

ГК «АУРАТ», Россия

ООО НПП «ЭКОФЕС», г. Новочеркасск

«ЭКОС ГРУПП», г. Новочеркасск

ЮЖНО-РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ (НПИ) ИМЕНИ М.И. ПЛАТОВА,
г. Новочеркасск

ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ВОДЫ «ТЕХНОВОД-2021»

*Материалы XIII Международной научно-практической конференции
14 – 17 декабря 2021 года
г. Сочи, Красная Поляна*

Новочеркасск

Лик

2021

УДК 628.16(063)
ББК 38.761я43
Т 381

Редакционная коллегия:

Л.Н. Фесенко, д-р техн. наук, профессор ЮРГПУ(НПИ) имени М.И. Платова,
ответственный редактор;
С.В. Гетманцев, канд. техн. наук, генеральный директор ГК «АУРАТ»;
В.Н. Швецов, д-р техн. наук, профессор, гл. редактор журнала ВСТ;
А.Ю. Скрябин, канд. техн. наук, доцент, зам. Губернатора Ростовской области;
Н.С. Серпокрылов, д-р техн. наук, профессор ДГТУ;
С.И. Игнатенко, канд. техн. наук, доцент, зам. директора по науке
ООО НПП «ЭКОФЕС»
Н.В. Енгибарьянц, ведущий инженер ЮРГПУ (НПИ) имени М.И. Платова,
ответственный секретарь.

Т 381 Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2021»: материалы XIII
Межд. науч.-практ. конф.; Красная Поляна, г. Сочи, 14–17 декабря
2021 г. / Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т. (НПИ) имени М.И. Платова –
Новочеркасск: Лик, 2021. – 293 с.
ISBN 978-5-907391-44-4

В настоящем сборнике представлены материалы докладов XIII Международной научно-практической конференции «Технологии очистки воды» – ТЕХНОВОД–2021 и размещены в трех разделах. Название каждого раздела сформулировано в соответствии с сущностью входящих в него статей.

Все опубликованные в сборнике материалы посвящены оптимизации существующих и разработке новых высокоэффективных, инновационных методов, технологий и установок по очистке и обеззараживанию природных и сточных вод, водному хозяйству, гидротехническому строительству.

Сборник будет полезен для магистров и аспирантов, проектировщиков и производственников,

При редактировании сборника все основные положения авторов публикаций оставлены в авторском изложении, и могут явиться предметом дискуссии.

УДК 628.16(063)
ББК 38.761я43

ISBN 978-5-907391-44-4

© Южно-Российский государственный
политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, 2021
© Авторы, 2021

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	6
I. КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ, ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ. ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО	9
<i>Гетманцев С.В., Сухонос Н.А.</i> Государственный стандарт – гарант качества и безопасности коагулянтов.....	9
<i>Волосухин В.А., Дровозова Т.И., Фесенко Л.Н.</i> Истоки становления гидрохимического института.....	13
<i>Иванкова Т.В., Фесенко Л.Н.</i> Управление природно-техническими системами малых рек с применением риск-ориентированного подхода....	19
<i>Каширин Д.В.</i> Мероприятие по экологической реабилитации б. Темерник (б. Камышеваха) от впадения б. Жанкина до Верхового водохранилища.....	24
<i>Скрябин А.Ю.</i> Жидкий хлор: проблема техногенной и экологической безопасности.....	34
<i>Тхай Тхи Ким Ть</i> Селевые процессы на севере Вьетнама.....	39
<i>Пурсова И.Ю.</i> Сокращение затрат потребляемой электроэнергии на водозаборных сооружениях из подземных источников.....	43
<i>Волосникова Е.А., Ракчеев П.Ю.</i> Повышение качества лабораторных измерений при определении индексных показателей в различных типах вод (нп, фенолы, апав, хпк). Практические рекомендации по «Флюорейт» для анализаторов жидкости «Флюорат-02-4М/5М».....	48
<i>Гетманцев С.В., Ананьев О.Г.</i> Предложения о доработке закупочных процедур коагулянтов по федеральным законам № 223-ФЗ от 18.07.2021 года и № 44-ФЗ от 05.04.2013 года.....	57
<i>Мохов А.И., Абросимова И.А.</i> Ресурсы наилучших доступных технологий зеленого строительства.....	59
<i>Субботин А.И., Субботин В.А., Субботин И.А., Подскребалин А.С.</i> Применение современных технологий при обследовании гидротехнических сооружений.....	66
II. ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ И ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ ОЧИСТКИ И ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ПРИРОДНЫХ ВОД	69
<i>Нгуен Тхи Туан Зьеп, Пчельников И.В., Фесенко Л.Н.</i> Экспериментальное изучение влияния формы тока на образование катодных осадков в электролизерах при производстве гипохлорита натрия из природных растворов.....	69
<i>Хецуриани Е.Д., Богданов Н.И., Хецуриани Те.Е.</i> Защита системы водоснабжения от зарастания дрейссеной.....	87
<i>Продоус О.А.</i> Допустимая погрешность значений расчетных параметров при гидравлическом расчете трубопроводов из полимерных материалов..	95

Продоус О.А., Шлычков Д.И. Зависимость фактической скорости потока в самотечных сетях водоотведения от толщины слоя отложений в лотковой части труб.....	101
Фесенко Л.Н., Гулиев Б.Э., Гулиев Э.Ш., Игнатенко С.И., Щукин С.Ф., Сухонос Н.А. Исследования эффективности метода контактного фильтрования при подготовке питьевой воды на Джейранбатанском комплексе водоочистки.....	105
Продоус О.А., Иващенко В.В., Мурлин А.А. Оценка эффективности эксплуатации сетей водоснабжения и водоотведения из полимерных и металлополимерных материалов.....	118
Фесенко Л.Н., Федотов Р.В., Щукин С.А., Игнатенко С.И., Каберская Д.В., Паукова Д.В. Особенности совместного обезжелезивания и деманганации подземной воды на локальных очистных сооружениях х. Махин Ростовской области.....	122
Найманов А.Я., Турчина Г.С., Найманова А.А. Оценка надежности действующей водопроводной сети крупного города.....	130
Фесенко Л.Н., Черкесов А.Ю., Пчельников И.В., Пчельникова А.С. Техничко-экономическое сравнение методов обеззараживания воды хлорсодержащими реагентами.....	135
Терехов Л.Д., Федорчук А.В. Состояние и перспективы восстановления коммунальных трубопроводов Дальнего Востока России бестраншейными технологиями.....	145
Аль-Амри Заед Садик Абрахим, Щербаков В.И. Расчет основных узлов и вспомогательных устройств установки приготовления питьевой воды.....	156
Фесенко Л.Н., Федотов Р.В., Щукин С.А., Игнатенко С.И., Каберская Д.В., Онкаев В.А. Очистка подземных вод от бора сорбционным методом с применением активного угля.....	166
Тронь И.А., Поповьян Г.В. Оптимизация реагентной обработки воды на очистных сооружениях водопровода АО «Ростовводоканал» в тяжелые для водоподготовки периоды.....	174
Продоус О.А., Шипилов А.А., Иевлева Н.Е. Защита магистральных водоводов в горных условиях от гидравлического удара.....	180
Краснова Т.А., Беляева О.В., Гора Н.В. Использование углеродных сорбентов для удаления марганца из водных сред.....	185
Спицов Д.В., Первов А.Г., Курочкина В.А. Совершенствование мембранных систем очистки воды с учетом экологических требований: ликвидация и утилизация концентратов.....	187
III. ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ И ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ ОЧИСТКИ ХОЗБЫТОВЫХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД.....	202

Бондаренко Н.Б., Серпокрьлов Н.С. Эмиссия газов как регулятор процессов очистки и транспортирования сточных вод.....	202
Бутко Д.А., Долженко Л.А. Выбор схем реконструкции очистных сооружений водоотведения малых городов и поселений.....	208
Серпокрьлов Н.С., Бочкова Е.В., Бочков А.Г. Обоснование модификации сорозадерживающих решеток на канализационных насосных станциях.....	213
Вильсон Е.В. Особенности реагентной дефосфатизации сточных вод....	216
Морозов С.А., Серпокрьлов Н.С. Экономическое обоснование удаленного управления режимами ОСК северных территорий.....	222
Степанов С.В., Пономаренко О.С., Авдеенков П.П., Морозова К.М., Беляков А.В. Очистка сточных вод предприятия глубокой переработки яиц.....	228
Кадревич А.А. Опыт очистки сточных вод от этиленгликоля в биореакторах с иммобилизованным биоценозом.....	233
Спасибо Е.В., Гогина Е.С., Гульшин И.А. Исследование работы циркуляционного окислительного канала с удалением соединений азота.....	237
Булыжев Е.М., Орлов М.Е., Ламзин Е.М., Голованов В.Н. Доочистка ливневых и промышленных сточных вод в модульных станциях.....	242
Щербакова Ю.А. Локальная очистка «серых» сточных вод. Первые результаты лабораторных исследований.....	248
Кондакова Н.В., Гаврилина Ю.А., Серпокрьлов Н.С., Белоусова В.Ю. Исследование параметров газовойздушной смеси над поверхностью аэротенков на городских очистных сооружениях.....	253
Ермаченко П.А., Гогина Е.С., Соколова Е.А. Эксплуатация установки комплексной биомембранной технологии очистки фильтратов твердых коммунальных отходов.....	258
Михайлов А.В., Продоус О.А., Шипилов А.А. Торфяная фильтрация поверхностного стока для снижения негативного воздействия на водные объекты.....	263
Рученин А.А., Осокина Е.С. Внедрение коагулянтов производства АО «АУРАТ» в технологию очистки сточных вод на ОС ОЭЗ «АЛАБУГА».....	266
Фесенко Л.Н., Черкесов А.Ю., Паукова Д.В., Исраилов Р.В., Щукин С.А., Черкесова Ю.В. К вопросу очистки вентиляционных газовойздушных выбросов от сероводорода.....	274
Костюков В.П., Костюков П.В., Заплогова Т.Р. Опыт проектирования двухступенчатых сооружений биологической очистки хозяйственно-бытовых сточных вод.....	278
Информационно-рекламные материалы.....	281

ПРЕДИСЛОВИЕ

Международная научно-практическая конференция «Технологии очистки воды», сокращенно «ТЕХНОВОД», тринадцатая по счету, «ТЕХНОВОД-2021» проводится в г. Сочи, Красная Поляна 14–17 декабря. Предыдущие конференции проходили в городах:

- г. Новочеркасск, «ТЕХНОВОД-2004»;
- г. Казань, «ТЕХНОВОД-2005»;
- г. Кисловодск, «ТЕХНОВОД-2006»;
- г. Калуга, «ТЕХНОВОД-2007»;
- г. Кисловодск, «ТЕХНОВОД-2009»;
- г. Чебоксары, «ТЕХНОВОД-2011»;
- гг. Санкт-Петербург, Карловы Вары, «ТЕХНОВОД-2012»;
- г. Сочи, Красная Поляна, «ТЕХНОВОД-2014»;
- г. Ростов-на-Дону, «ТЕХНОВОД-2016»;
- г. Астрахань, «ТЕХНОВОД-2017»;
- г. Сочи, Красная Поляна, «ТЕХНОВОД-2018»;
- г. Москва, «ТЕХНОВОД-2019».

«ТЕХНОВОД-2021» состоится спустя два года после последней конференции в г. Москве. Пандемия «Ковид-19», начавшаяся в 2020 году и продолжающаяся до сих пор, бесспорно, наложила отпечаток на продуктивность научных исследований, уровень личных и научных контактов, преждевременно унесла жизни наших коллег, профессоров, докторов технических наук – **Кима Аркадия Николаевича** и **Куликова Николая Ивановича**, о них мы скорбим, и будем помнить всегда. Тем не менее, творчество, научный поиск, свойственный научному исследователю, продолжался и развивался за это время, выдавая «на гора» новые интересные работы, идеи.

«ТЕХНОВОД», как содружество науки и практики, как различные площадки роста молодых ученых давно стал авторитетным форумом апробации решения новых целей, задач и дискуссий по проблемам в области ВиВ. На двенадцати предшествующих конференциях «ТЕХНОВОД» научное сообщество внесло значительный вклад в развитие российской науки и техники, способствовало широкому внедрению в городское хозяйство, промышленное и сельское строительство многих новых эффективных технологий и конструкций.

В условиях кризисной ситуации из-за западных санкций значимость пропаганды результатов научно-исследовательской работы возрастает и требует как никогда консолидации научного сообщества, государственных организаций, малого и среднего бизнеса на технические перевооружения ЖКХ, внедрение экологически безопасных технологий в производство, создание импортозамещающих аппаратов и установок по обработке природных и сточных вод. И этому способствует деятельность конференции «ТЕХНОВОД».

Действительно, многие работы, доложенные на конференции

«ТЕХНОВОД» и опубликованные на страницах сборника, получили «путевку в жизнь», реализовались на практике в виде проектов, строящихся объектов, действующих сооружений водохозяйственных комплексов, процессов и аппаратов, различных реагентов для очистки воды.

Мы с удовольствием вновь возвращаемся на уже знакомую Краснополянскую площадку для проведения конференции, как это было в 2014 и 2018 годах. Вновь красота окружающей природы курорта в виде белых заснеженных вершин придает особый эмоциональный колорит встречи старых и новых участников форума.

Традиционно в программе «ТЕХНОВОД-2021» предусмотрены экскурсии на объекты ЖКХ г. Адлера и Красной Поляны, которые были построены в канун «Олимпиады-2014» и интересны тем, что позволяют оценить, насколько обоснованы были технологические решения станций очистки сточных вод и надежны строительные конструкции к природным стихиям этого региона.

В канун конференции «ТЕХНОВОД-2021» будет выпущен очередной сборник научных трудов, отражающий основные направления научных школ РФ. Это работы ученых городов: Новочеркаска, Самары, Санкт-Петербурга, Ростова-на-Дону, Воронежа, Москвы, Ульяновска и др., а также зарубежных авторов: из Азербайджана, Вьетнама, Украины, Ирака.

За период времени с 2004 года, когда состоялась первая конференция «ТЕХНОВОД» в г. Новочеркасске, и до сих пор, на страницах сборника было опубликовано более 600 научных работ, которые были либо первым пером исследовательской деятельности молодых ученых, либо обобщающим материалом многих лет работы в определенной области знаний маститых ученых. Традиционные дискуссии после выступления докладчиков придают особый фон конференции, переводя ее из формальной в творческую.

Наиболее интересные сообщения будут рекомендованы для публикации в тематических журналах, ведущим из которых является «Водоснабжение и санитарная техника».

Необходимо отметить, что конференция «ТЕХНОВОД» и «Яковлевские чтения», к сожалению, остаются единственными форумами в Российской Федерации, где проходят дискуссии, обсуждения текущих проблем и перспективы развития технологий с участием ведущих специалистов нашей страны. В рамках конференции «ТЕХНОВОД-2021» целесообразно обсудить и снижение качества научных публикаций и, как следствие, количества представляемых на защиту диссертаций по специальности 05.23.04 – Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов.

Особая благодарность членам редакционной коллегии: Гетманцеву С.В., к.т.н., генеральному директору ГК «АУРАТ»; Швецову В.Н., д.т.н., профессору, главному редактору журнала «ВСТ»;

Скрябину А.Ю., к.т.н., Заместителю Губернатора Ростовской области; Серпокрылову Н.С., д.т.н., профессору ДГТУ, г. Ростов-на-Дону; Фесенко Л.Н., д.т.н., профессору ЮРГПУ (НПИ), г. Новочеркасск; Игнатенко С.И., к.т.н., заместителю директора по научной работе ООО НПП «ЭКОФЕС», г. Новочеркасск. Особенно следует отметить Енгибарьянц Н.В., ведущего инженера ЮРГПУ (НПИ), ответственного секретаря редакционной коллегии, принимающую участие в творческом оформлении сборников трудов конференций «ТЕХНОВОД».

Оргкомитет выражает благодарность коллективу редакции журнала «Водоснабжение и санитарная техника», особенно главному редактору, д.т.н., заслуженному деятелю науки РФ, профессору Швецову В.Н. и заместителю главного редактора О.Н. Юдаковой, всегда активно поддерживающих и участвующих в проведении конференций «ТЕХНОВОД»!

Особую теплоту и высокий уровень организации «ТЕХНОВОДА» как всегда обеспечивает обаятельная женщина – Гетманцева Елена Викторовна, сотрудник ГК «АУРАТ», за что участники конференции ей очень признательны.

Опубликованные в сборнике «ТЕХНОВОД-2021» материалы носят аналитический, научно-исследовательский, опытно-производственный и реферативный характер и могут представлять интерес для специалистов (ученых, производителей, руководителей и организаторов водохозяйственных производств, проектных организаций), работающих в области водоснабжения, водоотведения, а также для инженерно-технических работников предприятий, выпускающих установки, аппараты и химреагенты, используемые в водном комплексе.

Конференция и сборник трудов окажут ощутимую поддержку бакалаврам, магистрам, аспирантам для реализации собственных идей, технических решений, в дискуссии и знакомстве с ведущими специалистами в области водоснабжения и водоотведения.

В период работы Международной научно-практической конференции «ТЕХНОВОД-2021» ее участники смогут не только узнать о новейших методах, инновационных технологиях, передовых конструкторских решениях в области современных систем водоснабжения и водоотведения, но и предложить участникам и гостям конференции свои разработки, сделать коммерческие предложения, заключить контракты.

Авторы опубликованных материалов несут ответственность за подбор и точность приведенных фактов, цитат, собственных имен и прочих сведений. Оргкомитет, публикуя материалы статей, может не разделять точку зрения авторов.

Оргкомитет конференции «ТЕХНОВОД-2021» благодарит всех докладчиков и гостей за участие в конференции, желает интересной творческой и полезной работы, крепкого здоровья и благополучия.

ОРГКОМИТЕТ

КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
ВОДНЫХ РЕСУРСОВ, ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ
ИХ РЕШЕНИЯ. ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ
СТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 628.161

**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ – ГАРАНТ КАЧЕСТВА
И БЕЗОПАСНОСТИ КОАГУЛЯНТОВ**

С.В. Гетманцев, Н.А. Сухонос
ГК «АУРАТ», г. Москва, Россия

Рассмотрен введенный в практику государственный стандарт ГОСТ Р 58580-2019 на «Полиоксихлорид алюминия», который может помочь технологам водоочистных сооружений решить сложные проблемы по очистке поступающих с водозабора вод различного состава до нормативных показателей качества и приобрести на рынке безопасные, эффективные и высококачественные ПОХА.

Для успешного решения первоочередной социальной проблемы по надежному обеспечению гарантированно качественной питьевой водой в настоящее время на рынке, наряду с традиционным коагулянтом сульфатом алюминия, широко используются коагулянты нового поколения полиоксихлориды алюминия (ПОХА). Коагуляционный метод обработки воды остается самым распространенным и эффективным. Этот классический метод отличает доступность, возможность организовать непрерывный контроль за ходом технологического процесса, его автоматизации, при простоте аппаратного оформления технологического процесса.

Возрастающая антропогенная нагрузка на источники водоснабжения, часто изменяющиеся показатели качества воды, поступающей с водозабора на очистные сооружения, требуют от технологов водоканалов оперативного решения задачи по стабилизации технологических параметров проводимой водоподготовки, с целью достижения нормативных показателей качества очищаемой воды. В связи с высокой возложенной ответственностью за качество производимой воды хозяйственно-питьевого назначения, технологи заблаговременно прорабатывают очень важный вопрос выбора коагулянта, обеспечивающего требуемую эффективность очистки воды, состав

которой постоянно изменяется. При этом решение данной непростой с точки зрения технологии проблемы необходимо выполнять при условии незначительного влияния расхода коагулянта на себестоимость очищаемой воды. Поэтому при выборе реагента учитывается его безопасность, эффективность, качество, стоимость и гарантия Производителя по своевременной поставке в необходимом количестве. В связи с этим на этапе приобретения коагулянта возникает дилемма по его выбору: технологу требуется высокоэффективный реагент, позволяющий гарантировать нормы питьевой воды, отвечающей требованиям санитарных норм и правил, а руководителю приобрести коагулянт по минимальной стоимости.

Решение указанной дилеммы осуществляется проведением конкурентной закупки коагулянта. Стоит отметить, что данная проблема удачно решается в случае приобретения традиционного коагулянта сульфата алюминия технического очищенного, качественные показатели которого установлены государственным стандартом и практически не зависят от способа, и технологии его получения.

Иначе обстоит решение по выбору и приобретению коагулянтов ПОХА. На сегодняшний день каждый Производитель этих коагулянтов пытается применить свои ноу-хау и технологии, производя реагент по собственным техническим условиям, в которых отражаются отдельные показатели качества. Стоит отметить, что, несмотря на одинаковые наименования коагулянтов и отдельные физико-химические показатели, ПОХА имеют различный химический состав, который зависит от применяемого сырья и методов производства. Следовательно, коагулянты могут существенно отличаться по своим потребительским свойствам, проявлять различную эффективность при обработке воды, имеющей одинаковые показатели качества.

Учитывая, что в настоящее время приобретение водоканалами коагулянтов ПОХА осуществляется на конкурсной основе, на рынке от различных Производителей неизбежно появляются предложения по поставке ПОХА с необоснованно низкой стоимостью и сомнительного качества.

Анализ составляющих себестоимости ПОХА указывает, что основной вклад в цену продукции вносит сырье. При использовании более дешёвого вторичного сырья, например отходов алюминия, абгазных или регенерированных кислот, можно значительно снизить себестоимость ПОХА и соответственно поставить их Потребителю по низкой цене.

Однако, входящие в состав вторичного сырья примеси, в том числе органические, а иногда имеющие и повышенный радиационный фон, которые недобросовестные Производители не отражают в показателях качества и соответственно не дают полной информации Потребителю о качестве своей продукции.

В связи с тем, что исследования по миграции в очищенную воду данных примесей и их модификаций, образующихся в результате обработки активным хлором, не проводятся, то безопасность применения ПОХА, произведенного из вторичного сырья, остается сомнительной. Поэтому несомненно следует рассматривать важным событием выпуск в свет ГОСТ Р 58580-2019, который не только системно отразил имеющиеся на рынке ПОХА, но и ввел запрет на использование вторичного сырья при производстве ПОХА, предназначенного для обработки воды хозяйственно-питьевого назначения.

Наше предприятие осуществляет производство и поставку на рынок ПОХА с 1996 года и сегодня является крупнейшим Производителем всех коагулянтов на территории РФ. Создав современное производство ПОХА по уникальной передовой технологии с высокой степенью автоматизации, ГК «АУРАТ» взяло верный курс на выпуск только качественных и высокоэффективных коагулянтов.

Для этого была аккредитована испытательная лаборатория, организован многоступенчатый контроль производства, включая контроль исходного сырья, полупродуктов, двухступенчатый контроль готового продукта на конечной стадии производства и при отгрузке Потребителю.

Получение качественного продукта обеспечивает высококвалифицированный персонал, оснащение производства передовыми техническими устройствами и использование сырья, соответствующего государственному стандарту.

Преимущества высокоэффективных ПОХА перед традиционным коагулянтом сульфатом алюминия известны потребителям и нет необходимости их обсуждать.

Но выбор ПОХА для очистки воды конкретного источника остается актуальной проблемой. Так, например, рассмотрим влияние такого показателя качества коагулянта ПОХА, как основность, на содержание остаточного алюминия при обработке низкощелочной воды, щелочность которой составляет 0,2 мг-экв/дм³.

Как видно из зависимости, приведенной на рисунке, с увеличением основности возрастает и минимальная доза коагулянта для достижения показателей остаточного алюминия в нормативном пределе, учитывая это можно сделать вывод, что лучше всего применять низкоосновные коагулянты для уменьшения дозы коагулянта, но это не совсем так. Низкоосновные коагулянты довольно сильно снижают щелочной резерв воды и диапазон доз коагулянта в низкощелочных водах очень мал, что приводит к необходимости подщелачивания исходной воды. Коагулянты со средней, или высокой основностью на щелочной резерв воды оказывают меньшее влияние, что позволяет дозировать большую дозу коагулянта в низкощелочных водах, без применения подщелачивающих реагентов.

Таким образом, правильно выбранный ПОХА позволяет при

минимальном расходе реагентов получать питьевую воду гарантированно соответствующую СанПиН 2.1.4.1074-01.

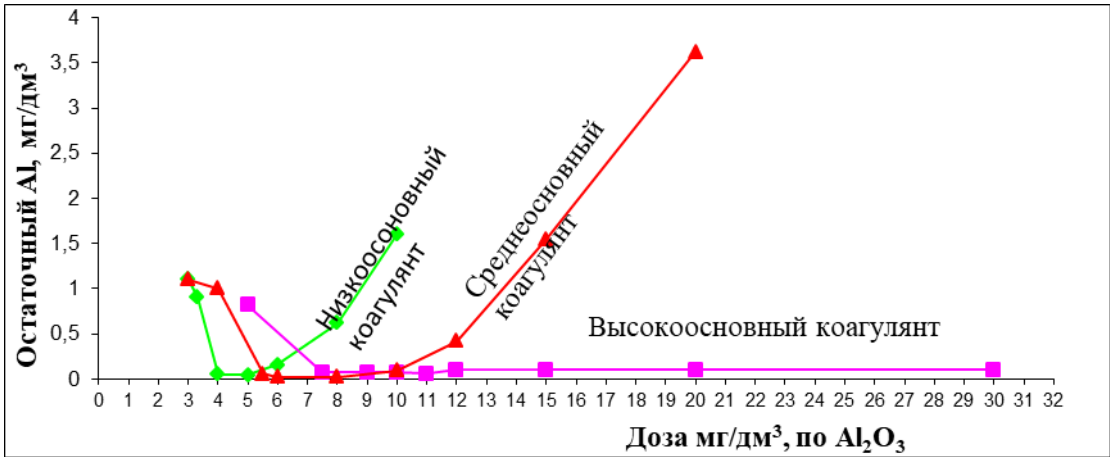


Рисунок. Влияние дозы коагулянта различной основности на содержание остаточного алюминия в воде

Таблица. Показатели качества ПОХА

Требования	Тип 1	Тип 2	Тип 3	Тип 4	Тип 5	Тип 6
1. Массовая доля оксида алюминия (Al ₂ O ₃) %, не менее	10,0±1,0	17,0±0,5	10,0±0,6	20,0±3,0	30,0±3,0	47,0±6,0
2. Плотность (при 20°С), г/мл, в пределах	1,22±0,06	1,37±0,03	1,24±0,02	1,30±0,08	–	–
3. Массовая доля хлоридов, % масс, в пределах	20,0±3,0	21,0±2,0	13,0±2,0	10,0±4,5	35,0±7,0	24,0±10,0
4. Основность, %, в пределах	0–25	38-45	65–75	70–83	38-45	70–83
5. pH (ед) водного раствора, в пределах	1,0±1,0	1,0±0,5	2,5±0,5	3,8±1,0	–	–
6. Массовая доля нерастворимого в воде остатка, % масс, не более	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,5
7. Массовая доля железа (Fe), % масс, не более	0,05	0,05	0,05	0,05	0,15	0,15
Примеси, токсические вещества* % масс, не более						
8. Массовая концентрация мышьяка (As)	0,001	0,001	0,001	0,001	0,003	0,003
9. Массовая концентрация кадмия (Cd)	0,001	0,001	0,001	0,001	0,003	0,003
10. Массовая концентрация хрома (Cr)	0,004	0,006	0,006	0,006	0,018	0,018
11. Массовая концентрация ртути (Hg)	0,001	0,001	0,001	0,001	0,003	0,003
12. Массовая концентрация никеля (Ni)	0,004	0,006	0,006	0,006	0,018	0,018
13. Массовая концентрация свинца (Pb)	0,001	0,001	0,001	0,001	0,003	0,003
14. Массовая концентрация сурьмы (Sb)	0,002	0,003	0,003	0,003	0,009	0,009
15. Массовая концентрация селена (Se)	0,002	0,003	0,003	0,003	0,009	0,009
16. Массовая концентрация бериллия (Be)	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0015	0,0015

Несомненно, в данный государственный стандарт необходимо внести некоторые уточнения, изменения и дополнения, однако одну из основных задач как гаранта поставки на рынок качественных ПОХА, удалось выполнить.

ГОСТ Р 58580-2019 на ПОХА должен выполнить систематизацию имеющихся показателей качества и их расширение с учетом потребительских свойств различных ПОХА и таким образом способствовал бы решению проблемы по выбору коагулянта ПОХА, но не все так гладко.

В настоящий момент идет разработка межгосударственного стандарта на полиоксихлорид алюминия, в который было предложено внести недоработки действующего ГОСТ Р 58580-2019, а именно принять таблицу «Показатели качества ПОХА», в следующей редакции, которая систематизирует продукты выпускаемые в РФ и странах ближнего зарубежья.

Подводя итог можно сделать вывод, что в введенный в практику государственный стандарт на ПОХА необходимо внести некоторые уточнения, изменения и дополнения, однако одну из основных задач как гаранта поставки на рынок качественных ПОХА, он выполняет, что позволяет технологам водоочистных сооружений решить сложные проблемы по очистке поступающих с водозабора вод различного состава до нормативных показателей качества и приобрести на рынке безопасные, эффективные и высококачественные ПОХА.

УДК 628.112/628.113

ИСТОКИ СТАНОВЛЕНИЯ ГИДРОХИМИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

В.А. Волосухин, Т.И. Дрововозова

Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А.К. Кортунова
ДонГАУ, г. Новочеркасск, Россия

Л.Н. Фесенко

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия

Рассматриваются вопросы создания в России нового ведомства – Министерства земельных и государственных имуществ, в котором в 1894 г. был создан отдел земельных улучшений на правах Департамента, открывший в 1914 г. химическую лабораторию гидрометрической части Европейской территории России, на базе которой в 1921 г. был открыт научно-исследовательский Гидрохимический институт (ГХИ) в городе Новочеркасске в составе Донского института сельского хозяйства Главпрофобразования Народного Комиссариата Просвещения, переименованного в 192 г. в Донской институт сельского хозяйства и мелиорации. В 1938 г. ГХИ переведен в состав Академии наук СССР.

Сотрудниками ГХИ за прошедшие 100 лет опубликовано около 3 тыс. научных

статей в отечественных и зарубежных изданиях, в том числе 133 тома сборников «Гидрохимические материалы», издано более 60 монографий, справочников, учебников и учебных пособий для студентов вузов. Сотрудниками ГХИ проведены гидрохимические исследования рек (Волги, Дона, Кубани и др.), озер (Байкала и др.), десятков тысяч прудов (Ростовской, Волгоградской областей, Ставропольского края и др.), имеющих важное научное и практическое значение.

В 1893 г. в России было создано новое ведомство – Министерство земельных и государственных имуществ. Первым Министром был назначен (1893 – 1905 гг.) *Ермолов Алексей Сергеевич*. В марте 1894 г. в составе нового ведомства был создан отдел земельных улучшений (ОЗУ), наделенный правами Департамента. В отделе земельных улучшений в соответствии с положением о новом Министерстве сосредотачиваются управление водными учреждениями России. Управляющими ОЗУ назначаются Николаем II видные ученые в области мелиорации, гидротехники и водного хозяйства: с 1894 по 1909 гг. – генерал от инфантерии, инженер-гидротехник *Жилинский Иосиф Ипполитович* [1–2], а с 1909 по 1917 гг. – князь *Масальский Владислав Иванович* [3].

В 1914 г. в г. Петербурге в отделе земельных улучшений создается химическая лаборатория гидрометрической части Европейкой территории России, которую возглавил заведующий лабораторией аналитической химии Донского политехнического института (1908 – 1914 гг.) *Кашинский Павел Александрович* (1868 – 1956 гг.), окончивший естественно-историческое отделение физико-математического факультета Московского университета [4]. Впоследствии он преподавал химию в Петербургском лесном институте [12] и прошел стажировку в 1902 – 1904 гг. в лабораториях Геттингена и Лейпцига (Германия) [8–9].

В 1917 г. после рижского прорыва немцев на фронте и угрозы оккупации химическую лабораторию ОЗУ Министерства земледелия (в 1917 г. Министр – Риттих Александр Александрович) перевели в Новочеркасск, где работал Донской политехнический институт с химическим факультетом [5–9].

11 октября 1918 г., благодаря усилиям профессора Арциховского Владимира Мартыновича (1876 – 1931 гг.), работавшего два года деканом химфака ДПИ (1908 – 1910 гг.), а затем (1910 – 1916 гг.) директором Новочеркасских высших женских сельскохозяйственных курсов Министерства земледелия [7–9], был открыт Донской сельскохозяйственный институт (ДонСХИН) с предоставлением государственной службы личному составу. Институт был отнесен к числу правительственных высших учебных заведений. Из средств государственного казначейства на нужды ДонСХИН ежегодно отпускалось 549 тыс. 700 руб. Институт имел два отделения: сельскохозяйственное и лесное [9].

