

борьба с опустыниванием, прекращение и обращение вспять процесса деградации земель и прекращение процесса утраты биологического разнообразия».

УДК 628.35

**В.Л. Еловик, И.В. Войтов,
С.А. Иванов, П.М. Гудинович**

Белорусский государственный технологический университет

ВНЕДРЕНИЕ И ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ БИОХИМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ ОЧИСТКИ АРТЕЗИАНСКИХ ВОД ДЛЯ НУЖД ХОЗЯЙСТВЕННО-ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ.

Актуальность вопросов, связанных с обеспечением населения качественной питьевой водой не снизится никогда, а, с учетом ухудшающейся всеобщей экологической обстановки, будет только повышаться. Сегодня, к сожалению, негативное антропогенное воздействие фиксируется не только на слабозащищенные поверхностные, но и защищенные подземные источники. И выражается это не только в ухудшении качества подземных вод верхних водоносных горизонтов, но и в уменьшении располагаемых запасов воды в них.

Стоимость питьевой воды растет и это заставляет рассматривать вопросы себестоимости наравне с обеспечением качества водоснабжения. Обеспечение населения качественной питьевой водой по минимально возможной стоимости – это та задача, которая сегодня должна решаться при реализации объектов водоподготовки. При этом стоит учитывать тот факт, что минимально возможная стоимость водоснабжения обеспечивается не только минимизацией капитальных затрат на строительство объектов водоснабжения. Эксплуатационные затраты зачастую дают намного более высокую нагрузку на стоимость 1 м³ очищенной воды, нежели все прочие вместе взятые.

Выбор приоритетной технологии и соответствующего оборудования должен основываться не только на сравнении единоразовых затрат на строительство объекта – самое дешевое оборудование далеко не обязательно будет самым дешевым в

эксплуатации. В идеале сравнение конкурирующих технологий необходимо производить на оценке стоимости владения за расчетный период эксплуатации (порядка 10-15 лет). При этом эксплуатационные расходы желательно оценивать на реальном опыте длительной эксплуатации выбираемой технологии и оборудования. В Республике Беларусь с 1999 года действует программа «Чистая вода» в рамках которой построено и запущено в эксплуатацию не одна сотня объектов с использованием различных технологий водоподготовки и конструктивного исполнения технологического оборудования. Фактических статистических данных накоплено много и их можно и нужно использовать при реализации новых проектов.

При наличии большого разнообразия возможных вариантов реализации технологии подготовки питьевой воды для корректного подбора оборудования, соответствующего рассматриваемому объекту, необходимо выполнить ряд мероприятий:

1) Изучить опыт эксплуатации аналогичных объектов с использованием различных методов очистки артезианской воды с оценкой стоимости капитальных затрат на возведение объектов и затрат на его эксплуатацию за длительный период.

2) Провести технологические изыскания у источника водоснабжения с целью подтверждения расчетных показателей: качество очистки, энергоёмкость, потребность в воде на собственные нужды, затраты на химические реагенты и прочие расходные материалы.

3) На основании полученных данных произвести оценку стоимости эксплуатации объекта по приоритетным технологическим решениям за расчетных период (10-15 лет)

4) Сопоставляя размер капитальных и эксплуатационных затрат по рассматриваемым вариантам не сложно определить наиболее оптимальный вариант, который обеспечит действительную минимизацию затрат на нужды водоснабжения.

Ввиду особенностей химического состава подземных вод на территории нашей республики основными показателями, требующими снижения для достижения требований СанПин являются повышенное содержание растворенных железа и марганца. Одной из приоритетных направлений по очистке подобных вод является биохимические технологии удаления железа и марганца. Как показывает многолетний опыт, технология биохимической очистки подземных вод позволяет достичь беспрецедентно низких эксплуатационных затрат за счет полной автоматизации

технологического процесса, малой потребности в воде на собственные нужды, низком удельном энергопотреблении.

