DOI: 10.25515/PMI.2017.5.608

УДК 628.16

РАЗРАБОТКА РАЦИОНАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ВОДООЧИСТКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ НАУЧНО ОБОСНОВАННЫХ РАСЧЕТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ИСХОДНОЙ ВОДЫ

А.С.ТРЯКИНА
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, г. Макеевка

В статье рассматривается выбор рациональной технологической схемы водоочистки на основе научно обоснованных расчетных показателей качества воды, поступающей на водопроводные очистные сооружения. В соответствии с полученными ранее расчетными значениями показателей качества исходной воды осуществляется выбор основных очистных сооружений. Более рациональной схемой для современного качества воды канала Северский Донец – Донбасс является двухступенчатое фильтрование на контактных префильтрах и скорых фильтрах. В статье предлагается выбор мероприятий по снижению такого показателя качества воды, как перманганатная окисляемость. Наиболее подходящей для этих целей является сорбционная очистка с использованием гранулированного активированного угля для фильтрования воды. Актуальным является повышенная жесткость воды. Для снижения жесткости воды был выбран метод ионного обмена на натрий-катионитных фильтрах. Была выполнена оценка реагентов для обеззараживания воды. В результате для обработки воды выбран гипохлорит натрия, который обладает рядом преимуществ перед хлором и сохраняет необходимое последействие в отличие от озона. Предложена технологическая схема с двухступенчатой очисткой на контактных префильтрах и двухслойных скорых фильтрах (гранулированный активированный уголь – кварцевый песок) с обеззараживанием гипохлоритом натрия и умягчением части воды на натрий-катионитных фильтрах. Данная технологическая схема очистки при любых колебаниях качества исходной воды способна давать очищенную воду, соответствующую требованиям действующих санитарно-гигиенических нормативов. В соответствии с разработанной схемой были обозначены направления и мероприятия по реконструкции действующей Макеевской фильтровальной станции. В рекомендуемой схеме используются более компактные и менее дорогостоящие сооружения, а также добавлены мероприятия для снижения тех показателей качества воды, значения которых ранее соответствовали качеству воды источника водоснабжения.

Ключевые слова: показатели качества воды, технология водоочистки, водопроводные очистные сооружения, рациональная технологическая схема, реконструкция водопроводных очистных сооружений

Как цитировать эту статью: Трякина А.С. Разработка рациональной технологии водоочистки с применением научно обоснованных расчетных показателей качества исходной воды // Записки Горного института. 2017. Т. 227. С. 608-612. DOI: 10.25515/PMI.2017.5.608

Введение. Обеспечение потребителей качественной водопроводной водой является одной из основных функций любого государства. Действующие водопроводные очистные сооружения (ВОС) не всегда соответствуют современному качеству исходной воды. Определяющее влияние на состав очистных сооружений водопровода оказывает расчетный состав воды в источнике водоснабжения. Показатели качества воды в поверхностных источниках обычно испытывают значительные колебания по сезонам года и по годам наблюдений. Нормативные документы [2, 7] требуют назначать состав очистных станций водопровода по максимальным величинам показателей за все годы наблюдений, но не менее трех лет. В ряде случаев это требование приводит к значительному удорожанию очистных станций при их строительстве и эксплуатации. На Украине детально не рассматривался вопрос определения расчетных показателей, которые используются для подбора технологической схемы очистки воды для питьевых целей. В России данным вопросом занимаются Ж.М.Говорова и А.О.Родина. Ж.М.Говоровой была разработана новая методика оценки качества исходной воды, основанная на взаимосвязи индекса показателя качества воды с показателями риска здоровья населения от кратковременного превышения остаточных концентраций лимитируемых ингредиентов в очищенной воде над их ПДК и потенциальными возможностями назначаемой технологической схемы очистки воды [1]. А.О.Родина разработала методику обоснования расчетных показателей качества поверхностных вод при выборе водоочистных технологий с применением риска от химического загрязнения воды [5].

DOI: 10.25515/PMI.2017.5.608

Постановка проблемы. Сооружения Макеевской фильтровальной станции (МФС) не являются актуальными для настоящего качества воды в канале Северский Донец – Донбасс. Таким образом, возникла необходимость разработки наиболее рациональной технологической схемы водоочистки.

