

*В печать*  
*22.01.18 г.*

*На правах рукописи*



**Трякина Алена Сергеевна**

**ОБОСНОВАНИЕ РАСЧЕТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ВОДЫ ПРИ  
ВЫБОРЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ ВОДООЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

05.23.04 - водоснабжение, канализация, строительные системы охраны  
водных ресурсов

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Макеевка – 2017



Работа выполнена на кафедре городского строительства и хозяйства в ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», г. Макеевка.

**Научный руководитель:**

доктор технических наук, профессор  
**Найманов Аубекир Ягопирович**

**Официальные оппоненты:**

доктор технических наук, доцент  
**Щербаков Владимир Иванович,**  
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный  
технический университет»,  
профессор кафедры гидравлики,  
водоснабжения и водоотведения;

кандидат технических наук  
**Федотов Роман Валерьевич,**  
ФГБОУ ВО «Южно-Российский  
государственный политехнический университет  
(НПИ) имени М.И. Платова», г. Новочеркасск,  
доцент кафедры водного хозяйства, инженерных  
сетей и защиты окружающей среды.

**Ведущая организация:**

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего  
образования «Крымский федеральный  
университет имени В.И. Вернадского»,  
г. Симферополь.

Защита состоится «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 г. в \_\_\_\_\_ часов на заседании  
диссертационного совета Д 01.005.01 при ГОУ ВПО «Донбасская национальная  
академия строительства и архитектуры» по адресу: 286123, г. Макеевка, ул.  
Державина, 2, зал ученого совета.

Тел. факс: +38(0623) 22-77-19, e-mail: d01.005.01@donnasa.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУ ВПО «Донбасская  
национальная академия строительства и архитектуры» по адресу: 286123,  
г. Макеевка, ул. Державина, 2 (<http://donnasa.ru>).

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 г.

Учёный секретарь

диссертационного совета Д 01.005.01



Удовиченко Злата Викторовна

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Актуальность темы исследования.**

Обеспечение потребителей качественной питьевой водой является для государства одним из важных направлений его деятельности, от которого зависят условия и уровень жизни населения. Качество водоснабжения в значительной степени зависит от качества очистки природной воды на водопроводных очистных сооружениях.

Определяющее влияние на выбор основных сооружений станции водоочистки оказывает расчетный состав воды в источнике водоснабжения. Показатели качества воды в поверхностных источниках обычно испытывают значительные колебания, как по сезонам года, так и по годам наблюдений. Нормативные документы требуют выбирать основные сооружения очистных станций водопровода по максимальным величинам показателей за все годы наблюдений, но не менее трех лет. Это требование приводит, в ряде случаев, к удорожанию очистных станций при их строительстве и эксплуатации.

В частности, в реке Северский Донец за весь период наблюдений (около 100 лет) один раз наблюдалась мутность воды  $600 \text{ мг/дм}^3$  (1956 год). В остальные же годы мутность не превышала значений  $50\text{-}60 \text{ мг/дм}^3$ . Согласно требованиям нормативных документов, используя максимальные значения показателей качества воды, при выборе основных сооружений очистки воды проектными организациями были подобраны горизонтальные отстойники и скорые фильтры. Данный комплекс сооружений из-за применения отстойников является весьма дорогостоящим при строительстве.

Очевидно, что использование максимальных значений показателей качества воды недостаточно обосновано. Поэтому для снижения затрат на комплекс водоочистных сооружений требуется научное обоснование выбора величин расчетных показателей качества воды, которые будут меньше наблюдаемых максимальных значений, с параллельным поддержанием санитарной надежности разрабатываемых сооружений.

### **Степень разработанности темы.**

В Украине детально не рассматривался вопрос определения расчетных показателей, которые используются для подбора технологической схемы очистки воды для питьевых целей. В Российской Федерации Говоровой Ж.М. была разработана новая методика оценки качества исходной воды, основанная на взаимосвязи индекса показателя качества воды (ИКВ) с показателями риска для здоровья населения от кратковременного превышения остаточных концентраций лимитируемых ингредиентов в очищенной воде над их ПДК и потенциальными возможностями назначаемой технологической схемы очистки воды. Также в Российской Федерации Родина А.О. разработала методику обоснования расчетных показателей качества поверхностных вод при выборе водоочистных технологий с применением уровня риска от химического загрязнения воды. Однако вопрос о выборе расчетного состава воды по данным многолетних наблюдений остался освещенным недостаточно.

### **Связь работы с научными программами, планами, темами.**

Работа выполнена в рамках Общегосударственной программы «Питьевая вода Украины» на 2011-2020 годы, утвержденной Законом Украины от 20 октября

2011 года № 3933-VI, которая направлена на реализацию государственной политики обеспечения населения качественной питьевой водой в соответствии с Законом Украины «О питьевой воде и питьевом водоснабжении».

Тема диссертационной работы соответствует направлению исследований кафедры «Городское строительство и хозяйство» ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры».

Исследования выполнялись в рамках госбюджетных научно-исследовательских работ Д-2-06-11 «Разработка модели комплексной оценки и обеспечения надежности систем водоснабжения и водоотведения при проектировании и эксплуатации» (№ госрегистрации 0111U001806) (2011-2012 гг.), Д-1-01-13 «Организационно-экономические основы градостроительства, территориального и стратегического планирования» (№ госрегистрации 0113U001917) (2013-2015 гг.) и кафедральной темы К-3-04-14 «Разработка теоретических и технологических мероприятий по повышению экологической безопасности и надежности городских транспортных и инженерных систем» (№ госрегистрации 0117D000276) (2014-2018 гг.).

**Цель работы.** Разработка научно обоснованного метода выбора расчетного состава воды в источнике водоснабжения, используемого для подбора технологической схемы ее очистки для питьевых целей.

**Задачи исследования:**

- сбор, систематизация и создание электронной базы данных по качеству воды канала Северский Донец – Донбасс;
- изучение и выявление закономерностей гидрохимического режима источника водоснабжения (на примере канала Северский Донец – Донбасс);
- научное обоснование выбора расчетных значений показателей качества воды для подбора рациональной технологической схемы очистки;
- научное обоснование определения минимальной продолжительности периода, за который производится сбор данных по качеству исходной воды;
- разработка рациональной технологической схемы водопроводных очистных сооружений.

**Объект исследования** – показатели качества поверхностных вод, используемых для питьевых целей.

**Предмет исследования** – научное обоснование выбора расчетных показателей качества воды по данным многолетних наблюдений, используемых для проектирования водоочистных сооружений.

**Научная новизна полученных результатов:**

- впервые научно обоснован выбор расчетного состава воды, применяемого при проектировании водопроводных очистных станций, на основании многолетних наблюдений, что позволяет снизить максимальные расчетные значения показателей качества воды с одновременным поддержанием санитарно-гигиенической надежности очистных сооружений;
- выявлено, что распределения данных по таким показателям качества исходной воды, как цветность, перманганатная окисляемость и жесткость, соответствуют нормальному закону, а по мутности и бактериологическим

показателям соответствуют показательному закону, что позволяет при необходимости осуществить прогнозирование недостающих значений;

- научно обосновано определение минимальной продолжительности периода, за который производится сбор данных по качеству исходной воды при подборе технологии водоочистки, что позволяет при ограниченном количестве данных получить более достоверные результаты;

- предложена научно обоснованная технологическая схема очистных сооружений для подготовки питьевой воды (на примере Макеевской фильтровальной станции), которая является более рациональной в сравнении с действующей схемой.