В 1920 г. на Дон пришла Советская власть. ДонСХИН был передан в ведомство Народного Комиссариата Просвещения.

В структуре ДонСХИН имелись научные подразделения, в том числе и химическая лаборатория, которая в 1921 г. была преобразована в Гидрохимический институт, располагавшийся на ул. Московская в двухэтажном особняке и четырех флигелях во дворе особняка, отданных под квартиры первых сотрудников института.

20 июня 1922 г. ДонСХИН был преобразован Главпрофобр [9] в Донской институт сельского хозяйства и мелиорации (ДИСХиМ). Директором ДИСХиМ был назначен профессор В.М. Арциховский, а заведующим учебной частью – профессор П.А. Кашинский. 22 декабря 1922 г. Главпрофобр освободил В.М. Арциховского от должности директора в связи с переходом на работу в Москву. Приемником В.М. Арциховского на посту директора стал П.А. Кашинский, проработав в этой должности до 1926 г., оставаясь с 1921 по 1951 гг. директором Гидрохимического института [12].

В 1930 г. в СССР была осуществлена реформа высшего образования. ДИСХиМ 18 мая 1930 г. был преобразован в Северо-Кавказский институт водного хозяйства и мелиорации (СКИВХиМ), а в феврале 1933 г. переименован в Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт (НИМИ) Комиссариата земледелия СССР (несколько лет вуз носил имя Народного комиссара земледелия СССР Чернова Михаила Александровича (1934 – 1937 гг.), но после его репрессирования имя из названия вуза было исключено). Наименование вуза НИМИ просуществовало 62 года (1933 – 1995 гг.), после чего в 1995 г. он был преобразован в Новочеркасскую государственную мелиоративную академию (НГМА), а с 2014 г. – в Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А.К. Кортунова ФГБОУ ВО Донской ГАУ.

В 1938 г. ГХИ был передан в состав Академии наук СССР. В становлении и развитии гидрохимического института принимали участие известные ученые: Л.В. Бражникова, Н.В. Веселовский, В.Г. Дацко, А.А. Зенин, В.Т. Каплин, Г.С. Коновалов, П.А. Крюков, А.Д. Семенов, А.Г. Страдомская, В.Б. Страдомский, М.Н. Тарасов, Н.Г. Фесенко, В.В. Шлычкова и другие.

Учёные гидрохимического института внесли огромный вклад в развитие отечественной гидрохимии – современной науки значимой для народного хозяйства, охраны окружающей среды. Уже в 30 – 40-е годы XX в. под руководством проф. П.А. Кашинского институтом были выполнены плановые исследования гидрохимического режима ряда водных объектов, разработаны методы химического анализа природных вод и лечебных грязей, методология гидрохимических исследований, методика по борьбе с коррозией и накипеобразованием в паровых котлах. Исследования учёных ГХИ внесли немалый вклад в составление Водного

кадастра СССР.

ГХИ выстоял в годы Великой Отечественной войны. Благодаря проф. П.А. Кашинскому удалось сохранить оборудование института и его библиотеку во время оккупации г. Новочеркасска. Большую историческую ценность представляют воспоминания профессора П.А. Кашинского, хранящиеся в архиве НИМИ Донской ГАУ о периоде работы ДПИ, ГХИ с 1908 по 1951 гг. [12].

Во второй половине 40-х годов сотрудниками института Н.В. Веселовским и М.Н. Тарасовым выполнены экспедиционные исследования гидрохимического режима прудов засушливых и полузасушливых районов ЕТС, разработаны рекомендации по выбору мест и технологии сооружения прудов.

В октябре 1951 г. Президиум АН СССР назначил директором Гидрохимического института члена-корреспондента АН СССР О.А. Алекина, внесшего огромный вклад в разработку теоретических основ гидрохимии [13]. Начиная с этого времени, расширяется тематика исследования, в институт приглашаются видные ученые страны: П.А. Крюков, возглавивший лабораторию генезиса природных вод, В.Г. Дацко, развивший в институте новое направление – изучение компонентного состава органического вещества природных вод.

Под руководством О.А. Алекина и при его непосредственном участии сотрудниками института были проведены масштабные гидрохимические исследования на крупных водных объектах СССР – озере Балхаш, реках Волга и Дон, Цимлянском и Волжских водохранилищах, на трассе Главного туркменского канала в Каракумах, на прудах Юго-Востока ЕТС, в районах рудных месторождений Северного Кавказа и др.

По результатам исследований были опубликованы фундаментальные работы: «Гидрохимия озера Балхаш» (М.Н. Тарасов), «Гидрохимия Волги и ее водохранилищ» (А.А. Зенин), «Органическое вещество в водах южных морей СССР» (В.Г. Дацко), «Пруды в засушливых районах и их гидрохимия» (Н.В. Веселовский), «Сток растворенных веществ с территории СССР» (О.А. Алекин, Л.В. Бражникова).

В 1963 г. ГХИ переведен в систему Главного управления гидрометеорологической службы при Совете Министров СССР, в результате был разработан и внедрен на сети в лабораториях Гидрометеослужбы комплекс спектрофотометрических, газохроматографических, спектральных, люминесцентных и других методов анализа более 100 компонентов химического состава воды и эффективная система контроля качества аналитических работ, подготовлено и внедрено на сети Гидрометслужбы «Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши» (1977 г.).

С 1977 г. по 2014 г. Гидрохимическим институтом руководил член-корреспондент РАН, доктор геолого-минералогических наук, профессор Никаноров Анатолий Максимович – известный ученый в области экологии и охраны окружающей среды.

Многочисленные научные труды учёных ГХИ этого периода внесли огромный вклад в развитие фундаментальных научных основ гидрохимии, совершенствование государственного мониторинга качества поверхностных вод суши.

К настоящему времени в ГХИ разработано и пересмотрено в соответствии с современными достижениями и требованиями свыше 100 отраслевых научно-методических документов (методические указания, рекомендации), регламентирующих организацию и функционирование в рамках ГСН режимного мониторинга качества поверхностных водных объектов и их загрязнения. В институте разработано свыше 130 методик химического анализа природных и очищенных сточных вод для определения 150 показателей химического состава воды. Все методики метрологически аттестованы и включены в РД 52.18-535-96 «Федеральный перечень МВИ допущенных к применению при выполнении работ в области мониторинга загрязнения окружающей природной среды».

За 85 лет (1915 – 2000 гг.) XX века вышло 133 тома сборников «Гидрохимические материалы», раскрывающие результаты исследований коллектива ГХИ по гидрохимии, экологии, мониторингу окружающей среды. Они представляют национальную ценность для России.

Сотрудники ГХИ принимали и принимают активное участие в подготовке ежегодных Государственных докладов, представляемых Росгидрометом и Росприроднадзором, Минприроды России, а также МЧС России, Минсельхозом России, Росстатомом.

В результате многолетних гидрохимических исследований установлено, что естественные экосистемы России разрушены на площади 6 млн. км², что составляет 35 % территории страны. На душу населения в России приходится более 4 га разрушенных естественных экосистем. В Европе (без России) на душу населения приходится менее 1 га территорий с разрушенными экосистемами, в Китае – менее 0,6 га, в Японии – около 0,3 га. Разрушенные экосистемы расположены в основном на Европейской территории России и на Северном Кавказе.

Бассейн Азовского моря составляет 618,002 тыс. км², из которых к территории РФ относится 85 % (524,5 тыс. км²) и 15 % (93,5 тыс. км²) – к территории Украины. Основной приток воды (95 %) в Азовское море ($W = 290 \text{ км}^3$) составляет для среднего по водности года ($W = 41 \text{ км}^3$) из р. Дон $W_{\text{ср}} = 26,8 \text{ км}^3$ и р. Кубань $W_{\text{ср}} = 14,4 \text{ км}^3$. Вода в нижнем течении Дона (ниже г. Ростова-на-Дону) относится к категории «грязной», и отмечается тенденция к ухудшению качества воды. Вода р. Кубань за последние 20 лет в створе г. Краснодар характеризуется как «очень

грязная». Неудивительно, что рыбопродуктивность Азовского моря за последние 50 лет снизилась в десятки раз.

Состояние поверхностных и подземных вод, поступающих в Азовское море в маловодные годы, к которым относится и 2020 г., значительно ухудшается.

Ежегодно до 40 % случаев в РФ экстремально высокого (ПДК одного или нескольких веществ в 20 – 29 и выше раз превышает норму в периоде более 2 суток) (ЭВЗ) и высокого загрязнения (ВЗ) отмечается в бассейне р. Волга. Основными источниками ЭВЗ и ВЗ являются предприятия нефтяной, горнодобывающей, металлургической, целлюлозно-бумажной промышленности и ЖКХ. В РФ накоплено более 700 т отходов различного генезиса на каждого жителя страны [15].

На территории России выявлено 6439 объектов загрязнения подземных вод, в том числе 3441 объектов относится к водозаборам хозяйственно-питьевого назначения.

Забор воды в РФ из поверхностных ($W = 51,5 \text{ км}^3/\text{год}$) и подземных ($W = 8,5 \text{ км}^3/\text{год}$) составляет всего 1,41 % от среднеемноголетнего значения водных ресурсов ($W = 4258,6 \text{ км}^3/\text{год}$). Однако качество как поверхностных, так и подземных вод в РФ ухудшается, что свидетельствует о существенных нерешенных проблемах в водохозяйственном комплексе страны [14–15].

Всего 100 лет назад Новочеркасск, Ростов-на-Дону подавали для населения ключевую воду высокого качества. Ныне более 40 % проб воды из кранов в квартирах жителей Ростовской области не отвечает требованиям нормативов для питьевого водоснабжения [16].

ЛИТЕРАТУРА

1. Жилинский, И.И. Очерк работ экспедиции по орошению на юге России и Кавказе / И.И. Жилинский. – С.-Петербург: Тип. В. Безобразова и комп., 1892. 404 с.
2. Рассел Джесси. Жилинский Иосиф Ипполитович / Рассел Джесси, кон Рональд. – VSD, USA, 2012. 174 с.
3. Энциклопедический словарь / под ред. проф. И.Е. Андреевского. – Санкт-Петербург: Ф.А. Брокгауз, И.А. Ефрон, 1890–1907. – Т. 18а: Малолетство – Мейшагола. 1896. – II, С. 714.
4. Московский университет. К 250-летию МГУ им. М.В. Ломоносова. – М.: Изд. МГУ, 2002. 832 с.
5. Шумаков, Б.А. К истории инженерно-мелиоративного факультета Донского политехнического института / Б.А. Шумаков. – Новочеркасск, ДПИ, 1927. 38 с.
6. Новочеркасский политехнический. – Ростов н/Д: Изд. РГУ, 1974. 112 с.
7. Высшее образование в России: очерк истории до 1917 г. / Под ред. В.Г. Кинелева. – М.: НИИ ВО, 1995. 352 с.

8. Данцев, А.А. Университет – любовь моя / А.А. Данцев. – Ростов н/Д: Донпечать, 1997. 316 с.
9. Волосухин, В.А. История Новочеркасской государственной мелиоративной академии / В.А. Волосухин, Л.С. Николаева, А.А. Данцев. – 5-е изд., испр. и доп. – Новочеркасск: Колорит, 2013. 221 с.
10. Гидрохимический институт (1921 – 2001 гг.). – Ростов н/Д, 2001. 12 с.
11. Полтора века в авангарде сельскохозяйственной науки и образования (1865 – 2015 гг.). – М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2015. 448 с.
12. Кашинский, П.А. Воспоминания (1908 – 1951 гг.). Рукопись. Архив НИМИ Донской ГАУ, 1951. 167 с.
13. Алекин, О.А. Основы гидрохимии. – Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1970. 444 с.
14. Матишов, Г.Г. Климат, водные ресурсы и реконструкция гидротехнических сооружений с учетом интересов населения, рыболовства и сельского хозяйства, судоходства и энергетики: доклад на расширенном заседании Президиума Южного научного центра РАН (г. Ростов-на-Дону, 25 мая 2016 г.) / Г.Г. Матишов. – Ростов н/Д: Издательство ЮНЦ РАН, 2016. 64 с.
15. Государственный доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2018 году». – М.: НИА-Природа, 2019. 290 с.
16. Михеева И.В. Водные объекты и состояние водоснабжения на территории Южного федерального округа // Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2019»: материалы XII Межд. науч.-практ. конф.; г. Москва, 22–23 октября 2019 г. / Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т. (НПИ) имени М.И. Платова – Новочеркасск: Лик, 2019. С. 74–83.

УДК 631.6:626.8

УПРАВЛЕНИЕ ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ МАЛЫХ РЕК С ПРИМЕНЕНИЕМ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА

Т.В. Иванкова, Л.Н. Фесенко

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова», Новочеркасск, Россия

В данной статье дана оценка проведенным многофакторным обследованиям сооружений в бассейне реки Альма. Исследования позволили оценить техническое состояние промышленных, гражданских, транспортных, водохозяйственных и других объектов строительства в бассейне малой реки Альма с применением риск-ориентированного подхода. Были найдены многочисленные дефекты, пустоты, трещины, коррозия, которые ведут не только к потерям воды, но и к возникновению аварийной ситуации и угрозе затопления, расположенной в нижнем бьефе территории.

В 2020 – 2021 гг. нами проведена работа по инвентаризации и оценке технического состояния объектов мелиоративного и городского строительства в бассейне малой реки Альма Республики Крым. Задача комплексного обследования, которое мы ведём в течении 4 лет [1–4] – создание рабочей геоинформационной системы (ГИС) для обеспечения экологической безопасности промышленных, гражданских, транспортных, водохозяйственных и других объектов строительства в бассейнах малых рек, а также совершенствование управления природно-технической системы для создания благоприятных условий жизнедеятельности населения. ГИС состоит из баз данных, каждая база содержит обработанную информацию об объектах природно-технической системы.

Цель данного исследования – оценка уровня безопасности сооружений, определение остаточного ресурса их элементов, что является необходимым фактором при оценке рисков аварий на сооружениях в бассейне реки.

Задачи исследования включали анализ объектов мелиоративного и городского строительства по функциональному назначению, морфометрическим признакам, техническому состоянию, получение действительной картины технического состояния объектов на момент обследования.

Методы исследований включали в себя натурные многофакторные обследования [5], а также статистическую обработку данных, полученных в полевых условиях. Использовались общие научно–географические методы: статистический и картографический, представляющие собой набор полевых и камеральных методик. С целью установления фактической прочности бетона железобетонных облицовок водопроводящие сооружения были обследованы приборами неразрушающего контроля [6]. Применение приборов при обследовании сооружений позволяет оперативно, без дополнительных повреждений бетона, получать объективную оценку их технического состояния [7]. Нами обследовано 9 мелиоративных участков оросительной сети и 21 мостовое сооружение по руслу реки, с целью оценки их остаточного ресурса несущих элементов и эксплуатационной надежности [8]. В задачи многофакторного обследования входила оценка прочности, жесткости и устойчивости элементов сооружений на этапах жизненного цикла. Было использовано аттестованное оборудование для оценки физико-механических характеристик элементов: измерители прочности стройматериалов ИПС МГ 4.03, прочности бетона УКС МГ 4, ультразвуковой толщиномер А 1209, ультразвуковой измеритель защитного слоя бетона ИПА МГ 4 и другие. Инструментальные данные вводились в качестве исходных данных в расчетные модели оценки технического состояния сооружений сертифицированного программного комплекса SCAD.

Каждый объект был исследован по параметрам: оценка уровня безопасности на период обследования, назначение, координаты, количество постов наблюдений, количество точек выдела, КПД канала, длина канала/лотков, длина канала/бетонная облицовка, длина канала/земляное русло, максимальная пропускная способность, ближайший населенный пункт, материал ферм, материал опор.

В ходе визуального обследования объектов выявлены многочисленные дефекты. Из 9 мелиоративных участков оросительной системы – 3 имеют опасные дефекты, 6 – значительные. Согласно дефектной ведомости, результатов обследований, выполненных аналитических и численных расчетов, а также результатов ведения мониторинга за состоянием сооружений, выполняемого службой эксплуатации, с целью повышения надежности и безопасности ГТС были разработаны рекомендации для службы эксплуатации.

На реке расположены 17 автомобильных, три пешеходных и один железнодорожный мост. Большая часть мостов эксплуатируется более 40 лет. В результате натурных обследований нами было установлено, что 12 мостовых переездов находятся в аварийном состоянии.

Нами предложено ранжирование обследуемых сооружений согласно риск-ориентированного подхода. В целях снижения общей административной нагрузки на субъекты хозяйственной деятельности и повышения уровня эффективности контрольно-надзорной деятельности мы предлагаем схему перехода на риск-ориентированную модель контроля – от тотального контроля к дифференцированному планированию проверок в зависимости от уровня риска. Чем выше категория риска (класс опасности), тем чаще проводятся плановые проверки. Управление риском – меры, направленные на снижение уровня риска (рис.).



*ФЗ от 31 июля 2020 г. № 248-ФЗ "О государственном контроле (надзоре) и муниципальном контроле в Российской Федерации"

**ФЗ от 26 декабря 2008 г. № 294-ФЗ "О защите прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при осуществлении государственного контроля (надзора) и муниципального контроля"

Рисунок. Алгоритм управления ПТС малой реки, в условиях риск-ориентированного подхода

По результатам обследований разработаны и зарегистрированы базы данных [9–10] объектов транспортного, строительного, водохозяйственного и городского хозяйства в бассейне малой реки Альма с применением риск-ориентированного подхода, что позволяет предотвратить техногенные и природные аварии. Базы представляют собой совокупность реляционных таблиц, в которых размещены сведения, организующие связь по заданным параметрам. Каждая база содержит обработанную информацию – параметры сооружения, функциональное назначение, морфометрические признаки, геоморфологические особенности, физико-химические исследования проб воды, оценку технического состояния. Для работы с базами используются программные средства защиты и управления – системы управления базами данных (СУБД), с применением языков программирования, обеспечивая единые принципы описания, хранения и обработки информации.

ВЫВОДЫ

С помощью предложенных мер управления, рассчитанных критериев экологической безопасности природно-технической системы, риск-ориентированного подхода и комплексной оценки состояния бассейнов можно добиться:

- дифференцированного планирования проверок объектов в зависимости от уровня риска;
- снижения антропогенного фактора на бассейн реки;
- снижения потерь воды;
- снижения темпов испарения воды, используемой для орошения;
- сокращения объёмов потребляемой воды и уменьшения её потерь;
- очистки загрязнённой воды для её повторного использования.

Реализация мероприятий комплексного исследования является частью мероприятий национального проекта «Экология» Федеральной целевой программы «Социально-экономическое развитие Республики Крым и г. Севастополя до 2025 г.» и внедряется для решения ключевой цели в области рационального природопользования – комплексного научно-обоснованного использования природных богатств, при котором достигается максимально возможное сохранение природно-ресурсного потенциала, при минимальном нарушении способности экосистем к саморегуляции и самовосстановлению.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванкова, Т.В. Оценка степени антропогенной нагрузки в бассейне малой реки Альмы / Т.В. Иванкова // Водоснабжение и санитарная техника. 2019. № 12. С. 4–12.

2. Ivankova, T.V. Problem of environmental remediation of the river runoff of basin geosystem of the small river Alma (Republic of Crimea) [Электронный ресурс] // E3S Web of Conferences [Электронный ресурс]. – 2020. – Vol. 210: 8th Innova-tive Technologies in Science and Education, ITSE 2020; Rostov-on-Don; Russian Federation; 19–30 August 2020 / Don State Technical University.
3. Ivankova, T.V. Determination of the Anthropogenic Load Degree in the Basin of the Small Alma River [Электронный ресурс] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2020. – Vol. 459 (4): International science and technology conference «EarthScience» 10-12 December 2019, Russky Island, Russian Federation. – № 042031.
4. Иванкова Т.В. Обследование бассейновой геосистемы малой реки Альма (Республика Крым) Информационные технологии в обследовании эксплуатируемых зданий и сооружений: материалы XIX Межд. науч.-техн. конф.; г. Новочеркасск 22–23 октября 2020 г. / Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т (НПИ) имени М.И. Платова. Новочеркасск: Лик, 2020. С.131–136.
5. Белогай, С.Г. Волосухин, В.А. Тищенко, А.И. Гидротехнические сооружения внутрихозяйственной мелиоративной сети: Монография. [Текст] / С.Г. Белогай, В.А. Волосухин, А.И. Тищенко – М.: РИОР: ИНФА–М, 2013. 321 с. (Научная мысль). www.dx.doi.org/10.12737/10949
6. Бандурин, М.А. Эксплуатационный мониторинг и остаточный ресурс водопроводящих сооружений мелиоративных систем [Текст] / М.А. Бандурин – Ответственный редактор, Заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор В.А. Волосухин –2–е изд., перераб. и доп. Новочеркасск: Лик. 2021. 233 с. – ил.
7. Бандурин, М.А. Необходимость системы постоянного мониторинга водопроводящих сооружений для рационального водопользования на юге России [Текст] / М.А. Бандурин // Инженерный вестник Дона. – 2016. № 2 (41). С. 99.
8. СП 58.13330.2019. Свод правил. Гидротехнические сооружения. Основные положения.
9. Свидетельство о регистрации базы данных RU 2021620320 База данных объектов строительства и городского хозяйства через малую реку Альма (Республика Крым) / Т.В. Иванкова; заявитель и правообладатель Т.В. Иванкова. – 2021620320, дата регистрации 12.02.2021 г.
10. Свидетельство о регистрации базы данных RU 2021621784 База данных сооружений мелиоративного строительства в бассейне реки Альма (Республика Крым) / Т.В. Иванкова; заявитель и правообладатель Т.В. Иванкова. – 2021621784, дата регистрации 23.08.2021 г.

УДК 504.453

**МЕРОПРИЯТИЕ ПО ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ
Б. ТЕМЕРНИК (Б. КАМЫШЕВАХА) ОТ ВПАДЕНИЯ Б. ЖАНКИНА
ДО ВЕРХОВОГО ВОДОХРАНИЛИЩА***Д.В. Кашарин*

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова», Новочеркасск, Россия

Статья посвящена экологической реабилитации б. Темерник (б. Камышеваха). Рассматриваются основные гидрологические и геологические характеристики водного объекта на участке работ с учетом проведенных изысканий. Обосновывается использование геотуб для складирования донных отложений.

Экологическая реабилитация реки Темерник и безопасный пропуск расчетных расходов весеннего половодья и дождевых паводков может быть достигнута увеличением пропускной способности русла, реконструкцией труб переездов, мостов и мостиков, снижением поступления в реку наносов и загрязняющих веществ, удалением кустарниковой и древесной растительности.

Необходимость проведения мероприятий обусловлена следующими факторами:

- заиление реки;
- загрязнение акватории, дна и береговой линии;
- эрозионные процессы по берегам реки;
- частичная утеря облика реки;
- замедленный водообмен;
- зарастание русла реки, наличие поваленных, сухостойных и аварийных зеленых насаждений.

Понижение уровней воды в русле, особенно в меженные периоды, восстановление дренирующей способности русла оздоровит прилегающие территории, ликвидировав существующие заболоченные участки. Понижение уровней грунтовых вод ухудшит условия произрастания высшей водной растительности (камыша, тростника, осоки, рогоза), что будет способствовать улучшению прилегающего к реке ландшафта.

Балка Темерник (Камышеваха), впадает в реку Темерник на расстоянии 11,5 км от устья реки Темерник. Водосборная площадь балки Камышеваха составляет 125 км². Исток балки Камышеваха находится на расстоянии 7 км от ее устья в районе водохранилища ФГБУ «Управление «Ростовмелиоводхоз», получившего название «Ростовское море».

Схема участка работ протяженностью 9,21 км в Аксайском районе и г. Ростове-на-Дону Ростовской области приводится на рисунке 1.

В гидрологическом отношении балка Темерник изучена недостаточно, главным образом это касается стокового режима. Данные по стоку воды имеются лишь в одном створе – водпост г. Ростова-на-Дону «Дом отдыха» на р. Темерник с водосборной площадью 235 км за 14-летний период с 1955 по 1968 гг. Основные гидрографические характеристики балки Темерник на участке изысканий приводятся в таблице 1.

Водный режим балки Темерник характеризуется наличием весеннего половодья в феврале-марте и маловодной меженью в остальную часть года, прерываемую невысокими дождевыми паводками.

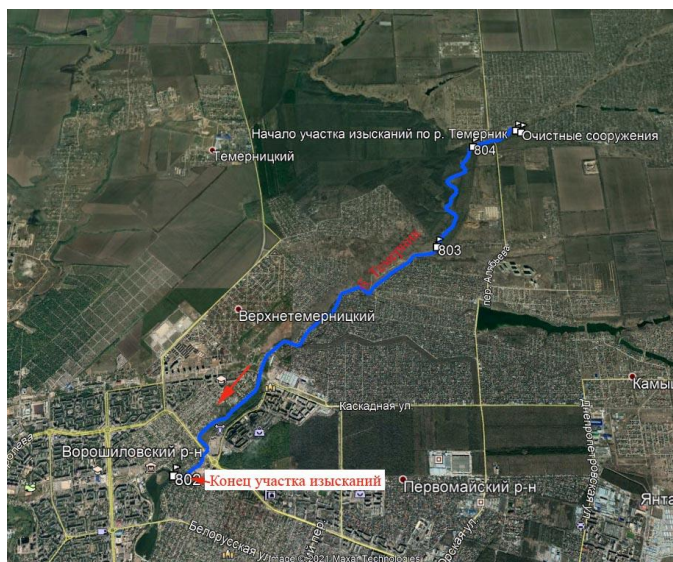


Рисунок 1. Схема р. Темерник (б. Камышеваха) на участке расчистки русла протяженностью 9,21 км в Аксайском районе и г. Ростове-на-Дону

Таблица 1. Основные гидрографические характеристики Балки Темерник

Водоток – створ	Характеристика водотока					
	Расстояние от истока, км	Расстояние от устья, км	Площадь Водосбора км ²	Средне-взвешенный уклон русла, ‰	Средняя высота водосбора, м	Залесенность, %
б. Темерник – начало участка	7,0	12,0	26,0	5,3	85	< 1
б. Темерник – начало участка	16,3	2,7	118	3,7	80	8

Весеннее половодье в маловодные годы слабо выражено. В теплые зимы оно проходит невысокими волнами, охватывая период с февраля по апрель. В редких случаях во время интенсивного снеготаяния выпадают ливневые дожди, в результате чего формируется высокий паводок,

который может привести к затоплению поймы в низовьях реки. Высокие паводки смешанного происхождения (снеговые и дождевые) отличаются большой интенсивностью подъема, достигая максимума в течение суток.

Основными факторами антропогенного воздействия, влияющими на характер изменения поверхностного стока с водосбора, являются значительные площади жилищной и промышленной застройки, сельскохозяйственная деятельность, гидротехнические сооружения в русле и на боковой приточности балки Темерник

Термический режим балки Темерник значительно изменен под влиянием деятельности человека. Зарегулированность водотока, изменяющийся режим скоростей течения и глубин влечет за собой изменение термического режима.

На реках бассейна наблюдаются следующие ледовые явления: забереги, сало, шуга, ледостав, ледоход, заторы и зажоры. Ледовый режим можно охарактеризовать, как неустойчивый.

Первые ледовые явления обычно появляются в середине ноября, а ледостав устанавливается в первый декаде декабря и удерживается, в среднем, около 3-х месяцев, а в наиболее суровые зимы до 4-х.

Иногда водоток вскрывается среди зимы в результате оттепелей. На мелководьях часто образуются наледи.

Максимальная толщина по наблюдениям на водпосту у Дома отдыха – 61 см. Весеннего ледохода, как правило, не бывает. В суровые зимы лед примерзает к грунту ложа и остается даже после прохождения половодья. Перед мостовыми сооружениями образуются заторы льда высотой 0,5 – 1,0 м.

Годовой сток является интегральной характеристикой речного стока и позволяет судить о водных ресурсах речных бассейнов и целых регионов. Он изменяется под влиянием климатических условий и антропогенных факторов.

По разделению территории на районы по физико-географическим условиям бассейн р. Темерник относится к III Нижне-Донскому.

Норма стока или средний многолетний сток является основной характеристикой, определяющей общую водоносность водотока и потенциальные водные ресурсы данного бассейна. Основными факторами, влияющими на годовой сток, являются: климат, размеры водосбора, рельеф, почвенный и растительный покров, хозяйственная деятельность на водосборе и реке.

Средний годовой сток на рассматриваемой территории изменяется в основном в широтном направлении, значительно уменьшаясь с севера на юг, хотя в отдельных её частях отмечаются повышения или понижения его значений, обусловленные характером форм рельефа.

Среднемноголетние значения модулей годового стока изменяются для рек данного бассейна от 0,2 л/с·км² на юге до 5 л/с·км² на севере

района. Результаты расчёта годового стока воды б. Темерник приводятся в таблице 2.

Таблица 2. Параметры и величины годового стока б. Темерник

Водоток-створ	Площадь водосбора, км ²	Среднегодовой модуль стока, q0 (л/с км ²)	Параметры кривой обеспеченности			Характеристика стока	Расходы (сток) обеспеченностью Р, %		
			Среднегодовой расход воды, Q ₀ (м ³ /с)	C _v	C _s		50	75	95
б. Темерник - Начало участка (пп 1)	26,0	0,5	0,013	0,6	2C _v	Q (м ³ /с)	0,012	0,007	0,003
						W, (млн/ м ³)	0,36	0,23	0,10
б. Темерник - конец участка (ПП 114)	118	0,5	0,059	0,6	2C _v	Q, (м ³ /с)	0,052	0,033	0,015
						W, (млн. м ³)	1,65	1,03	0,48

Внутригодовое распределение стока рек характеризуется четко выраженной летней меженью, охватывающей период с июня по ноябрь, и периодом повышенного стока с декабря по апрель, с максимумом обычно в марте (табл. 3).

Максимальный сток б. Темерник, как было сказано выше, приурочен к весеннему половодью, во время которого проходит около 50 % годового стока. Максимальные расходы воды обычно бывают смешанного происхождения за счёт таяния снега при одновременном выпадении дождей. Дождевые максимальные расходы наблюдаются в любое время года, но по величине они уступают максимальным расходам половодья. В целом для формирования максимальных расходов необходимо сочетание трех основных факторов: экстремальных снегозапасов, интенсивного снеготаяния (дружность весны) и оптимальной цементации почвогрунтов.

Для расчета максимального стока использованы данные наблюдений водомерных постов-аналогов.

Главным гидрографическим параметром, по которому идет расчет максимальных расходов воды весеннего половодья является площадь водосбора. Данная характеристика определялась для каждого расчетного створа по топографическим картам.

Таблица 3. Внутригодовое распределение стока б. Темерник (конец участка)

Водность	Размерность	Месячный сток												
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Средний, 50 %	%	15,3	12	30,4	9,83	6,12	5,49	2,08	1,2	1,83	2,28	3,59	9,76	100
	м³/с	0,09	0,08	0,19	0,06	0,04	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,06	0,052
	млн. м³	0,25	0,20	0,50	0,16	0,10	0,09	0,03	0,02	0,03	0,04	0,06	0,16	1,64
Маловодный, 75 %	%	15,3	12	30,4	9,83	6,12	5,49	2,08	1,2	1,83	2,28	3,59	9,76	100
	м³/с	0,06	0,05	0,12	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,04	0,033
	млн. м³	0,16	0,12	0,32	0,10	0,06	0,06	0,02	0,01	0,02	0,02	0,04	0,10	1,03
Очень маловодный, 95 %	%	15,3	12	30,4	9,83	6,12	5,49	2,08	1,2	1,83	2,28	3,59	9,76	100
	м³/с	0,03	0,02	0,05	0,02	0,01	0,01	0,004	0,002	0,003	0,004	0,007	0,017	0,015
	млн. м³	0,072	0,057	0,144	0,046	0,029	0,026	0,010	0,006	0,009	0,011	0,017	0,046	0,47

В качестве аналога для расчета максимального стока принят ближайший действующий гидрологический пост р. Крепкая – сл. Большекрепинская. Условия формирования стока и характер протекания водотоков для рассматриваемых участков аналогичны (табл. 4).

Таблица 4. Величины максимального стока

№ пп	Водоток-створ	Площадь водосбора, км²	Максимальные расходы м³/с обеспеченностью (Р%)			
			1	3	5	10
1	б. Темерник – Начало участка	26	13,7	9,56	7,47	5,04
20	б. Темерник	58	30,5	21,3	16,7	11,2
42	б. Темерник	65,6	34,5	24,1	18,9	12,7
57	б. Темерник	96	50,5	35,3	27,6	18,6
94	б. Темерник	110	57,9	40,4	31,7	21,2
114	б. Темерник – конец участка	118	65,1	43,4	33,9	22,9

В рассматриваемом районе расходы дождевых паводков в многолетнем разрезе превышают расходы весеннего половодья.

