч}$.

Этот коэффициент для водовоздушных эжекторов малой производительности по воде зависит от ее производительности, перепада давления, и составляет от 0,5–0,8 (при выпуске водовоздушной смеси в атмосферу) до 10 и более, если она направляется на напорные фильтры.

Расчет и подбор водоструйных эжектирующих устройств может производиться по разным методикам, но это относится либо к паровоздушной среде или жидкостным растворам и эмульсиям разного назначения и плот-

ности [5; 6], что практически не относится к процессу аэрации воды при удалении загрязняющих микроэлементов, веществ и соединений.

Для расчета и подбора водовоздушного эжектора, устанавливаемого перед напорными фильтрами, можно применить уравнение Бернулли в условиях реальной жидкости в двух сечениях «до» и «после» сужения в камере смешения потоков:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + \xi \frac{v_2^2}{2g} \quad (2)$$

где v_1, v_2 – скорость воды на входе в эжектор и выходе из сопла, м/с; ξ –

коэффициент сопротивления, в данном случае близок к нулю; $\frac{P_1}{\gamma}, \frac{P_2}{\gamma}$ –

давление в соответствующих сечениях, м. вод. столба.

При малой производительности (~до 10 м³/ч) станции обезжелезивания коэффициент сопротивления ξ стремится к нулю, и тогда последним членом уравнения можно пренебречь и использовать его, как для идеальной жидкости.

Например, определим диаметр сопла и расход воздуха при создании максимального разрежения в камере смешения. Принимая расход воды и давление на входе в эжектор $q_1 = 9,42$ м³/ч ($2,6 \cdot 10^{-3}$ м³/с), $p_1 = 2,11$ бар (21,1 м. вод. столба) и диаметр входа и выхода $d_n = 50$ мм, определим скорость воды перед эжектором, которая составит $v_1 = 1,72$ м/с. Тогда скорость воды в сечении сопла, выраженная из уравнения 2, будет равна $v_2 = 24,8$ м/с. Отсюда диаметр сопла $d_c = 11,6$ мм.

Таким образом, диаметр сопла определяется при известном расходе воды и принятой глубине разрежения (вакуума) в камере смешения.

Расход воздуха будет определяться выражением

$$q_B = v_{cm} d_{cm}^2 \left(1 - \frac{d_c^2}{d_{cm}^2}\right) \frac{\pi}{4}, \quad (3)$$

где d_{cm} и d_c – соответственно диаметр камеры смешения и сопла, м.

В нашем случае диаметр камеры смешения будет составлять 12,8 мм, что обеспечит расход всасываемого воздуха до 1,65 м³/ч. Коэффициент эжекции составит $9,42/1,65 = 5,72$.

По полученным расчетным величинам и каталогу заводов изготовителей подбирается эжектор, принимая погрешность в расхождении не более 5%. Для данного случая ближе всего подходит эжектора марки Mazzei® 1587 [7].

Экспериментальная часть. Эксперименты исследования по удалению железа проводились с использованием эжекторов на реальной подземной воде. Приготовление различных модельных растворов было принято нецелесообразным из-за преждевременного окисления двухвалентного железа при их приготовлении, вследствие чего могут быть получены недостоверные опытные данные.

Аэрация воды производилась помощью эжекторов марки Mazzei®. Были приняты три варианта их работы: только эжектор, дополнительное смешение в струйном аэраторе или аэрационной колонне.

Для сравнения и оценки результатов исследований было принято решение проводить эксперименты на различных объектах Шумилинского, Полоцкого, Россонского и Витебского районах Витебской области, в которых установлены и смонтированы станции водоподготовки, работающие по методу упрощенной аэрации, что позволяет проведение опытов как на пилотной установке, так и в производственных условиях.

Давление исходной воды изменялось работой скважинного насоса. Отбор проб выполняли после напорных фильтров не менее 2-х часов работы пилотной установки и 10-и часов на производственных фильтрах после их выхода на рабочую эффективность.