### **Теоретическая и практическая значимость диссертационной работы.**

Теоретическая значимость результатов исследований:

- разработано научное обоснование метода выбора расчетного состава воды для проектирования водопроводных очистных сооружений;

- подведена научная база под определение минимальной продолжительности срока наблюдений за качеством воды в источнике водоснабжения для выбора расчетного состава воды.

Практическая значимость результатов исследований:

- получены научно обоснованные значения расчетных показателей качества воды и определена минимальная продолжительность периода, за который производится сбор данных по качеству воды канала Северский Донец – Донбасс;

- определено, что существующие методы очистки питьевой воды на Макеевской фильтровальной станции по ряду показателей недостаточно эффективны, так как употребление воды населением длительное время может привести к риску угрозы его здоровью;

- разработана рациональная технологическая схема водопроводных очистных сооружений с учетом разработанных методов выбора расчетного состава воды, являющаяся более экономически эффективной в сравнении с действующей;

- разработаны рекомендации по реконструкции действующих очистных сооружений Макеевской фильтровальной станции;

- материалы диссертационной работы включены в рабочую программу учебной дисциплины «Водоснабжение (Водопроводные очистные сооружения)» для подготовки бакалавров по направлению «Строительство», профиль «Водоснабжение, водоотведение»;

- материалы диссертационной работы включены в рабочую программу учебной дисциплины «Городские инженерные сети» для подготовки бакалавров по направлению «Строительство», профиль «Городское строительство и хозяйство»;

- результаты диссертационной работы внедрены на предприятии КП «Компания «Вода Донбасса».

### **Методология и методы исследования.**

В процессе выполнения работы автором был применен системный подход к анализу вопросов, связанных с качеством воды источников и процессов водоочистки. В ходе выполнения расчетно-аналитических исследований использовались численные методы обработки данных, методы математической

статистики. Выполнено сопоставление полученных результатов с результатами близких по характеру исследований, опубликованных в научно-технической литературе.

**Личный вклад соискателя** включает постановку цели и задач исследования, создание электронной базы данных суточных, среднемесячных показателей качества воды, поступающей на Макеевскую фильтровальную станцию, а также среднемесячных показателей качества очищенной воды, разработку метода выбора расчетного состава воды, применяемого при подборе технологии очистки, метода определения минимальной продолжительности периода, за который производится сбор данных по качеству исходной воды при выборе расчетных значений показателей качества воды, разработку рациональной технологической схемы водоочистки для воды канала Северский Донец - Донбасс.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

- результаты математико-статистической обработки многолетних данных по качеству воды канала Северский Донец – Донбасс;
- научно обоснованный подход к выбору расчетного состава воды при проектировании очистных станций водопровода;
- научно обоснованный подход к определению минимальной продолжительности периода, за который производится сбор данных по качеству исходной воды при выборе технологии очистки;
- рациональная научно обоснованная технологическая схема водопроводных очистных сооружений.

**Степень достоверности и апробация результатов диссертационной работы.**

Достоверность результатов исследований подтверждается использованием данных натурных наблюдений за качеством воды, полученных в лабораториях, которые имеют соответствующие лицензии и аккредитацию, применением современных методов обработки статистической информации и современного программного обеспечения для обработки данных наблюдений за качеством воды. Достоверность обеспечивается также широкой публикацией работ по данной теме и обсуждением их на конференциях различного уровня.

Основные результаты работы докладывались и обсуждались на: V международном научном семинаре «Методы повышения ресурса городских инженерных инфраструктур» (г. Харьков, 2012 г.); конференции «Вода страны 2013» (г. Прага, Чешская Республика, 2013 г.); Международной научно-практической конференции «Энергоэффективные технологии в городском строительстве и хозяйстве» (г. Одесса, 2013 г.); IV международной конференции «Научно-методическое и практическое обеспечение градостроительства, территориального и стратегического планирования» (г. Макеевка, 2014 г.); Международной студенческой научно-практической конференции «Строительство и архитектура – 2015» (г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация, 2015 г.); Международной научно-практической конференции «Строительство и архитектура – 2015» (г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация, 2015 г.); VII республиканской научно-практической конференции «Современное строительство и архитектура. Энергосберегающие технологии» (г. Бендеры, Приднестровская Молдавская

Республика, 2015 г.); I региональной научно-практической конференции «Возрождение, экология, ресурсосбережение и энергоэффективность инженерной инфраструктуры урбанизированных территорий Донбасса: традиции и инновации» (г. Луганск, Луганская Народная Республика, 2016 г.); VIII республиканской научно-практической конференции «Современное строительство и архитектура. Энергосберегающие технологии» (г. Бендеры, Приднестровская Молдавская Республика, 2016 г.); X международной научно-практической конференции «Технологии очистки воды» «Техновод-2017» (г. Астрахань, Российская Федерация, 2017 г.).

**Публикации.** По материалам диссертации опубликовано 12 научных работ, общим объемом 3,43 а.л., лично автором – 2,84 а.л., в том числе 5 работ опубликованы в изданиях, входящих в перечень специализированных научных изданий, утвержденный МОН Украины; 1 – в издании, входящем в перечень рецензируемых научных изданий, утвержденный ВАК РФ, индексируется в международной наукометрической базе Web of Science Core Collection и базе данных РИНЦ; 5 – в материалах и тезисах конференций; 1 – в других изданиях.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из двух томов. Общий объем первого тома диссертации составляет 128 страниц, из которых 112 страниц основного текста, 13 страниц списка использованных источников, 3 полных страницы с рисунками и таблицами. Второй том содержит 190 страниц приложений к диссертационному исследованию.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** сформулирована актуальность проблемы, определены цели и задачи исследования, приведены научная новизна, достоверность и практическая значимость полученных результатов, перечислены основные положения, выносимые на защиту.

**В первом разделе** приведен аналитический обзор качества поверхностных вод Донецкого региона, используемых для питьевых целей. Основным источником питьевого водоснабжения Донбасса является река Северский Донец, из которой берет свое начало канал Северский Донец – Донбасс общей длиной 131,6 км. Канал представляет собой искусственный водоток с руслом правильной трапециевидной формы и безнапорным движением воды. Основными факторами, влияющими на формирование качества воды в канале, являются качество воды источника, трассирование канала, гидрологический режим, характер русла, параметры поперечного сечения канала, тип крепления откосов, конструкция и режим работы гидротехнических сооружений, метеорологические показатели, грунтовые воды, антропогенные воздействия, гидробиологический режим.

Проведен анализ существующих технологических схем очистки воды из поверхностных источников. Действующие водопроводные очистные сооружения (ВОС) были запроектированы и построены во второй половине прошлого столетия и в настоящее время не всегда способны давать питьевую воду требуемого качества. Связано это с тем, что за это время усилилась техногенная и антропогенная нагрузка на источники водоснабжения. Кроме того, было выявлено, что качество питьевой

воды после традиционной очистки с обеззараживанием хлором зачастую ухудшается в результате образования побочных продуктов дезинфекции. Назрела необходимость реконструкции или улучшения работы действующих ВОС.