Методология исследования. Для выполнения поставленной задачи применялись статистический, расчетно-аналитический методы исследования, сопоставление полученных результатов с результатами близких по характеру исследований, рассматривались работы ученых и специалистов в области водоснабжения.

Результаты и обсуждение. На основании исследования гидрохимического режима канала Северский Донец – Донбасс [6] и математико-статистической обработки данных многолетних наблюдений за качеством воды канала предложены методы выбора расчетных значений показателей качества воды при подборе рациональной технологической схемы очистки [3]. С целью бóльшей надежности сооружений предлагается выбрать следующие значения с обеспеченностью 1 %:

- мутность – 16 мг/л;
- цветность – 26 град.;
- жесткость – 8,8 мг-экв/л;
- перманганатная окисляемость – 9,0 мг/л;
- ОМЧ – 1890;
- коли-индекс – 4200.

Основными сооружениями МФС являются горизонтальные отстойники и скорые фильтры. Эксплуатационная производительность МФС в связи со снижением водопотребления составляет 160000 м³/сут, а проектная – 260000 м³/сут.

В соответствии с рекомендациями [2, 7] осуществляется предварительный выбор основных сооружений, которые являются наиболее рациональными:

– контактные префильтры – скорые фильтры (мутность до 300 мг/л, цветность до 120 град.);

– контактные осветлители (мутность до 70 мг/л, цветность до 70 град.).

Оба варианта технологических схем являются более рациональными для данного качества исходной воды, чем существующая технологическая схема. Устройство горизонтальных отстойников необходимо, когда вода в источнике достаточно мутная (до 1500 мг/л), что в данном случае не соответствует предложенным расчетным значениям. Контактные осветлители являются более компактными по сравнению с горизонтальными отстойниками, их строительство требует меньших затрат, но при одноступенчатой схеме проблематично стабильное обеспечение степени очистки воды по мутности в соответствии с нормативными требованиями.

Так как показатель перманганатной окисляемости превышает ПДК, а впоследствии обеззараживания образуются токсичные хлорорганические вещества, необходимо предусмотреть мероприятия по удалению органических веществ из воды. Для этих целей как вариант можно рекомендовать биологическую предочистку воды, поступающей на очистные сооружения. При биологической очистке природных вод используются управляемые биоценозы, принцип действия которых основывается на поглощении и минерализации гидробионтами взвешенных веществ. При помощи биологической очистки из воды могут быть удалены привкусы, запахи, органические вещества (фенолы, нефтепродукты), аммонийные соединения, железо, марганец, растворенные в воде газы [10]. Но у данного метода есть значительный недостаток – процессы биологической очистки будут протекать нормально при температуре воды не ниже 10 °С. Поэтому очистка воды будет эффективна в теплое время года. Однако для воды канала Северский Донец – Донбасс характерно повышенное содержание органических веществ во время весеннего паводка, когда температура воды еще ниже 10 °С.

Таким образом, для снижения показателя перманганатной окисляемости более целесообразным для сорбционной очистки воды будет применение активированного угля [13, 15]. Данный реагент является наиболее распространенным и эффективным адсорбентом в практике водоочистки. Он помогает удалить из воды органические вещества как природного, так и антропогенного происхождения, а также хлорорганические соединения. При проектировании новых очистных сооружений более эффективным способом сорбционной очистки будет создание угольных фильтров в качестве последней ступени очистки перед вторичным обеззараживанием. Но так как

DOI: 10.25515/PMI.2017.5.608

в разрабатываемой схеме применяются скорые песчаные фильтры, то предлагается обработка воды путем фильтрования через двухслойный фильтр, где первый слой – гранулированный активированный уголь, а второй – кварцевый песок. Однако необходимо учесть, что активированный уголь со временем исчерпывает свою сорбционную способность и для эффективной очистки необходима его регулярная замена.

Расчетное значение жесткости превышает ПДК, поэтому необходимо рассмотреть мероприятия по умягчению воды на ВОС. Под умягчением воды понимается снижение содержания солей кальция и магния в поступающей воде. Выбор конкретного метода умягчения зависит от качества исходной воды, необходимой степени умягчения и технико-экономических факторов.