Станции обезжелезивания

Безнапорные станции с тяжелой загрузкой. Железобактерии в процессе своего развития образуют на поверхности зерен фильтрующего материала бактериальную пленку. Она может развиваться как в толще загрузки, например, щебеночной, так и преимущественно на ее поверхности при использовании песка. В последнем случае возникает «феномен роста загрузки» характеризующейся увеличением толщины слоя фильтрующего материала. Он проявляется при длительной эксплуатации фильтра за счет роста биомассы железобактерий на поверхности гранул загрузки и зародышевых зернах переизмельченного фильтрующего материала. При этом образуются достаточно прочные гранулы с плотностью, меньше плотности песка, которые представляют собой гранулированный слой биологически активной загрузки (БАЗ). При достаточной толщине весь процесс изъятия железа может завершаться в этом слое, а фильтрующий материал при этом выполняет функцию поддерживающего слоя [1, 2]

Конструктивно такая технология может реализовываться в традиционных открытых фильтрах из железобетона, металла или полимерных материалов. Особое внимание при этом следует обращать на кислородный режим процесса и промывку фильтрующего материала.

Такие технологии рекомендуется использовать при относительно простом составе воды. Их легко реализовать путем реконструкции действующих станций обезжелезивания, работающих по методу упрощенной аэрации. [1, 2].

Безнапорные станции с плавающей загрузкой. Такие станции могут быть одно- и двухступенчатые. Первые включают приемную камеру и фильтры с плавающей загрузкой. Они рекомендуются при относительно не сложном составе обрабатываемой воды, но требующей усиления аэрационно-дегазационных процессов.

Двухступенчатая схема состоит из нескольких блоков, включающих биореактор и три-четыре самопромывающихся фильтров с плавающей загрузкой, выполняющих функцию биофильтров. Она рекомендуется при сложном составе подземных вод (низкое значение рН, высокая окисляемость, наличие аммония, высокое содержание железа, СО₂, и др.). На первой ступени обеспечивается интенсивная управляемая аэрация и дегазация

поступающей воды, развитие биопленки на поверхности полимерной загрузки и биологическое окисление, и удаление основной массы железа. На второй ступени происходит доокисление двухвалентного железа и удаление выносимых из биореактора продуктов биоокисления [3, 4].

Все корпусные элементы, загрузка и коммуникации станций такого типа выполняются из полимерных конструкционных материалов с отдельными элементами из нержавеющей стали. Отсутствие промежуточных перекачек, промывных насосов, химических реагентов и полная автоматизация технологических процессов обеспечивают уникально низкое удельное энергопотребление (0,005 – 0,01 кВт*ч/м³) и минимальные эксплуатационные затраты. Объем промывных вод не превышает 1-1,2% от объема очищаемой воды.

Напорные станции. По технологическому принципу работы такие станции не отличаются от безнапорных. Фильтры изготавливаются из металла с усиленным антикоррозионным покрытием. В качестве загрузки (поддерживающего слоя) используется кварцевый песок. Для быстрого ввода станции в эксплуатацию используется добавка БАЗ из фильтров других станций.

Отличительной особенностью данного типа станций является оригинальная система эжекторной аэрации, обеспечивающая стабильное соотношение вода-воздух и равномерное распределение воды по всем фильтрам независимо от гидравлического сопротивления загрузки [5]. Выравнивание и стабилизация скорости фильтрования и концентрации растворенного кислорода наряду с другими оригинальными конструктивными решениями повышают эффективность удаления железа, увеличивают фильтроцикл и снижают расход промывной воды.

Контейнерные станции. В станциях этого типа сохранены все положительные технологические и конструктивные решения напорных станций. Отличительной их особенностью являются компоновочные решения, позволяющие производить и поставлять станции обезжелезивания полной заводской готовности в одиночных или спаренных транспортируемых контейнерах.

В зависимости от существующей или проектируемой схемы водозабора контейнерные станции выпускаются трех модификаций:

- работа на водонапорную башню (промывка фильтров из башни);

- работа на резервуары чистой воды (комплектуется резервуарами запаса промывной воды и промывными насосами);

- работа непосредственно на водопроводную сеть (комплектуется встроенным или выносным РЧВ, промывными насосами и насосной станцией 2-го подъема с частотным регулированием давления в сети).