При выборе технологической схемы очистки воды для питьевых целей первоначально необходимо определить расчетные показатели качества воды в источнике, которые испытывают постоянные колебания по годам и сезонам года. Нормативные документы рекомендуют принимать максимальные значения показателей качества воды для проектирования ВОС. Это приводит к необоснованному завышению капиталовложений на комплекс водоочистных сооружений. Необходима разработка научно обоснованного подхода к выбору расчетного состава воды по данным многолетних наблюдений.

**Во втором разделе** представлена характеристика методов исследования. Данные по качеству воды в канале Северский Донец – Донбасс получены в результате исследований, проведенных в аккредитованных лабораториях коммунального предприятия «Компания «Вода Донбасса» и Северско-Донецкого бассейнового управления водных ресурсов. Рассмотрены технологические требования, предъявляемые к контролю качества воды, и обеспечение процесса измерения показателей качества воды.

Рассмотрены основные направления математико-статистической обработки данных, применяемые в данной работе. Описаны статистические показатели, понятия функции распределения и плотности распределения вероятностей, законы распределения, необходимые для исследования рассматриваемых рядов наблюдений. Приведен алгоритм действий при проверке гипотез о законе распределения с применением критерия согласия Пирсона.

Рассмотрена методика оценки риска угрозы здоровью населения от употребления питьевой воды, так как при разработке технологии очистки воды необходимо учесть и рассчитать риск угрозы здоровью человека при воздействии вредных химических веществ (токсикантов и канцерогенов), содержащихся как в исходной, так и в питьевой воде.

**В третьем разделе** осуществляется разработка научно обоснованного метода выбора расчетного состава воды при проектировании водопроводных очистных станций.

На основании результатов технологического контроля за качеством воды канала Северский Донец – Донбасс, поступающей на Макеевскую фильтровальную станцию (МФС), выполнен анализ гидрохимического режима водоисточника. В работе были проанализированы данные по показателям качества поступающей на МФС воды: суточные за 2004-2011 годы, среднемесячные за 2001-2011 годы. При проведении анализа использовались санитарно-эпидемиологические правила и нормы качества воды Российской Федерации и Украины, в случае различия нормативов были выбраны значения с минимальной ПДК. Было определено, что предельно допустимые значения превышают следующие показатели: мутность, цветность, аммоний солевой, сульфаты, марганец, жесткость, перманганатная окисляемость, нефтепродукты, фенолы, общее микробное число (ОМЧ), коли-индекс.



Основными показателями качества исходной воды, которые определяют состав главных сооружений технологической схемы очистки, являются мутность и цветность (Рис. 1, 2). Данные параметры определяются в лаборатории МФС два раза в сутки. В результате анализа ряда наблюдений по показателю мутности можно сделать вывод, что вода канала Северский Донец – Донбасс относится к маломутным водам. На графике (Рис. 1) четко прослеживается повторяемость по годам и сезонам года, максимальное значение мутности наблюдается в период весна-лето 2007 года. Практически весь рассматриваемый период показатель мутности превышает предельно допустимое значение, принимаемое равным  $0,58 \text{ мг/дм}^3$ . Что касается цветности (Рис. 2), то практически весь период наблюдения вода канала соответствовала воде с малой цветностью. Только лишь в марте 2010 года отмечается резкое и кратковременное повышение цветности до значения 48 градусов, что соответствует воде со средней цветностью. Показатель цветности превышает предельно допустимое значение из года в год во время паводка (март – апрель) и в летнюю межень (май – октябрь). Аналогично были исследованы ряды наблюдений по остальным показателям, превышающим предельно допустимые значения.

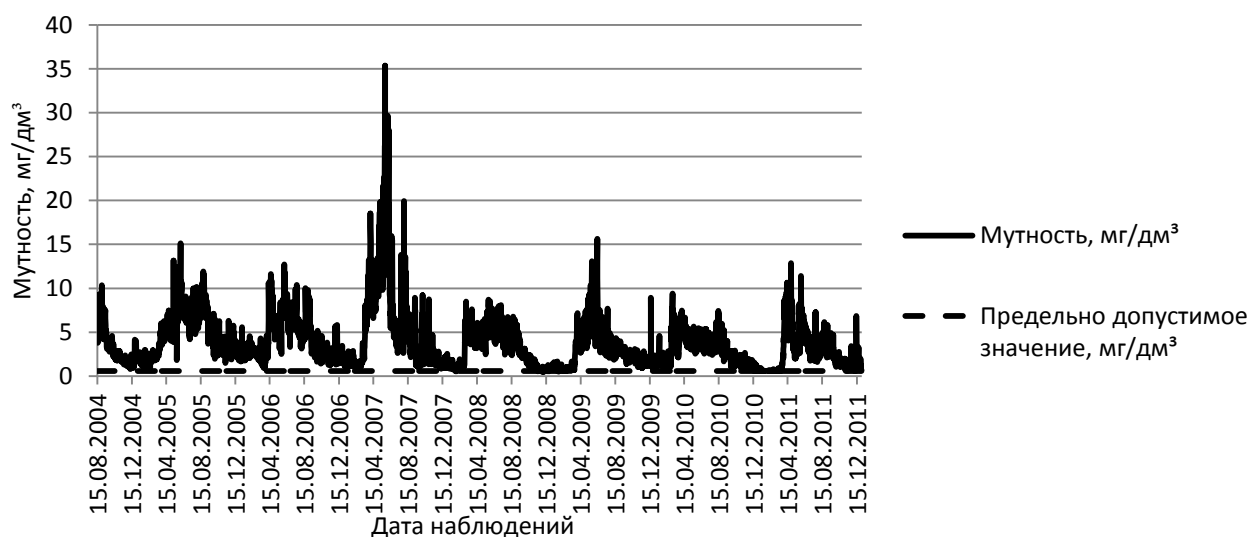


Рисунок 1 – Ряд наблюдений по показателю мутности

Анализируя сезонную динамику показателей качества воды, можно отметить, что по мутности, цветности, жесткости и бактериологическим показателям отмечен естественный гидрохимический режим. Также можно сказать об антропогенном и вторичном загрязнении воды канала по данным показателей аммония солевого, перманганатной окисляемости, нефтепродуктов, фенолов. За рассматриваемый период наблюдается снижение расхода воды, потребляемой городом Макеевка. Это связано со снижением водопотребления населением и предприятиями города и влияет на параметры очистки питьевой воды на существующих ВОС.

Дальнейшей математико-статистической обработке были подвергнуты такие показатели качества воды, как мутность, цветность, жесткость, окисляемость, ОМЧ и коли-индекс. Остальные из вышепредставленных показателей не участвуют в

дальнейшей обработке в связи с тем, что превышение данными показателями предельно допустимых значений не является значительным.