Максимальные расходы воды дождевых паводков определены по формуле предельной интенсивности (табл. 5).

**Таблица 5. Расчетные максимальные расходы воды дождевых паводков
р. Темерник в районе изысканий**

Водоток	Местоположение	Площадь водосбора, А, км ²	Расход воды Q (м ³ /с) вероятностью превышения				
			1 %	2 %	5 %	10 %	25 %
Темерник	ППЗ	397	58,0	51,2	42,2	33,9	26,1

Минимальные расходы воды на б. Темерник обычно наблюдаются в летне-осенний период (май-ноябрь), но в суровые зимы могут наблюдаться и зимой.

Минимальные 30-суточные (средние месячные) расходы воды Q 80 % (л/с) за летне-осенний и зимний периоды определены по картам минимального 30-дневного зимнего и летне-осеннего стока рек обеспеченностью P = 80 %. Расчетные значения минимального стока приводятся в таблица 6.

Таблица 6. Минимальный 30-дневный сток воды

Водоток – створ	Площадь водосбора, км ²	Модуль стока обеспеченностью 80 % (л/с·км ²)		Характеристика стока	Минимальный 30-дневный сток обеспеченностью p, %		
					80	75	95
б. Темерник – начало участка (пп 1)	26	лето-осень	0,04	Q (л/с)	1,04	1,08	0,81
		зима	0,1		2,60	2,70	2,02
б. Темерник – конец участка (ПП 114)	118	лето-осень	0,04	Q (л/с)	4,72	12,4	9,26
		зима	0,1		11,8	12,3	9,15

Для оценки твердого стока балки р. Темерник используем модуль стока для Западно-Предкавказской провинции степной зоны. Модуль стока наносов определен в 59 т/км² [1].

Во время снеготаяния или ливневых дождей с водосборов со стоком воды выносятся осадкообразующий материал в виде взвешенных и влекомых наносов, органических и химически растворенных веществ. Пыльные бури поставляют на поверхность зарегулированных участков продукты эолового происхождения.

Твердый сток б. Темерник практически полностью формируется за счет взвешенных наносов и проходит в период половодья. Вследствие

отсутствия данных по твердому стоку годовой объем стока наносов в расчетном створе определен по картограмме ЮГВХ к «Указаниям по расчету заилиения водохранилищ» [2–4].

Расчетные значения минимального стока приводятся в таблице 7.

Таблица 7. Сток наносов

Водоток-створ	Площадь водосбора, км ²	Средний годовой сток наносов, тыс. т		
		Взвешенных	донные	Всего
б. Темерник – пп 1	26	1,53	0,35	1,88
б. Темерник – пп 57	96	5,66	1,30	6,96
б. Темерник – пп 114	118	6,96	1,60	7,56

Для получения уровенных характеристик б. Темерник на исследуемом участке был выполнен комплекс гидрографических работ и гидравлических расчётов, зафиксированы отметки уровней высоких вод, проведены исследования по определению коэффициента шероховатости русла, на основании которых были рассчитаны и построены кривые расходов воды $Q(H)$. При этом средний уклон водной поверхности б. Темерник на участке производства работ принят 5,3 – 5,9 ‰, с коэффициентом шероховатости 0,04 – 0,1.

Средняя скорость течения б. Темерник при максимальном расходе 1 % обеспеченности – 1,2 – 1,5 м/с в начале участка, 2 – 2,5 м/с в конце участка.

Влияние средней скорости на русловые процессы в естественном состоянии приводит к свободному меандрированию русла. Однако в связи с зарегулированием стока воды и наносов водоподпорными сооружениями и хозяйственным освоением территорий водосбора условия для развития этого процесса практически отсутствуют. Объясняется это тем, что пойменно-русловой процесс протекает в условиях избытка наносов, образованных на водосборе в результате распашки склонов. При этом интенсивность нарастания толщи наносов в водотоке превышает интенсивность переформирования пойменного массива, а регулирование скоростного режима сводят водноэрозионные процессы на зарегулированных участках на нет. Основная часть поймы затапливается водой, зарастает водной растительностью и нарастает за счет аккумулятивных наносов, но не размывается и не переформировывается концентрированным русловым потоком, ввиду его отсутствия.

Аккумулятивные процессы приводят к заиливанию водотока, мощность илистых отложений постепенно растет. Отложения в реке распространяются более или менее равномерно, чему способствует фракционный состав наносов и их перемещение под действием гидрометеорологических факторов (течение, волнение). При малых

глубинах наблюдается рост водолубивой растительности, поэтому она приурочена к приурезовой зоне. Мощность илистых отложений на исследуемом участке, полученная по данным гидрографических работ составила 0,2 – 0,6 м.

Берега водотока нейтрального типа, пологие, высотой 0,5 – 1,2 м, заросшие камышом, на канализированном участке до 3,5 м и характеризуются отсутствием эрозионной деятельности.

Основные зоны размыва берегов реки на участке приурочены к вогнутым берегам, расположенным, как правило, в вершинах излучин, при максимальных расходах на вершинах излучин возможен подмыв береговых бровок.

В геологическом строении данной территории принимают участие породы коренной основы верхнего отдела Неогеновой системы Понтического яруса (N1pn), перекрытыми с поверхности голоценовыми аллювиальными (aQIV) и верхнеплейстоцен-голоценовыми аллювиально-делювиальными (adQIII-IV) отложениями различной мощности в пойменной части р. Темерник.

Коренную основу на некоторых участках дна р. Темерник составляют отложения Понтического яруса (N1pn), которые представлены известняком-ракушечником, средней прочности, рыхлым, размягчаемым, периодически выходящих на поверхность в русле реки и бортах.

В целом на протяжении русла выделены 5 инженерно-геологических элементов (ИГЭ):

ИГЭ-1 – ил глинистый, темно-серый до чёрно-бурого, текучий с низким содержанием органического вещества до 12,5 %;

ИГЭ-2 – глина темно-серого, серого цвета, мягкопластичная, с гнездами заторфованности с корнями камышовой растительности, с низким содержанием органического вещества 13,1 %;

ИГЭ-3 – глина темно-серого, серого цвета, полутвердая, с корнями камышовой растительности;

ИГЭ-4 – суглинок светло-бурый, бурый с желтоватым оттенком, по червоточинам сероватый, полутвердый с включением рыхлых карбонатов, с корешками растений;

ИГЭ-5 – известняк-ракушечник ржаво-бурого, желто-бурого цвета, средней прочности, рыхлый, размягчаемый.

В гидрогеологическом отношении грунтовые воды являются среднеагрессивными по суммарной концентрации сульфатов и хлоридов и водородному показателю.

Производим расчет для определения минимальных параметров русла, необходимых для рекультивационного попуска 10 % обеспеченности, создающего условия транспорта наносов, в зависимости от характеристик грунта принимаем коэффициент шероховатости $n = 0.03$,

а также учитываем условия устойчивости берегов, незаиляемости и неразмываемости русла, результаты которого приводятся в таблице 8.

В связи со стесненными условиями и невозможностью производства работ на участке ПК0-ПК36 вне русла, обусловленного охранными зонами Щепкинского леса, предусматриваются средства гидромеханизации для расчистки русла за счет применения земснаряда Нептун-1 или его аналога. Для складирования грунта предусмотрены геотубы, укладка которых производится на обвалованные площадки с вальцами до 0,5 м по периметру с заложением откосов 1,5. Вальцы устраиваются из растительного грунта и покрываются геотекстилем и мелиоративной пленкой (рис. 2).

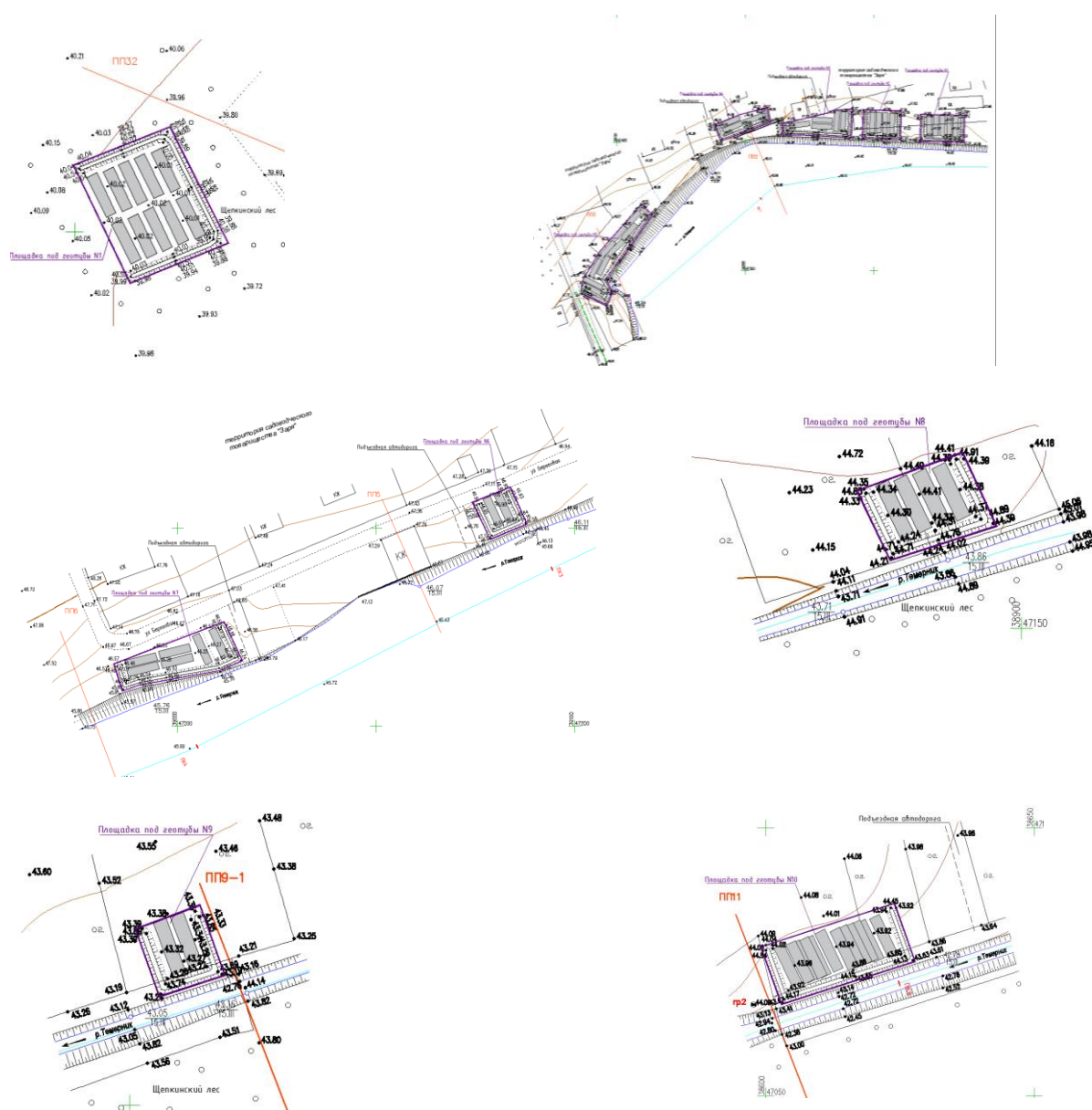


Рисунок 2. Площадки складирования геотуб

Таблица 8. Минимальные гидравлические характеристики поперечного сечения русла р. Темерник для пропуска расхода 10 % обеспеченности

№ поперечника	№ пикета	Расчетный расход, м ³ /с	b, м	B, м	h, м	m	ω, м ²	χ, м	R, м	C _{0,5} , м ^{0,5} /с
1-6	1-4	5,04	2,0	6,13	1,38	1,5	5,6	6,97	0,800	31,54
7-52	5-46	11,2	3,0	10,57	1,86	2,0	12,44	11,30	1,102	34,134
53-58	47-51	12,07	3,0	11,04	2,01	2,0	14,11	11,99	1,177	34,691
59-74	52-65	18,6	3,5	13,33	2,46	2,0	20,67	14,486	1,427	36,365
75-80	66-70	27,6	3,5	17,53	3,13	2,0	30,67	17,53	1,749	38,228
81-103	71-85	31,7	4,0	17,23	3,41	2,0	35,22	18,82	1,871	38,865
104-114	86-92	33,9	4,0	17,80	3,45	2,0	37,67	19,44	1,937	39,195

Применение геотуб позволяет обеспечить складирование донных отложений в прибрежной защитной полосе в стесненных городских условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Прыткова М.Я. Малые водохранилища лесостепной и степной зон СССР. Л.: Изд-во Наука, 1979. 172 с.
2. Технический отчет об «Инженерно-геодезических изысканиях» по объекту: «Расчистка б. Темерник (б. Камышеваха) от впадения б. Жанкина до Верхового водохранилища», расположенному по адресу: Участок б. Темерник (б. Камышеваха) от впадения б. Жанкина до Верхового водохранилища на территории г. Ростова-на-Дону, Ростовской области, выполнен ООО НПО «Система» в 2021 г.
3. Шмидт Т.С. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. – Л., Гидрометеиздат, 1984.
4. Технический отчет по результатам инженерно-геологических изысканий по объекту: «Расчистка б. Темерник (б. Камышеваха) от впадения б. Жанкина до Верхового водохранилища», расположенному по адресу: Участок б. Темерник (б. Камышеваха) от впадения б. Жанкина до Верхового водохранилища на территории г. Ростова-на-Дону, Ростовской области, выполнен ООО НПО «Система» в 2021 г.

УДК 628.512/628.166

ЖИДКИЙ ХЛОР: ПРОБЛЕМА ТЕХНОГЕННОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

А.Ю. Скрябин

Заместитель Губернатора Ростовской области, г. Ростов-на-Дону, Россия

В работе рассматривается проблема экологической безопасности при использовании газообразного хлора на станциях водоподготовки, расположенных в селитебных зонах населенных пунктов. Описаны причины и условия возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС), а также показана необходимость прогноза последствий данных ЧС. Определены параметры для анализа последствий ЧС и оценки их масштаба. На контрольном примере приведены прогнозные оценки потерь в зоне заражения химически опасным веществом, рассмотрена институциональная составляющая регулирования действий по защите населения и территорий при ЧС. Даны рекомендации по замене газообразного хлора на безопасный гипохлорит натрия.

Расширение жилых зон городов и поселков городского типа в связи со спонтанно развивающимися агломерациями часто приводит к нахождению водопроводных, а также канализационных сооружений в нежелательной близости от мест проживания и/или скопления людей. Это создает определенную опасность для них при происшествии или авариях на указанных объектах, особенно при использовании хлора. Причинами подобных происшествий, как правило, являются:

- технические неполадки в системе технической безопасности оборудования или резервуаров;
- человеческий фактор, провоцирующий или ошибочные оперативные и/или организационные действия персонала;
- внешние воздействия природного характера или внутренние воздействия развивающейся аварийной ситуации на объекте.

По мнению западных экспертов около 2/3 аварий с участием хлора приходится на цистерны, технологические емкости, контейнеры или баллоны, т.е. емкости, содержащие хлор. В связи с этим вероятность одномоментного разрушения всех емкостей с оперативным запасом хлора незначительна. Наиболее вероятное аварийное событие – повреждение единичной емкости хлора.

В любом из вышеприведенных случаев хранение хлора в селитебных зонах городов и поселков городского типа создает условия возникновения чрезвычайных ситуаций [1–3]. Последствия подобных ЧС следует прогнозировать, поскольку:

- а) затраты на ликвидацию последствий данных ЧС могут быть чрезмерны;
- б) подобные аварийные ситуации, как правило, относят к авариям высшей степени химической опасности.

При моделировании последствий выброса хлора необходима классификация территорий заражения, где могут реализоваться неблагоприятные для жизни и здоровья условия для населения.

На практике сложилась следующая классификация:

- очаг аварии (место аварии и производственная площадь распространения хлора);
- район аварии (территория, где выброс хлора максимально поражает население);
- зона распространения (химическое заражение за пределами района аварии, характеризуется распространением облака хлора по направлению ветра и ограничена изолинией средних значений экспозиционной дозы).

При механическом разрушении оболочек резервуаров в течение нескольких минут образуется аэрозоль хлора в количестве 2,5 % от его массы, при дальнейшем испарении с подстилающей поверхности возникает вторичное облако хлора [4].

Анализ последствий выброса хлора на объекты и население, определение характера и масштаба поражения проводится исходя из следующих параметров:

- времени как фактора поражающего действия хлора;
- объема аварийного выброса, определяющего масштаб заражения;
- динамики границ химического поражения хлором;
- оценки людских потерь в очаге аварии / химического поражения.

Определение влияния выброса хлора, оценка характера и масштаба поражения проводится в рамках моделирования / прогноза последствий потенциальной чрезвычайной ситуации или аварии, связанной с выбросом хлора.

В принятом в 1994 г. в РФ ФЗ «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» [5] введено понятие «экономическое последствие от чрезвычайной ситуации» с целеполаганием – снижение экономического ущерба и потерь от ЧС.

Понятие экономического ущерба от ЧС будем трактовать в соответствии с [6] как совокупность прямых и отдаленных экономических потерь вследствие повреждения / разрушения материальных или иных объектов производственного, социального и бытового назначения, а также культурных ценностей, временной или постоянной убыли трудовых ресурсов [6]. К изложенному выше следует добавить недополученную прибыль хозяйствующими субъектами и собственно затраты на ликвидацию последствий ЧС в стоимостной форме.

Несмотря на постоянное совершенствование нормативной базы, условий хранения хлора, технологического и другого оборудования затраты на обеспечение безопасности использования жидкого хлора несомненно будет превышать затраты на процесс хлорирования. В то же время расходы на ликвидацию последствий аварийной ситуации

невозможно прогнозировать. Данные обстоятельства определяют объективную необходимость модернизации систем водоочистки, поскольку затраты на повышение противоаварийной устойчивости хлорного хозяйства велики.

В соответствии с нормативными документами [5, 7] прогнозная оценка химической обстановки в результате заражения химическими веществами должна проводиться при возможных «наихудших условиях», а именно: одновременный розлив / выброс хлора из контейнера или из его текущего запаса; благоприятные метеоусловия для распространения хлора – степень вертикальной устойчивости атмосферы – инверсия; скорость ветра (на высоте флюгера) 1 м/с.

В качестве примера последствий аварийного выброса хлора рассматривалось ОСВ-1 г. Новочеркаска. Прогнозировались последствия разгерметизации контейнера с жидким хлором (0,9 т) на станции водоочистки. Расчеты проводились для «наихудших» условий по методике РД-52.04.253-90 [7]. Результаты расчетов: полная глубина зоны заражения $\Gamma = 4$ км, площадь зоны фактического заражения $S_{\phi} = 2,025$ км².

В зону заражения входит: городская зона – 0,95 км² и загородная зона – 1,1 км². Плотность населения в городской черте составляет 3418 чел/км², в загородной – 143 чел/км².

В результате численность населения, попадающая в зону заражения, превышает 3400 человек.

Для прогнозных оценок потерь в зонах заражения ХОВ в РФ принята следующая градация, которая используется в подобных расчетах:

- безвозвратные потери – 35 %;
- санитарные потери тяжелой и средней форм тяжести (стационарное лечение) – 40 %;
- санитарные потери легкой формы тяжести (амбулаторное лечение) – 25 %.

В РФ принята компенсационная выплата пострадавшему в ЧС [4]:

- при смертельном исходе – 1 млн. руб.;
- при ранениях (стационарное лечение) – 50 тыс. руб.;
- при легких повреждениях (амбулаторное лечение) – 10 тыс. руб.

С учетом вышеприведенных параметров потерь и выплат реальные затраты федерального и регионального бюджетов превышают 1,2 млрд. руб.

В рамках прогнозных стоимостных оценок последствий заражения ХОВ могут применяться и другие методические подходы, в основе которых, например, лежат прогнозные оценки потерь ВВП (ВРП) (валовый внутренний продукт / валовый региональный продукт) от частичного или полного выбытия человека из экономического процесса [8–11].

Следует заметить, что если в первом подходе экономический ущерб является реальным для бюджетов, то во втором – это «виртуальный», т.е.

возможный экономический ущерб, который следует отнести к общественным (социально-экономическим) потерям.

В контексте регулирования действий по защите населения и территорий от ЧС следует выделить ее институциональную составляющую. Государственная политика РФ в области противодействия чрезвычайным ситуациям, техногенным авариям направлена, прежде всего, во-первых, на их предупреждение и ликвидацию для защиты жизни и здоровья людей, объектов экономики, а во-вторых, на разработку и выполнение федеральных / региональных целевых программ, снижающих риски возникновения техногенных аварий. Подобные действия относятся к функциям регулирования внешних эффектов. Во-первых, данная функция должна иметь в рамках государства глобальный характер, обеспечивающий экологически устойчивое развитие государства, во-вторых, поскольку функция противодействия ЧС не имеет четкого разграничения ее внешних и внутренних сторон действия, то принимаемые решения в этой части должны иметь приоритет в исполнении.

Изложенное предполагает отображение функции регулирования внешних эффектов в институты правовых отношений. В данном контексте средства реализации национальной политики предотвращения ЧС должны отображаться в институтах права и специальных нормативах.

В контексте данной работы должны получить развитие следующие аспекты:

- специальные законы и подзаконные акты, касающиеся конкретных природных и иных объектов;
- стандарты качества состояния в части отдельных природных систем (воздушной, водной и др.) и окружающей среды в целом, а также контроля соблюдения экологических норм;
- специальные нормы и правила, регламентирующие природохозяйственную деятельность субъектов экономики и т.д.

В данном качестве приведем часть законов, норм и правил:

а) федеральные законодательные акты:

– Федеральный закон «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» от 21.12.1994 №68-ФЗ;

– Федеральный закон «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» от 30.03.1999 №52-ФЗ и другие;

б) нормы и правила:

– СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»;

– «Правила безопасности при производстве, транспортировке, хранении и потреблении хлора» (ПБ 09-594-03) и другие;

в) методики и алгоритмы действий:

– Методика РД-52.04.253-90 «Методика прогнозирования масштабов заражения сильнодействующими ядовитыми веществами при авариях (разрушениях) на химически опасных объектах и транспорте» и другие.

Приведенные и другие институциональные инструменты регламентируют область принятия решений по противодействию чрезвычайным ситуациям и сохранению здоровья населения. Внедрение альтернативных хлорированию методов химико-биоцидной обработки воды будет существенно дешевле, чем устранение последствий аварийной чрезвычайной ситуации [12–13].

Для экологизации химико-биоцидной обработки воды на жилищно-коммунальных объектах требуется замена газообразного хлора на инновационный обеззараживающий реагент, при этом он должен обеспечивать промышленную безопасность, этим самым устраняя риски ЧС для населения и территории, обладать высокой бактерицидной эффективностью. Альтернативным окислителем-дезинфектантом в настоящее время может быть гипохлорит натрия, производимый электролизом раствора поваренной соли на месте последующего применения [4].

ВЫВОДЫ

1. Рассмотрены эколого-экономические последствия крупномасштабной ЧС в водохозяйственном комплексе, использующем привозной сжиженный хлор для обеззараживания воды.
2. В качестве примера приведен расчет аварийного выброса хлора на очистных сооружениях водопровода г. Новочеркаска при разгерметизации контейнера с 0,9 т жидкого хлора на водоочистой станции, в зону поражения попадет свыше 3400 человек.
3. Даны рекомендации по замене экологически опасного хлора на гипохлорит натрия, производимый путем электролиза поваренной соли на водохозяйственном объекте.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев В.С. Повышение надежности систем водоснабжения в чрезвычайных ситуациях // Водоснабжение и санитарная техника. 2002. № 3. С. 21–23.
2. Экология. Военная экология / Под ред. В.И. Исакова. М.: 2006. 724 с.
3. Шебенко Ю.Н., Смолин И.М., Молчидовский И.С. и др. Пособие по применению НП 105-95 «Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной безопасности при рассмотрении проектно-сметной документации». М.: Всеросс. НИИ противопож. обороны, 1998. 72 с.
4. Скрыбин А.Ю., Фесенко Л.Н., Денисов В.В. Дезинфектант воды – гипохлорит натрия: производство и применение. – Новочеркасск: Лик,

2012. 237 с.

5. Федеральный закон «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» от 21.12.1994 № 68-ФЗ.
6. Оценка последствий чрезвычайных ситуаций / Г.Л. Кофф, А.А. Гусев, Ю.Л. Воробьев, С.Н. Козьменко, С.Н. Козьменко и др. М.: Изд. полиграф. комплекс РЭФИА, 1997. 145 с.
7. Методика прогнозирования масштабов заражения сильнодействующими ядовитыми веществами при авариях (разрушениях) на химически опасных объектах и транспорте: РД-52.04.253-90. – П.: Гидрометеиздат, 1991. 25 с.
8. Тихомиров Н.М., Тихомирова Т.М. Совершенствование управления природоохранной деятельностью на территории экологически опасных районов // ВИНТИ. 2000. № 1. С. 33–45.
9. Тихомирова Т.М. Показатели ущерба населению и управление развитием общества // ВИНТИ. 1995. № 6. С. 40–63.
10. Игнатьева С.Н. Гутенев В.В. Оценка ущерба здоровью населения от факторов окружающей среды // Здоровье населения и среда обитания: инф. бюллетень. 2003. № 3. С. 7–10.
11. Латош В.Е. Экономическая оценка последствий катастрофы на территории крупного регионального центра // ВИНТИ. 2000. № 3. С. 65–73.
12. Бреус С.А., Скрыбин А.Ю., Фесенко Л.Н. Разработка технологии очистки природной воды для питьевых целей на период чрезвычайных ситуаций: производство активного хлора электролизом воды // Инженерный вестник Дона, 2016, № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3655.
13. Бреус С.А., Скрыбин А.Ю., Олейник Р.А. Очистка природной воды для питьевых целей в период чрезвычайных ситуаций: электрохимическое коагулирование и контактное фильтрование // Инженерный вестник Дона, 2016, № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3881.

УДК (504.4+551.4.042)(597.7)

СЕЛЕВЫЕ ПРОЦЕССЫ НА СЕВЕРЕ ВЬЕТНАМА

Тхай Тхи Ким Тьи

Университет транспорта и коммуникации,
г. Ханой, Социалистическая республика Вьетнам

Селевой поток является одним из самых разрушительных стихийных бедствий, причиняющим большой ущерб людям и окружающей среде. Статья посвящена селевым процессам и применяемым мерам для предотвращения и уменьшения ущерба, причиняемого селевыми потоками во Вьетнаме.

Три четверти территории Вьетнама занимают горы с жарким и влажным климатом. Северо-восточный, северо-западный и западный Вьетнам являются горными территориями, состоящими из множества плато, горных хребтов и низких холмов.

Селевой поток является одним из самых разрушительных стихийных бедствий и часто происходит в горных районах Вьетнама, особенно на Севере [1]. Наиболее часто сход селевых потоков отмечался в конце сезона дождей, когда грунты и горные породы перенасыщены водой и, следовательно, имеют низкую прочность. Материалом селевых потоков послужили пролювиальные и коллювиальные отложения, а также тектонические брекчии. Селевой поток во Вьетнаме обычно возникает в результате длительных и обильных дождей. Это кратковременное явление, продолжительность которого составляет обычно 1 – 3 часа, иногда до 8 – 12 часов.

В гидрологии под селем понимается особый вид наводнения с концентрацией наносов, камней и обломков горных пород до 60 % объема потока. Сели могут двигаться с большой скоростью до 15 м/с [2]. Но опасность селей состоит не только в огромном расходе селя, но и в падении массивных каменных блоков размером в несколько метров, что многократно опаснее по сравнению с паводками. Из-за их разрушительной силы и внезапности появления, селевые потоки могут причинить ущерб здоровью людей и окружающей среды, нарушению условий жизнедеятельности людей и нанести значительные материальные потери.

Только за период 2000 – 2015 гг., внезапные наводнения и сели унесли жизни 779 человек, разрушили 109 700 домов, повредили 75 000 гектаров риса и посевов. Общий ущерб от селевых потоков составил 1 915 млрд донгов за период с 1990 до 2005 годы и 10.3 млрд донгов только в 2018 году [1].

23 июля 1994 года в Мыонглай, провинции Лайчау появился селевой поток, хотя погода в этот день была нормальной. До этого события, с 5 по 18 июня шли дожди с общим количеством осадков 461,4 мм и пиками 94,1 мм/день. Количество осадков с 7 по 31 июля составило 702,7 мм, самый высокий пик дождя 242,5 мм был зафиксирован 21 июля. Однако, в ночь с 22 на 23 июля селевой поток с ручья Хойло внезапно врезался в район жилого проживания населения. В результате было разрушено 18 домов, 11 человек погибли и 20 получили ранения.

17 и 18 августа 1996 года также в этом районе, селевый поток разрушил большую часть Мыонглай и некоторые жилые районы рядом. 54 человека погибли, 13 офисов, школ и магазинов, сотен домов и полей были засыпаны землей и камнями.

Ночью 8 июля 2002 года в результате селевых потоков в Таннам, провинции Хазанг, погибли 13 человек, десятки домов были разрушены, а сотни гектаров риса и овощей были засыпаны грязью и гравием.

Сели были зарегистрированы также в Дутиен, провинции Хазанг в июле 2004 г.; Кхенлен, провинции Баккан в июле 2009 года; Намлюк, провинции Лаокай в сентябре 2012 года; Банхоанг, провинции Лаокай в сентябре 2013 года и т.д. За период 2000 – 2015 гг. были зарегистрированы 250 внезапных наводнений и селей. Селевые потоки происходили в отдаленных и изолированных районах, поэтому требовалось много времени, чтобы служба МЧС дошла до района бедствия.



*Рисунок 1. Селевые потоки:
а) в Нампам, Шонла (2017); б) в Мукангчай, Иенбай*

Исследование селевых потоков во Вьетнаме проводилось медленнее, чем в большинстве стран мира, начиная только с начала 90-х годов прошлого века после того, как ряд серьезных селей нанесли большой ущерб в провинциях Лайчау и Сонла.

До 2000 года исследования селевых потоков были сосредоточены на анализе текущего состояния и предложении мер по уменьшению последствий в конкретных областях, таких как в горных районах в городе Сонла, по предотвращению оползней в городе Сонла, прогнозировании оползней в городе Сонла, в городе Хоабинь и т.д. В других работах изучены задачи, такие как эвакуация и переселение из опасных зон или определение зон риска, связанных с угрозой селевых потоков в провинции Каобанг, Лаокай, Лай Чау [3].

После 2000 года исследования были сосредоточены на анализе причин возникновения селевых потоков и в предложении способов для их предотвращения. Были применены традиционные геолого-геоморфологические методы исследования, такие как полевые исследования и детальная съемка в характерных точках, анализ топографической карты, анализ геологических особенностей и т.д. Однако, при разработке плана действий по предотвращению селевых потоков для конкретного региона еще не проводилась оценка антропогенного воздействия. В настоящее время используются в исследовании и оценке

опасностей селевых потоков такие современные методы как применение геоинформационной системы (ГИС) и численное моделирование [4].

Для уменьшения и предотвращения возможного воздействия селевых потоков во Вьетнаме были разработаны структурные и неструктурные меры.



Рисунок 2. Противоселевая дамба

Неструктурные меры представляют собой: использование знания, опыта, договоренностей, в частности посредством применения стратегий и законов, повышение осведомленности общественности, обучение и образование для регулирования хозяйственной деятельности в селеопасных районах, облесение и террасирование склонов и др. В структурных мерах применены противоселевые сооружения, предназначенные для изменения пути схода, остановки потока, уменьшения или предотвращения возможного воздействия селей. Противоселевые сооружения в основном подразделяются на: регулирующие, задерживающие и стабилизирующие.

Во Вьетнаме наиболее распространенной мерой по снижению риска, связанного с угрозой селевых потоков, является использование противоселевых сооружений. Но оказалось, что эти меры недостаточно эффективны. Поэтому разработка нового действительного конструктивного решения или сочетания некоторых мер для предотвращения и уменьшения ущерба, причиняемого селевыми потоками, становится все более актуальной во Вьетнаме. Следовательно, необходимо проводить больше исследований с целью защиты территорий от негативного воздействия селевых потоков и минимизировать возможные ущербы.

ВЫВОДЫ

Селевые потоки часто происходят в горных районах севера Вьетнама. Селевые потоки имеют большую скорость – до 15 м/с и продолжительность – до 12 часов. Структурные и неструктурные меры были изучены для уменьшения и предотвращения негативных воздействий селевых потоков. Однако применение этих мер оказалось недостаточно эффективным. В связи с этим, необходимо проводить больше исследований, чтобы разработать действительные меры защиты территорий от воздействия селевых потоков во Вьетнаме.