Наиболее распространенными методами умягчения являются ионообменный и реагентный методы. Для подготовки питьевой воды нельзя использовать реагентный метод. Известковый или известково-содовый методы не могут быть применены из-за высокого значения pH умягченной воды, поскольку это не допустимо. Остальные реагенты, применяемые в практике умягчения воды, являются либо дорогостоящими, либо токсичными. Поэтому в данном случае наиболее подходящим для умягчения питьевой воды является ионообменный метод, основанный на способности некоторых материалов обменивать катионы, которыми они предварительно заряжены, на содержащиеся в воде катионы, которые обусловливают ее жесткость [9, 13].

В разрабатываемой схеме для снижения общей жесткости воды рекомендуется использовать натрий-катионитные фильтры. Так как жесткость питьевой воды должна быть не более 7 мг-экв/л, а при данном методе умягчения на выходе получаем жесткость до 0,1 мг-экв/л, то предлагается обрабатывать не весь объем воды, очищаемой на станции, а только его часть, и затем подмешивать умягченную воду в общий объем.

Последней и самой основной задачей является выбор наиболее безопасного и эффективного реагента для обеззараживания воды. В рамках данной работы также была рассчитана количественная оценка риска здоровью человека, обусловленного примесями в питьевой воде, и получены результаты, согласно которым основную угрозу здоровью населения несет хлор и его соединения [8]. К сожалению, хлор и до сегодняшнего дня является наиболее эффективным дезинфицирующим реагентом, не требующим значительных капитальных вложений, поэтому особой альтернативы его использованию нет, но возможно использование более безопасных реагентов, чем применяемый сейчас жидкий хлор.

Наиболее сильным окислителем является озон, он разрушает ферменты бактерий почти в 20 раз быстрее хлора. Озонирование [14] обладает широким спектром действия и является комплексным методом обработки воды. Тем не менее в технологических схемах, применяющихся для обеззараживания озона, все равно применяется обработка хлорсодержащими дезинфектантами, так как только хлор обладает необходимым последействием.

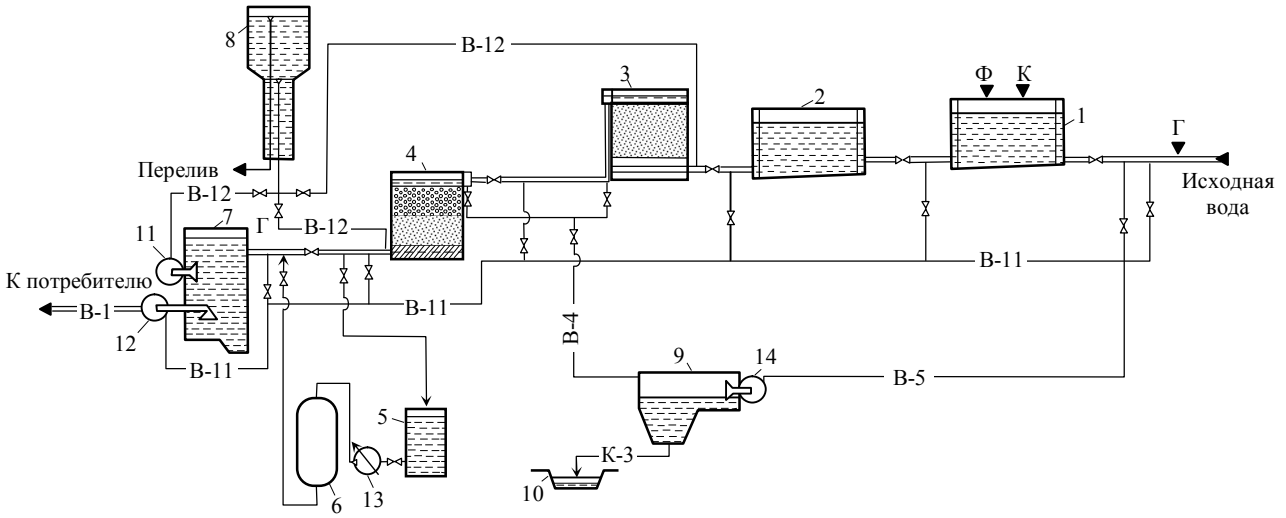
Рассмотрев различные методы обеззараживания, для обработки воды рекомендовано применять гипохлорит натрия [11, 12]. Данный метод не является дорогостоящим, он прост и безопасен в эксплуатации; при обработке гипохлоритом натрия воды, содержащей органические вещества, образуется меньшее количество побочных продуктов дезинфекции. Вопрос удаления вторичных продуктов дезинфекции можно решить при помощи сорбционной очистки.