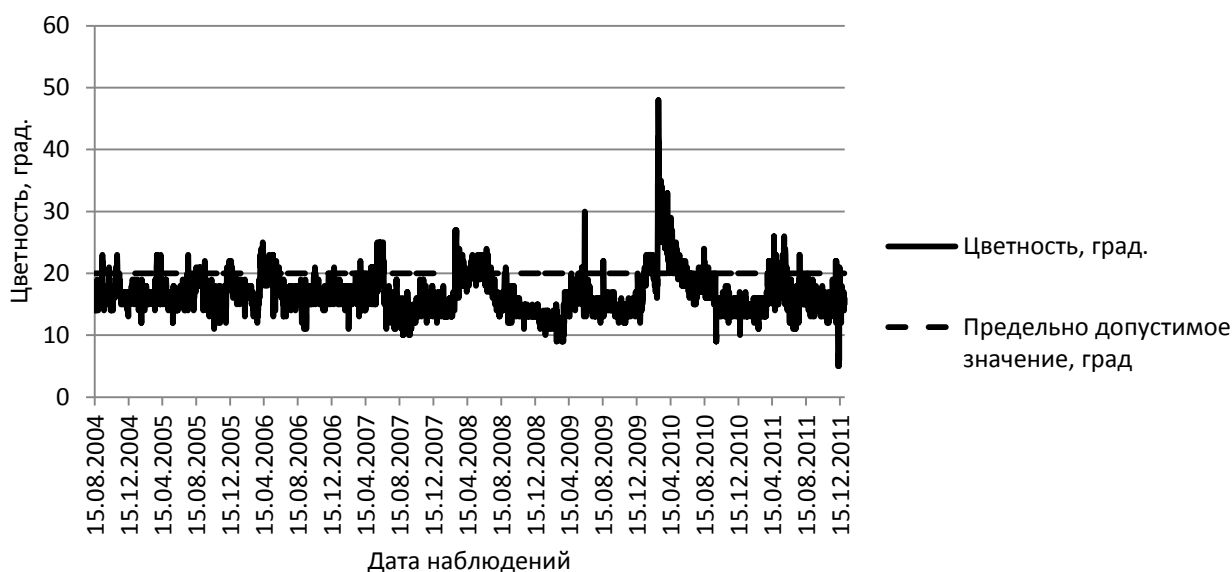


Рисунок 2 – Ряд наблюдений по показателю цветности

Рассчитаны статистические параметры (Табл. 1), выполнена проверка гипотез о законе распределения и построены кривые дифференциального и интегрального распределения. В качестве примера приведены кривые дифференциального и интегрального распределения по показателям цветности и мутности (Рис. 3, 4).

Таблица 1 - Результаты статистической обработки величин показателей качества воды

Показатель	Мода, <i>Mo</i>	Среднее значение, $\bar{x}$	Медиана, <i>Me</i>	Мини- мум	Макси- мум	Диспер- сия, $S^2$	Стандарт- ное отклоне- ние, $S$	Коэф- фициент вариации, $c_v$ , %
Цветность, град.	16	16,68	16	5	48	11,3	3,36	20,13
Мутность, мг/дм <sup>3</sup>	0,58	3,92	3,03	0,5	35,4	10,8	3,29	84,05
Жесткость, мг-экв/дм <sup>3</sup>	6,7	7,09	7,1	5,4	9,3	0,6	0,76	10,75
Перманганатная окисляемость, мг/дм <sup>3</sup>	6	6,16	6,1	4,0	9,9	0,5	0,73	11,93
ОМЧ при 37°C, кол-во бактерий/см <sup>3</sup>	110	377	180	11	3700	168880	411	108,9
Коли-индекс	59	655	240	19	9900	848810	921	140,6

Используя критерий Пирсона, выполнена проверка гипотезы о законе распределения генеральной совокупности. По итогам проверки выявлено, что ряды наблюдений по показателям цветности, жесткости и перманганатной окисляемости имеют нормальное распределение, а ряды наблюдений по показателям мутности,

ОМЧ и коли-индекса имеют показательное распределение. Зная закон распределения, можно при недостаточности данных провести реконструкцию их рядов, либо осуществить прогнозирование наблюдений.

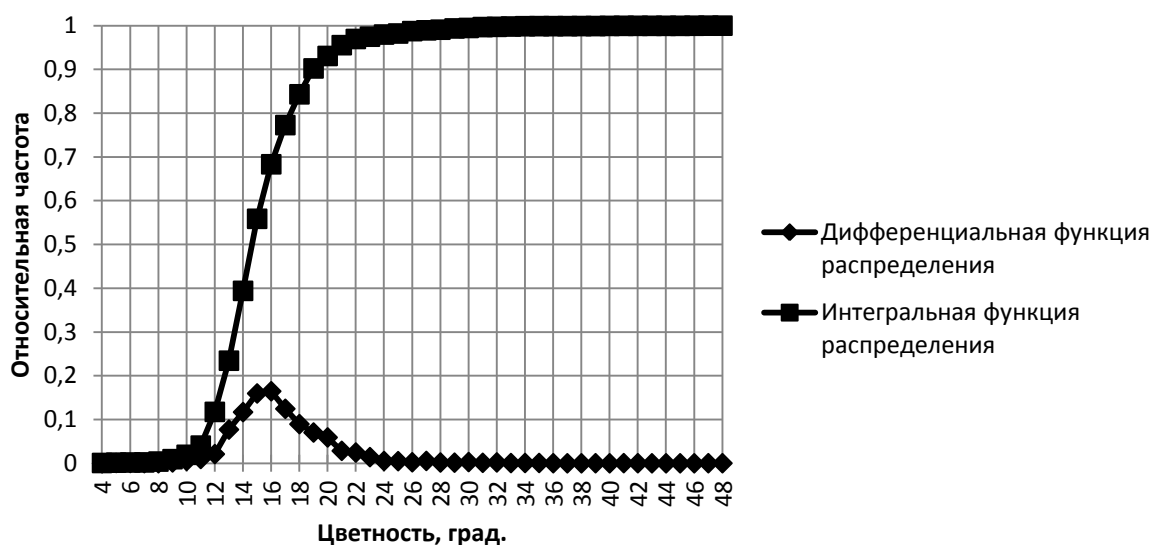


Рисунок 3 – Дифференциальная и интегральная функции распределения показателя цветности

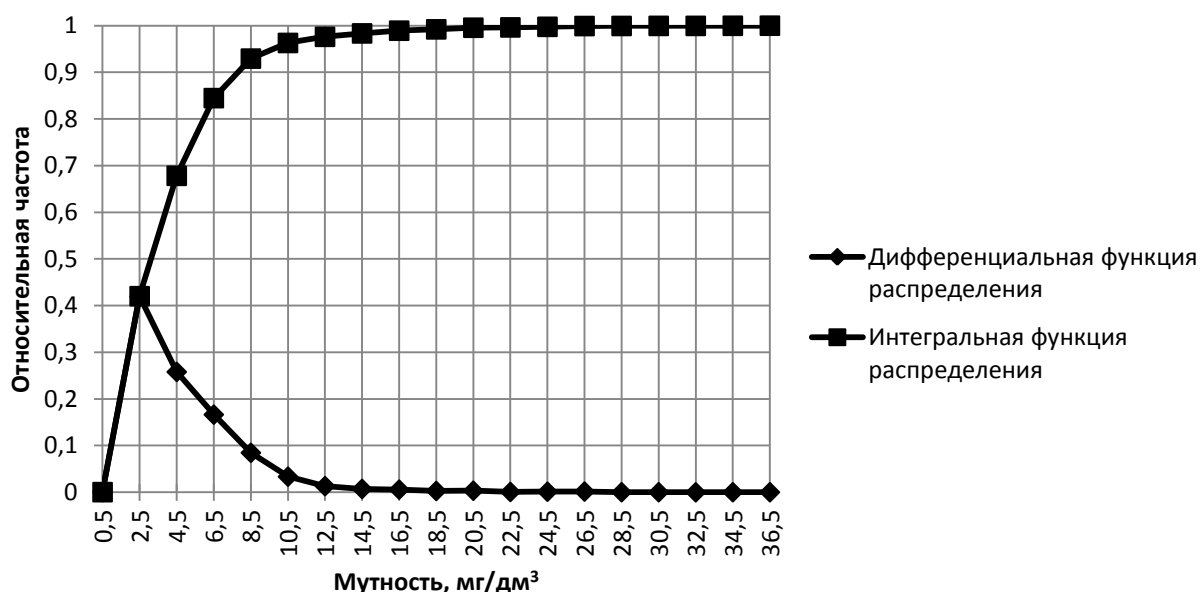


Рисунок 4 – Дифференциальная и интегральная функции распределения показателя мутности

Кривая дифференциального распределения показателя цветности аппроксимируется уравнением (коэффициент корреляции  $r=0,91$ , среднеквадратическое отклонение  $S=0,02$ )

$$y = \frac{0,0003x - 0,0013}{1 - 0,1279x + 0,0042x^2}, \quad (1)$$

где  $x$  – величина показателя цветности (пределы изменения от 5 до 48);  
 $y$  – относительная частота распределения показателя цветности.