ЛИТЕРАТУРА

1. Japan International Cooperation Agency. Data Collection Survey on Strategy Development of Disaster Risk Reduction and Management in the Socialist Republic of Vietnam, 2018.
2. Takahasi T. Debris flow. Annual Review of Fluid Mechanics, 1981, 13 (1), pp. 57–77.
3. Ngo T. T. H., Vu B. T., Nguyen T. K. Early warning systems for flash floods and debris flows in Vietnam: A review. Geotechnics for Sustainable Infrastructure Development. Springer, Singapore, 2020, pp. 1233–1240.
4. Van T. P. et al. Secondary Processes Associated with Landslides in Vietnam. Proceedings of the International Conference on Innovations for Sustainable and Responsible Mining. Lecture Notes in Civil Engineering, Springer, vol 108, 2021.

УДК 628.12

СОКРАЩЕНИЕ ЗАТРАТ ПОТРЕБЛЯЕМОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ВОДОЗАБОРНЫХ СООРУЖЕНИЯХ ИЗ ПОДЗЕМНЫХ ИСТОЧНИКОВ

И.Ю. Пурусова

Воронежский государственный технический университет,
г. Воронеж, Россия

Соответствие параметров насосных агрегатов оптимальной производительности существенно экономит электроэнергию и позволяет максимально использовать имеющийся потенциал энергосбережения. Построен алгоритм мероприятий по сокращению затрат энергоресурсов на водозаборных сооружениях из подземных источников. Предложены стоимостные показатели эффективности мероприятий по энергосбережению на водозаборных сооружениях из подземных источников. Критерием энергетической эффективности работы погружных насосов является сокращение затрат электроэнергии на подачу воды.

На водозаборных сооружениях из подземных источников актуальна проблема поиска и внедрения энергосберегающих технологий.

Постоянный рост тарифов на электроэнергию, заставляет всё больше внимания уделять вопросам снижения энергопотребления, при обеспечении расчетных значений напора и подачи воды. Необходимость решения этой проблемы подтверждается Федеральным законом РФ № 261 «Об энергосбережении...» [1].

Водозаборные сооружения из подземных источников являются сложной частью системы водоснабжения и включают в себя комплекс гидравлически взаимосвязанных инженерных элементов [2–8, 10, 15]. Как показали исследования [5–14] значительная часть водозаборных скважин функционирует с высокими энергетическими затратами – на подачу воды приходится до 50 % от всего объема эксплуатационных затрат на водозаборных сооружениях. Такое повышение энергопотребления, обусловлено неправильно подобранной маркой насоса, а также потерями напора в напорных трубопроводах и сборном водоводе.

Для оптимизации режима работы водозаборных сооружений необходимо выполнять мероприятия по сокращению затрат энергетических ресурсов, а также учёту потребляемой электроэнергии и подаваемой воды погружными насосными агрегатами. Для проведения таких мероприятий на водозаборных сооружениях из подземных источников построен алгоритм, показанный на рисунке 1.

Ожидаемый эффект от проведения мероприятий по сокращению затрат энергетических ресурсов выражается в количественном–стоимостном и в качественном показателях надежности работы водозаборных сооружений.

Стоимостной показатель ожидаемого экономического эффекта от мероприятий по энергосбережению, определяется по формуле 1:

$$\mathcal{E}_{\text{ожд.}} = A - C, \text{ руб.} \quad (1)$$

где A – результат реализации подачи воды, руб.; C – величина финансовых затрат на электроэнергию, руб.

Стоимостной показатель эффективности мероприятий по энергосбережению определяется по формуле 2:

$$\sum \mathcal{E}_i = \sum M_i - \sum B_j, \text{ руб.} \quad (2)$$

где M – стоимость проведения мероприятия по энергосбережению в расчете на год, руб.; B – альтернативные издержки, в случае невыполнения мероприятия по энергосбережению в установленный срок, руб.; i – мероприятие по энергосбережению; j – вид издержек, в случае невыполнения мероприятия в установленный срок.

Основным условием эффективной и надежной эксплуатации погружных насосов является их согласованная работа в системе: скважина – погружной насос – сборный водовод – РЧВ [2, 4, 6–7].

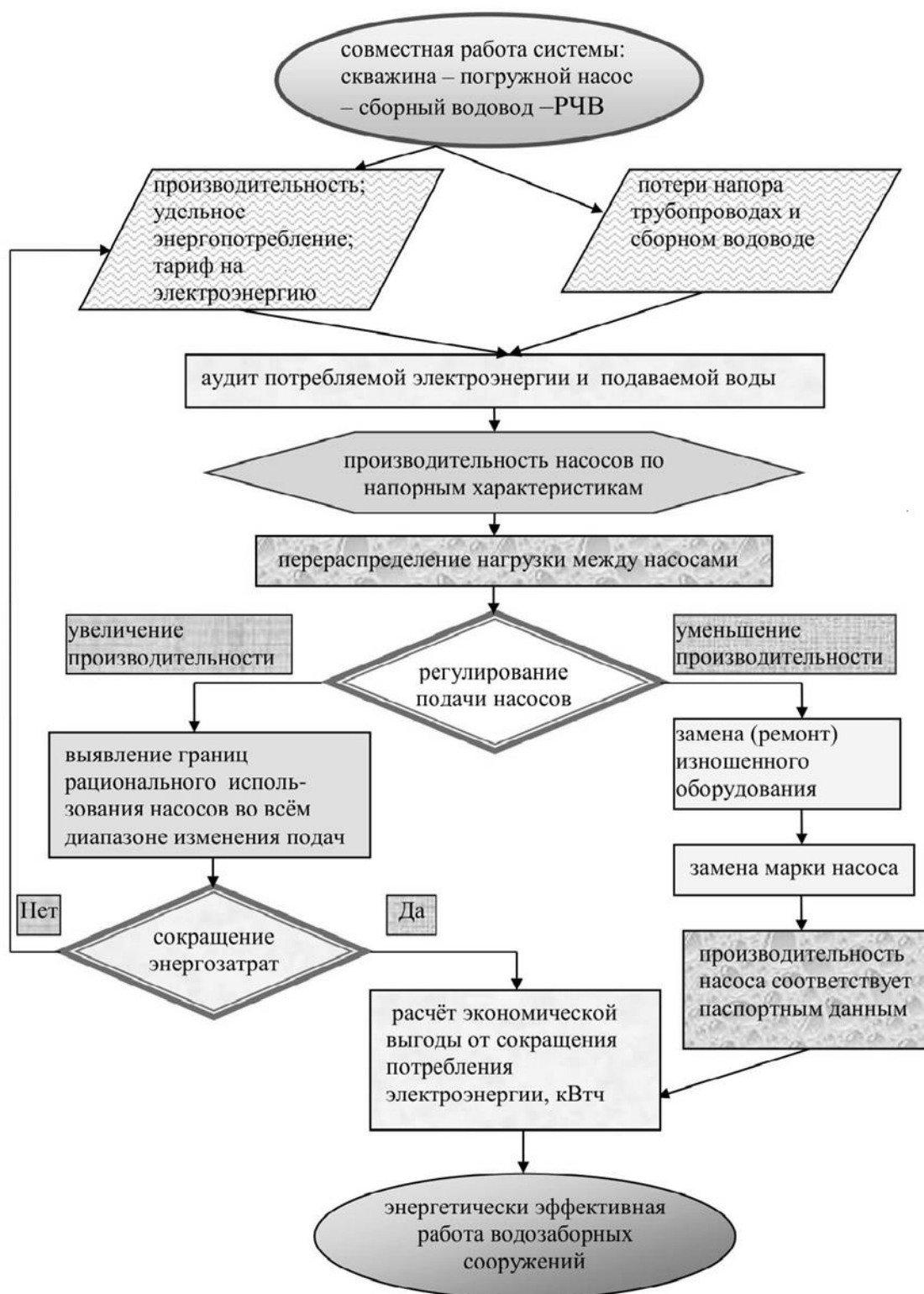


Рисунок 1. Алгоритм мероприятий по сокращению затрат энергетических ресурсов на водозаборных сооружениях из подземных источников

Комплексный расчёт водозаборных сооружений из подземных источников позволяет определить:

- производительность водозаборных сооружений;

- понижение уровня воды в скважинах;
- потери напора в трубопроводах;
- марку насосного оборудования для скважин с учётом их совместной работы;
- оптимальную работу системы: скважина – погружной насос – сборный водовод – РЧВ (резервуар чистой воды);
- стоимость жизненного цикла насосных агрегатов, включая затраты на эксплуатацию насоса.

Определяющие параметры водозаборных сооружений – подача и напор, подвержены существенным изменениям и зависят от крутизны характеристики сборного водовода и насоса. Перемена режима работы одной из составляющих звена системы приводит к изменению параметров другой. Для эффективной работы погружных насосов требуемая подача и напор должны соответствовать параметрам и условиям эксплуатации водозаборных сооружений. Выбор марки погружных насосов должен решаться на основании комплексного расчета совместной работы составляющих элементов системы: скважина – погружной насос – сборный водовод – РЧВ.

На водозаборных сооружениях необходимо оптимальное перераспределение нагрузки между насосными агрегатами и выявление границ их рационального использования при изменении подач. Критерием перераспределения нагрузок между насосами является минимум суммарных энергозатрат одновременно работающих насосных агрегатов [9].

Экономия электроэнергии погружными насосными агрегатами на действующих водозаборных сооружениях основана на возможности регулирования подачи насосов различными способами. Сокращение потерь электроэнергии ведёт к уменьшению стоимости энергоресурсов в себестоимости водоснабжения. Предложенные мероприятия по повышению энергетической эффективности оптимизируют затраты энергетических ресурсов на водозаборных сооружениях из подземных источников.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральный закон Российской Федерации от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
2. Щербаков В.И., Пурусова И.Ю. Выбор расположения сооружений для забора подземных вод. В сб.: Яковлевские чтения XIII Межд. научн.-техн. конф., посвященная памяти академика РАН С.В. Яковлева. – Московский государственный строительный университет. 2018.С. 140–144.

3. Пурусова И.Ю. Современные проблемы управления работой водозабора. Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 7–2 (18–2). С. 379–383.
4. Пурусова И.Ю. Энергетически оптимальная работа водозаборных сооружений из подземных источников // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2018. Т. 45. № 4. С. 59–67.
5. Пурусова И. Ю. Фактическая производительность погружных насосов. Энергосбережение и водоподготовка. 2019. № 4 (120). С. 26–28.
6. Щербаков В.И., Пурусова И.Ю. Водозаборные сооружения и погружные насосы – единая энергетически зависимая система. В сб.: Яковлевские чтения Сборник докладов XIV Межд. научн.-техн. конф., посвященной памяти академика РАН С.В. Яковлева и 90-летию со дня создания факультета «ВиВ». 2019. С. 236–240.
7. Чижик К.И., Щербаков В.И., Пурусова И.Ю. Энергетические затраты на подъем воды из подземных источников. В сб.: XV Межд. научн.-техн. конф., посвященной памяти академика РАН С.В. Яковлева «Яковлевские чтения». 2020. С. 208–211.
8. Пурусова И.Ю., Чижик К.И., Щербаков В.И. Технологические параметры погружных насосов на водозаборных сооружениях из подземных источников. Сб. докладов XVI Межд. научн.-техн. конф., посвященной памяти академика РАН С.В. Яковлева. 2021. С. 184–189.
9. Лезнов Б.С. Энергосбережение и регулируемый электропривод в насосных и воздуходушных установках. Москва: Энергопромиздат, 2006. 360 с.
10. Фисенко В.Н. Энергосбережение при эксплуатации скважинных водозаборов подземных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2016. № 11. С. 22–33.
11. Фисенко В.Н. Оценка энергоэффективности насосов в системах водоснабжения. В сб.: Яковлевские чтения XIII Межд. научн.-техн. конф., посвященная памяти академика РАН С.В. Яковлева. – Московский государственный строительный университет. 2018. С. 116–123.
12. Фисенко В.Н. Энергетическая эффективность насосов в системах водоснабжения и водоотведения // Водоснабжение и санитарная техника. 2018. № 6. С. 52–63.
13. Фисенко В.Н. Инвестиционная доходность и риск проектов в сфере водоснабжения и водоотведения. В сб.: Сборник докладов Межд. научн.-техн. конф., посвященной 90-летию со дня образования факультета водоснабжения и водоотведения МИСИ – МГСУ. 2019. С. 145–151.
14. Shcherbakov V.I., Chizhik K.I., Kononov N.P., Purusova I.Y. Energy efficiency of functioning of water reservoir wells and collecting conduit.

- Construction. The formation of living Environment. XXI International Scientific Conference on Advanced in Civil Engineering, 2018. 7 p.
15. Hurynovich A., Syczewa E. Methodology for designing underground water intakes taking into account the life cycle of deep-water and pumping wells. V international scientific and technical conference « Innovations in water pipelines and sewers», Warsaw. 2016. P. 128–13.

УДК 543.3:556.5

**ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЛАБОРАТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ
ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ИНДЕКСНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
В РАЗЛИЧНЫХ ТИПАХ ВОД (НП, ФЕНОЛЫ, АПАВ, ХПК).
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ.
ПО «ФЛЮОРЕЙТ» ДЛЯ АНАЛИЗАТОРОВ ЖИДКОСТИ
«ФЛЮОРАТ-02-4М/5М»**

Е.А. Волосникова, П.Ю. Ракчеев

Группа Компаний «ЛЮМЭКС», г. Санкт-Петербург, Россия

Более 30 лет ГК ЛЮМЭКС является ведущим производителем аналитического оборудования на территории России. Приборно-методические решения ГК ЛЮМЭКС используются в различных отраслях аналитического контроля, включая экологический контроль и мониторинг.

Анализаторы жидкости люминесцентно-фотометрические серии «Флюорат», выпускаемые ГК «ЛЮМЭКС», возможно использовать при определении таких показателей, как НП, фенолы, АПАВ, ХПК, ряда металлов в природной, питьевой и сточной воде. ЖХ «ЛЮМАХРОМ» востребован, в первую очередь, для определения бензапирена в природной, питьевой, сточной воде, почвах, формальдегида-2,4-Д в воде. Системы капиллярного электрофореза «Капель» предназначены для анализа природных, питьевых и сточных вод, почв и грунтов на катионно-анионный состав. Анализатор ртути «РА®-915М», являющийся частью аналитического ртутного комплекса, обладает уникальной возможностью выполнять быстрые селективные измерения концентрации ртути в атмосферном воздухе, а, также, в сочетании с различными приставками – в пробах природной, питьевой, сточной воды, почвах грунтах и отходах. Спектрометры серии «МГА®-1000» позволяют решать задачу по определению загрязнений металлами различных типов вод, почв и отходов. В 2021 году ГК «ЛЮМЭКС» представила отечественным и зарубежным пользователям анализатор ртути лабораторный «РА-915Лаб» для прямого анализа твердых и жидких образцов с возможностью как ручного ввода пробы, так и доукомплектования автосамплером на 45 позиций.

С начала своего основания ГК «ЛЮМЭКС» предлагает комплексные приборно-методические решения для химических лабораторий разного профиля. Поставка сертифицированного оборудования вместе с аттестованными методиками выполнения измерений и специализированными наборами (включающими ГСО определяемого компонента, спец. реактивы и др. расходные материалы на определенный период работы), а, также, сервисная (региональные представители в 36 регионах РФ), методическая и консультационная поддержка специалистами ГК ЛЮМЭКС, позволяет пользователям в лабораториях сократить время внедрения оборудования и валидации методик, а, также оперативно и качественно решать и выполнять задачи, стоящие перед лабораториями.

Не секрет, что у большинства лабораторий возникают определенные вопросы при работе в диапазоне так называемых «низких концентраций», т.е. при работе с пробами, где концентрация определяемого показателя находится в районе нижнего предела обнаружения методик. И, в первую очередь, наибольшее количество вопросов вызывает определение, так называемых, «индексных показателей», т.е. определение групп веществ с определенными свойствами. Определяемый показатель при этом называют «индексным». Важным преимуществом при определении данных показателей является экспрессность (проводится определение концентрации (содержания) групп веществ без разделения на индивидуальные вещества). К распространенным контролируемым «индексным показателям» относятся: нефтепродукты, АПАВ, фенолы (фенол, общие фенолы, фенольный индекс), ХПК, взвешенные вещества и пр.

Одной из проблем при определении «индексных показателей» является отсутствие чёткой и однозначной терминологии для этих веществ, что одинаково существенно для любого оборудования и методики, по которой эти показатели определяются. Важными являются все стадии выполнения измерений: отбор проб (представительность пробы, подготовка посуды для отбора проб, консервация пробы (если предусмотрена методикой измерений), хранение и транспортировка проб), выбор и приготовление реактивов (чистота реактивов (квалификация, прописанная в методике измерений)), входной контроль реактивов, соблюдение сроков и условий хранения реактивов, качество воды, используемой для приготовления реактивов), подготовка оборудования для проведения измерений, построение градуировочной зависимости и проведение измерений проб.

Кратко остановимся на основных моментах, связанных с определением некоторых индексных показателей на анализаторах жидкости серии «Флюорат-02» по аттестованным методикам измерений.

1. ПНД Ф 14.1:2:4.128-98 *(Методика измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах природных (включая морские),*

питьевых и сточных вод флуориметрическим методом на анализаторе жидкости «Флюорат-02». Диапазон измерений массовой концентрации нефтепродуктов составляет от 0,005 до 50 мг/дм³. Определению нефтепродуктов не мешают жиры и гуминовые вещества. Методика не предназначена для анализа проб природных (включая морские), питьевых и сточных вод, загрязненных различными бензинами, керосинами, а, также, индивидуальными веществами – продуктами переработки газоперерабатывающих заводов и предприятий органического синтеза.

Флуориметрический метод измерений массовой концентрации нефтепродуктов основан на экстракции их гексаном из пробы воды (объем отбираемой пробы 100 см³), при необходимости, очистке экстракта на хроматографической стеклянной колонке с окисью алюминия, измерении массовой концентрации нефтепродуктов с использованием градуировочной характеристики, заложенной в память анализатора, и вычислении массовой концентрации нефтепродуктов в пробе. В результате измерения, также, контролируется коэффициент пропускания гексанового экстракта (он не должен быть менее 70 %).

В соответствии с существующими нормативными документами, под нефтепродуктами подразумевают неполярные и малополярные углеводороды (алифатические, ароматические, алициклические), составляющие главную и наиболее характерную часть нефти и продуктов ее переработки. Поэтому, основной задачей специалиста, который занимается анализом нефтепродуктов, является не загрязнить пробы чем-либо, что может быть идентифицировано, как нефтепродукты на всех стадиях анализа, т.к. само определение нефтепродуктов включает в себя достаточно широкий класс соединений. Рекомендуются иметь отдельный набор химической посуды, который используется только для анализа нефтепродуктов. В *Приложении В* к ПНД Ф 14.1:2:4.128-98 достаточно подробно описана процедура подготовки посуды к проведению измерений. Запрещается мыть посуду щелочью, содой, всеми видами синтетических моющих средств, хромовой смесью. Контроль чистоты посуды необходим на каждой стадии подготовки к анализу. Категорически запрещается смазывать шлифы и краны делительной воронки, используемой для пробоподготовки, всеми видами смазок. При наличии смазки ее удаляют. Недопустимо использовать при хранении градуировочных растворов резиновые или пластиковые пробки для колб, цилиндров, делительных воронок и пр. Немаловажным фактором является правильный отбор пробы для проведения измерений: недопустимо попадание пленки нефтепродуктов в отбираемую пробу. Нижний предел обнаружения по ПНД Ф 14.1:2:4.128-98 будет зависеть, в т.ч., и от гексана, используемого для экстракции нефтепродуктов из проб воды. Опыт использования гексана разных производителей и разной квалификации показал, что качество его не всегда является удовлетворительным. С **1 января 2018 г.** в

ПНД Ф 14.1:2:4.128-98 был внесен ряд изменений, не затрагивающих метрологических характеристик и не отменяющих номер ПНДФ и свидетельства об аттестации, касающихся в т.ч. и квалификации используемого гексана (рекомендуется использовать гексан по ТУ 2631-001-54260861-2013). Необходима проверка чистоты гексана, используемого для проведения анализа, прописанная в ПНД Ф 14.1:2:4.128-98. Гексан, не прошедший проверку, подлежит замене. Второе существенное изменение коснулось образцов, используемых для внутрилабораторного контроля (ВЛК) точности измерений: за последние годы появились образцы для ВЛК от различных производителей достаточно хорошего качества, что позволяет лабораториям выбрать тот образец, который они хотят. Немаловажным фактором, влияющим на результат измерений по ПНД Ф 14.1:2:4.128-98, является правильная подготовка окиси алюминия, используемой для очистки некоторых проб. К этим пробам относятся, как правило, пробы сточных вод предприятий пищевой, целлюлозно-бумажной, химической промышленности, а, также, пробы, для которых по результатам контроля коэффициента пропускания гексанового экстракта (менее 70 %), также, необходима очистка на колонке с окисью алюминия. Окись алюминия должна содержать фракцию 50 – 150 мкм и быть второй степени активности про Брокману.

2. ПНД Ф 14.1:2:4.182-02 (издание 2010 г.). *Методика измерений массовой концентрации фенолов (общих и летучих) в пробах природных, питьевых и сточных вод флуориметрическим методом на анализаторе жидкости «Флюорат-02».* Диапазон измерений массовой концентрации фенолов: 0,0005 – 25 мг/дм³. Мешающее влияние нефтепродуктов устраняется на стадии пробоподготовки при анализе любых типов проб. В ПНД Ф 14.1:2:4.182-02 рекомендовано использовать два метода, по которым определяются или общие фенолы, или летучие.

– **Метод А** (общие фенолы) основан на извлечении фенолов из воды бутилацетатом, реэкстракции их в водный раствор гидроксида натрия и измерении их содержания по интенсивности флуоресценции фенолов после подкисления реэкстракта. Показатель, определяемый по Методу А, не является фенольным индексом, т.к. фенольный индекс определяется как сумма летучих фенолов, дающих цветную реакцию с 4-аминоантипирином.

– **Метод Б** (летучие фенолы) предусматривает первоначальную отгонку фенолов из пробы с помощью перегонного устройства и проведение дальнейшей пробоподготовки по методу А. Метод Б рекомендовано использовать для анализа окрашенных, мутных вод, а, также, вод с большим содержанием органических веществ, которые препятствуют разделению фаз при экстракции и проб, содержащих гуминовые кислоты и лигнин. Если основу фенольных загрязнений в пробе, определяемой по методу Б, составляет сам фенол, то их однозначно

можно принять за фенольный индекс.

ПНД Ф 14.1:2:4.182-02 может быть использован для определения фенола как индивидуального химического вещества только в том случае, если фенольные загрязнения пробы создаются исключительно фенолом. Но, в тоже время, данная методика подходит для определения показателя «гидроксibenзол», в качестве которого принимают сумму летучих фенолов, при этом процедура перегонки пробы является обязательной. Основные проблемы при внедрении ПНД Ф 14.1:2:4.182-02 в лабораториях связаны с подготовкой посуды для проведения измерений, реактивами и дистиллированной водой, используемыми для анализа, а именно:

- необходимо обратить внимание на то, что всю посуду, используемую для работы по ПНД Ф 14.1:2:4.182-02, категорически запрещается мыть щелочью, содой, всеми видами синтетических моющих средств, а также различными окислителями, включая хромовую смесь. При этом, для измерения фонового раствора, приготовленного по ПНД Ф 14.1:2:4.182-02, рекомендуется использовать отдельную кварцевую кювету, устанавливая ее в кюветное отделение каждый раз в одном и том же положении (например, рисккой по направлению к себе);
- дистиллированная вода, получаемая на современных дистилляторах, и которая используется для приготовления растворов, как правило, достаточно хорошего качества. Но обычно ее хранят в емкостях большого объема, а оттуда порционно переливают в стаканы и используют для приготовления фонового раствора и приготовления растворов, необходимых для анализа. Для проведения измерений по ПНД Ф 14.1:2:4.182-02 рекомендуется использовать свежеприготовленный дистиллят из одной партии. Кроме того, в случае, когда водопроводная вода хлорируется, хлор практически полностью переходит в дистиллированную воду, поэтому такую воду рекомендуется до приготовления всех растворов предварительно прокипятить;
- раствор гидроксида натрия, используемый для экстракции фенолов из бутилацетата, по традиции принято хранить, как и все щелочи, в пластиковой таре. Но многолетний опыт работы показал, что, иногда при хранении раствора щелочи в емкости из пластика, в раствор гидроксида натрия могут переходить примеси как фенольной, так и нефенольной природы, которые могут исказить результаты анализа. В этих случаях раствор щелочи для работы по ПНД Ф 14.1:2:4.182-02 рекомендовано хранить в стеклянной посуде и использовать свежеприготовленным в день анализа;
- бутилацетат, в который происходит экстракция фенолов из пробы, может содержать разные примеси, в том числе, и фенольной природы, также, искажающие результаты анализа. Поэтому в ПНД Ф 14.1:2:4.182-02 предусмотрена процедура контроля чистоты

данного растворителя, по результатам которой данная партия растворителя признается или пригодной для анализа или подлежит предварительной очистке (экстракция с помощью гидроксида натрия, промывка дистиллированной водой, осушение над безводным хлористым кальцием и дальнейшая перегонка (собирается фракция, кипящая при 124 – 126 °С)).

Кроме этого, наиболее распространенной ошибкой в лабораториях при внедрении ПНД Ф 14.1:2:4.182-02, является отсутствие должного внимания к контролю pH раствора на последней стадии пробоподготовки непосредственно перед проведением измерений (pH должен быть в диапазоне 3 – 6).

3. ПНД Ф 14.1:2:4.158-2000. *Методика измерений массовой концентрации анионных поверхностно-активных веществ (АПАВ) (по додецилсульфату натрия) в пробах природных, питьевых и сточных вод флуориметрическим методом на анализаторе жидкости серии «Флюорат».* Данная методика не применима для анализа морских вод. В ПНД Ф 14.1:2:4.158-2000 показатель АПАВ эквивалентен показателю АСПАВ (анионные синтетические поверхностно-активные вещества) из Перечня загрязняющих веществ, для которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды, утвержденного распоряжением Правительства Российской Федерации от 08.07.2015 г № 1316-р. Но, данная методика так же, как и фотометрическая методика с применением метиленового синего, не предполагает определения индивидуальных соединений, относящихся к группе АСПАВ. Диапазон измерений массовой концентрации анионных поверхностно-активных веществ (АПАВ) для питьевой воды составляет от 0,025 до 10 мг/дм³, для природной и сточной: от 0,025 до 100 мг/дм³. Метод измерений основан на экстракции хлороформом ионных пар АПАВ с красителем акридиновым желтым из подготовленной пробы с последующим измерением интенсивности флуоресценции экстракта на анализаторе жидкости «Флюорат-02» относительно градуировочной характеристики, заложенной в память анализатора. Мешающие факторы устраняются в процессе подготовки проб. Очистку от мешающих примесей проводят для проб, содержащих более 5 мг/дм³ нефтепродуктов, а, также, сильно загрязненных проб сточной воды (неочищенные сточные воды предприятий пищевой промышленности, хозяйственно-бытовые стоки) проводят экстракцией этих примесей из пробы гексаном при pH 3 – 6. Достаточно низкий предел обнаружения по ПНД Ф 14.1:2:4.158-2000 при анализе проб питьевых и природных вод, в которых, как правило, массовая концентрация АПАВ не превосходит 0,1 мг/дм³, достигается в процессе концентрирования пробы за счет проведения экстракции флуоресцирующего соединения из увеличенного объема подготовленной пробы. Для работы в диапазоне низких концентраций по данной методике,

необходима особенно тщательная не только предварительная подготовка посуды (Приложение А, ПНД Ф 14.1:2:4.158-2000), но, также, и ежедневная подготовка посуды, включающая отмывку делительной воронки, используемой для приготовления фонового раствора с обязательным контролем результата измерений. Опыт внедрения данной методики в различных лабораториях показал, что, вместо делительных воронок, возможно, использовать мерные цилиндры с плотно притертой стеклянной пробкой (при этом растворы необходимо дозировать пипетками!).

Немаловажным фактором, влияющим на результат измерений по этой методике, является полнота экстракции хлороформом ионных пар АПАВ с красителем акридиновым желтым из подготовленной пробы. Как показывает многолетний опыт, время экстракции зависит от интенсивности перемешивания и является, фактически, индивидуальной характеристикой оператора, выполняющего анализ. Проверку полноты экстракции по ПНД Ф 14.1:2:4.158-2000 проводят на рабочем градуировочном образце с концентрацией 1 мг/дм^3 , проводя интенсивную экстракцию в течение 2-х минут. Что касается реактивов, используемых при работе по ПНД Ф 14.1:2:4.158-2000, наибольшее количество проблем возникает, как правило, с хлороформом, необходимым для экстракции. К сожалению, некоторые партии хлороформа, не могут быть использованы без предварительной очистки. И это относится не только к работе по ПНД Ф 14.1:2:4.158-2000, но и к другим методикам, в которых используется этот растворитель. Чаще всего, первые признаки того, что хлороформ является некачественным, это – нестабильные результаты при проведении измерений: как правило, в течение минуты показания анализатора резко уменьшаются или наблюдается их скачкообразное изменение. В этом случае хлороформ подлежит очистке.

4. **ПНД Ф 14.1:2:4.190-03.** *Методика измерений бихроматной окисляемости (химического потребления кислорода, далее – ХПК) в пробах природной, питьевой и сточной воды фотометрическим методом на анализаторе жидкости «Флюорат-02».* Диапазон измеряемых концентраций ХПК от 5 до $800 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$. Метод измерений основан на обработке пробы воды **смешанным реагентом**, состоящим из серной кислоты и бихромата калия при температуре $(150 \pm 5)^\circ\text{C}$ и содержащим сульфат серебра (катализатор окисления) и сульфат ртути (II), который используется для снижения влияния хлоридов, находящихся в пробе. Далее проводятся измерения оптической плотности растворов в диапазонах длин волн от 340 до 380 нм (диапазон измеряемых концентраций от 5 до $80 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$) или от 580 до 620 (диапазон измеряемых концентраций от 80 до $800 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$) в зависимости от ожидаемых концентраций ХПК в пробе. При внедрении ПНД Ф 14.1:2:4.190-03 наибольшее количество вопросов возникает при

работе в диапазоне низких концентраций ($5 - 80 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$). И, в первую очередь, это связано с тем, что на фоне высокой оптической плотности фонового раствора регистрируются малые изменения оптической плотности для растворов проб. Пробоподготовка по данной методике проводится непосредственно в термостойких виалах с завинчивающимися крышками (например, фирмы НАСН). В процессе пробоподготовки аликвоты отобранной пробы воды объемом 2 см^3 помещают в термостойкие виалы, предварительно заполненные **смешанным реагентом**. Виалы плотно закрывают крышками, помещают в термореактор, предварительно нагретый до 150°C и выдерживают в течение двух часов. После этого виалы немного охлаждают, аккуратно перемешивают и остужают до комнатной температуры. Особенностью ПНД Ф 14.1:2:4.190-03 является то, что процесс измерения проводится в этих же виалах. Это стало возможным благодаря оригинальному конструкторскому решению, позволяющему использовать сменные вставки (или кюветные отделения) для измерения в виалах для разных модификаций анализаторов жидкости серии «Флюорат-02». Внедрение данной методики в лабораториях показало, что из всех используемых при работе с ней реактивов, наибольшее количество вопросов вызывало неудовлетворительное качество концентрированной серной кислоты. Чаще всего это происходило, когда серная кислота поступала в пластиковой таре. Причиной ее плохого качества является присутствие в ней примесей, которые могут восстанавливать бихромат калия, который является одним из веществ, используемых в процессе анализа, и используется в составе смешанного реагента. Недостаток бихромата, приводящий к завышению результатов, можно уже наблюдать при проверке приемлемости градуировочной характеристики в диапазоне $5 - 80 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$. Поэтому, рекомендуется приобретать концентрированную серную кислоту в стеклянной таре и провести процедуру оценки ее качества. Но предварительную оценку можно сделать уже визуально: если при приготовлении смешанного реагента раствор сразу зеленеет или синееет, то серную кислоту необходимо сразу заменить. При работе по ПНД Ф 14.1:2:4.190-03 важно уделить достаточно времени для первоначального этапа подготовки химической посуды для проведения анализа и отбора проб. Необходима, как первоначальная отмывка посуды (хромовой смесью, концентрированной серной кислотой, затем дистиллированной водой), так и ежедневная отмывка посуды, используемой для анализа (концентрированной серной кислотой и дистиллированной водой).