Все рассматриваемые объекты были разбиты на 4 группы по практически одинаковому составу исходной воды (не менее 2-х объектов на каждую группу).

Первая группа. Состав исходной воды соответствовал следующим параметрам: железо – 1,3–1,5 мг/дм³, аммонийный азот – 0,3–0,5 мг/дм³, перманганатная окисляемость – 3,5–3,7 мгО₂/дм³, величины рН 7,2–7,3 и Eh ≈ 100–110 мВ.

Вторая группа. Состав исходной воды соответствовал следующим параметрам: железо – 2,0–2,3 мг/дм³, аммонийный азот – 0,6–1,0 мг/дм³, перманганатная окисляемость – 3,6–4,0 мгО₂/дм³, величины рН 7,2–7,3 и Eh ≈ 100 мВ

Третья группа. Состав исходной воды соответствовал следующим параметрам: железо – 3,2–3,5 мг/дм³, аммонийный азот – 1,2–2,5 мг/дм³, перманганатная окисляемость – 4,5–5,0 мгО₂/ дм³, величины рН 7,2–7,4 и Eh ≈ 0–90 мВ.

Четвертая группа. Объекты 7, 8. Состав исходной воды соответствовал следующим параметрам: железо – 4,5–5,2 мг/дм³, содержание аммонийно-

го азота – 3,4–3,8 мг/дм³, цветность – 25–35 град. перманганатная окисляемость – 5,2–8,0 мгО₂/ дм³, величины рН 7,4–7,6 и Eh ≈ 64–70 мВ.

Результаты экспериментов представлены на рис. 1–4 (указаны средние значения).

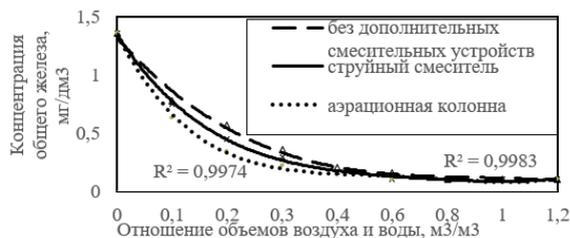


Рис. 1. Снижение концентрации общего железа при аэрации эжектором в зависимости от отношения воздуха и воды по объектам первой группы

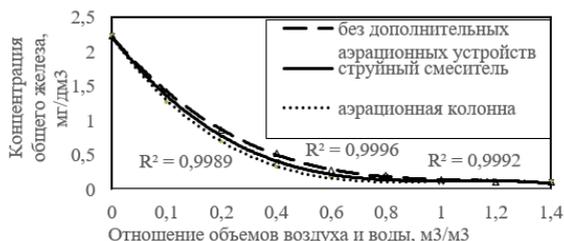


Рис. 2. Снижение концентрации общего железа при аэрации эжектором в зависимости от отношения воздуха и воды по объектам второй группы

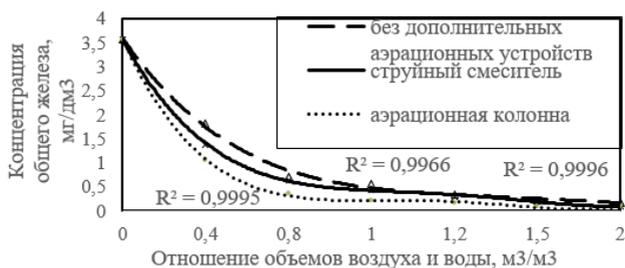


Рис. 3. Снижение концентрации общего железа при аэрации эжектором в зависимости от отношения воздуха и воды по объектам третьей группы

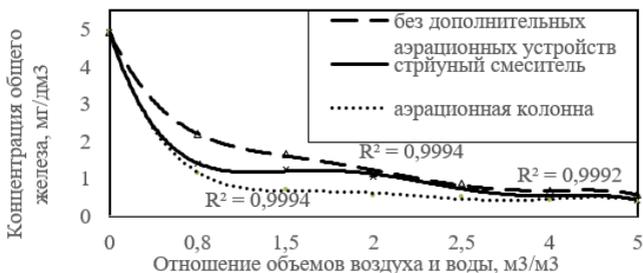


Рис. 4. Снижение концентрации общего железа при аэрации эжектором в зависимости от отношения воздуха и воды по объектам четвертой группы