Работа станции полностью автоматизирована. При необходимости в схему автоматики включается скважина, РЧВ или водонапорная башня, обеспечивая автоматизацию и диспетчеризацию всего комплекса водозаборного узла.

Несомненным достоинством контейнерных станций являются высокое качество изготовления и монтажа, контролируемые в заводских условиях, сокращение сроков ввода объекта в эксплуатацию, минимизация подготовительных, строительных и монтажных работ.

Станции для удаления железа и (или) марганца

В большинстве подземных вод марганец встречается как элемент, сопутствующий наличию железа. Его концентрация обычно ниже концентрации железа, но может превышать допустимые нормы в 5, 10 и более раз. В отличие от железа двухвалентный марганец устойчив к химическому окислению кислородом при $pH < 8,5$. Но подавляющее число железобактерий способно окислять и марганец [4, 6-11]. В основе этих процессов лежит перекисный механизм, который объясняет возможность биологического окисления марганца при pH близкой к нейтральной, соответствующей большинству подземных вод.

В связи с особенностями механизмов биологического окисления железа и марганца при их совместном присутствии их удаление происходит последовательно. Окисление марганца не может начаться, пока не закончится окисление железа. Поэтому в большинстве случаев рекомендуется двухступенчатые схемы удаления этих соединений [10, 11].

Нашими исследованиями и опытом эксплуатации эти положения полностью подтвердились. Но при определенных условиях и соотношении концентраций железо/марганец возможно обеспечить удаление этих соединений в одном сооружении.

В связи с тем, что окисление железа и марганца осуществляется одними и теми же видами микроорганизмов, то для их удаления используются технологические и конструктивные схемы, аналогичные удалению железа. При этом необходимо учитывать то обстоятельство, что если период выхода на рабочий режим станции обезжелезивания составляет от одного до 10 дней, то для

достаточного развития марганцеокисляющих бактерий может потребоваться от одного до шести месяцев. Можно сократить этот срок, используя фильтрующую загрузку, заселенную такими бактериями с других подобных станций. Весьма важным условием эффективного удаления как железа, так и особенно марганца, является предварительная аэрационно-дегазационная подготовка воды, существенно повышающая рН и окислительно-восстановительный потенциал [4].

Одноступенчатая технологическая схема. Такая схема может применяться при относительно небольших концентрациях железа и марганца, нейтральной либо слабощелочной реакцией рН, низких значениях CO_2 , отсутствием сероводорода и других мешающих веществ.

В основу этой технологии положен процесс последовательного развития железо- и марганцеокисляющих бактерий на поверхности зерен фильтрующей загрузки по направлению прохождения очищаемой воды. При этом скорость фильтрования должна быть такой, чтобы при фильтровании сверху-вниз в верхней зоне начинался и заканчивался процесс окисления железа, а в нижней – марганца.

Эта технологическая схема может реализоваться в фильтрах с тяжелой (песчаной) загрузкой как в напорном, так и безнапорном вариантах, при выполнении указанных выше условий.

Двухступенчатая технологическая схема. При сложном составе подземных вод с низким значением рН, повышенном содержанием CO_2 , и других, растворенных газов и соединений, совместное удаление железа и марганца в одну ступень невозможно. Одной из важнейших операций при этом является предварительная аэрационно-дегазационная подготовка воды, которую практически невозможно реализовать в напорных схемах. Поэтому нами рекомендуется безнапорная двухступенчатая технологическая схема очистки таких подземных вод.

Двухступенчатая схема включает биореактор и фильтры с плавающей загрузкой [4].

Биореактор технологически разделен на три зоны: верхняя, со специальной орошаемой загрузкой и искусственной вентиляцией; средняя, представляющая затопленный биофильтр; нижняя зона отстаивания. В верхней зоне биореактора обеспечиваются усиленная аэрация и дегазация, позволяющие существенно повысить рН и Eh, определяющие скорости последующих биологических процессов. В средней зоне происходит практически полное окисление железа, а в отстойной зоне задерживается не менее 60-70% продуктов его окисления. Таким образом, снижается нагрузка по железу на вторую

ступень и создаются условия для развития марганцеоксилирующих бактерий.