Т.к. термостойкие виалы в ПНД Ф 14.1:2:4.190-03 используются не только для пробоподготовки, но и, также, являются оптическими кюветами для фотометрических измерений, поэтому на начальном этапе работы необходимо провести проверку как оптических свойств виал и сортировку

для разделения их использования в диапазонах низких и высоких концентраций ХПК, так и проверку их герметичности для исключения испарения растворов при пробоподготовке. По полученным результатам виалы сортируют на 3 группы: для работы в диапазоне до $10 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$ включительно, для работы в диапазоне выше $10 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$ и для работы в диапазоне свыше $50 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$. Периодически рекомендуется проводить повторную проверку оптических свойств виал из-за возможного ухудшения их оптических свойств и появления царапин и сколов на их поверхности в процессе работы в результате многократного использования.

Дополнительные погрешности, особенно при работе в диапазоне низких концентраций ХПК, могут возникать при дозировании растворов. При использовании микродозаторов необходимо держать микродозатор вертикально, убедиться в герметичности надетого на него наконечника и предварительно промывать наконечник дозируемой жидкостью от трех до 5 раз. Кроме этого, необходимо применять разные техники дозирования в зависимости от вязкости раствора: для водного раствора бихромата калия и растворов проб рекомендуется использовать технику прямого дозирования, для раствора бихромата калия в серной кислоте, имеющего повышенную вязкость, лучше использовать технику обратного дозирования.

Повышение качества лабораторных измерений включает в себя, также и автоматизацию некоторых процессов, связанных с проведением измерений и сокращение времени на обработку получаемых результатов. Разработанное для анализаторов жидкости «Флюорат-02-4М/5М» **программное обеспечение «Флюорейт»** (ПО ««Флюорейт»») позволяет выполнять управление анализаторами с компьютера, проводить сбор и обработку данных. В ПО «Флюорейт» реализованы следующие функции: **управление анализаторами** (мониторинг состояния анализаторов в режиме ожидания; переход по основным окнам меню: настройка методик, градуировка, измерение, журнал измерений; возможность изменения параметров (метод измерения, коррекции сигналов) как вручную, так и работа по заранее созданным шаблонам); **сбор и обработка данных** (одновременное измерение интенсивности сигнала и пропускания (Т, %); возможность установки числа повторных измерений, с автоматическим расчетом среднего значения, СКО и размаха; выбор типа градуировки: кусочно-линейной интерполяции или метод наименьших квадратов (МНК); графическое изображение градуировочной зависимости, с одновременным отображением градуировочных точек и уравнением градуировочной зависимости (для МНК); визуализация значения концентрации для каждой градуировочной точки, вычисленной по градуировочной зависимости и величины отклонения рассчитанной от соответствующего референтного значения (для МНК); функция контроля

стабильности градуировки; сохранение градуировочных зависимостей и результатов контроля в Журнале градуировок; наличие метрологического модуля для расчета конечного результата в пробе (*паспорт пробы (объем пробы, масса навески, коэффициент разбавления и др., формула для расчета конечного результата)*); вывод конечного результата с учетом показателя точности и диапазона; сохранение конечного результата в Журнале измерений); **экспорт файлов** (полученные в результате проведения измерений данные могут быть экспортированы в текстовый файл с расширением txt, который можно открывать другими программными приложениями, например, MS Excel, MS Word).

УДК 34.06

ПРЕДЛОЖЕНИЯ О ДОРАБОТКЕ ЗАКУПОЧНЫХ ПРОЦЕДУР КОАГУЛЯНТОВ ПО ФЕДЕРАЛЬНЫМ ЗАКОНАМ № 223-ФЗ ОТ 18.07.2021 ГОДА И № 44-ФЗ ОТ 05.04.2013 ГОДА

С.В. Гетманцев, О.Г. Ананьев
ГК «АУРАТ», г. Москва, Россия

Рассмотрены основные цели и принципы федеральных законов 223–ФЗ и №44–ФЗ, отмечены преимущества и недостатки применения данных законов в системах водоподготовки и водоотведения. Предложены варианты корректировки 223-ФЗ.

Как известно 18.07.2011 г. и 5.04.2013 г. на территории РФ были введены в действие основные федеральные Законы, регулирующие единую контрактную систему закупок товаров – № 223-ФЗ и № 44-ФЗ.

Основными целями введения данных Законов являются:

- обеспечение единого экономического пространства;
- создание условий для своевременного и полного удовлетворения потребностей Заказчиков, попадающих под действие Закона, в товарах, работах и услугах с необходимыми показателями цены, качества и надёжности;
- эффективное использование денежных средств;
- расширение возможностей участия юридических и физических лиц в закупке товаров, работ и услуг для нужд Заказчиков и стимулирование такого участия;
- обеспечение добросовестной конкуренции;
- обеспечение гласности и прозрачности закупки;
- предотвращение коррупции и других злоупотреблений.

Основными принципами закупки товаров по вышеупомянутым Законам являются:

– информационная открытость закупки;

- равноправие, отсутствие дискриминации и необоснованных ограничений конкуренции по отношению к участникам закупки;
- целевое и экономически эффективное расходование денежных средств на приобретение товаров работ, услуг и реализация мер, направленных на сокращение издержек Заказчика;
- отсутствие ограничения допуска к участию в закупке путём установления неизменяемых требований к участникам закупки.

Введение данных Законов явилось прорывом в наведении порядка и систематизации рынка обращения товаров и услуг, поставило в жёсткие правовые рамки и одинаковые конкурентные условия участников рынка, существенно уменьшив количество злоупотреблений и фактов коррупции при заключении коммерческих сделок.

Открытая конкуренция товаров и услуг при проведении торгов по правилам, прописанным в Законах за время их действия, обеспечила значительную экономию денежных средств большей части потребителей данных товаров и услуг и явилась мощным стимулом к технологическому развитию их производителей.

За почти десятилетний срок действия данных Законов рынок адаптировался к их требованиям, показав при этом в подавляющем большинстве случаев правильность и целесообразность юридических решений составляющих основу предписывающих Законами требований.

При всём мощном позитивном влиянии на экономику в целом Законами не учтён один аспект, который представляется достаточно важным для участников рынка производителей и потребителей коагулянтов, применяемых в системах водоподготовки и водоотведения.

При проведении закупок коагулянтов определяющим и обязывающим стороны сделки фактором, при прочих равных условиях, прописанных в требованиях Законов, является его цена.

При этом необходимо отметить, что помимо следования нормам Законов водоканалы имеют право разрабатывать собственные Положения о проведении закупок, в которых подробно прописываются желаемые Заказчиком требования к закупаемым товарам и услугам, в данном случае – коагулянтам. Но при всей гибкости при составлении требований Положений в них невозможно прописать механизм учёта реальной эффективности работы реагента, которая во многих случаях является определяющим фактором, влияющим на себестоимость единицы обработанной жидкости, например 1 м³ питьевой воды. Результаты испытаний, как сравнительных, так и любых других к рассмотрению не принимаются и на итоги торгов не влияют. При принятии решения о закупке сравниваются исключительно представленные в конкурсной документации технические характеристики реагентов и их конечные цены.

Эффективность работы коагулянтов достаточно корректно определяется по итогам лабораторных опытов пробного коагулирования и опытно-промышленных испытаний в реальных условиях.

При проведении данных испытаний достаточно часто возникают ситуации, при которых эффективность работы, как по дозам, так и по качеству обработанной воды одинаковых по основным определяющим характеристикам коагулянтов от разных производителей отличается, а иногда достаточно существенно, что особенно характерно для группы оксихлоридов алюминия. Причинами разницы в работоспособности и санитарном качестве реагентов являются, как правило, различия в технологиях их производства и сырьевой базе. При этом Покупатель, в данном случае – водоканалы по понятным причинам заинтересованы получить более эффективный реагент, чем более дешёвый, что, к сожалению, невозможно при выполнении требований данных Законов.

Также стоит отметить, что данная ситуация негативно влияет на конкурентоспособность современных высокотехнологичных производств, выпускающих самые эффективные коагулянты, так, как для поддержания высокого технологического уровня и культуры производства этим предприятиям приходится вкладывать немалые средства в собственное развитие и выполнение всех требований контролирующих организаций, а также использовать самое качественное, поэтому и самое дорогое сырьё, что повышает себестоимость продукции и, соответственно, минимальную отпускную цену на торгах.

Данное положение дел представляется, как недоработка Законов.

На основе вышеизложенного представляется целесообразным выйти с предложением к соответствующим законодательным органам о внесении поправок в закон № 223-ФЗ о предоставлении больших прав Потребителям коагулянтов при выборе Поставщиков. При этом основным критерием выбора реагента должна быть не его цена, а подтверждённая реальными конкурсными испытаниями по требованиям, прописанным Потребителем в Положении о закупках, эффективность и санитарно-гигиенические показатели.

УДК: 628.22:532.5.013

РЕСУРСЫ НАИЛУЧШИХ ДОСТУПНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ЗЕЛЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

А.И. Мохов, И.А. Абросимова

Национальный исследовательский Московский государственный
строительный университет, г. Москва, Россия

Моделирование переустройства территорий становится одним из ведущих направлений в практике анализа их комплексного развития. Рассмотрена подсистема

«технологическая платформа» в составе комплексного объекта экологического переустройства территории, ее функции и роль в формировании устойчивости функционирования и развития территории. Выявлены актуальные направления переустройства технологической платформы территории, содержащие наилучшие доступные технологии. Показано, что наилучшие доступные технологии зеленого строительства повышают уровень капитализации территории за счет ее ресурсного развития.

Системы водоснабжения и водоотведения зданий и сооружений являются основополагающими системами функционирования любого здания и сооружения. Департамент по экономическим и социальным вопросам ООН в обзоре мирового экономического и социального положения за 2011 г. «Великая «зеленая» техническая революция» подчеркивает необходимость изыскания новых путей развития, которые гарантировали бы экологическую устойчивость и обращение вспять процесса разрушения окружающей среды и при этом могли бы обеспечивать сейчас и в будущем достойный уровень жизни всему человечеству. В связи с изданием данного положения возникает новый вектор развития «зеленого строительства» и активного внедрения стандартов «зеленого водоснабжения и водоотведения». На данный момент при эксплуатации систем водоснабжения применяется ряд зеленых технологий, таких как: энергоэффективность, эффективное водопотребление, использование дождевой воды в бытовых системах, водосберегающие, сантехническое оборудование, системы очистки бытовых стоков, бытовые дождевые стоки. В российской практике мы в основном опираемся на стандарты LEED и BREEAM. Но использование данных стандартов, не дает возможности для комплексного анализа наилучших доступных технологий зеленого строительства внутри конкретной подсистемы и в рамках переустройства территорий. Для эффективности внедрения технологии «зеленого водоснабжения» нами предлагается разработать «технологическую платформу территории» в которой будут собраны наиболее важные зеленые стандарты водоснабжения.

Под технологической платформой территории будем понимать набор технологий, которые используются при создании и реализации продукции территории. Функция «технологической платформы» – обеспечение и сопровождение процесса капитализации территорий. Роль – интегратор ресурса организационных и технологических инноваций в ресурсное развитие территорий.

Заметим, что внедрение технологий «зеленого водоснабжения» влечет за собой изменение используемого оборудования в зданиях и сооружениях территории, влияет на построение инженерных и транспортных сетей и систем коммуникаций, и, как результат, определяет возможности получения инновационной продукции территории.

Организационное переустройство функционирования предприятий на территориях, сформированное как инновационные изменения в их работе, было исследовано в серии работ [1–4], связанных с выявлением экономического механизма инновационного развития предприятий. Результирующая модель комплексного объекта инновационного переустройства территории (КОИПТ) приведена на рисунке 1. Стрелками на рисунке показаны направления распространения инновационных технологий из слоя «технологическая платформа» в другие слои модели КОИПТ.

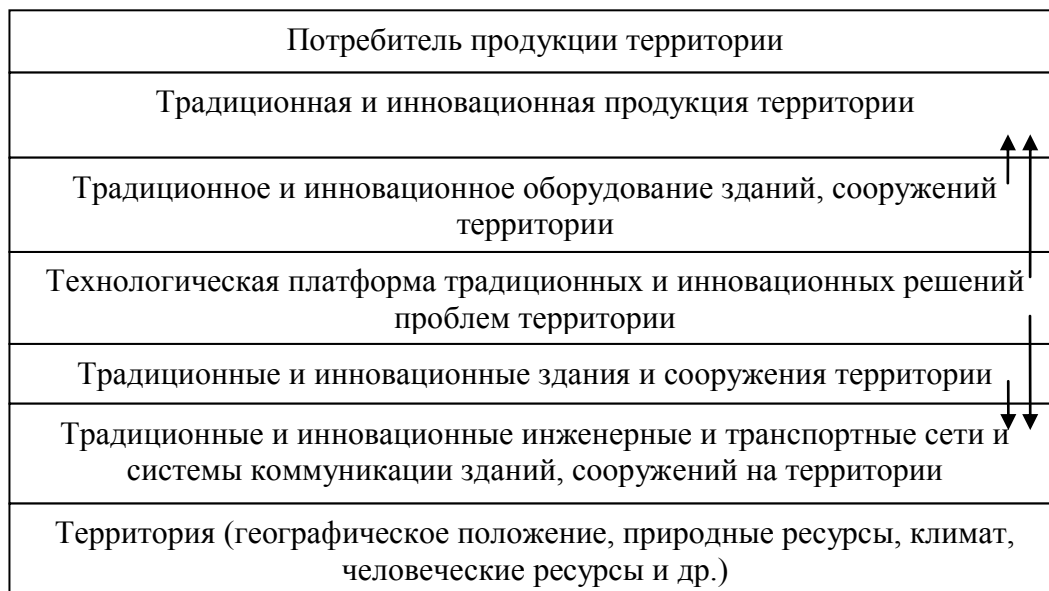


Рисунок 1. Модель КОИПТ

В технологическую платформу могут быть включены все организационно-технологические решения, которые определяют управление функционированием и развитием территории. Прежде всего, это принятые на территории нормы создания продукции, выраженные в стандартах деятельности субъектов на территории. Современные стандарты управления, объединенные в интегрированные системы менеджмента, достаточно успешно применяются как в зарубежной, так и в отечественной практике для обеспечения улучшения потребительских характеристик продукции предприятий на территориях. Требования стандартов ИСО серии 9000, ИСО серии 14000, ИСО 5000, OHSAS 18000 и других отраслевых стандартов систем менеджмента накладываются как матрица на процесс производства продукции и формируют достаточные условия для приобретения, эксплуатации и утилизации востребованной потребителем продукции территории.

В работе [5] отмечено, что такие фирмы, как, например, Сименс, Бош предлагают наборы организационно-технологических решений, основанных на единых технологических принципах и ориентированных на

сопровождение всех возможных функций зданий, сооружений территории. Подобная технологическая платформа включает полное оснащение помещений здания, их кабельную инфраструктуру, определяет расположение и размеры ниш в корпусе здания, а также содержание служебных помещений. Именно технологическая платформа является основой реализации управления функционированием зданий территории. Она формирует с помощью используемого оборудования конкретные «удобства», характеризующие количественные аспекты эксплуатационного качества здания, сооружения. Подсистема реализует комплексный подход к проектированию всех инженерных систем здания в начальной стадии проекта, что обеспечит их интеграцию, согласованность и устойчивость функционирования. Именно проверка соответствия используемой технологической платформы современным требованиям может стать основой проведения конкурсных процедур выдачи «зеленых кредитов» для строителей, чем предполагае заниматься АО «ДОМ.РФ»¹. Полагаем, что в последующем проверка соответствия используемых технологий по критерию наилучших доступных технологий «зеленого строительства» может быть заложена в основу проведения конкурсных процедур капитального строительства.

Заметим, что в состав подсистемы «технологическая платформа» входят не только «технические», но и социальные технологии, наработанные к настоящему времени. Согласно работе [5]: «...Технологические платформы являются новой коммуникационной площадкой для обсуждения важнейших проектов технологического развития, для выработки и реализации долгосрочных приоритетов в масштабах экономики страны на основе общего видения модернизации существующих и формирования новых секторов экономики, а также инструментов влияния на скорость распространение перспективных технологий во всех сферах жизни общества». Технологические платформы объединяют возможности науки и бизнеса, применяемые на всем протяжении цикла разработки и производства инновационной продукции. Технологические платформы становятся также основой формирования тематических направлений, в рамках которых государство будет определять приоритеты для проведения различных научно-исследовательских работ, результаты которых планируются к внедрению в производство как наилучшие доступные строительные технологии, например [6]. Сказанное позволяет рассматривать технологическую платформу как средство развития территорий, использующую кросс-дисциплинарные подходы к формированию технологий переустройства. Заметим, что при проецировании слоя «технологическая платформа» на

¹ Выступление генерального директора АО «ДОМ.РФ» Мутко В.Л. на Форуме «Среда для жизни» в Нижнем Новгороде 26 августа 2021года <https://tass.ru/nedvizhimost/12230547>

слой «территория» КОИПТ, последний приобретает направленность инновационного развития. Причем направление современного зонирования территорий страны, заключающееся в выборе территорий для первоочередного переустройства (зоны ускоренного развития, зоны устойчивого развития, опорные зоны), предполагает комплексное развитие территорий регионов, на которых эти зоны созданы, будут созданы или находятся в процессе формирования.

Если технологическая платформа территории ориентирована на решение экологических проблем территории, то модель КОПТ принимает вид комплексного объекта экологического переустройства территорий (КОЭПТ), приведенного на рисунке 2.

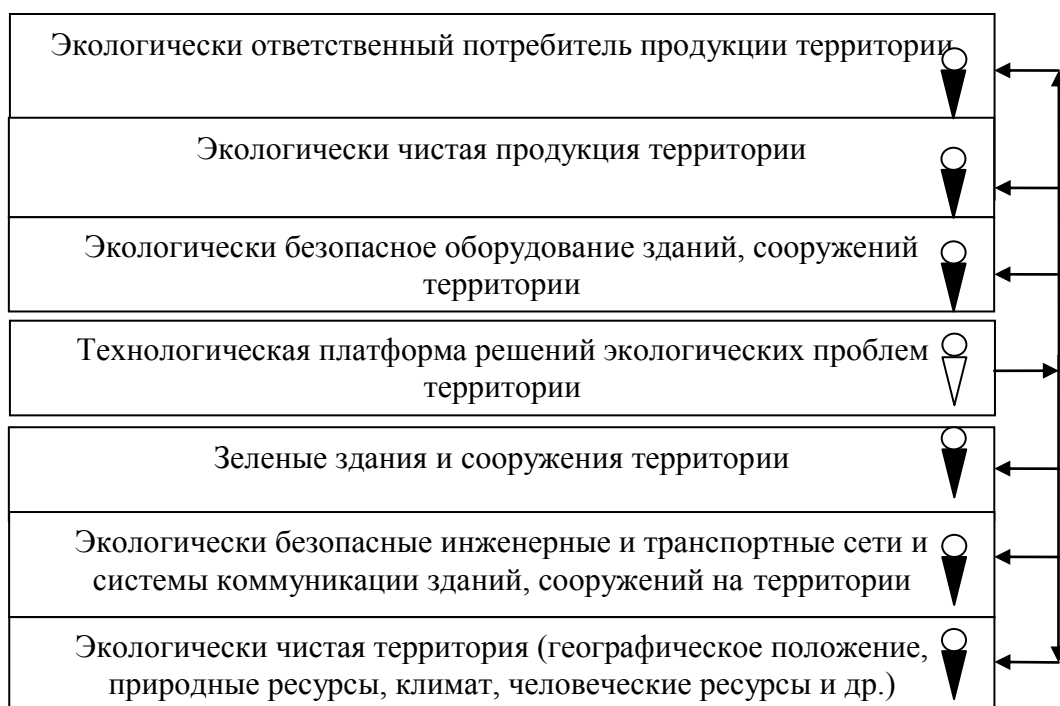


Рисунок 2. Инфографическая модель КОЭПТ:

- — компания, подвигающая наилучшие доступные технологии и использующая экологический подход к осуществляемой строительной деятельности
- ▼ — компании, использующие экологический подход в деятельности

Особенность приведенной модели КОЭПТ состоит в перестройке целевых установок деятельности специалистов, принимающих участие в переустройстве слоев КОПТ, на соблюдение экологических норм в процессе переустройства территории. Для обеспечения устойчивости комплексного развития территорий требования стандартов должны быть заложены еще при проектировании продукции. При этом для слоя «здания и сооружения территории» КОПТ нормы деятельности должны опираться на «зеленые стандарты». Так, базовым фактором создания проектов «зеленых» зданий является строгое следование требованиям

соответствующих международных стандартов и системе сертификации зданий по этим стандартам: BREEAM, LEED или DGNB. Выполнение рекомендаций зеленого стандарта, выбранного для сертификации здания, может быть положено в основу как к требованиям экологической безопасности выпускаемой продукции на оборудовании в зданиях территории, так и к обеспечению экологической безопасности транспортировки в транспортных сетях этих зданий. Социальные технологии и высокие гуманитарные технологии из технологической базы КОЭПТ, задействованные в реализации организационных механизмов внедрения стандартов «зеленого» строительства, активно используются общественными движениями и организациями состоящими из социально-экологически ответственных компаний . Основная цель такого продвижения – внедрение концепции устойчивого развития в деятельность собственной компании и обучение технологиям зеленого строительства компаний – партнеров .

В таблице уточнена готовность приведенных направлений обеспечения к освоению внедряемой технологии зеленого строительства, т.е. проведены анализ и отнесение технологий к группе наилучших доступных технологий.

Таблица. Направления деятельности и применяемые организационные механизмы внедрения «зеленых» стандартов в строительную деятельность

Организационные механизмы	Направления деятельности				
	Обеспечение безопасности	Повышение энерго-эффективности и энерго-сбережения	Рациональное водопотребление	Комфорт и качество внутренней среды здания	Эко-закупки
Просвещение и стимулирование инвесторов строительных проектов	+	+	+	—	—
Воспитание различного возраста потребителей результатов строительной деятельности	+	+	+	+	+
Повышение квалификации членов экспертного сообщества строительной деятельности	—	—	—	+	+
Обучение специалистов в специализированных учебных заведениях сферы строительства	+	+	+	+	+

«Плюсами» в ячейках таблицы 1 отмечены имеющиеся ресурсы для внедрения; «минусами» – недостаточность освоения в направлении

деятельности и необходимость в создании организационного механизма внедрения.

Направления включили в свой состав обеспечение безопасности, повышение энергоэффективности и энергосбережения, рациональное водопотребление, комфорт и качество внутренней среды зданий, экозакупки. Заметим, что приведенные направления охватывают основные этапы жизненного цикла потребителя процессами просвещения, образования и воспитания. Непрерывность воздействия на видение субъекта строительной деятельности придает устойчивость в подходах к реализации экологической деятельности в практике ее применения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Светлаков В.И., Мохов А.И. Модель цикла комплексного развития территории // Интернет-журнал «Наукovedение», М., № 6. 2014. – <http://naukovedenie.ru/PDF/68EVN614.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/68EVN614.
2. Мохов А.И., Светлаков В.И., Мохова Л.А. Интеллектуализация сферы жизнедеятельности как средство формирования ноосферы В.И. Вернадского // Вестник РАЕН. 2015. Т. 15. № 1. С. 31–40.
3. Мохов А.И., Светлаков В.И., Некрасова М.А., Мохова Л.А., Филичева Е.В. Ресурсы моделирования комплексного развития территорий: капитализация территорий моногородов Арктической зоны. // Интернет-журнал «Отходы и ресурсы» Том 4, № 1 2017 <http://resources.today/PDF/>(доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.
4. Мохов А.И., Светлаков В.И. Модель индикатора социально-экономического развития территории для применения в расчете показателя капитализации / Государственное управление и развитие России: вызовы и возможности. Сборник статей международной конференции-сессии. Том I. / Под общ. ред. Г.Ю. Ивлевой. М.: Издательский дом «НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА», 2018. С. 101–109.
5. Быстров А.В., Светлаков В.И., Бойкова И.В. Ресурсы технологической платформы в составе комплексного объекта переустройства территорий / В кн. Современные проблемы управления проектами в инновационно-строительной сфере и природопользовании: материалы VII Межд. научн.-практ. конференции, посвященной 110-летию РЭУ им. Г.В. Плеханова, 12–16 апреля 2017 г. // Под ред. В.И. Ресина. – Москва: РЭУ им. Г.В. Плеханова, 2017. С.287–291.
6. Бойкова И.В., Суходольская Л.В., Мохова Л.А. Особенности внедрения «зеленого» проектного менеджмента в сферу капитального строительства // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Т. 9, № 5, 2017. <https://naukovedenie.ru/PDF/63EVN517.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

УДК 624 153.525:681.3

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

А.И. Субботин, В.А. Субботин, И.А. Субботин, А.С. Подскребалин

ООО «Строительно-производственное управление»,

г. Новочеркасск, Россия

В статье приводятся опыт применения современных информационных технологий и уникального оборудования, специфика технологии его работы при обследовании строительных конструкций зданий и сооружений гидротехнических сооружений, в том числе объектов очистных сооружений. Приведены примеры применения современного уникального оборудования при производстве изыскательских работ на гидротехнических объектах.

Гидротехнические объекты являются уникальными и сложными инженерными сооружениями и, зачастую, объемны, занимая значительную площадь.

Для получения объективной информации об исследуемых объектах выполняется большой объем обмерных работ, которые, традиционно, осуществляются с помощью таких приборов как лазерная рулетка и тахеометр, при этом эти работы являются трудоемкими и сложными в их последующей обработке. Так как подобные объекты объемны и технически сложны, то определение их достоверных параметров планово-высотного положения, площади и объема элементов становится проблематичным.

Современные технологии позволяют облегчить процесс обследования и увеличить производительность работ.

Одним из способов получить полную и достоверную информацию о сложном объекте без применения ресурсов исследователя является применение квадрокоптеров (рис.).

В большинстве своём, единственным способом, чтобы представить масштабность обследуемого сооружения, приходится прибегать к наглядной визуализации в виде графических изображений на генплане, а применение квадрокоптера с легкостью решает данную проблему, позволяя исследователям, а впоследствии и проектировщикам, использовать полученную информацию при принятии решений.

Помимо этого, использование беспилотного летательного аппарата при обследовании объемных сооружений позволяет выявить и осуществить фиксацию дефектов и повреждений конструкций, незаметных человеческому глазу с большого расстояния.



Рисунок. Применение квадрокоптеров при обследовании очистных сооружений

Другим способом повысить качество и производительность при обследовании гидротехнических сооружений является применение технологии лазерного 3D сканирования и фотограмметрия, позволяющие выполнять обмерные работы с гораздо большей скоростью и получать результаты обмеров с не сравнительно большей точностью, чем при использовании классических методов обмеров. Это дает возможность выполнять работы в рамках инженерно-технических исследований гидротехнических объектов с расположенной в нем сложной сетью инженерных сетей и оборудования.

При 3D сканировании применяется активный 3D сканер, который использует определённые виды излучения и сканируют объект через отражение света или прохождение излучения через объект или среду. Сканирование производится по станциям, а камеральная обработка полученных данных производится в программе ReCap в единую модель. В результате получается облако точек, представляющее собой массив, где каждая точка имеет индивидуальные координаты. В облаке точек отражены данные о геометрии сложных архитектурных форм и элементов лепного декора экстерьера и интерьера объекта, имеющего историческую или архитектурную ценность.

В особых случаях, для выполнения обмерных работ в помещениях, насыщенных оборудованием и густой сетью инженерных коммуникаций, имеющих множественные задвижки и приводы, применяется метод аэрофотограмметрической съемки, который осуществляется с помощью профессионального фотоаппарата или беспилотного летательного

аппарата, оснащенного фотокамерой высокого разрешения. Принцип работы данного метода заключается в измерении пространственных координат точек исследуемого объекта (поверхности) по двум или более фотографиям, снятым из разных положений, при этом на каждом изображении отыскиваются общие точки. Затем луч зрения проводится от местоположения фотоаппарата до точки на объекте. Пересечение этих лучей и определяет расположение точки в пространстве. Обработка данных с формированием полученных снимков в единую модель, идентичную той, что получается при 3D сканировании, но уже большего графического разрешения, производится в программе Agisoft Metashape.

В дальнейшем полученная и обработанная информация используется для составления обмерных чертежей. Заметим, что результаты съемки удобно импортировать в двух и трехмерные системы проектирования и черчения, так как разработчиком системы проектирования AutoCad и программы для создания и обработки облака точек ReCap является одна и та же фирма Autodesk.

ВЫВОДЫ

1. Применение современных инновационных методов и оборудования для выполнения задач по обследованию гидротехнических зданий и сооружений позволяет получить результаты в лучшем качестве и большем объеме.
2. Использование информационных технологий в изыскательских работах, включающие фотограмметрию и 3D сканирование, повышают не только качество, но и производительность изыскательских работ.
3. Качество полученной информации при производстве работ с фотограмметрией и 3D сканированием, позволяет применять её при создании технической документации в BIM-формате.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 31937-2011 Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния.
2. СП 13-102-2003 Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений.
3. <https://can-touch.ru/blog/vse-o-3d-skanerax/>

II. ПОВЫШЕНИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ
И ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ
ОЧИСТКИ И ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ
ПРИРОДНЫХ ВОД

УДК 628.166

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ ТОКА
НА ОБРАЗОВАНИЕ КАТОДНЫХ ОСАДКОВ В ЭЛЕКТРОЛИЗЕРАХ
ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ГИПОХЛОРИТА НАТРИЯ
ИЗ ПРИРОДНЫХ РАСТВОРОВ**

Нгуен Тхи Туан Зъеп

г. Донгхой, Республика Вьетнам

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия

И.В. Пчельников, Л.Н. Фесенко

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия

Приведены результаты исследований прямого электролиза пресной воды г. Донгхой Республики Вьетнам и солёной Южно-Вьетнамского моря постоянным и реверсным токами для оценки возможности снижения нерастворимых веществ. Определяли роль реверсного тока по сравнению с постоянным с учетом влияния плотности тока и состава раствора.

В настоящее время в качестве альтернативы жидкому хлору выступает низкоконцентрированный (0,6 – 0,8 % по активному хлору) раствор гипохлорита натрия (ГХН), производимый практически в любом количестве на месте последующего применения традиционно путем электролиза 3 %-го раствора поваренной соли. Подобно жидкому хлору ГХН обладает пролонгированным бактерицидным действием. Переход на использование низкоконцентрированного ГХН (малоопасное вещество,

четвертый класс) позволяет ликвидировать высокотоксичное хлорное хозяйство, обеспечить экологическую и технологическую безопасность производства питьевой воды, исключить риски, связанные с производством, транспортированием, хранением и использованием жидкого хлора [1].

Однако существует ряд сложностей для широкомасштабного внедрения низкоконтрированного раствора ГХН в практику малых водоочистных установок. Его производство, как правило, включает солевое хозяйство: склад поваренной соли, емкостное хозяйство, узел водоподготовки и промывки электродов раствором кислоты. Очевидно, что для строительства таких объектов потребуются достаточно крупные инвестиции.

Поскольку поваренная соль является сырьем для получения ГХН, затраты на приобретение и доставку ее составляют до 25 – 30 % от общей стоимости произведенного дезинфектанта [2]. Однако сырьем для получения ГХН могут быть хлорид-ионы не только в обрабатываемой питьевой воде, но и природные минеральные, например, подземные, вода морей и океанов. Если в первом случае путем прямого электролиза пресной воды можно получить активный хлор непосредственно в питьевой воде [3], то минеральная вода будет сырьем для получения раствора ГХН достаточно высокой концентрации, который можно затем добавлять в обрабатываемую воду [2].

В случае использования природных растворов основными статьями расходов являются затраты на забор воды, ее транспортировку к объекту применения и непосредственно сам электролиз. В многочисленных работах исследователи отмечали чрезвычайную проблему электролиза хлоридных растворов – образование нерастворимых соединений в виде солей кальция и магния на поверхности катода. Подчеркивалось, что при длительном электролизе масса осадка блокирует поверхность катода, препятствуя протеканию обрабатываемого раствора в межэлектродном пространстве. Известные способы борьбы с этим явлением сводятся к удалению из раствора одного из осадкообразующих веществ (ионы Ca^{2+} , Mg^{2+} или HCO_3^-). Это может быть достигнуто химическими или ионообменными методами [4]. Однако для этого требуются реагенты, применение которых существенно усложняет и удорожает производство ГХН. Именно это обстоятельство ограничивает широкое применение и распространение такого достаточно простого, по сути, способа производства экологически безопасного продукта, каким является ГХН. Если на крупных электролизных станциях водных комплексов борьба с катодными осадками решается квалифицированным персоналом с помощью реагентной обработки, то для сельских и поселковых потребителей дезинфектанта эта задача становится неразрешимой. При масштабном внедрении в практику малых водоочистных установок, исходя

из возрастающих требований к качеству подаваемой питьевой воды, появляется необходимость принимать во внимание технологичность эксплуатации электролизных установок.