Кривая интегрального распределения показателя цветности аппроксимируется уравнением ( $r=0,99$ ,  $S=0,02$ )

$$y = \frac{0,9921}{1 + 21318,776 \cdot e^{-0,6296x}}, \quad (2)$$

где  $x$  – то же, что в формуле (1);

$y$  – накопленная относительная частота распределения показателя цветности.

Кривая дифференциального распределения показателя мутности аппроксимируется уравнением ( $r=0,99$ ,  $S=0,02$ )

$$y = \frac{0,0316x - 0,0108}{1 - 0,6110x + 0,1105x^2}, \quad (3)$$

где  $x$  – величина показателя мутности (пределы изменения от 0,5 до 35,4);

$y$  – относительная частота распределения показателя мутности.

Кривая интегрального распределения показателя мутности аппроксимируется уравнением ( $r=0,99$ ,  $S=0,01$ )

$$y = 1,1726(0,8542 - e^{-0,2954x}), \quad (4)$$

где  $x$  – величина показателя мутности (пределы изменения от 0,54 до 35,4);

$y$  – накопленная относительная частота распределения показателя мутности.

По кривым интегрального распределения могут быть определены значения расчетных показателей качества воды при различных назначенных уровнях обеспеченности показателей (вероятности превышения) (Табл. 2).

Таблица 2 - Расчетные значения показателей качества воды при различной величине обеспеченности

Показатель	Обеспеченность, %			
	15	10	5	1
Цветность, град.	18,7	19,5	20,8	25,7
Мутность, мг/дм <sup>3</sup>	7,0	8,3	10,6	15,7
Жесткость, мг-экв/дм <sup>3</sup>	7,9	8,1	8,4	8,8
Окисляемость, мг/дм <sup>3</sup>	6,7	6,9	7,2	9,0
ОМЧ при 37°C, кол-во бактерий/см <sup>3</sup>	740	900	1180	1890
Коли-индекс	1220	1500	1990	4200

Если руководствоваться нормативными требованиями по обеспеченности гидрологических характеристик при выборе водозаборов, то максимальные требования предъявляются при выборе максимального уровня воды в источнике. Здесь требуется обеспеченность 1%, то есть выбранная величина показателя может быть превышена только один раз за сто лет наблюдений. В данном случае если провести параллель между обеспеченностью гидрологических характеристик и обеспеченностью гидрохимических показателей, то в качестве расчетного значения следует выбрать величину обеспеченности 1%. Тогда в качестве расчетных значений будут выбраны значения меньше максимальных, что приведет к



изменению состава очистных сооружений и снижению затрат на строительство и эксплуатацию водопроводных очистных сооружений.

Однако возникает вопрос о поддержании санитарно-гигиенической надежности данных сооружений, так как не исключена вероятность того, что выбранные сооружения могут не справиться с очисткой воды в случае превышения расчетных концентраций. При превышении показателем мутности воды расчетных величин сооружения придется переводить в режим работы с меньшей производительностью. При наличии одного источника водоснабжения это снижение не должно превышать 30%. В этом случае обычно удается не выходить за пределы нормативных требований по качеству питьевой воды, выходящей с водопроводной очистной станции. Следует отметить, что наличие только одного источника водоснабжения не соответствует требованиям к надежности водопроводов I и II категорий. При использовании двух источников водоснабжения водопроводные очистные станции могут проектироваться на обеспеченность показателей качества воды 5% или даже 10%.

Определенное значение имеет продолжительность периодов стояния повышенных величин мутности и цветности воды. В воде канала Северский Донец - Донбасс наблюдается не менее двух таких периодов в год, но, кроме этого, повышение мутности и цветности может происходить в результате сильных дождей и при цветении водоемов. В это время водопроводные очистные станции работают с повышенной нагрузкой. Для того чтобы определить расчетную продолжительность периодов стояния повышенных величин мутности и цветности, были подсчитаны продолжительности этих периодов за весь рассматриваемый период времени. Затем по полученным данным были построены гистограммы распределения продолжительности периодов стояния повышенных величин мутности и цветности (Рис. 5, 6), и определены расчетные длительности этих периодов с различными величинами обеспеченности (Табл. 3). В результате можно задаться расчетной продолжительностью этих периодов для дальнейших расчетов.

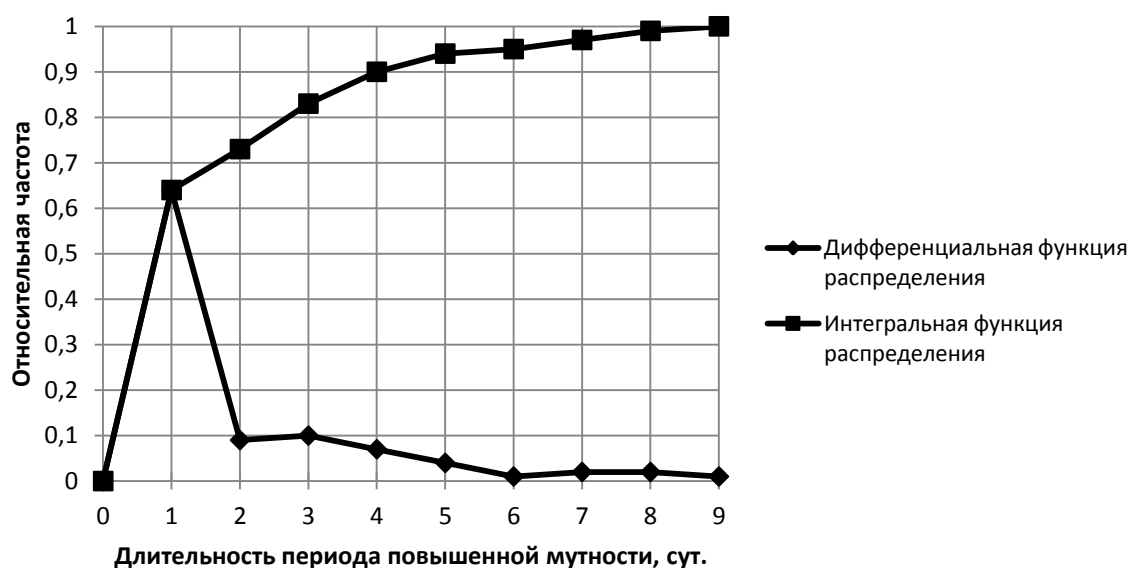


Рисунок 5 – Дифференциальная и интегральная функции распределения длительности периода повышенной мутности