В результате разработана технологическая схема двухступенчатой очистки на контактных префильтрах и двухслойных скорых фильтрах (гранулированный активированный уголь – кварцевый песок) с обеззараживанием гипохлоритом натрия и умягчением части воды на натрий-катионитных фильтрах.

Данная технологическая схема очистки является наиболее рациональной для качества воды канала Северский Донец – Донбасс и при любых колебаниях качества исходной воды способна давать очищенную воду, соответствующую требованиям действующих санитарно-гигиенических нормативов.

В настоящее время на МФС эксплуатационная производительность ниже проектной на 40 %, эта тенденция наблюдается на протяжении последних 15 лет. В случае реконструкции данной станции при двухступенчатом фильтровании можно часть скорых фильтров переоборудовать под контактные префильтры, а остальные контактные префильтры возвести на базе

DOI: 10.25515/PMI.2017.5.608



Рациональная технологическая схема водопроводных очистных сооружений

1 – перегородчатый смеситель, 2 – контактная камера, 3 – контактные префильтры, 4 – двухслойные скорые фильтры, 5 – бак умягчаемой воды, 6 – натрий-катионитные фильтры, 7 – резервуар чистой воды, 8 – башня промывной воды, 9 – резервуар-усреднитель, 10 – шламонакопитель, 11 –насос подачи промывной воды, 12 – насосная станция второго подъема, 13 – насос подачи воды на умягчение, 14 – насос возврата промывной воды; Г – подача гипохлорита натрия, К – подача коагулянта, Ф – подача флокулянта; В-1 – хозяйственно-питьевой трубопровод, В-4 – подающий трубопровод производственной возвратной воды, В-5 – обратный трубопровод производственной возвратной воды, В-11 – аварийный трубопровод, В-12 – трубопровод подачи промывной воды, К-3 – трубопровод сточной воды

существующих горизонтальных отстойников. Следует отметить, что двухступенчатое фильтрование гарантированно обеспечивает снижение мутности воды до нормативных санитарных требований.

Переоборудование скорых фильтров в контактные осветлители не встречает особых затруднений и требует сравнительно небольших изменений отдельных узлов, переоборудование горизонтальных отстойников решается путем разделения их на отдельные ячейки контактных осветлителей и не встречает принципиальных трудностей, однако требует проведения значительных строительных работ. Переоборудование всех действующих сооружений в контактные осветлители, включая и отстойники, позволит интенсифицировать работу существующих водоочистных сооружений еще в бóльшей степени [4].

Для борьбы с повышенным содержанием органических веществ на МФС рекомендуется применить сорбционную очистку на двухслойных скорых фильтрах (первый слой – гранулированный активированный уголь, второй – кварцевый песок). Устройство двухслойных фильтров состоит из действующих скорых фильтров дополнительного слоя из активированного угля. Для нормальной работы фильтров необходима замена активированного угля не реже, чем один раз в год.

С целью снижения общей жесткости в технологическую схему очистки воды на МФС рекомендуется внедрить метод ионного обмена на натрий-катионитных фильтрах. В данном случае будет обрабатываться не весь объем очищаемой на станции воды, а только его часть. Учитывая, что расчетная производительность МФС составляет 160000 м³/сут, жесткость исходной воды 8,94 мг-экв/л, жесткость очищенной воды 7 мг-экв/л, расчетный расход умягчаемой воды составит 35000 м³/сут. Затем вода со сниженной жесткостью будет подмешиваться в остальную воду. Таким образом, жесткость очищенной воды будет соответствовать нормативным требованиям.

На МФС отсутствует система обработки осадка и использования промывных вод фильтров, поэтому при реконструкции необходимо это учитывать и запроектировать данную систему. При двухступенчатой очистке промывные воды от фильтров через песколовку поступают в резервуар-усреднитель и затем направляются в начало очистных сооружений. В резервуарах-усреднителях может осуществляться отстаивание промывных вод. Осадок, образующийся в резервуарах, направляется в сгустители, а затем на площадки обезвоживания или в шламонакопители.