Нами было обнаружено, что в определенных условиях при электролизе реверсным током в хлоридных растворах на катодах не образуются осадки, причем особое влияние на это оказывает минерализация раствора, в том числе концентрация хлоридов, продолжительность периода тока. В литературе подробно такие случаи не рассматривались.

Для оценки роли формы тока на образование осадка при электролизе в опытах использовали два природных раствора. Исследования проводили с пресной водой г. Донгхой, Республика Вьетнам (рис. 1а) и солёной – Южно-Вьетнамского моря (рис. 1б). Аналог пресной и морской воды готовили согласно их гидрохимическим составам, используя соли NaCl , Na_2SO_4 , CaCl_2 , MgSO_4 и NaHCO_3 .

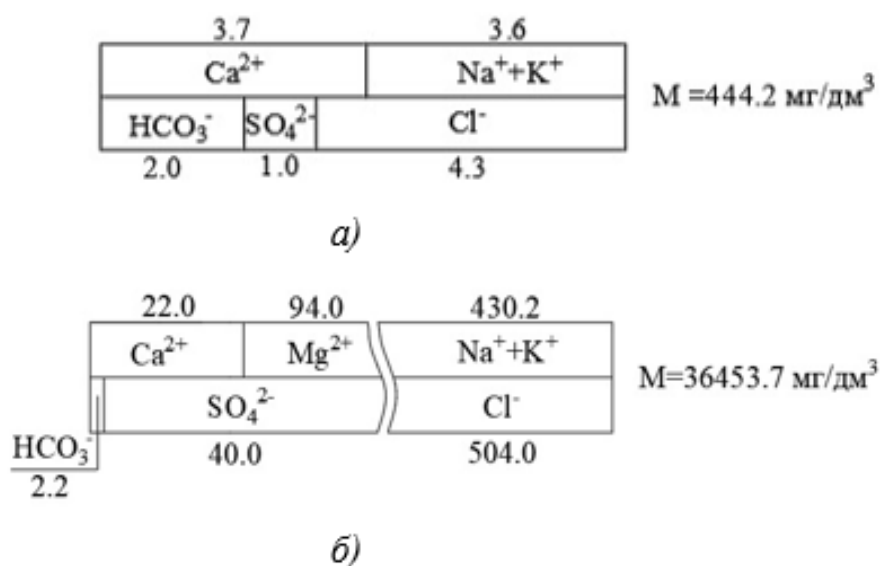


Рисунок 1. Диаграммы химического состава воды, мг-экв/дм³:
а) г. Донгхой; б) Южно-Вьетнамского моря

Настоящая работа посвящена сравнительному анализу производства ГХН при электролизе постоянным и реверсным токами растворов, значительно отличающимися минерализацией. Для опытов была собрана экспериментальная установка, которая позволяла обеспечить проточный режим электролиза исследуемого раствора через бездиафрагменный электролизер как постоянным, так и реверсным токами с плотностями 100 и 1000 А/м² при помощи блока питания «УБП-0,6», обеспечивающего функцию гальваностата (производство ООО НПП «ЭКОФЕС», г. Новочеркасск). Корпус электролизера был выполнен из прозрачного винипласта с рабочим объемом 60 мл с входными и выходными штуцерами для протока раствора и с закрепленными на крышке двумя электродами размером 64 x 62 мм, каждый из титана с двухсторонним

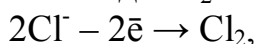
покрытием ОРТА. Исследуемый раствор в электролизер подавали постоянным расходом 0,48 дм³/ч из расходного бака перистальтическим насосом типа Etatron. Продолжительности электролиза прямым и обратным токами были равны и составляли: 3, 6, 12, 24, 48, 120, 360, 480 и 600 минут.

С целью минимизации осадков исходную воду декарбонизировали путем добавления в нее 1н раствора HCl эквивалентно концентрации HCO₃⁻ [5]. Образующуюся при этом углекислоту CO₂ удаляли с помощью барботажа сжатым воздухом в течение 1 часа.

В растворе концентрацию активного хлора, температуру, и pH измеряли прибором «Анион 4100». Напряжение на клеммах электролизера замеряли при помощи мультиметра «МЕГЕОН 22130». Массу и состав осадков на электродах и в электрохимической ячейке определяли весовым и аналитическим методами. Оценивали морфологию осадков на электродах и в растворе и фиксировали с помощью фотоаппарата и микроскопа с восьмикратным увеличением.

Рассмотрим, какие процессы могут протекать на электродах электролизера в водных растворах, содержащих ион хлора.

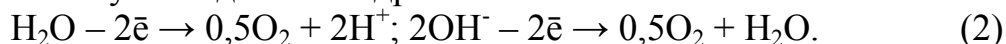
На аноде ионы Cl⁻ окисляются до Cl₂:



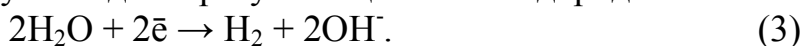
который затем гидролизуеться согласно реакции:



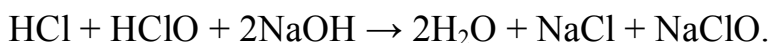
Кроме разрядов ионов хлора протекает реакция образования кислорода из молекулы воды или гидроксильных ионов:



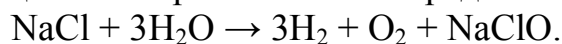
На катоде из молекулы воды образуется щелочь и водород:



В итоге продукты гидролиза хлора – соляная (HCl) и хлорноватистая (HClO) кислоты взаимодействуют со щелочью, образуя гипохлорит натрия – NaClO:



Суммарно процесс электролиза можно представить как:



В результате образуются водород, кислород и слабощелочной раствор ГХН (pH ≈ 8,5 – 9,0 единиц).

Кроме электрохимических процессов на поверхности катода протекают химические реакции с участием ионов раствора Ca²⁺, Mg²⁺, SO₄²⁻ и OH⁻ в результате разряда молекулы воды (реакция 3). В итоге образуются труднорастворимые соли кальция (CaSO₄, CaCO₃) и гидроокись магния Mg(OH)₂.

Надо понимать, что нерастворимые соединения в результате электролиза изначально образуются на катоде. Со временем на электроде происходит стабилизация толщины и состава осадка, который в одних

случаях при достижении критической массы теряет контакт с поверхностью электрода, катодно выделяющийся водород способствует этому. В других случаях – из-за высокой адгезии осадок накапливается на поверхности. Полученные нами опытные данные показывают, что образующийся осадок не покрывает полностью поверхность электрода, иначе бы доставка исходных веществ и отвод продуктов электрохимических реакций был бы невозможен, т.е. соответствовало запиранию тока в электрической цепи.

Из этого следует, что главная задача процесса – обеспечить максимальный выход по току товарного продукта – ГХН и снизить содержание нерастворимых веществ, образующихся при электролизе. Это в основном определяется соотношением скоростей выделения кислорода и хлора на аноде. Для обеспечения нужного результата процесса в первую очередь надо определить роль реверсного тока по сравнению с постоянным, его плотность, состав раствора.

Для сравнительной оценки роли формы тока электрохимической поляризации на особенности получения ГХН из пресной воды электролиз вели постоянным и реверсными токами. Так как в воде г. Донгхоя, концентрация хлоридов составляет всего $4,3 \text{ мг-экв/дм}^3$, то на основании [6] и предварительных опытов было установлено, что при плотности тока больше 100 А/м^2 происходит два негативных процесса, влияющих на работоспособность титановых электродов, покрытых ОРТА. В первом, реверсном режиме электролиза, имеет место восстановление оксидного слоя до металла при катодной поляризации и, как следствие, запираание поверхности электрода непроводящей пленки из TiO_2 при последующем прохождении анодного тока. Во втором, процессы окисления хлорид-ионов при их дефиците конкурируют с окислением покрывного слоя из оксида рутения до летучего RuO_4 с неизбежной его потерей, ведущей к последующей пассивации анода TiO_2 [7]. В связи с этим в опытах электролиз пресной воды вели постоянным и реверсным токами при плотности 100 А/м^2 . Для морской воды в реверсном режиме электролиза плотность катодного тока так же не должна превышать 100 А/м^2 , из-за возможного восстановления оксидов до металлов. Однако на постоянном токе в такой воде исследования проводили при плотности тока 1000 А/м^2 .

Для оценки режима электролиза определяли выход хлора по току, η , % по формуле:

$$\eta = \frac{Q_T}{Q_\phi} \cdot 100\%,$$

где Q_T – теоретически необходимое количество электричества на данную реакцию по закону Фарадея, А·ч.

$$Q_T = \frac{C_{ax} \cdot q \cdot \tau}{k_3}$$

где C_{ax} – концентрация активного хлора в растворе, г/дм³; q – расход раствора через электролизер, дм³/ч; τ – продолжительность электролиза, ч; k_3 – электрохимический эквивалент, г/(А·ч), для хлора $k_3 = 1,32$ г/(А·ч); Q_{ϕ} – фактические затраты электричества, А·ч

$$Q_{\phi} = I \cdot \tau,$$

где I – величина тока, А.

Водопроводная вода. На первом этапе определяли роль декарбонизации на выход активного хлора и массы осадка в ячейке и на катоде при поляризации постоянным током в течение 10 часов электролиза (рис. 2).

Как следует из рисунка, в декарбонизированной воде содержание активного хлора увеличивается в 1,8 раза по сравнению с недекарбонизированной водой. Незначительный рост концентрации активного хлора за время электролиза связан с образованием на катоде пассивирующей пленки из соединений кальция, препятствующей восстановлению гипохлорит-иона. В декарбонизированной воде отсутствовали осадки на катоде и в ячейке электролизера при электролизе. Выход хлора по току (η) в недекарбонизированной воде составлял 7,8 %, а в декарбонизированной – 14,3 %.

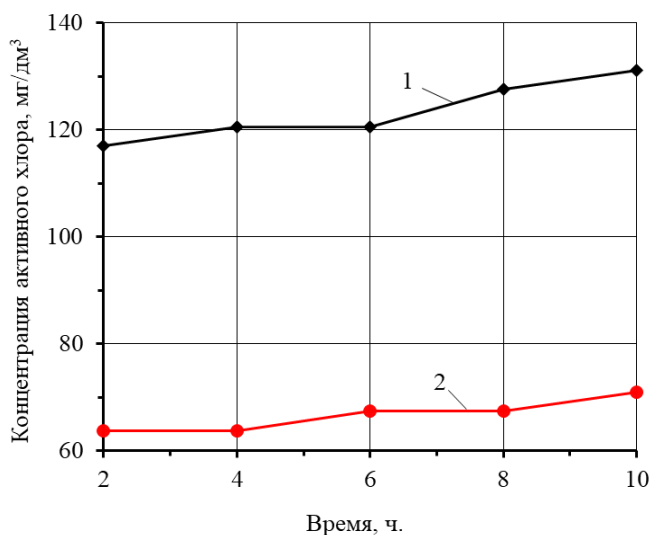


Рисунок 2. Изменения концентрации активного хлора за время электролиза водопроводной воды постоянным током, $i = 100$ А/м²:

1 – декарбонизированной, pH = 5,10; 2 – недекарбонизированной, pH = 8,21

Для объяснения наблюдаемых явлений рассмотрим, какие процессы этому способствуют. Отсутствие осадков связано с устранением гидрокарбонатов – участников образования $CaCO_3$ после декарбонизации путем подкисления обрабатываемой воды и отдувкой CO_2 [5]. Этот технологический прием используется на многочисленных электролизных станциях (изготовитель – ООО НПП «ЭКОФЕС») для производства

низкоконцентрированного ГХН. Повышение концентрации активного хлора в декарбонизированной воде связано с увеличением концентрации хлорид-ионов после подкисления соляной кислотой, что также повышает выход по току с 7,8 до 14,3 %. Известно, что при увеличении щелочности раствора электролита в нашем случае $\text{pH} = 8,21$ на аноде возрастает доля параллельной реакции – электрохимического окисления гипохлорит-иона до хлоратов [8]:

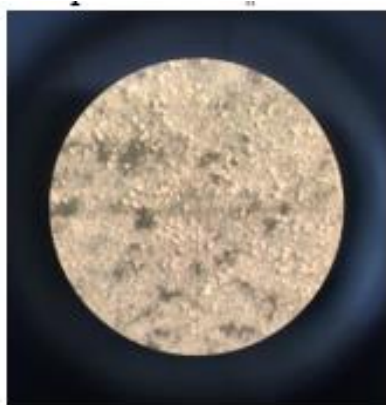


Такой процесс уменьшает выход товарного продукта и загрязняет воду хлоратами (ПДК в питьевой воде 20 мг/дм^3). Следовательно, кислые растворы позволяют достичь два полезных эффекта – устранить образование осадков в электролизных аппаратах и существенно повысить концентрацию ГХН.

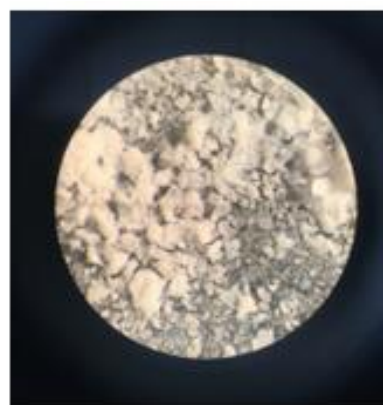
Однако декарбонизация пресной воды требует значительного расхода кислоты (доза HCl эквивалента щелочности воды), но может быть полезна на практике для специальных методов ее обработки с целью производства ГХН, где присутствие хлоратов недопустимо.

В недекарбонизированной воде массы на электроде и в ячейке были соответственно 0,37 и 0,61 г. Общий осадок после электролиза включал в себя два нерастворимых соединения CaCO_3 и CaSO_4 в процентном отношении 59,5 : 40,5, гидроокись магния в осадках не обнаружена.

На фото (рис. 3) видно, что поверхность катода покрыта неравномерно мелкими образованиями (0,1 – 0,3 мм) солей кальция, а на дне ячейки осыпавшийся осадок укрупнился до 2 – 3 мм. Как отмечалось выше, CaCO_3 образуется в результате химической реакции взаимодействия ионов кальция и CO_3^{2-} , а CaSO_4 – по физическому механизму, кристаллизуется на поверхности карбоната кальция в виде тонкозернистой разновидности гипса, известной как алебастр. Это хорошо видно на рисунке 3б, CaCO_3 на электроде и в ячейке представляет собой рыхлый, аморфный осадок, а CaSO_4 – мелкие кристаллы.



а)



б)

Рисунок 3. Микрофотография осадков (х8) при электролизе водопроводной воды постоянным током, $i = 100 \text{ А/м}^2$: а) на электроде; б) в ячейке

В случае использования реверсного тока картина процессов на электродах меняется. Данные опытов электролиза водопроводной воды реверсным током представлены на рисунке 4.

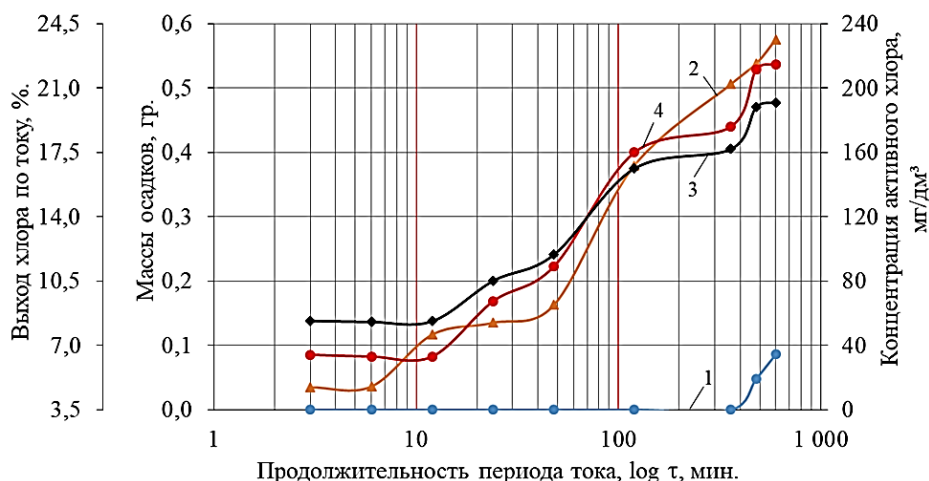


Рисунок 4. Массы осадков, концентрация активного хлора и выход хлора по току при электролизе водопроводной воды реверсным током, $i = 100 \text{ А/м}^2$:

1 – масса осадка электрода; 2 – масса общего осадка; 3 – концентрация активного хлора; 4 – выход хлора по току

Из него следует, что осадки образуются во всех исследованных интервалах времени электролиза, а с увеличением продолжительности прохождения тока накапливаются также на поверхности катода, а концентрация активного хлора в течение всего опыта растет.

Отмечено также, что при десятичасовом электролизе реверсным током концентрация активного хлора в воде достигает 191 мг/дм^3 , тогда как на постоянном за это же время – только 67 мг/дм^3 . Что касается осадка – главной проблемой гипохлоритной технологии, то при реверсе он накапливается на катоде, когда продолжительность поляризации периода тока больше 8 часов. Это объясняется тем, что при использовании реверсного тока имеет место обратная электродная реакция растворения осадка в анодный полупериод (за счет образования кислоты, реакции 1, 2) и накопление его в катодный. Если толщина осадка на электроде незначительна, то при последующем анодном токе, возможно, его полное растворение кислотой при ее достатке. Когда масса осадка накапливается на электроде при реверсном токе, то это означает, что наступил необратимый процесс, ведущий к зарастанию межэлектродного пространства.

На рисунке 5 представлена микрофотография поверхности электрода и осадка в ячейке при электролизе реверсным режимом с продолжительностью периода тока 6 часов.

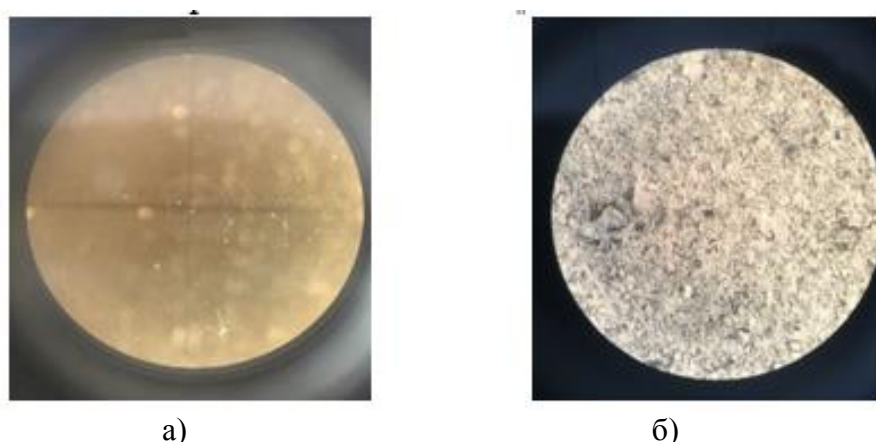


Рисунок 5. Микрофотография осадков (x8) при электролизе водопроводной воды реверсным током 6 часов, $i = 100 \text{ А/м}^2$: а) на электроде; б) в ячейке

На электроде едва заметны следы осадка, больше похожие на тонкую пленку, масса которой не более 0,01 г. Осадок в растворе выглядит в виде диспергированных частиц размерами, значительно уступающими фрагментам осадка на постоянном токе. Анализ осадка указал на наличие CaCO_3 и CaSO_4 и их процентное соотношение (рис. 6). Как следует из рисунка, использование реверсного тока меняет соотношение количества образовавшихся солей CaCO_3 и CaSO_4 в % соотношении как 80 : 20 за 20 мин электролиза, а при 8 ч – как 95 : 5. На постоянном токе это соотношение было 60 : 40. Значительное преимущество массы карбоната кальция в осадках вероятно связано с затруднением кристаллизации CaSO_4 на катоде после прохождения до этого анодного тока.

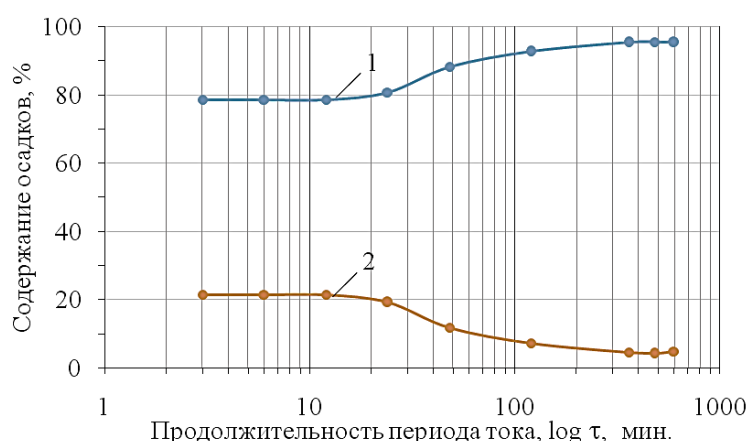


Рисунок 6. Изменение состава осадка при электролизе водопроводной воды от продолжительности времени периода тока в реверсном режиме:
1 – CaCO_3 ; 2 – CaSO_4

Значительный рост концентрации активного хлора с увеличением продолжительности электролиза в режиме реверса может быть объяснен следующим образом. При анодной поляризации часть тока тратится на окисление газообразного водорода, адсорбированного на поверхности

электрода, покрытого нерастворимыми солями кальция после катодной поляризации. Следовательно, доля электричества, идущего на окисление водорода, образовавшегося в предыдущий полупериод, будет уменьшаться при увеличении продолжительности катодного и анодного токов, что способствует росту концентрации активного хлора.

Это предположение хорошо объясняет циклограмма изменения концентрации активного хлора (измеряли через 10 мин) при продолжительности полупериода тока, равного 120 мин (рис. 7). Вертикальные пунктирные линии показывают время переключения направления тока. Видно, что на каждой кратной 120-й минуте происходит резкий спад и последующий медленный подъем концентрации активного хлора, что безусловно связано с затратами электричества на окисление водорода при переключении направления тока. Кроме того, реверсный ток повышает выход по току активного хлора благодаря осадку на электроде, который образовался на катоде до анодной поляризации. Это можно объяснить тем, что осадки солей кальция повышают перенапряжение выделения кислорода и понижают образование хлора. Этому вполне может способствовать CaCO_3 , доля которого в осадке растет одновременно с увеличением выхода по току. В целом концентрация активного хлора при циклическом электролизе выше, чем при постоянном токе, а, как отмечалось ранее, при увеличении длительности полупериода негативная роль переключения полярности будет снижаться, что подтверждается кривой 3 на рисунке 4,.

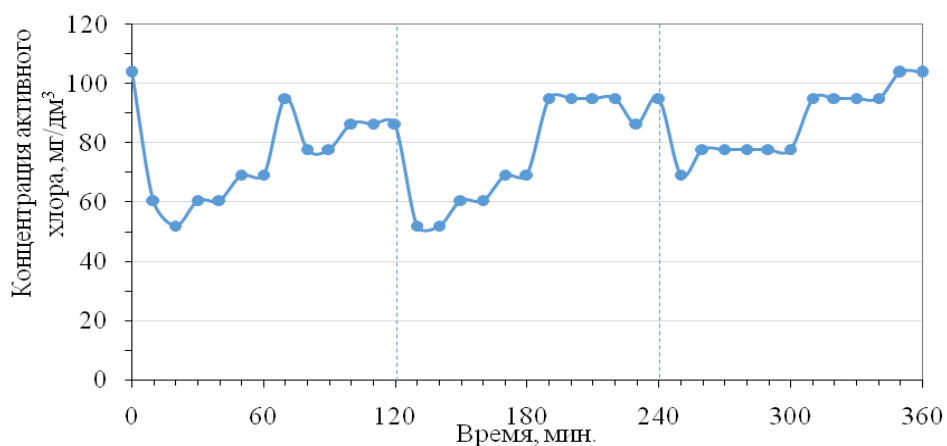


Рисунок 7. Циклограмма изменения концентрации активного хлора от времени электролиза водопроводной воды реверсным током плотностью 100 А/м^2 , продолжительностью полупериода 120 мин

Морская вода. Благодаря высокой минерализации вода морей и океанов является неограниченным сырьем для производства ГХН из-за высокого содержания хлоридов. Аналогично пресной воде (рис. 2) в морской, декарбонизированной и недекарбонизированной воде также определяли изменение концентрации активного хлора во времени при плотности постоянного тока 100 А/м^2 . Электролиз растворов с

концентрацией NaCl 25 – 50 г/дм³, каким является морская вода, можно вести током не более 1000 А/м² [6].

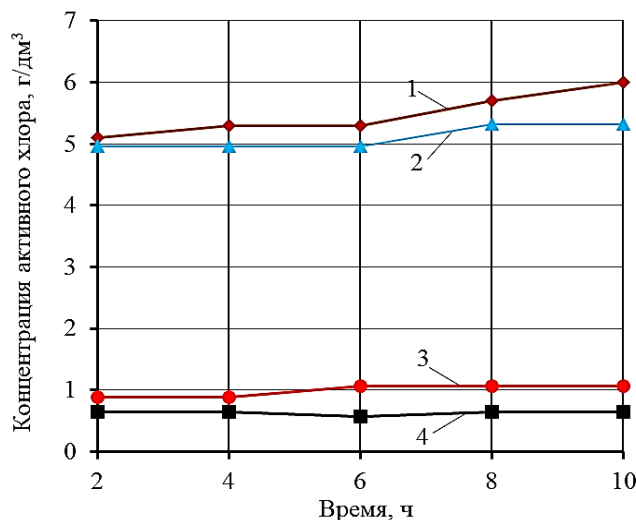


Рисунок 8. Изменения концентрации активного хлора от времени электролиза морской воды постоянным током: 1 – недекарбонизированной, $i = 1000 \text{ А/м}^2$, $\text{pH} = 8,18$; 2 – декарбонизированной, $i = 1000 \text{ А/м}^2$, $\text{pH} = 5,13$; 3 – недекарбонизированной, $i = 100 \text{ А/м}^2$, $\text{pH} = 8,18$; 4 – декарбонизированной, $i = 100 \text{ А/м}^2$, $\text{pH} = 5,13$

Из рисунка следует, что характер изменения концентрации активного хлора во времени схож с зависимостями, полученными в водопроводной воде. Электролиз морской воды плотностью тока 100 А/м² непропорционально повышает содержание активного хлора по сравнению с пресной водой. Так, при отношении концентрации хлорид-ионов (в мг-экв/дм³) этих растворов как 504,0 к 4,3, значения концентрации активного хлора составляют соответственно 66 – 67 мг/дм³ и 880 – 970 мг/дм³ (недекарбонизированная вода). Это объясняется дефицитом хлорид-ионов в пресной воде и их избытком в морской при выбранной плотности тока. Подтверждение этому – значения выхода хлора по току водопроводной воды составляют 7,8 %, а морской воды – 113,4 %. Превышение фактического значения η над теоретическим связано с образованием неопределенных окислителей, например, перекиси водорода и др., которые в расчетной формуле не учитывались. Однако в декарбонизированной воде η резко снижается (до 70 %) из-за отсутствия достаточного количества осадка на катоде в виде солей кальция, что не препятствует восстановлению на его поверхности активного хлора.

Электролиз недекарбонизированной морской воды плотностью постоянного тока 1000 А/м² не превышает 64 % выхода хлора по току, что указывает на избыточное (нерациональное) количество электричества, пропущенного через электролизер. В декарбонизированной воде η еще

ниже и составляет 50 %, что также связано с восстановлением гипохлорит-иона на катоде.

При сравнении массы осадков, образующихся в морской и пресной недекарбонизированной воде установлено, что для плотности тока 100 А/м^2 в водопроводной образуется 611/364 (в числителе общая масса осадка в электролизере, мг, в знаменателе – на электроде, мг), а в соленой – 1510/254. В декарбонизированной пресной воде соотношение 0/0, а в морской – 1046/88. Отсюда следует, что на постоянном токе (100 А/м^2) масса осадков на электродах сопоставима в пресной и морской воде, а в декарбонизированной – полностью отсутствует в ячейке с водопроводной и снижается почти в 3 раза в соленой. Повышение плотности тока до 1000 А/м^2 в морской воде дает соотношение массы осадков как 2486/600, а в декарбонизированной – 1199/74. Очевидно, декарбонизация способствует снижению образования осадка, как на электролизере, так и в ячейке электролизера.

Величина плотности тока и предварительная обработка морской воды влияет на морфологию осадка как на электроде, так и в ячейке (рис. 9–11). Это означает, что после отделения от катода осадка происходит его дальнейшая перекристаллизация, укрупнение.

На рисунке 9 видно, что поверхность катода включает осадки различного размера от мелких до крупных конгломератов аморфного характера, которые укрупняются в еще большие образования на дне ячейки. Вполне возможно, что они относятся в основном к $\text{Mg}(\text{OH})_2$, так как это будет показано ниже, осадок при таком режиме состоит на 93 % из этого вещества.

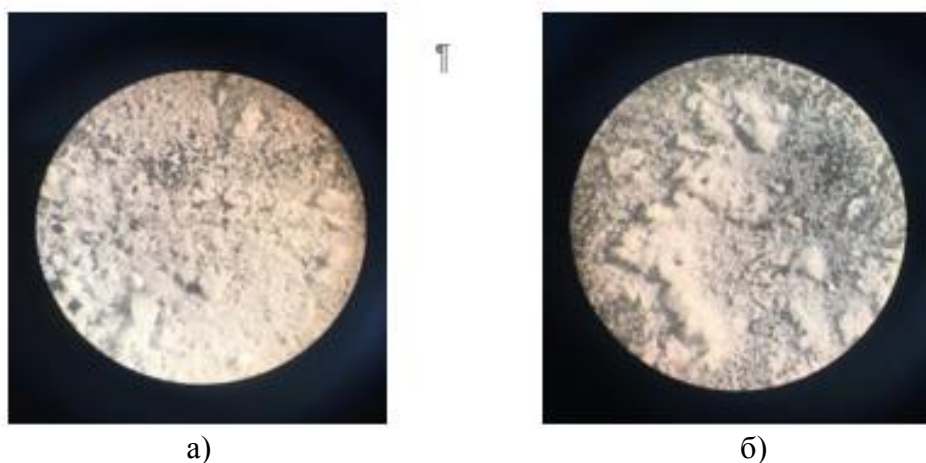
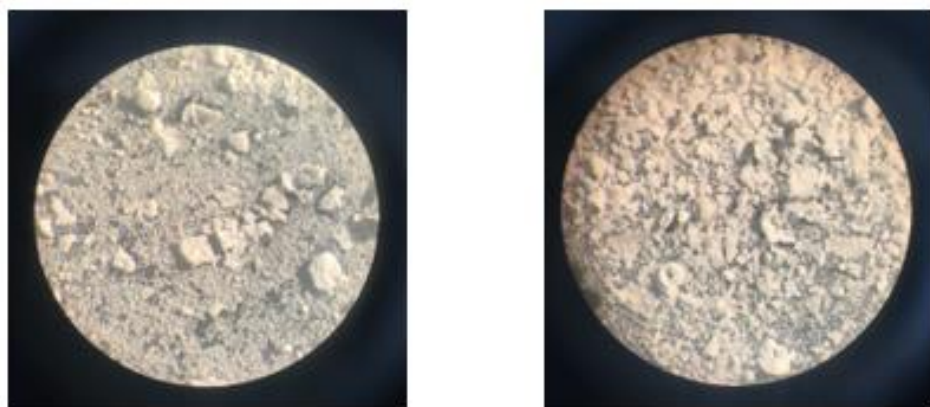


Рисунок 9. Микрофотография осадков (x8) при электролизе морской воды постоянным током $i = 100 \text{ А/м}^2$:
а) на электроде; б) в ячейке

Увеличение плотности тока до 1000 А/м^2 (рис. 10) существенно не меняет картину осадка на катоде, зато в электролизере он выглядит различными по размеру частицами. Очевидно, это связано с более

интенсивным газовыделением из-за большого тока, которое диспергирует осадок, разбивая аморфные частицы $Mg(OH)_2$ на отдельные фрагменты. Зато после декарбонизации морской воды внешний вид осадков существенно меняется (рис. 11). На катоде отмечается более плотная упаковка нерастворимых солей кальция и магния. В объеме ячейки масса осадка значительно меньше, чем в недекарбонизированной воде.