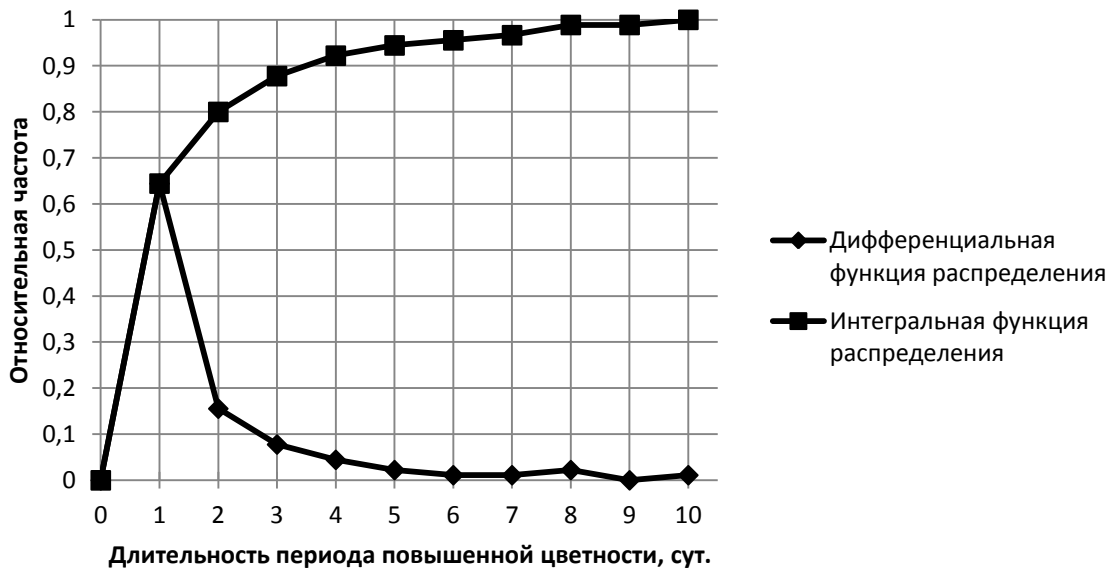


Рисунок 6 – Дифференциальная и интегральная функции распределения длительности периода повышенной цветности

Кривая дифференциального распределения длительности периода повышенной мутности аппроксимируется уравнением ( $r=0,99$ ,  $S=0,02$ )

$$y = \frac{1}{170,2999x^{0,0749} - 168,7378}, \quad (5)$$

где  $x$  – величина длительности периода повышенной мутности (пределы изменения от 1 до 9);

$y$  – относительная частота распределения длительности периода повышенной мутности.

Кривая интегрального распределения длительности периода повышенной мутности аппроксимируется уравнением ( $r=0,99$ ,  $S=0,02$ )

$$y = \frac{1,3194x^{0,5807}}{1,1025 + x^{0,5807}}, \quad (6)$$

где  $x$  – то же, что в формуле (5);

$y$  – накопленная относительная частота распределения длительности периода повышенной мутности.

Кривая дифференциального распределения длительности периода повышенной цветности аппроксимируется уравнением ( $r=0,99$ ,  $S=0,03$ )

$$y = \frac{1}{65,5359x^{0,1738} - 63,9867}, \quad (7)$$

где  $x$  – величина длительности периода повышенной цветности (пределы изменения от 1 до 10);

$y$  – относительная частота распределения длительности периода повышенной цветности.

Кривая интегрального распределения длительности периода повышенной цветности аппроксимируется уравнением ( $r=0,99$ ,  $S=0,01$ )

$$y = \frac{1,0572x^{1,0331}}{0,6432 + x^{1,0331}}, \quad (8)$$

где  $x$  – то же, что в формуле (7);

$y$  – накопленная относительная частота распределения длительности периода повышенной цветности.

Таблица 3 - Расчетные длительности периодов стояния повышенных величин мутности и цветности при различной величине обеспеченности

Длительность периода, сутки	Обеспеченность, %			
	15	10	5	1
повышенной мутности	3,3	4,4	6,0	7,9
повышенной цветности	2,6	3,5	5,4	8,8

Так как необходимо постоянно поддерживать санитарно-гигиеническую надежность водопроводных очистных сооружений, то целесообразнее принимать длительность периодов стояния повышенных величин мутности и цветности с обеспеченностью 1% или 5%. В качестве расчетной величины длительности периода повышенной цветности может быть принято значение девять суток.

Вода канала Северский Донец – Донбасс основную часть времени является маломутной и малоцветной, поэтому теоретически было бы достаточно одноступенчатого фильтрования на скорых фильтрах вместо существующей схемы очистки горизонтальные отстойники – скорые фильтры. Но в вышеописанные периоды стояния повышенных величин мутности и цветности производительность очистных сооружений с одноступенчатым фильтрованием и одним источником водоснабжения будет значительно снижена. Для того чтобы рассчитать на сколько снизится производительность очистных сооружений, была определена продолжительность работы скорых фильтров между промывками (фильтроцикл) при существующей двухступенчатой схеме и в случае использования только фильтров. В результате расчета определено, что при использовании только скорых фильтров и при наличии одного источника водоснабжения всю расчетную продолжительность периода стояния повышенных величин мутности и цветности производительность очистных сооружений будет снижена почти на 80%. При наличии же двух источников водоснабжения очистным сооружениям просто необходимо будет перейти на резервный источник водоснабжения во время этого периода. Как было определено ранее, расчетная продолжительность периода стояния повышенных величин мутности и цветности для воды канала Северский Донец – Донбасс не превышает девяти дней. В результате сделаны выводы, что при проектировании новых и реконструкции действующих очистных сооружений необходимо предусматривать несколько источников водоснабжения. В таком случае повысится надежность очистных сооружений, а технологическая схема очистки, исходя из качества поступающей воды, может быть упрощена, что приведет к снижению расходов на их строительство и эксплуатацию, либо же снизятся затраты на реконструкцию.

Для того чтобы определить расчетные значения показателей качества воды, в первую очередь необходимо знать минимальную продолжительность периода, за который необходимо производить сбор данных по качеству исходной воды.

В реальных условиях не всегда в распоряжении проектировщиков имеется необходимое количество данных, поэтому появляется необходимость определения минимальной продолжительности ряда наблюдений, которая сможет отобразить реальное колебание показателей качества воды во времени. Для этого в работе предлагается рассмотреть изменение величин квантилей распределения с вероятностью 0,95 (5% квантилей) в зависимости от продолжительности рядов наблюдений.

На основании проведенного ранее исследования гидрохимических показателей качества воды, были рассчитаны 5% квантили рядов наблюдений по следующим показателям: цветность, мутность, жесткость, перманганатная окисляемость, ОМЧ, коли-индекс. Значения 5% квантилей были рассчитаны вначале для ряда наблюдений продолжительностью в один год, затем для ряда наблюдений продолжительностью в два года, и так далее до продолжительности ряда данных в одиннадцать лет (Табл. 4). Далее на основании полученных данных были построены графики, отображающие изменение 5% квантилей распределения в зависимости от продолжительности ряда данных. В качестве примера приведены кривые изменения 5% квантилей серии наблюдений по показателям цветности и мутности в зависимости от продолжительности ряда (Рис. 7, 8).