Результаты проведенных опытов показали:

Эжектор водовоздушного назначения для аэрации воды с последующим фильтрованием в напорных фильтрах с песчаной загрузкой, как самостоятельная единица (без дополнительных смесительных устройств) эффективно работает при концентрации общего железа до 3-х мг/дм³, концентрации аммония до 1,5–1,7 мг/дм³ и окисляемости до 3–4 мгО₂/дм³ в исходной воде. Остаточные концентрации загрязнений в обработанной воде не превышают нормативных показателей, а по общему железу могут быть менее 0,1 мг/дм³.

При таких же условиях применение струйного аэратора незначительно повышает эффективность удаления железа.

Аэрационные колонны гидравлического типа оказывают большое влияние, прежде всего на снижение общего железа с его исходной концентрацией 2–3 мг/дм³.

Однако, при наличии исходной воды сложного состава и больших концентраций загрязнений эжектор желательнее не использовать, так как в фильтрате наблюдается превышение этих показателей, особенно по железу до 1,8, при использовании дополнительного струйного аэратора до 1, а аэрационной колонны 0,7–0,9 мг/дм³.

Литература

1. Ющенко, В. Д. Общая характеристика качественного состава подземных вод на территории Республики Беларусь / В. Д. Ющенко, Е. С. Велюго // сб. науч. Статей Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 26–27 октября 2023 г. / Брест. гос. техн. ун-т; редкол.: А. А. Волчек [и др.]; науч. ред. А. А. Волчек, О. П. Мешик, С. В. Андреюк. – Брест: БрГТУ, 2023. – с. 95–101.

2. Yushchenko, V. / Influence of ammonium nitrogen on the treatment efficiency of underground water at iron removal stations / V. Yushchenko, E. Velyugo, V. Romanovski / Groundwater for Sustainable Development. – 2023.

3. Yushchenko, V. / Development of a new design of deironing granulated filter for joint removal of iron and ammonium nitrogen from underground water / V. Yushchenko, E. Velyugo, V. Romanovski / Environmental Technology (United Kingdom). – 2023. – № 3. – P. 25-29.

4. Николадзе, Г. И. Улучшение качества подземных вод / Г. И. Николадзе, – М.: Стройиздат, 1987. – 240 с.

5. Ефимов, Д. С. Теоретический расчет эжектирования на воде и гидросмеси/ Д. С. Ефимов, Н. В. Реунов, С. А. Тарасьянц// Научный журнал КубГАУ. – 2012. – № 77(03). – С. 1–9.

6. Яценко, А. Ф. Теоретические и экспериментальные исследования водовоздушного эжектора / А. Ф. Яценко, Т. А. Устименко // Научные труды, ДонНТУ. – 2012. – № 23(196). – С. 247–254.

7. Mazzei: Инструмент выбора инжектора: офиц [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mazzei.net/products/venturi-injectors/>. – Дата доступа 25.02.2024.

УДК 628.153.32

Канализационная насосная станция с предварительной очисткой

Роденко А. В.

ООО «Гефлис»

Гомель, Республика Беларусь

Доля нерастворимых веществ в сточных водах постоянно увеличивается, это приводит к тому, что в насосных станциях для перекачивания сточных вод требуются насосы с большим свободным проходом и соответственно увеличивается потребляемая мощность насосов. Чтобы уменьшить потребление электроэнергии и соответственно затраты на жизненный цикл оборудования, в насосных станциях следует применять систему предварительной очистки.

На сегодняшний день при эксплуатации порядка 90 % канализационных насосных станций приходится сталкиваться с рядом проблем:

- моральный и физический износ оборудования и строительных конструкций;
- конструктивная невозможность обеспечения безлюдной технологии;
- конструктивная невозможность работы в режиме затопления;