На гранулах загрузки фильтров 2-й ступени образуется биопленка, обеспечивающая изъятие и окисление двухвалентного марганца.

Схемой предусмотрены автоматические промывки биореакторов и фильтров с учетом особенностей регенерации как загрузки биореакторов, так и фильтрующей загрузки фильтров. Для первых используется водо-воздушная промывка поступающей исходной водой, для вторых – очищенной из надфильтрового пространства без применения промывных насосов.

Такая схема обеспечивает минимальные эксплуатационные затраты. Удельный расход электроэнергии не превышает 0,015-0,02 кВт*ч/м². Концентрации железа и марганца при соответствующих режимах снижаются до значений, значительно ниже нормативных (марганец до следовых значений).

Список использованных источников

1. Седлуха С.П., Софинская О.С. Биологический метод очистки подземных вод от железа // Вода и экология: проблемы и решения. – 2001. №1 – С. 13-21.
2. Седлуха С.П. Способ обезжелезивания подземных вод // Патент ВУ 1416 от 1996.
3. Седлухо Ю.П., Иванов С.А., Еловик В.Л. Биологическая очистка подземных вод от железа, марганца и сероводорода – опыт Беларуси // Вода Magazine – 2016, №7(107) – С. 10-15
4. Седлухо Ю.П. Влияние аэрационно-дегазационных процессов на свойства подземных вод и технологии их биологического обезжелезивания и деманганации // Вода. – 2012, №7-8(181).
5. Седлуха С.П., Иванов С.А. Установка для обезжелезивания подземной воды // Патент ВУ 10695 от 2008.
6. Виноградский С.Н. Микробиология почвы: проблемы и методы. Пятьдесят лет исследований. – М.: Изд-во АН СССР, 1952. - 792 с.
7. Холодный Н.Г. Железобактерии. – М.: Изд-во АН СССР, – 224 с.
8. Горленко В.М., Дубинина Г.А., Кузнецов С.И. Экология водных микроорганизмов. – М.: Наука, 1977. – 288 с.
9. Терентьев В.И. Павловец Н.М. Биотехнология очистки воды: в 2-х ч. Ч.1. – СПб.: Гумманистика, 2003. – 272 с.

10. Degremont. Технический справочник по обработке воды. В 2 т.– СПб.: Новый журнал. 2007г.
11. Журба М.Г. и др. Биохимическое обезжелезивание и деманганация подземных вод // Водоснабжение и санитарная техника. – 2006, №9. – С. 17-23.

УДК 001.891:004.384

**А.В. Тузиков, В.М. Матюшенко, С.В. Медведев,
В.Г. Медведева, О.П. Чиж**
Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси
А.А. Гришкевич, В.В. Раповец
Белорусский государственный технологический университет

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ИНЖЕНЕРНОГО ГРИД- СЕКМЕНТА

В последнее время среди ученых и специалистов машиностроительной и деревообрабатывающей отраслей приобретает популярность концепция прогнозной инженерной деятельности на базе масштабного использования информационно-коммуникационных и суперкомпьютерных технологий.

В рамках научно-технического проекта «Развитие инфраструктуры суперкомпьютерных центров в интересах инновационного развития стран-участниц СНГ» (ГРИД-СНГ) Межгосударственной программы инновационного сотрудничества государств – участников СНГ на период до 2020 года в «Объединенном институте проблем информатики НАН Беларуси» (ОИПИ НАН Беларуси) разработано и апробировано семейство персональных кластеров СКИФ-ОФИС, полностью совместимых с предыдущими моделями суперкомпьютеров СКИФ-ГЕО-ЦОД. Персональные кластеры создают весомую техническую предпосылку для разработки и эффективного использования научно-образовательных грид-сегментов различной предметной направленности.

В трактовке авторов «Научно-образовательный инженерный грид-сегмент» – это распределенная организационно-техническая структура, включающая в себя на нижнем уровне персональные