В результате определено, что величины 5% квантилей всех рассмотренных показателей в значительной мере стабилизируются при продолжительности ряда в шесть лет. При дальнейшем увеличении продолжительности ряда данных более шести лет происходит незначительное колебание величин 5% квантилей. Таким образом, минимальная продолжительность ряда наблюдений по качеству воды канала Северский Донец – Донбасс для определения расчетных значений при выборе технологии очистки воды составляет шесть лет. Ряды наблюдений продолжительностью менее шести лет будут лишены достаточного обоснования и не позволят определить достоверные расчетные значения показателей качества воды.

Таблица 4 - Значения квантилей распределения с вероятностью 0,95

Продолжительность, лет	5 % квантили по показателям качества					
	цветность, град.	мутность, мг/дм <sup>3</sup>	жесткость, мг-экв/дм <sup>3</sup>	перманганатная окисляемость, мг/дм <sup>3</sup>	ОМЧ, к-во бактерий/см <sup>3</sup>	коли-индекс
1	16	3	7,3	6,2	52	110
2	19,4	13,86	7,88	7	980	840
3	20,8	13,26	7,8	7,22	1068	1280
4	27,2	13,14	8,04	7,46	1100	1360
5	25	13,02	8,18	7,36	1052	2360
6	22	12,9	8,2	7,3	980	2300
7	21,4	12,54	8,23	7,3	980	2240
8	21	12,78	8,2	7,38	974	2200
9	21	12,42	8,2	7,32	956	2200
10	21	11,98	8,2	7,3	946	2040
11	21	11,5	8,2	7,3	980	2200



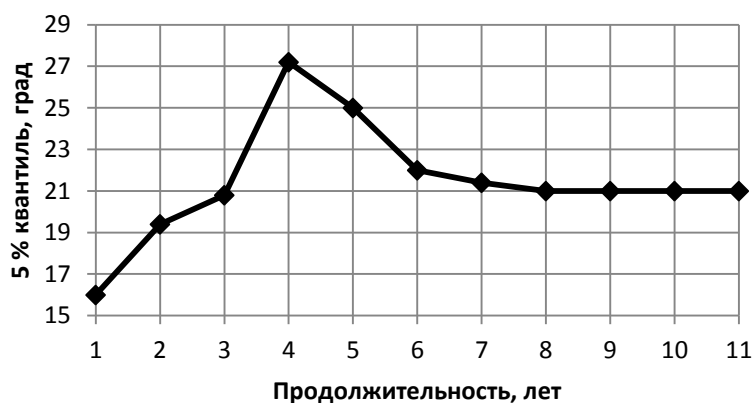


Рисунок 7 – Изменение 5% квантилей серии наблюдений по показателю цветности в зависимости от продолжительности ряда

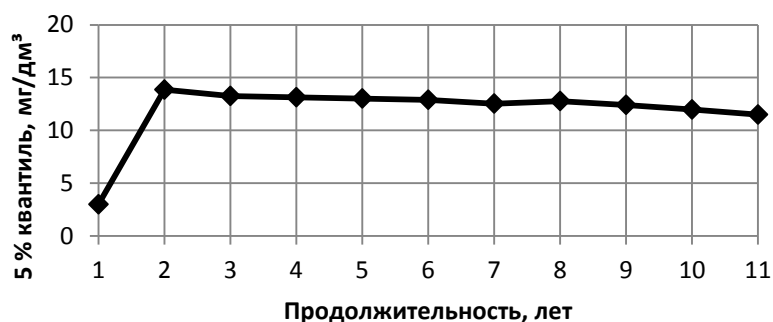


Рисунок 8 – Изменение 5% квантилей серии наблюдений по показателю мутности в зависимости от продолжительности ряда

Выполнена оценка риска угрозы здоровью человека от длительного употребления питьевой воды при воздействии пороговых токсикантов и канцерогенов. В результате расчетов получено, что индексы опасности от поступления хлора с питьевой водой в организм человека составляют (при допустимой величине индекса опасности равной единице):

- при употреблении воды на протяжении 10 лет – 6,69;
- при употреблении воды на протяжении 15 лет – 10,03.

Выявлено, что существует значительная угроза здоровью от употребления данной воды, которая вызвана высоким содержанием хлора, и чем дольше человек будет пить такую воду, тем больше составит величина риска угрозы здоровью. Также получено, что величина индивидуального канцерогенного риска при употреблении человеком питьевой воды на протяжении десяти лет составила  $8,44 \cdot 10^{-5}$  и находится в допустимых пределах, но его значение очень близко к критической величине, которая принимается равной  $10^{-4}$ , а при употреблении человеком данной питьевой воды на протяжении пятнадцати лет индивидуальный канцерогенный риск составляет  $1,27 \cdot 10^{-4}$  и является недопустимым. Решить данную проблему возможно и для этого необходимо пересмотреть технологическую схему, чтобы снизить содержание активного хлора в питьевой воде, а также необходимо усилить экологический контроль над каналом Северский Донец – Донбасс.

**В четвертом разделе** диссертационной работы на основании предложенного научно обоснованного метода выбора расчетного состава воды выполнена

разработка рациональной технологической схемы очистки воды канала Северский Донец – Донбасс. В качестве объекта для сравнения выбрана Макеевская фильтровальная станция, которая является типичной для существующих станций очистки воды канала. Комплекс сооружений МФС включает: реагентное хозяйство, смеситель, камеры хлопьеобразования, горизонтальные отстойники, фильтры, резервуары чистой воды, насосную станцию II-го подъема, магистральные водоводы.

В соответствии с результатами исследований при вероятности превышения 1% для воды канала Северский Донец – Донбасс приняты следующие расчетные значения показателей качества воды: мутность – 16 мг/дм<sup>3</sup>; цветность – 26 град.; жесткость – 8,8 мг-экв/дм<sup>3</sup>; перманганатная окисляемость – 9,0 мг/дм<sup>3</sup>; ОМЧ – 1890; коли-индекс – 4200. Отметим, что величина расчетной мутности более чем в 37 раз меньше ранее применявшейся величины 600 мг/дм<sup>3</sup>. Разработана 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 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. На основании разработанной рациональной технологической схемы очистки предложены мероприятия по реконструкции для МФС.

В результате разработки научно обоснованного метода выбора расчетного состава воды и подбора рациональной технологической схемы водопроводных очистных сооружений выполнено экономическое сравнение двух вариантов технологических схем очистки: действующая схема МФС; научно обоснованная схема. Расчет сметной стоимости строительства двух вариантов водопроводных очистных сооружений производился по укрупненным показателям.

Для определения экономической эффективности применения научно обоснованного метода выбора расчетного состава воды произведен расчет с применением методики технико-экономического обоснования по чистому дисконтированному доходу (ЧДД) и индексу доходности (ИД). Экономический эффект рассчитывается путем сопоставления интегральных показателей эффективности ЧДД и ИД по действующей (базовой) и новой технологии. Срок реализации проекта принят 5 лет. ЧДД и ИД по первому варианту с применением действующей схемы МФС составили 49,2 млн. руб. и 1,49 соответственно, ЧДД и ИД по второму варианту с применением научно обоснованной схемы составили 66,7 млн. руб. и 2,28 соответственно. В результате сравнения этих величин по двум вариантам предпочтение отдается второму варианту научно обоснованной технологической схемы водопроводных очистных сооружений.