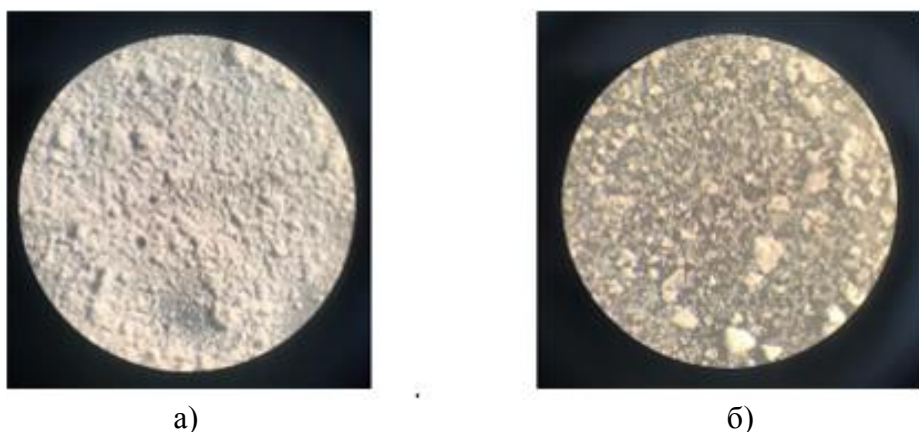
а)

б)

Рисунок 10. Микрофотография осадков (x8) при электролизе морской воды постоянным током $i = 1000 \text{ A/m}^2$:

а) на электроде; б) в ячейке

В работе определяли состав осадка после электролиза. В недекарбонизированной морской воде в осадке в весовом отношении (в %) соединения $CaCO_3$, $CaSO_4$ и $Mg(OH)_2$ относились как 3,34 : 3,15 : 93,40 (плотность тока 100 A/m^2), а при 1000 A/m^2 как 33,23 : 1,43 : 65,34. То есть при меньших плотностях тока преобладает $Mg(OH)_2$ в осадке, а с увеличением тока доля $CaCO_3$ растёт. Это можно объяснить большой концентрацией гидроксильных ионов на поверхности катода из-за высокой плотности тока согласно реакции 3. В декарбонизированной воде $Mg(OH)_2$ также преобладает по массе в общем осадке, при плотности тока 100 A/m^2 гидроокись находится в соотношении 11,49 : 10,41 : 78,10, а когда 1000 A/m^2 , то 7,54 : 6,84 : 85,62. Подкисление морской воды для устранения осадков в целом оправдано, поскольку для коммерческих целей рационально вести электролиз большими плотностями тока, с целью снижения объема электролизного оборудования и уменьшения производственных площадей, это потребует более подробного анализа, исходя из того, что выход хлора по току наибольший (113 %), когда плотность тока 100 A/m^2 в недекарбонизированной воде. В декарбонизированной воде при той же плотности η не более 75 % из-за отсутствия все той же пленки на катоде. При плотности тока 1000 A/m^2 , независимо от качества приготовленной воды (использовали карбонизацию или нет), η находится в пределах 58,8 – 64,0 %.



а) б)
Рисунок 11. Микрофотография осадков (х8) при электролизе морской декарбонизированной воды постоянным током $i = 1000 \text{ A/m}^2$:
а) на электроде; б) в ячейке

Электролиз морской воды реверсным током влияет на осадкообразование, устраняя до определенной продолжительности периода поляризации, накопление нерастворимых солей на электродах (рис. 12), хотя их количество в донном осадке электролизера значительно превышает (на порядок) этот показатель по сравнению с водопроводной водой (рис. 4) и это закономерно из-за высокой минерализации морской воды.

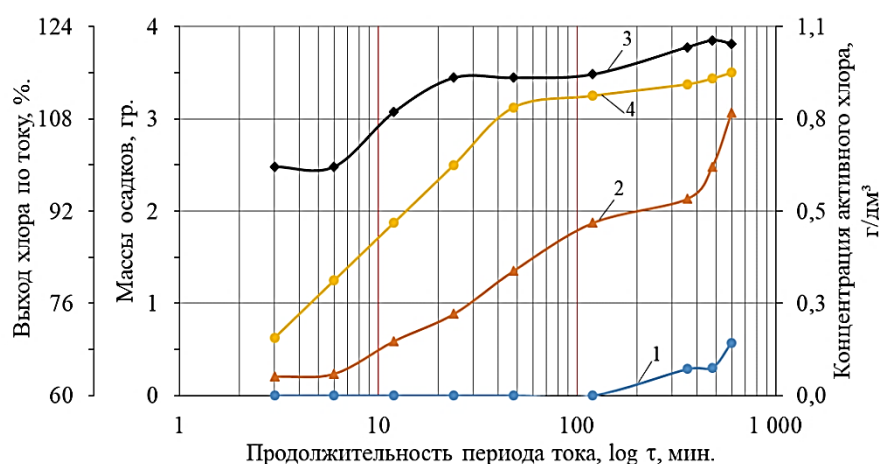


Рисунок 12. Массы осадков, концентрация активного хлора и выход хлора по току при электролизе морской воды реверсным током, $i = 100 \text{ A/m}^2$:
1 – масса осадка электрода; 2 – масса общего осадка;
3 – концентрация активного хлора; 4 – выход хлора по току

Как на постоянном токе, так и в реверсном режиме электролиза морской воды, начиная с 12 мин продолжительности периода поляризации, выход активного хлора по току растет вплоть до 120 %, подчеркивая тем самым, что в многокомпонентном растворе кроме ионов хлора присутствуют вещества, инициирующие образование других не определенных в опытах окислителей, например, перекисных соединений

через надсерную кислоту в кислой среде на аноде [6]. Такое явление имеет место быть, когда значительное количество кислорода образуется по уравнению 2.

Заметное количество осадка прирастает на катоде при продолжительности периода поляризации более 6 ч. До этого образуется тонкая несплошная пленка, а в раствор осыпаются мелкие однородные частицы солей кальция. Морфология поверхности электродов и осадка в ячейке представлена на рисунке 13.

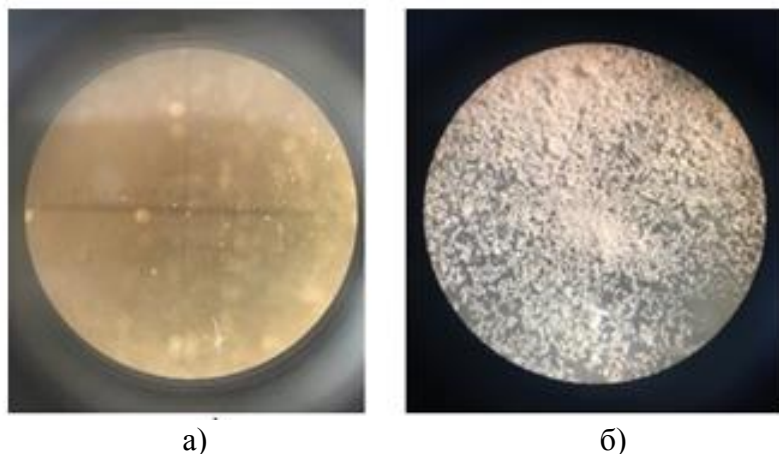


Рисунок 13. Микрофотография осадков (x8) при электролизе морской воды реверсным током $i = 100 \text{ А/м}^2$:
а) на электроде; б) в ячейке

Соотношение нерастворимых веществ осадка приведено на рисунке 14. Из него видно, что доминирующим соединением в осадке электролизера является $\text{Mg}(\text{OH})_2$ (82 – 85 %), по-видимому, из-за более высокого химического сродства ионов гидроокиси к магнию, чем к HCO_3^- – исходному продукту образования CaCO_3 по схеме: $\text{HCO}_3^- + \text{OH}^- \rightarrow \text{CO}_3^{2-} + \text{Ca}^{2+} \rightarrow \text{CaCO}_3 \downarrow$.

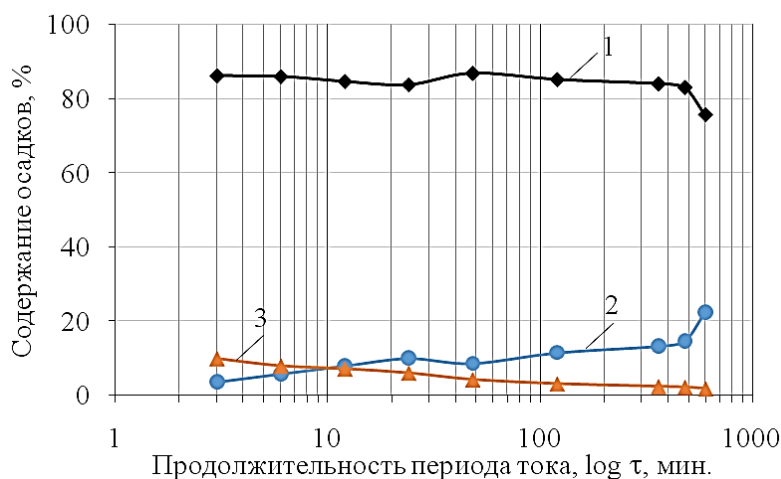


Рисунок 14. Состав осадка при электролизе морской воды в зависимости от времени электролиза реверсным током:
1 – $\text{Mg}(\text{OH})_2$; 2 – CaCO_3 ; 3 – CaSO_4

На рисунке 15 показано изменение концентрации активного хлора в морской воде при электролизе реверсным током продолжительностью полупериода 120 минут.

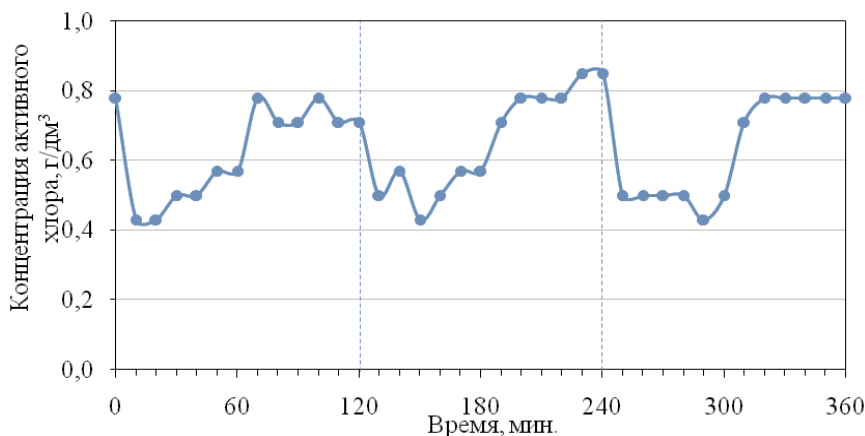


Рисунок 15. Циклограмма изменения концентрации активного хлора от времени электролиза морской воды реверсным током плотностью 100 А/м², продолжительностью полупериода 120 мин

Приведенная циклограмма внешне не отличается от аналогичной, полученной в опытах с водопроводной водой, что указывает на отсутствие влияния минерализации раствора на переходные процессы реверсного тока.

В таблице представлены весовые показатели осадка и его состав после 8 ч электролиза реверсным током продолжительностью периода 120 мин. Из нее следует, что накопление нерастворимых соединений происходит только в объеме электролизера, преобладающим веществом осадка является Mg(OH)₂.

Таблица. Масса и состав осадков после электролиза морской воды реверсным током продолжительностью периода 120 мин за 8 ч

М _{осадка} , мг	М _{яч.}	0,3103	
	М _{эл.}	следы	
	М _{общ.}	0,3103	
CaCO ₃ , мг		100,0	4,10%
CaSO ₄ , мг		272,0	11,16%
Mg(OH) ₂ , мг		2065,0	84,74%

Приведенные исследования сравнительного анализа производства ГХН из пресной и минерализованной воды показали возможность предотвращения накопления осадка на катоде при использовании реверсного тока с равной продолжительностью прохождения прямого и обратного электричества. При выбранных плотностях тока 100 А/м² для пресной воды и 100, 1000 А/м² – для морской на постоянном токе приращение осадка происходило непрерывно за любое время электролиза.

Электролиз реверсным током образует осадок на катоде, но его толщина незначительна, без сплошной пленки и не прирастает в течение длительной поляризации.

Если сравнивать экономическую целесообразность использования пресной и минерализованной воды для получения ГХН, то, конечно, при выбранных режимах электролиза реверсным током морская вода имеет очевидные преимущества благодаря высокой концентрации хлоридов и выходу хлора по току более 100 %, а для водопроводной – этот показатель не превышает 23 % из-за дефицита хлорид-ионов. Очевидно, в последующих исследованиях плотность тока для пресной воды следует снижать, что улучшит экономические показатели процесса. Даже с учетом этой рекомендации в пресной воде возможно получать необходимую концентрацию активного хлора в питьевой воде ($0,3 - 0,5 \text{ мг/дм}^3$) без приращения осадка на катоде.

В заключение необходимо добавить, что процессы, протекающие на электроде ОРТА при электролизе реверсным током в хлоридных растворах, очень сложны. Во-первых, мы имеем типичный газовый электрод. В катодный полупериод в порах нерастворимых осадков накапливается водород, в анодный – происходит его частичная ионизация и образование кислорода. Во-вторых, мы имеем типичный пористый электрод, заполненный щелочью [2].

В связи с этим для описания процессов в таком электроде под действием реверсного тока необходимо привлечь достижения теории газовых и пористых электродов. А краеугольным камнем теории газовых электродов является вопрос капиллярного равновесия в пористых телах с учетом неустановившихся на электроде твердофазных процессов (осыпания с электрода осадка), при которых равновесие на нем не наступает.

В рамках этой работы такие задачи не рассматривались, но они могут только наметить пути для решения сложных вопросов теории нестационарного электролиза, когда одновременно могут протекать процессы, имеющие место и в газовых и в пористых осадках на ОРТА. Картина осложняется еще тем, что они идут на фоне постоянного осыпания нерастворимых соединений – явления, в котором тоже далеко не все ясно. Решение этих задач будет предметом дальнейших исследований.

ВЫВОДЫ

1. Приведенные исследования показали возможность предотвращения прироста нерастворимых соединений кальция и магния на катоде электролизера при производстве ГХН из пресной и морской воды путем электролиза реверсным током плотностью 100 А/м^2 . Для сравнительной оценки электролиз вели постоянным током плотностью 100 А/м^2 и

1000 А/м². В опытах использовали аналог пресной воды г. Донгхой Республики Вьетнам и солёную – Южно-Вьетнамского моря.

2. Показано, что при продолжительности периода реверсного тока до 8 ч в пресной и морской воде не происходит накопление осадка на электроде, а в случае поляризации постоянным током нерастворимые соединения непрерывно прирастают с начала электролиза.
3. Высказано предположение о том, что при использовании реверсного тока накопленный осадок в катодный полупериод растворяется в анодный продуктами окисления хлоридов и воды, а именно – HCl и HClO. Установлено, что концентрация активного хлора при циклическом электролизе выше, чем на постоянном токе благодаря CaCO₃, доля которого в осадке растёт одновременно с увеличением выхода хлора по току.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дезинфектант воды – гипохлорит натрия: производство и применение / А.Ю. Скрябин, Л.Н. Фесенко, В.В. Денисов. – Новочеркасск: Лик, 2012. 237 с.
2. Пчельников И.В. Совершенствование технологии производства обеззараживающего реагента – гипохлорита натрия электролизом морской воды (на примере Черного моря): Дисс...канд. тех. наук. – В., 2015. 155 с.
3. Медриш Г.Л. Обеззараживание природных и сточных вод с использованием электролиза / Г.Л. Медриш, А.А. Тейшева, Д.Л. Басин. – Москва: Стройиздат, 1982. 81 с.
4. Игнатенко С.И. Оборудование ООО НПП «ЭКОФЕС» в области импортозамещения электролизных установок крупнотоннажного производства гипохлорита натрия для обеззараживания воды // Водоснабжение и санитарная техника. 2020. № 9. С. 31–36.
5. Фесенко Л.Н., Скрябин А.Ю., Игнатенко С.И. Опыт применения гипохлорита натрия при обеззараживании воды на очистных сооружениях Центрального водопровода г. Ростова-на-Дону // Водоснабжение и санитарная техника. 2009. № 9. С. 46–51.
6. Разина Н.Ф. Окисные электроды в водных растворах. Издательство «Наука» Казахской ССР, Алма-Ата, 1982. 161 с.
7. Особенности работы окисно-рутениево-титановых анодов в растворах хлорида натрия различных концентраций / Скрябин А.Ю., Фесенко Л.Н., Эбериль В.И., Липкин М.С., Гончаров И.А., Спасибова В.С., Пушук Д.Е. // Инженерный вестник Дона. 2016. № 2. - URL: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_84_Fesenko.pdf_48e1e2241f.pdf.
8. Кубасов В.Л., Банников В.В. Электрохимическая технология неорганических веществ. М.: Химия, 1989, 288 с.

УДК 628.161:627.221.2(282.247.36)

ЗАЩИТА СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ОТ ЗАРАСТАНИЯ ДРЕЙССЕНОЙ

Е.Д. Хецуриани

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)

имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Россия

Н.И. Богданов

Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт ДонГАУ, г. Новочеркасск, Россия

Те.Е. Хецуриани

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)

имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия

Статья посвящена инновационной технологии борьбы с дрейссеной. В результате исследований получены как новые научные материалы, так и результаты, полезные для разработки, обоснования и проектирования мероприятий инженерно-экологического назначения по защите систем водоснабжения от моллюска дрейссены.

Водные ресурсы и водохозяйственный комплекс в целом во многом определяют социально-экономическую устойчивость и направление развития страны. От водохозяйственной и экологической безопасности, уровня водообеспеченности населения и социальной сферы качественной питьевой водой, бесперебойности и достаточности водоснабжения отраслей экономики, состояния водных объектов и водных ресурсов, достоверности прогнозирования чрезвычайных водохозяйственных ситуаций, их своевременного предотвращения и (или) минимизации наносимого ущерба в немалой степени зависит национальная безопасность государства.

В связи с нарушением сложившегося экологического состояния природных объектов, вызванным нарастающим техногенным воздействием, возникают проблемы, связанные с ответным влиянием «деформированной» природной среды на технические и строительные комплексы. Это влияние часто приводит к нарушению работы сооружений и оборудования технических комплексов, является причиной аварийных и кризисных ситуаций, технических катастроф, приводящих иногда к разрушению искусственных сооружений. Возникновение кризисных ситуаций связано с тем, что эти сооружения проектировались и строились в расчете на естественное недеформированное состояние природной среды, параметры которой существенно изменяются в результате техногенного воздействия. Эти ситуации привели к необходимости рассматривать и решать новый класс задач – инженерно-экологических.

Крупные системы водоснабжения, включающие водохранилища, водозаборные сооружения и насосные станции со значительным

количеством разнообразного оборудования, оказывают существенное влияние на окружающую среду и, с другой стороны, сами подвержены влиянию этой среды.

В ряду вновь возникших экологических проблем весьма сложной является проблема нарушения работы оборудования в системах водоснабжения вследствие попадания в эти системы и далее размножения в них моллюска дрейссены. Чрезвычайное размножение моллюска дрейссены в водоемах-охладителях ТЭС и АЭС связано, прежде всего, с нарушением естественного термического режима этих водных объектов вследствие круглогодичного сброса в них значительных количеств теплых вод ТЭС и АЭС.

Наличие крупного водного хозяйства ставит перед эксплуатационным персоналом АЭС такие же сложные задачи, как и перед работниками, обслуживающими другие гидротехнические сооружения, и, в частности, борьбу с моллюском дрейссеной. При отмирании моллюска его раковины выпадают из обрастаний и могут переноситься водными потоками на значительные расстояния, постепенно аккумулируясь в зонах с малыми скоростями течения, нарушая при этом работу систем водоснабжения. Лавиноподобное размножение этого водного организма и его распространение на новые водные объекты поставили перед учеными и практиками проблемы, для которых пока не разработаны технологичные, экономичные и экологически приемлемые решения.

Несмотря на большое число теоретических и экспериментальных работ, посвященных изучению движения и осаждения различных тел в покоящейся жидкости, вопрос остается в значительной мере не изученным в связи с чрезвычайным разнообразием природы, размеров и формы тел и расширением состава научных и инженерных задач, связанных с осаждением тел в жидкости. Раковины моллюска дрейссены являются объектами биологического происхождения, продуктом длительной эволюции моллюска, который приспособлен к условиям его существования в водной среде.

В процессе эксплуатации водозаборных сооружений происходит снижение производительности насосов, в результате обрастания труб дрейссеной. Это процесс естественный и обусловлен кольматацией рыбозащитных устройств и прифилтровых зон отложением солей, в основном в результате химической и электрохимической коррозии. Обследование водоприёмных труб телекамерой подтверждает, что кольматация со временем приводит к полному зарастанию перфорации каркаса фильтра рыбозащитных устройств и является основной причиной снижения производительности водозабора в процессе эксплуатации. Эксплуатация водозаборных сооружений с низкой производительностью, вызванной кольматацией фильтров рыбозащитных устройств и всасывающих труб дрейссеной – *нерентабельна*.

Наибольший вред системе водоснабжения и энергоснабжения наносит моллюск – тигровая мидия – дрейссена (*dreissena polymorpha*).

Размер личинки дрейссены составляет десятки микрон, что позволяет моллюску беспрепятственно проникать в системы водоснабжения через фильтры рыбозащитных устройств. Высокая численность личинок и комфортная среда обитания способствует быстрой колонизации поверхностей. Развиваясь внутри систем водоснабжения, дрейссена значительно сужает диаметры трубопроводов, вплоть до их полного блокирования (рис. 1).



Рисунок 1. Трубопровод на грани блокирования

По информации на сайте www.usgs.gov, в США наибольшая плотность дрейссены (700'000 шт./м²) была зафиксирована в системе водоснабжения электростанции в штате Мичиган. Диаметр трубопровода при этом был сокращен дрейссеной на 2/3 сечения.

Наибольшую опасность дрейссена представляет для насосных агрегатов, поскольку ее размер достаточно велик для того чтобы внезапно оторвавшийся от трубопровода моллюск мгновенно заблокировал канал охлаждения, что приведет к локальному перегреву насоса (рис. 2).



Рисунок 2. Вентиль гнвозможно использовать без очистки

Последствия подобных внезапных блокировок каналов охлаждения непредсказуемы.

Поскольку применение обеззараживающих веществ и химических реагентов в системах, построенных по открытой схеме, крайне ограничено вследствие использования воды в питьевом водоснабжении, практически все системы работают без химических реагентов.

Обычно применяется только механическая очистка. Это крайне затратный метод, поскольку требуется остановка работы оборудования. Также во время механических очисток есть риск повредить элементы системы водоснабжения.

Масштаб затрат, в какие суммы ежегодно выливается борьба с дрейссеной, впечатляет. По оценкам экспертов конгресса США дополнительные затраты на техническое обслуживание для удаления дрейссены составили в 1993 – 1999 гг. более 3 млрд долларов. В среднем на защиту от биообрастаний 1 электростанции в США ежегодно расходуется 376 '000 долларов, а для атомной станции – 822 000 долларов.

В 2017 – 2020 годах была проведена оценка технического состояния водозабора г. Ставрополь. Основной проблемой на водозаборном сооружении города Ставрополь является обрастание технологического оборудования дрейссеной и, как следствие, снижение эффективности водозабора и увеличение энергозатрат.

Осложнение водоснабжения по причине биообрастания иногда на треть диаметра водопровода были в крупных городах России, снабжающих водой из поверхностных источников. Например, на водозаборе системы водоснабжения города Ставрополь с производительностью 190 тыс. м³ воды в сутки, обеспечивающей питьевой водой 600 000 человек, из-за отсутствия защитных устройств от биообрастания, ежегодно на борьбу с дрейссеной расходуется более 60 млн рублей (издание «Блокнот Ставрополь», 29.12.2020 г.).

Дрейссена – двустворчатый моллюск, интенсивно размножаясь в Сенгилеевском водохранилище, является активным фильтратом воды, снижая её мутность, и ценным кормом для многих рыб и раков. В то же время, дрейссена выделяет большое количество азота и фосфора, стимулирующих рост водорослей, попадая в погружные насосы, разрушает их (рис. 3а), прикрепляясь колониями на внутренних стенках водопроводов (рис. 3б) и на рыбозащитных решётках (рис. 3в) увеличивает их гидравлическое сопротивление, т. е. препятствует забору воды насосами.



Рисунок 3. Разрушение дрейссеной: а) рабочих колёс погружного насоса; б) перекрытие водопроводов; в) перекрытие решёток

Так как размер велигеров (личинки дрейссены) составляет 0,1 – 0,2 мм, они свободно проникают через сетки и песчаные фильтры в водопроводную сеть и в накопительные резервуары для воды, развиваясь там и отмирая, ухудшают качество питьевой воды. Обнаружены большие скопления дрейссены на дне накопительного резервуара насосной станции НС-3. Толщина слоя обрастания дрейссеной внутренней или внешней поверхности водопроводов за год составляет 25 – 50 мм.

Борьба с дрейссеной на водозаборе города Ставрополь осуществляется двумя методами: зарыблением, с целью сокращения дрейссены в водохранилище, и механической очисткой накопительных резервуаров и внешней поверхности водоподъемных труб. Через 2 – 3 года водоподъемные трубы с обрастаниями дрейссеной внутренней поверхности, из-за крайне затратной механической очистки, заменяются новыми, так как их пропускная способность снижается в два и более раза.

Указанные обстоятельства требуют разработки инженерно-экологических решений, снижающих негативное воздействие моллюска дрейссены на работу водозаборных сооружений, трубопроводных систем и технологического оборудования систем водоснабжения.

В результате теоретического обоснования разработки защитных средств от биообрастания водопроводов и водозаборов с использованием электроимпульсного устройства для электроинактивации дрейссены и анализа эффективности применяемых в настоящее время способов воздействия на нее следует, что электроимпульсный способ является наиболее перспективным и экологичным. Для проведения эксперимента по воздействию импульсных токов на дрейссену была изготовлена экспериментальная установка (рис. 4).

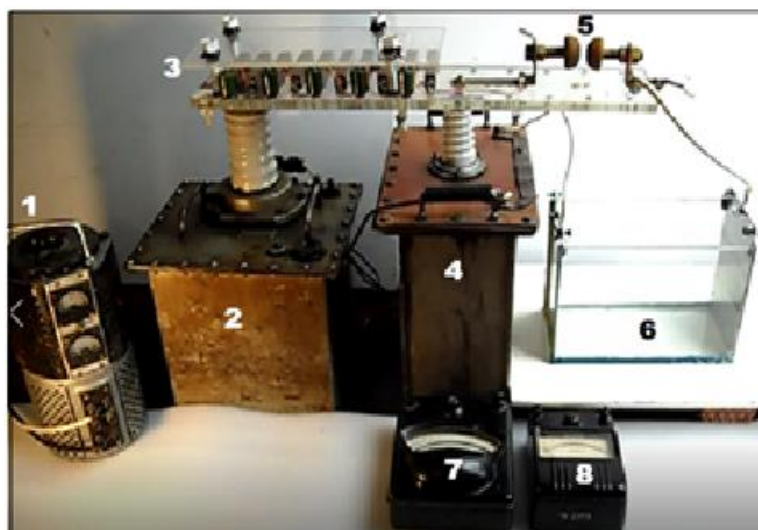


Рисунок 4. Экспериментальная электроимпульсная установка:

- 1 – пульт управления; 2 – высоковольтный трансформатор; 3 – выпрямитель;
4 – конденсатор; 5 – воздушный разрядник; 6 – разрядная ванна; 7 – вольтметр;
8 – амперметр

При достижении на конденсаторе напряжения 30 кВ через воздушный разрядник 5 в разрядной ванне 6 происходит электрический разряд. Эффективная длительность электрического импульса определялась произведением ёмкости конденсатора на активное сопротивление воды в разрядной ванне, в которой находились велигеры.

Измерение активного сопротивления разрядной ванны проводилось на переменном токе с использованием вольтметра (класс точности 0,5) и амперметра (класс точности 0,5). Амплитуда тока при разряде конденсатора определялась делением амплитуды напряжения на конденсаторе на активное сопротивление воды в разрядной ванне, а амплитуда плотности тока определялась делением амплитуды тока на площадь сечения воды в разрядной ванне.

Был проведен тестовый эксперимент степени воздействия электрических импульсов на велигеров дрейссены и науплий артемии. Эксперимент показал практическую одинаковость результатов реакций велигеров и науплий на электрический импульсный ток, что позволило использовать науплии для научных исследований, так как их подготовка для опытов может проходить в лабораторных условиях в течение 2 – 3 дней. Концентрация особей велигеров или науплий в пробах находилась в пределах 50 – 100 штук в литре воды, тотальный подсчёт которых нерационален, так как оптимизация параметров электрических импульсов определялась по полной гибели велигеров в пробе при минимальных затратах электроэнергии.

В пробах, в которых после электроимпульсной обработки некоторые велигеры оживали, проводилось визуальное наблюдение в течение нескольких часов. На рисунках 5 – 7 показано время существования оживших велигеров после электрического шока 3, 6 и 9 импульсами с напряжением 30 кВ в воде из реки Тузлов, осмотической и водопроводной воде. Все велигеры, обработанные в 10 % водном растворе NaCl девятью электрическими импульсами, остались живыми.

Результаты электроимпульсной обработки велигеров (рис. 5 – 7 и табл.) показали, что полная инактивация дрейссены после девяти импульсов происходит через два часа.

Анализируя результаты лабораторных исследований можно утверждать, что основными параметрами электрических импульсов, максимально влияющих на велигеров, являются: напряжённость поля, плотность тока, длительность импульса и количество импульсов. Для инактивации дрейссены в водозаборах поверхностных вод можно рекомендовать двухканальное электроимпульсное устройство с параметрами: напряжение 50 кВ, ёмкость конденсатора 1 – 2 мкФ, частота следования импульсов 4 – 6 Гц.

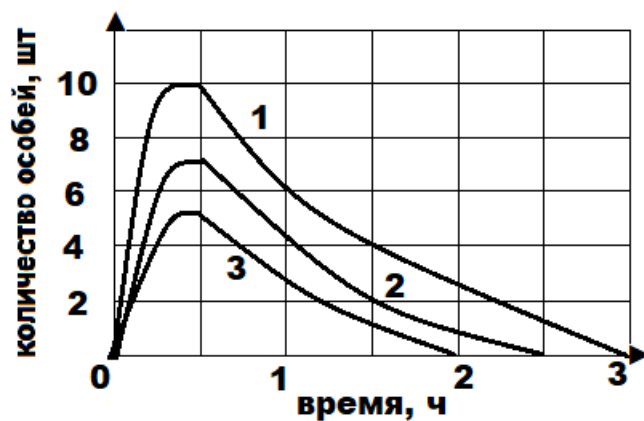


Рисунок 5. Зависимость количества особей оживших велигеров от времени воздействия электроимпульсов в воде реки Тузлов:
1 – 3 шт; 2 – 6 шт; 3 – 9 шт

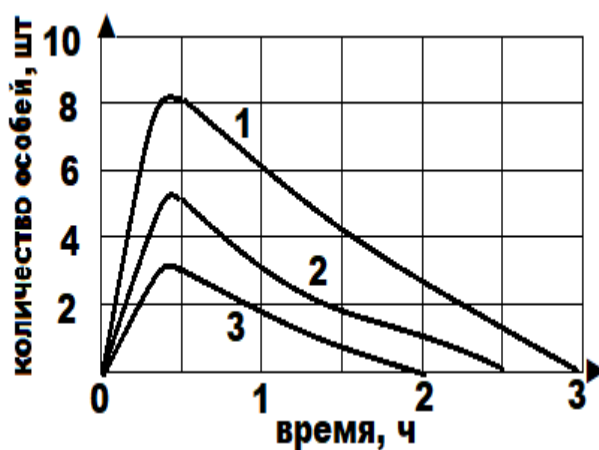


Рисунок 6. Зависимость количества особей оживших велигеров от времени воздействия электроимпульсов в осмотической воде:
1 – 3 шт; 2 – 6 шт; 3 – 9 шт

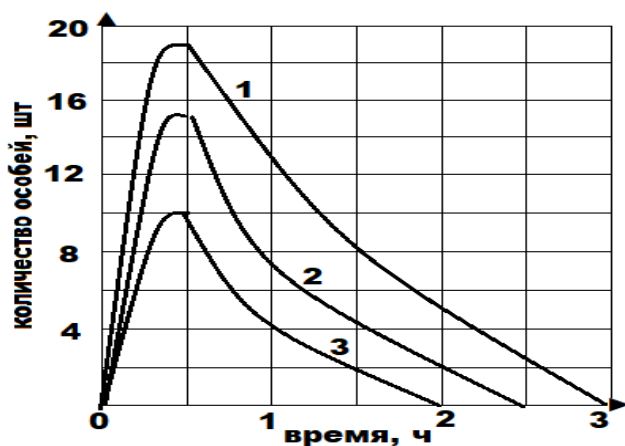


Рисунок 7. Зависимость количества особей оживших велигеров от времени воздействия электроимпульсов в водопроводной воде:
1 – 3 шт; 2 – 6 шт; 3 – 9 шт

Результаты лабораторных экспериментов по влиянию электрических импульсов на велигеры представлены в таблице.