Заключение. В результате проведенных исследований можно сделать вывод, что технологическая схема, полученная с применением научно обоснованных расчетных значений показателей качества воды, является более рациональной в сравнении с действующей техноло-

DOI: *10.25515/PMI.2017.5.608*

гической схемой Макеевской фильтровальной станции. В рекомендуемой схеме используются более компактные и менее дорогостоящие сооружения, а также добавлены мероприятия для снижения тех показателей качества воды, значения которых ранее соответствовали качеству воды источника водоснабжения. Для обеззараживания рекомендуется использовать гипохлорит натрия, который имеет некоторые преимущества перед жидким хлором, который применяется в данный момент. В новой схеме необходимо предусмотреть систему обработки осадка и промывных вод фильтров.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Говорова Ж.М.* Обоснование и разработка технологий очистки природных вод, содержащих антропогенные примеси : Автореф. дис. … д-ра техн. наук / НГМ «ВОДГЕО». М., 2004. 45 с.

2. ДБН В.2.5-74:2013. Державні будівельні норми. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Уведено вперше ; чинні від 2014-01-01. Київ: Мінрегіон України, 2013. 172 с.

3. *Найманов А.Я.* Обоснование расчетного состава воды при выборе технологической схемы очистки на основании многолетних наблюдений / А.Я.Найманов, А.С.Трякина // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури: Інженерні системи та техногенна безпека. 2015. Вип. 5(115). С. 59-67.

4. Повышение эффективности работы сооружений при очистке питьевой воды / С.М.Эпоян, Г.И.Благодарная, С.С.Душкин, В.А.Сташук / Харьковская национальная академия городского хозяйства. Харьков, 2013. 190 с.

5. *Родина А.О.* Обоснование показателей качества поверхностных вод при выборе водоочистных технологий с применением теории риска : Автореф. дис. … канд. техн. наук / Вологодский технический университет. Вологда, 2005. 22 с.

6. *Сатин И.В.* Исследование гидрохимического режима канала Северский Донец – Донбасс / И.В.Сатин, А.С.Трякина // Вісник Донбаської національної академії будівництва та архітектури: Інженерні системи та техногенна безпека. 2014. Вип. 5(109). С. 5-11.

7. СП 31.13330.2012. Свод правил. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84*. Введ. 2013-01-01. М.: Минрегион России, 2012. 124 с.

8. *Трякина А.С.* Количественная оценка риска угрозы здоровью человека, обусловленного примесями в питьевой воде // Строительство и архитектура. Ч.2: Современные проблемы промышленного и гражданского строительства: Материалы Международной научно-практической конференции: тезисы докладов. Ростов н/Д / Рост. гос. строит. ун-т, 2015. С. 353-356.

9. *Cinar S.* Ion exchange with natural zeolites: an alternative for water softening? / S.Cinar, B.Beler-Baykal // Water science and technology. 2005. Vol. 51 (11). P. 71-77.

10. *Heinicke G.* Biological pre-filtration and surface water treatment. Microbial barrier function and removal of natural inorganic and organic compounds : thesis for the degree of doctor of philosophy / Gerald Heinicke. Goteborg, Sweden, 2005. 69 p.

11. *Miller F.A.* Disinfection with Liquid Sodium Hypochlorite: Principles, Methods, and Lessons Learned // Florida Water Resources Journal. 2012. Vol. 27. P. 4-8.

12. *Somani S.B.* Disinfection of water by using sodium chloride and sodium hypochlorite // S.B.Somani, Dr. N.W.Ingole , Dr. N.S.Kulkarni // Journal of Engineering Research and Studies. 2011. Vol. 2. Iss. 4. P.40-43.

13. *Tansel B.* New Technologies for Water and Wastewater Treatment: A Survey of Recent Patents // Recent Patents on Chemical Engineering. 2008. Vol. 1. P.17-26.

14. *Teo K.C.* Destruction of model organic pollutants in water using ozone, UV and their combination (Part l) / K.C.Teo, C.Yang, R.J.Xie, N.K.Goh, L.S.Chia // Water science and technology. 2002. Vol. 47 (1). P.191-196.

15. *Wang C.-K.* Evaluation of granular activated carbon adsorber design criteria for removal of organics based on pilot and small-scale studies / Chang-Keun Wang, Sang-Eun Lee // Water science and technology. 1997. Vol. 35 (7). P. 227-234.

Автор **А.С.Трякина**, *ассистент, 1410alena@mail.ru* (*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, г. Макеевка*).
Статья принята к публикации 17.07.2017.