## ВЫВОДЫ

1. Выполнен анализ данных многолетних наблюдений (суточных и среднемесячных) за качеством воды, поступающей на МФС, создана электронная база этих данных. Осуществлен выбор наиболее значимых показателей качества

воды канала Северский Донец – Донбасс, применяемых для подбора технологической схемы водоочистки: мутность, цветность, жесткость, окисляемость, ОМЧ и коли-индекс.

2. Научно обоснован и разработан метод выбора расчетного состава воды для подбора технологии очистки. Осуществлена математико-статистическая обработка выбранных показателей качества, построены гистограммы дифференциального и интегрального распределения, выбраны значения показателей качества воды с различными величинами обеспеченности. В качестве расчетных значений с целью большей надежности проектируемых сооружений рекомендуется выбирать значения с обеспеченностью 1%. Выполнена проверка законов распределения изучаемых показателей и выявлено, что данные по показателям цветности, перманганатной окисляемости и жесткости подчиняются нормальному закону распределения, а данные по показателям мутности, ОМЧ и коли-индекса – показательному закону.

3. Научно обоснован и разработан метод определения минимальной продолжительности периода, за который производится сбор данных по качеству воды в источнике при выборе технологии очистки. Рекомендуется исследование динамики изменения 5% квантилей распределения в зависимости от продолжительности периода наблюдений. Для воды канала Северский Донец – Донбасс по итогам расчета минимальная продолжительность периода для сбора данных по качеству исходной воды составила шесть лет.

4. Выполнен выбор научно обоснованного расчетного состава воды канала Северский Донец – Донбасс, применяемого для подбора технологической схемы очистки, в соответствии с разработанными методами. Расчетные значения показателей составили: мутность – 16 мг/дм<sup>3</sup>; цветность – 26 град.; жесткость – 8,8 мг-экв/дм<sup>3</sup>; перманганатная окисляемость – 9,0 мг/дм<sup>3</sup>; ОМЧ – 1890; коли-индекс – 4200.

5. Осуществлен подбор рациональной научно обоснованной технологической схемы водопроводных очистных сооружений. Данная схема предполагает двухступенчатое фильтрование на контактных префильтрах и скорых двухслойных фильтрах с дополнительным слоем гранулированного активированного угля с умягчением части воды на натрий-катионитных фильтрах и обеззараживанием воды гипохлоритом натрия, а также в схеме предусмотрена система обработки и повторного использования промывных вод фильтров.

6. Чистый дисконтированный доход от применения научно обоснованного метода выбора расчетного состава воды составляет 66,7 млн. руб. при сроке реализации проекта 5 лет.

## **СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

– публикации в специализированных научных изданиях, рекомендованных МОН Украины:

1. Трякина, А.С. Изучение показателей качества воды канала Северский Донец – Донбасс / А.С. Трякина // Вісник Донбаської національної академії

будівництва і архітектури. Інженерні системи та техногенна безпека: зб. наук. пр. – Макіївка: ДонНАБА, 2013. – Вип. 2013-5(103). – С. 3-8.

2. Сатин, И.В. Исследование гидрохимического режима канала Северский Донец – Донбасс / И.В. Сатин, А.С. Трякина // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Инженерные системы и техногенная безопасность: сб. науч. тр. – Макеевка: ДонНАСА, 2014. – Вып. 2014-5(109). – С. 5-11. *(Выполнено исследование динамики показателей качества воды канала Северский Донец – Донбасс).*

3. Найманов, А.Я. Выбор расчетных показателей качества воды при проектировании очистных станций водопровода / А.Я. Найманов, А.С. Трякина // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Одеса: ОДАБА, 2015. – Вип. 59. – С. 77-82. *(Проведена статистическая обработка данных по показателям качества воды).*

4. Найманов, А.Я. Обоснование расчетного состава воды при выборе технологической схемы очистки на основании многолетних наблюдений / А.Я. Найманов, А.С. Трякина // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Инженерные системы и техногенная безопасность: сб. науч. тр. – Макеевка: ДонНАСА, 2015. – Вып. 2015-5(115). – С. 59-67. *(Выполнены математико-статистическая обработка данных показателей качества воды, расчет снижения производительности очистных сооружений с одноступенчатым фильтрованием в сравнении со стандартной двухступенчатой схемой очистки).*

5. Трякина, А.С. Определение минимальной продолжительности ряда гидрохимических наблюдений / А.С. Трякина // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Инженерные системы и техногенная безопасность: сб. науч. тр. – Макеевка: ДонНАСА, 2016. – Вып. 2016-5(121). – С. 5-9.

– **публикации в рецензируемых периодических научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ:**

6. Трякина, А.С. Разработка рациональной технологии водоочистки с применением научно обоснованных расчетных показателей качества исходной воды / А.С. Трякина // Научный журнал «Записки горного института». – Санкт-Петербург: С-Пб горн. ун-т, 2017. – Т. 227. – С. 608-612.

– **публикации в материалах и тезисах конференций:**

7. Трякина, А.С. Анализ гидрохимического режима канала Северский Донец – Донбасс / А.С. Трякина // Зб. тез доп. IV Міжнар. конф. «Науково-методичне та практичне забезпечення містобудування, територіального і стратегічного планування» (Макіївка, 15-16 травня 2014). – Макіївка: ДонНАБА, 2014. – С. 47-49.

8. Трякина, А.С. Методика выбора расчетного состава воды при проектировании очистных станций водопровода / А.С. Трякина // Современное строительство и архитектура. Энергосберегающие технологии: сб. матер. VII Респуб. научно-практ. конф. (Бендеры, 12 ноября 2015). – Бендеры: БПФ ПГУ им. Т.Г. Шевченко, 2015. – С. 105-109.

9. Трякина, А.С. Количественная оценка риска угрозы здоровью человека, обусловленного примесями в питьевой воде / А.С. Трякина // «Строительство и



архитектура – 2015». Часть 2: Современные проблемы промышленного и гражданского строительства: матер. Междунар. студ. научно-практ. конф.: тезисы докл. – Ростов н/Д: РГСУ, 2015. – С. 353-356.

10. Трякина, А.С. Разработка рациональной технологии водоочистки с учетом обоснованных расчетных показателей качества исходной воды / А.С. Трякина // Современное строительство и архитектура. Энергосберегающие технологии: сб. матер. VIII Респуб. научно-практ. конф. (Бендеры, 24 ноября 2016). – Бендеры: БПФ ПГУ им. Т.Г. Шевченко, 2017. – С. 119-122.

11. Найманов, А.Я. Методика определения расчетных показателей качества воды при выборе технологической схемы водоочистки / А.Я. Найманов, А.С. Трякина // Технологии очистки воды «Техновод – 2017»: материалы X юбилейной Межд. науч.-практ. конф. (Астрахань, 5-6 октября 2017). – Новочеркасск: Лик, 2017. – С. 135-140. *(Выполнена статистическая обработка данных показателей качества воды канала Северский Донец – Донбасс, определена минимальная продолжительность срока наблюдений за качеством воды источника для проектирования ВОС).*

**– публикации в других изданиях:**

12. Найманов, А.Я. Методика выбора расчетных показателей качества воды при обосновании технологической схемы очистки / А.Я. Найманов, А.С. Трякина // Виробничо-практичний журнал «Водопостачання та водовідведення». – Київ: «Прайм-принт», 2015. – № 5. – С. 23-27. *(Проведена статистическая обработка данных по показателям качества воды, рассчитаны продолжительности паводков и проведена статистическая обработка этих данных).*