Таблица. Результаты лабораторных экспериментов

Среда	U	C	R	I	J	τ	n	Реакция велигеров
Вода осмотическая	30	0,5	1155,5	26	0,118	578	9	Шок, 100 % гибель через 2 ч
Вода водопроводная	30	0,5	117,6	255	1,15	58,8	9	Шок, 100 % гибель через 2 ч
Вода из р. Тузлов	50	0,5	37	810	3,7	18,5	9	Шок, 100 % гибель через 2 ч
Вода + NaCl, 10 %	30	0,5	1,17	25641	115,8	0,59	9	Живые

Примечание: U – напряжение, кВ; C – ёмкость конденсатора, мкФ, R – активное сопротивление воды в разрядной ванне, Ом; I – амплитуда разрядного тока, А; J – плотность тока, А/см²; τ – длительность электрического импульса, мкс; n – число импульсов.

ВЫВОДЫ

Разработано электроимпульсное устройство и проведены экспериментальные исследования по электроинаktivации велигеров дрейссены с целью предотвращения биообрастания водозаборов и трубопроводов городской системы водоснабжения. Экспериментально доказано, что при электрическом импульсе с напряжённостью поля 80 – 100 В/мм, плотностью тока 1 – 3 А/см² и длительностью 20 – 60 мкс велигеры дрейссены после 9 импульсов воздействия погибают 100 % по истечении двух часов. Целесообразно провести исследования по обеззараживанию воды электроимпульсным способом на водозаборах поверхностных вод.

Защиту водозаборов от механических и биологических загрязнений необходимо рассматривать не только как обеспечение бесперебойного водоснабжения, но и как предварительную меру улучшения качества воды, экономии электроэнергии, сокращения расходов на дополнительную очистку воды и увеличения срока службы трубопроводов водопроводной системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анализ работы Александровского ковшового водозабора с учетом руслового режима и рыбоводно-биологических показателей реки Дон / Хецуриани, Е.Д, Фесенко Л.Н., Богачев А.Н., Мордвинцев М.М., Пурас Г.Н., Душенко А.Ю., Бечвая Р.С., Пельчер А.В. // Инженерный вестник Дона: [электрон. журн.]. 2015. № 4. Режим доступа: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_18_Fesenko.pdf_e7bb2e55be.pdf.

2. Экологическая безопасность водной среды – залог здорового будущего / Хецуриани, Е.Д, Колмакова Т.С., Акименко М.А., Хецуриани Т.Е. // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2018. № 3 (23). С. 86–96.
3. Водозаборные технологические комплексы в составе природно-технических систем многоцелевого водоснабжения / Хецуриани, Е.Д, Бондаренко В.Л. // Изв. вузов. Строительство. 2018. № 6. С. 38–47.
4. Хецуриани, Е.Д, Результаты экспериментальных исследований по обеспечению экологической безопасности систем водоснабжения промышленных и населенных пунктов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия Строительство и архитектура. 2018. Вып. 54(73). С. 165–172.
5. Хецуриани Е.Д, Бондаренко В.Л. Основы методологии создания природно-технических систем по использованию водных ресурсов в многоцелевом водоснабжении городских хозяйств и населенных пунктов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия Строительство и архитектура. 2018. Вып. 54 (73). С. 148–155.
6. Методологические основы оценки зон влияния водозаборных технологических комплексов систем многоцелевого водоснабжения городских хозяйств и объектов экономики / Хецуриани, Е.Д, Бондаренко В.Л., Ылясов А.И., Семенова Е.А. // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2019. № 4 (28). С. 25–35.
7. Конструктивно-технологическая система обеспечения экологической безопасности водозаборных технологических комплексов / Хецуриани, Е.Д, Бондаренко В.Л., Ылясов А.И., Хецуриани Т.Е. // Инженерно-строительный вестник Прикаспия 2020. № 1 (31). С.55–60.

УДК 628.143

ДОПУСТИМОЯ ПОГРЕШНОСТЬ ЗНАЧЕНИЙ РАСЧЕТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ГИДРАВЛИЧЕСКОМ РАСЧЕТЕ ТРУБОПРОВОДОВ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

О.А. Продоус

ООО «ИНКО-эксперт», г. Санкт-Петербург, Россия

В расчетную зависимость, установленную нормативами СП 40-102-2000 и СП 399-1325800.2018 для гидравлического расчета трубопроводов (труб) из полимерных и металлополимерных материалов, входит расчетная величина фактического внутреннего диаметра, значение которой зависит от величины технологических допусков на толщину стенок труб и их номинальный наружный диаметр. Это приводит к изменению величины потерь напора по длине и величины фактически транспортируемого расхода, то есть к возникновению погрешности при гидравлическом расчете.

Приведена методика гидравлического расчета труб и даны значения величин погрешностей, возникающих при расчетах, а также рекомендована допустимая погрешность параметров, входящих в расчетную нормативную зависимость. Дана оценка и установлены пределы допустимой погрешности параметров труб при их гидравлическом расчете.

В большинстве практических случаев определение допустимой погрешности измерений величин параметров продукции или изделий регламентируется нормативными документами – стандартами (ГОСТами). Однако установить допустимую погрешность при расчете значений параметров, входящих в нормативную зависимость для гидравлического расчета трубопроводов (труб) из полимерных материалов, – крайне сложно, так как некоторые из этих параметров могут быть измерены инструментально или экспериментально (наружный или внутренний диаметры труб, скорость потока) и рассчитаны по установленным формулам (число Рейнольдса, коэффициент гидравлического сопротивления, потери напора по длине).

При этом для каждой из этих характеристик необходимо также учитывать физический смысл полученных при измерении или расчете цифровых значений. Например, скорость потока V_{ϕ} , фактический внутренний диаметр труб $d_{\text{вн}}^{\phi}$ или коэффициент гидравлического сопротивления λ . Поэтому при гидравлическом расчете предлагается проводить экспертную оценку значений величин расчетных параметров, входящих в нормативные зависимости СП 40-102-2000 и СП 399.1325800.2018. Поясним смысл такой оценки результатов гидравлического расчета.

Действующими нормативными документами [1–2] для гидравлического расчета трубопроводов из полимерных и металлополимерных материалов установлены два критерия, по которым производится гидравлический расчет трубопроводов из любых полимерных материалов:

- по фактическому числу Рейнольдса, определяемому по формуле:

$$\text{Re}_{\phi} = \frac{V_{\phi} \cdot d_{\text{вн}}^{\phi}}{\nu}, \quad (1)$$

где ν – коэффициент кинематической вязкости воды, зависящий от температуры, $\text{м}^2/\text{с}$; V_{ϕ} – фактическая средняя скорость потока, $\text{м}/\text{с}$;

$$V_{\phi} = \frac{4 \cdot q}{\pi \cdot (d_{\text{вн}}^{\phi})^2}, \quad (2)$$

где q – заданный расход, $\text{м}^3/\text{с}$; $d_{\text{вн}}^{\phi}$ – фактический внутренний диаметр труб с учетом технологических допусков по ГОСТ, рассчитанный по формуле [3]:

$$d_{\text{вн}}^{\phi} = d_n - 2e, \text{ м} \quad (3)$$

где d_n – номинальный наружный диаметр труб из конкретного вида материала, с учетом технологических допусков по стандарту, м; e – толщина стенки трубы с учетом технологических допусков по ГОСТ РФ, м.

- по фактическим удельным потерям напора на трение по длине, определяемым по формуле Дарси-Вейсбаха [1–3]:

$$i_\phi = \lambda \frac{V_\phi^2}{2g \cdot d_{\text{вн}}^\phi}, \text{ мм/м (м/м)} \quad (4)$$

где λ – коэффициент гидравлического сопротивления трения по длине, зависящий от шероховатости внутренних стенок труб и от значения фактического числа Рейнольдса Re_ϕ ; g – ускорение свободного падения, м/с².

Методика проведения гидравлического расчета следующая.

По заданному расходу q при заданном давлении P_N по формуле (2) определяют значение фактической средней скорости потока V_ϕ , определив предварительно по формуле (3) значение фактического внутреннего диаметра труб $d_{\text{вн}}^\phi$ с учетом влияния технологических допусков на толщину стенок труб и их номинальный наружный диаметр d_n . Далее, по формуле (5) определяют значение коэффициента гидравлического сопротивления λ , используя формулу нормативной зависимости [1–2], имеющую упрощенный вид [4]:

$$\lambda = \left[\frac{0,5 \cdot \left(\frac{b}{2} + \frac{1,312 \cdot (2-b) \cdot m}{n} \right)}{m} \right]^2, \quad (5)$$

где $b = 1 + \frac{\lg Re_\phi}{\lg Re_{\text{кв}}}$ – некоторое число подобия режимов движения

жидкости. При условии $b > 2$ значение «b» принимают равным $b = 2$;

$Re_{\text{кв}} = \frac{500 d_{\text{вн}}^\phi}{K_3}$ – число Рейнольдса, соответствующее началу квадратичной

области гидравлических сопротивлений; K_3 – коэффициент эквивалентной шероховатости, значение которого, например, для полиэтиленовых труб, указано в нормативных документах [1–2]. Значение K_3 должно быть не менее $K_3 = 0,00001$ м [1] или $K_3 = 0,000014$ м [2], т.е. точное значение K_3 нормативы не устанавливают.

Это приводит к возникновению возможных погрешностей при расчетах, а также неверному определению фактических потерь напора на трение по длине i_ϕ , по которым далее подбирается насосное оборудование.

Так же, на точность определения значения величины коэффициента гидравлического сопротивления λ , влияет точность значений величин

параметров, входящих в расчетную формулу (5), то есть значений величин b , m и n .

Завершающим этапом гидравлического расчета, после вычисления значения λ , является расчет значения фактических потерь напора по длине i_{ϕ} , определяемых по формуле (4).

Экспертная оценка большого объема результатов, проведенных гидравлических расчетов трубопроводов из разных полимерных и металлополимерных материалов, позволило автору обобщить накопленный расчетный материал и рекомендовать допустимую погрешность при расчетах значений параметров, входящих в нормативные зависимости [1–2] или в ее упрощенную формулу (5).

В таблице 1 приведена рекомендуемая цифровая точность значений параметров, входящих в расчетную зависимость (5) для любых видов материалов труб из полимерных и металлополимерных материалов.

Приведенные в таблице 1 величины цифровых значений допустимой погрешности расчетных параметров определяют в итоге точность гидравлического расчета, влияют на выбор значения фактического внутреннего диаметра труб и минимизируют ошибку при подборе насосного оборудования.

Таблица 1. Рекомендуемая точность расчета цифровых значений гидравлических параметров

Вид материала труб	Допустимая погрешность расчетных параметров									
	$d_{\text{вн}}^{\phi}$ м	V_{ϕ} , м/с	Re_{ϕ}	$Re_{\text{кв}}$	K , м	b	lg	$lg Re_{\phi}$	λ	i_{ϕ} , мм/м
ПНД ПЭ-100 по ГОСТ 18599-2001	Не менее одной десятичной	Не более одной сотой	Целые числа	Целые числа	Не более одной десятичной	Не более одной сотой	Не более одной сотой	Не более одной сотой	Не более одной десятичной	Не более одной сотой
ПВХ по ГОСТ 52134-2013 и ПВХ-О 500 по ГОСТ 56927-2016										
Стеклопластик по ГОСТ 32415-2013										
Стальные электросварные трубы с внутренним полимерным покрытием «Амеркот-391» по ГОСТ 20295-85										
ВЧШГ с полиуретановым покрытием по EN 545-2010										

Допустимая погрешность значений расчетных параметров, приведенная в таблице 1 для труб из разных полимерных материалов, обеспечивает «минимальный риск» (ошибку) при назначении

фактического внутреннего диаметра труб, расчете фактических потерь напора по длине и, как следствие, минимальную ошибку при подборе насосного оборудования для транспортирования воды на расстояние [5].

На примере гидравлического расчета труб напорных из полиэтилена диаметром 630,0 мм, SDR 17, при заданном расходе $q = 0,300 \text{ м}^3/\text{с}$, рассчитаем значения параметров, входящих в формулу (5), и сравним результаты расчета со значениями также параметров, полученных с учетом рекомендуемой в таблице 1 допустимой погрешности. Результаты сравнения сведем в таблицу 2.

Таблица 2. Сравнительная оценка расчетных параметров труб с рекомендованными допустимыми значениями

Полиэтилен низкого давления ПНД ПЭ 100 по ГОСТ 18599-2001	С учетом значений допустимой погрешности		Расчетные		Вычисляемые параметры										Процент расхождения расчетных и допустимых значений i_ϕ
					$d_{\text{вн}}^\phi$, м	V_ϕ , м/с	Re_ϕ	$Re_{\text{кв}}$	K_3 , м	b	m	n	λ	i_ϕ , мм/м	
	0,5528	0,5528	0,5528	0,5528											
	1,24	1,25	1,242*	1,250											
	523261	527481	524105	527481											
	921333333	921333333	946575342	946575342											
	0,00003	0,00003	0,0000292	0,0000292											
	1,64	1,64	1,637	1,638											
	6,83	6,83	6,845	6,845											
	4,72	4,72	4,719	4,722											
	0,0121	0,0121	0,01216	0,01213											
	1,715	1,743	1,729	1,747											
		1,729	1,738												
0,52 %															

*При изменении значений расчетной скорости потока V_p изменяется величина транспортируемого расхода q_p .
При $V_p = 1,250 \text{ м/с} \rightarrow q_p = 0,300 \text{ м}^3/\text{с}$, а при $V_p = 1,242 \text{ м/с} \rightarrow q_p = 0,298 \text{ м}^3/\text{с}$.

Расхождение значений расчетных и допустимых расчетных значений i_{ϕ} на 0,52 % подтверждает необходимость учета граничных значений параметров, приведенных в таблице 1.

Приведенный пример демонстрирует необходимую точность, достаточную для проведения практических расчетов трубопроводов из любых полимерных материалов.

Анализ приведенных в таблице 2 значений расчетных параметров труб из ПНД позволяет сделать следующие выводы:

- Точность гидравлического расчета трубопроводов из полимерных материалов зависит от точности определения значений параметров, входящих в зависимость (5). Чем точнее рассчитаны значения этих параметров, тем более точно будет определено значение коэффициента гидравлического сопротивления λ и тем точнее значение фактических потерь напора по длине i_{ϕ} и, как следствие, минимизированы возможные ошибки при подборе насосного оборудования.
- Экспертно-рекомендованную цифровую точность определения значений расчетных параметров (табл. 1) следует обязательно учитывать при проведении гидравлических расчетов труб из любых полимерных и металлополимерных материалов. Это обеспечит повышение точности гидравлических расчетов.

ЛИТЕРАТУРА

1. СП 40-102-2000. Свод правил по проектированию и строительству. Проектирование и монтаж трубопроводов систем водоснабжения и канализации из полимерных материалов. Общие требования. / <http://docs.cntd.ru/document/1200007490>.
2. СП 399.1325800.2018 Системы водоснабжения и канализации наружные из полимерных материалов. Правила проектирования и монтажа. / <http://docs.cntd.ru/document/552304873>.
3. Продоус О.А. Таблицы для гидравлического расчета труб напорных из полиэтилена. Справочное пособие. 3-е издание – дополненное. / Санкт-Петербург, «Свое издательство». 2017. 240 с.
4. Продоус О.А., Васильева М.А. Упрощенный вид нормативной зависимости для проведения гидравлических расчетов трубопроводов из полимерных материалов. // Водоснабжение и санитарная техника. 2017. № 9. С. 53–55.
5. Продоус О.А. Влияние колебаний значений параметров, входящих в нормативную зависимость СП 40–102–2000, как величину потерь напора в трубах из разных полимерных материалов. // Инженерные системы. АВОК – Северо-Запад». 2019. № 4. С. 5–53.

УДК 628.292

ЗАВИСИМОСТЬ ФАКТИЧЕСКОЙ СКОРОСТИ ПОТОКА В САМОТЕЧНЫХ СЕТЯХ ВОДООТВЕДЕНИЯ ОТ ТОЛЩИНЫ СЛОЯ ОТЛОЖЕНИЙ В ЛОТКОВОЙ ЧАСТИ ТРУБ

О.А. Проодоус

ООО «ИНКО-эксперт», г. Санкт-Петербург, Россия

Д.И. Шлычков

НИУ МГСУ, г. Москва, Россия

Приведена уточненная формула А. Шези для гидравлического расчета самотечных сетей с отложениями в лотковой части. Введено новое понятие – приведенный внутренний диаметр труб. Доказана зависимость фактической скорости потока сточной жидкости от толщины слоя отложений в лотковой части труб. Рекомендована необходимость разработки специальных таблиц для гидравлического расчета сетей водоотведения с отложениями в лотковой части труб, повышающих точность их гидравлического расчета.

Трубы для самотечных сетей водоотведения из любых инертных материалов (бетон, железобетон, асбестоцемент, поливинилхлорид, полиэтилен, стеклопластик и др.) работают, как правило, в квадратичной либо переходной зоне гидравлических сопротивлений. Для этих зон характерно существенное влияние отложений на внутренних стенках труб на величину потерь напора на сопротивление по длине i , а значит и на величину фактической скорости потока $V_{\text{ср}}^{\phi}$, входящую в главную расчетную зависимость для гидравлического расчета самотечных сетей водоотведения – формулу А. Шези, которая, в уточненном авторами статьи виде, выглядит следующим образом [1]:

$$i = \frac{4 \cdot (V_{\text{ср}}^{\phi})^2}{C^2 \cdot d_{\text{пр}}}, \text{ м/м} \quad (1)$$

где $V_{\text{ср}}^{\phi}$ – средняя фактическая скорость потока сточной жидкости, м/с; C – коэффициент А. Шези, характеризующий потери напора в сети, в зависимости от шероховатости стенок труб, размеров и формы живого сечения и др., а также от толщины слоя h в лотковой части труб [1–2]; $d_{\text{пр}}$ – приведенный внутренний диаметр труб с отложениями h в лотковой части, влияющий на величину средней скорости потока $V_{\text{ср}}^{\phi}$, м.

На рисунке 1 представлены фрагмент отложений в лотковой части труб и геометрические характеристики потока, а на рисунке 2 – график зависимости $V_{\text{ср}}^{\phi} = f(h)$, построенный для бетонных труб диаметром

400 мм ($q = 0,15 \text{ м}^3/\text{с}$) при толщине слоя отложений в диапазоне значений $h = 0,05 \div 0,15 \text{ м}$ [1].

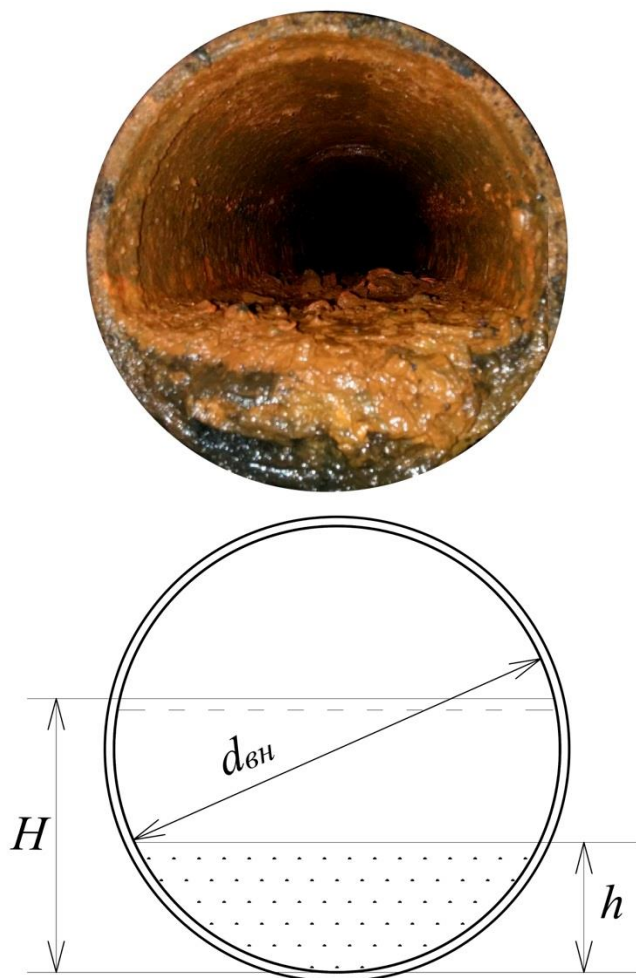


Рисунок 1. Фрагмент отложений в лотковой части труб и геометрические параметры потока в самотечных сетях водоотведения

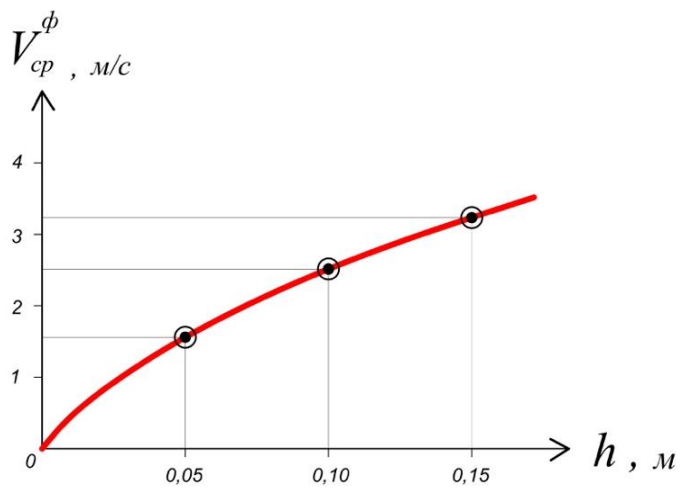


Рисунок 2 .График зависимости $V_{\text{ср}}^{\phi} = f(h)$

Анализ уточненной расчетной зависимости (1) показывает, что чем больше значение $d_{\text{пр}}$, тем меньше значение $V_{\text{ср}}^{\phi}$ и тем меньше значение i . И, наоборот, при увеличении толщины слоя отложений h – значение $V_{\text{ср}}^{\phi}$ – увеличивается, то есть возрастает величина значения i .

В таблице приведены значения гидравлических характеристик бетонных труб диаметром 400 мм с разной толщиной слоя отложений h , по которым на рисунке 2 построен график $V_{\text{ср}}^{\phi} = f(h)$.

Таблица. Гидравлические характеристики трубы диаметром 400 мм

Гидравлические характеристики труб	Толщина слоя отложений в лотковой части труб, h , м			
	0	0,05	0,1	0,15
Средняя скорость потока (формула (2)), м/с	1,19	1,56	2,12	3,06
Расчетный диаметр (формула (3)), м	0,400	0,350	0,300	0,250
Приведенный диаметр (формула (4)), м	0,400	0,381	0,135	0,100
Заданный расход, м ³ /с	0,15	0,15	0,15	0,15

Принятые расчетные зависимости:

$$1. \quad V_{\text{ср}}^{\phi} = \frac{4 \cdot q}{\pi \cdot (d_{\text{вн}}^{\text{р}})^2}, \text{ м/с} \quad (2)$$

$$2. \quad d_{\text{вн}}^{\text{р}} = d_{\text{н}} - 2S_{\text{р}}, \text{ м} \quad (3)$$

где $d_{\text{н}}$ – наружный диаметр труб по ГОСТ, м; $S_{\text{р}}$ – толщина стенки трубы для конкретного вида материала по ГОСТ, м.

$$3. \quad d_{\text{пр}} = \sqrt{(d_{\text{вн}}^{\text{р}})^2 - d_{\phi}^2}, \text{ м} \quad (4)$$

$$\text{где } d_{\phi} = (d_{\text{н}} - 2S_{\text{р}}) - h = d_{\text{вн}}^{\text{р}} - h, \text{ м} \quad (5)$$

h – толщина слоя отложений, м.

После подстановки (5) в (4) получаем:

$$d_{\text{пр}} = \sqrt{(d_{\text{вн}}^{\text{р}})^2 - (d_{\text{вн}}^{\text{р}} - h)^2}, \text{ м} \quad (6)$$

То есть приведенный внутренний диаметр характеризует зависимость $V_{\text{ср}}^{\phi} = f(h)$, (рис. 2), а также эквивалентный диаметр трубы с площадью смоченного периметра равной площади, оставшейся между сводом трубы и слоем отложений в лотковой части.

На рисунке 3, по данным таблицы 1, построен график зависимости $d_{\text{пр}} = f(h)$, показывающий изменение значений $d_{\text{пр}}$, в зависимости от толщины слоя отложений h .

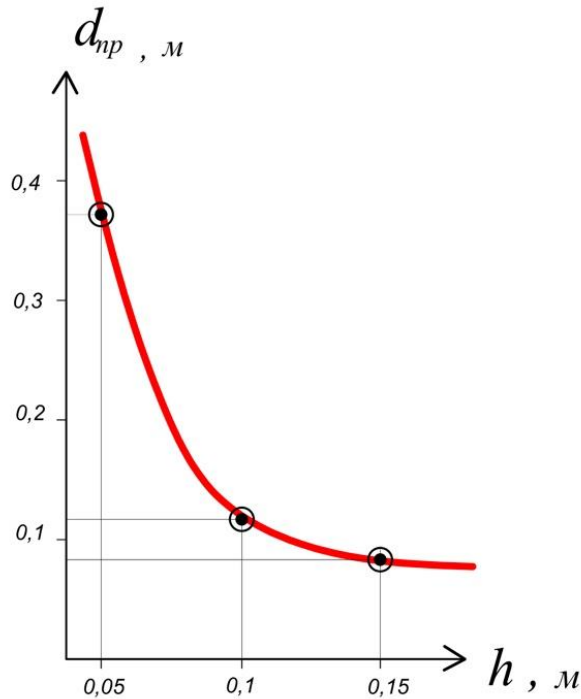


Рисунок 3. График зависимости $d_{\text{пр}} = f(h)$

Таким образом, приведенные данные подтверждают зависимость средней фактической скорости потока $V_{\text{ср}}^{\phi}$ в самотечных сетях водоотведения от толщины слоя отложений h в лотковой части труб, влияющей на величину гидравлического уклона i при гидравлическом расчете труб.

Поэтому требуются исследования труб из разных видов материалов с отложениями в лотковой части, которые позволят разработать специальные таблицы, облегчающие проектным организациям разработку проектов реконструкции самотечных сетей, а эксплуатирующим сети организациям – повышать эффективность их эксплуатации за счет обоснованного планирования графика промывки самотечных сетей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Продоус О.А., Шлычков Д.И. Об изменении значений гидравлических характеристик напорных канализационных коллекторов из стальных и чугунных труб с внутренними отложениями // Известия вузов. СТРОИТЕЛЬСТВО. 2020. № 12 (744). С. 70–77.
2. Яковлев С.В. Канализация. Издание 3-е, исправленное. Издательство литературы по строительству. – М.: 1964. – 261 с.

УДК 628.161

ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДА КОНТАКТНОГО ФИЛЬТРОВАНИЯ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ НА ДЖЕЙРАНБАТАНСКОМ КОМПЛЕКСЕ ВОДООЧИСТКИ

Л.Н. Фесенко, Б.Э. Гулиев

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия

Э.Ш. Гулиев

ОАО «Азерсу», г. Баку, Азербайджан

С.И. Игнатенко, С.А. Щукин

ООО НПП «ЭКОФЕС», г. Новочеркасск, Россия

Н.А. Сухонос

ГК «АУРАТ», г. Москва, Россия

Представлены результаты производственных исследований эффективности метода контактного фильтрования при подготовке питьевой воды на Джейранбатанском комплексе. Определена эффективность осветления и обесцвечивания воды контактным фильтрованием с применением коагулянта при скоростях фильтрования в интервале от 10 до 20 м/ч. Установлены оптимальная марка и дозы коагулянта. Экспериментально определена грязеемкость принятой двухслойной загрузки фильтра. Даны рекомендации по продолжительности фильтроцикла и промывки контактного фильтра.

Город Баку – столица Азербайджанской Республики, ведущий промышленный, экономический и научно–технический центр Закавказья, а также самый крупный город и порт на Каспийском море. В последние годы в Баку активно развивается инфраструктура города и наблюдается рост жилищно-коммунального сектора. Данная тенденция влечет за собой увеличение потребления ресурсов, в том числе потребления воды, и ставит вопрос о необходимости повышения производительности комплекса очистки воды для хозяйственно-питьевых и технических нужд города.

На сегодняшний день водоснабжение города Баку осуществляется из поверхностного водоисточника – Джейранбатанского водохранилища.

Существующие водопроводные очистные сооружения г. Баку, расположенные в береговой зоне Джейранбатанского водохранилища, имеют четыре очереди. Первая и вторая очереди комплекса водоочистных сооружений с производительностью 230 тыс. м³/сут каждая были построены и введены в эксплуатацию в 1961 и 1978 гг. соответственно. Обе очереди представлены классической двухступенной схемой очистки воды, включающей в себя осветлители со слоем взвешенного осадка и скорые фильтры.

В 1978 году на уже существующей площадке ВОС была введена в эксплуатацию третья очередь водоочистки с горизонтальными

отстойниками и скорыми фильтрами, производительностью 190 тыс. м³/сут. На сегодняшний день третья очередь выведена из эксплуатации.

Для увеличения объемов подаваемой питьевой воды в 2015 году на действующей площадке ВОС была пущена в работу одна из крупнейших в мире ультрафильтрационных станций производительностью 570 тыс. м³/сут.

В 2019 году руководством ОАО «Азерсу» (организация, отвечающая за питьевое водоснабжение и канализацию на территории Азербайджанской республики) было принято решение о необходимости строительства новой очереди очистных сооружений с целью увеличения производственной мощности. Новая очередь должна обеспечивать расходы подаваемой воды населению с учетом перевода первой и второй очереди в резерв. Часть новых очистных сооружений планируется разместить в существующих зданиях третьей очереди.

Утвержденный план реконструкции «Джейранбатанского классического комплекса водоочистки с доведением производительной мощности до 1 млн. м³/сут» включает в себя проведение предпроектных лабораторных и производственных исследований по выбору метода снижения мутности и цветности воды, подбор рабочих доз реагентов, расчет изменения химического состава очищаемой воды в процессе кондиционирования с последующим технико-экономическим обоснованием принятых решений.

Разработка технико-экономического обоснования была поручена научно-исследовательскому и проектному институту «Суканал» (г. Баку), который заключил договор на выполнение научно-исследовательской и опытно-конструкторской части проекта ПНИИВиВ ФГБОУ ВО «ЮРГПУ (НПИ) имени М.И. Платова» (г. Новочеркасск). Работы по проектированию, изготовлению опытной пилотной установки, а также проведению исследований в лабораторных и производственных условиях были выполнены ООО НПП «ЭКОФЕС» (г. Новочеркасск).

Для выбора технологии очистки воды Джейранбатанского водохранилища на первом этапе исследований был проведен анализ и обработка результатов аналитических определений показателей качества за период с 2015 по 2019 гг., представленных ОАО «Азерсу». Среднегодовые показатели качества сырой воды из водоисточника представлены в таблице 1.

В соответствии с требованиями ГОСТ 2761-84 «Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Гигиенические, технические требования и правила выбора» показатели качества водоисточника, представленные ОАО «Азерсу», на сегодняшний день соответствуют первому классу, при котором для получения воды питьевого качества необходимы обеззараживание и фильтрование с

коагулированием или без него. Следуя результатам физико–химического анализа качества воды превышение физико-химических показателей водоисточника питьевым нормативам отмечается только по мутности (в 100 % случаях менее 19,4 мг/дм³), из чего следует, что технология водоподготовки должна обеспечивать снижение мутности до значений не более 1,5 мг/дм³ (по каолину) [1], а также надежную защиту против бактерий и патогенной микрофлоры.

Таблица 1. Показатели качества воды Джейранбатанского водохранилища за период 2015 – 2019 гг.

№ п/п	Показатель	Ед. измерений	Значение (источник)	Значение (СанПиН 1.2.3685-21)
1	Водородный показатель (рН)	Ед.	7,74–8,58	в пределах 6–9
2	Цветность	град.	0–8	20 (35)
3	Мутность	мг/дм ³	1,54–39,70	1,5
4	Общая жесткость	мг-экв/дм ³	3,36–4,20	7,0 (10)
5	Общее солесодержание	мг/дм ³	221–390	1000 (1500)
6	Хлориды	мг/дм ³	25–61	350
7	Сульфаты	мг/дм ³	87,2–123	500
8	Щелочность общая	мг-экв/дм ³	1,96–2,65	–
9	Щелочность гидрокарбонатная	мг-экв/дм ³	1,36–2,30	–

На основании исходного состава обрабатываемой воды согласно п. 1 ГОСТ 2761-84 очистку воды до нормативных требований следует проводить в одну ступень: обеззараживание и фильтрование, при наличии фитопланктона – микрофильтрование.

В качестве наиболее эффективной и экономически целесообразной технологии снижения мутности и цветности воды был принят метод контактного фильтрования.

На кафедре «Водное хозяйство, инженерные сети и защита окружающей среды» ЮРГПУ (НПИ) имени М.И. Платова в течение последних 35 лет проводятся систематические исследования очистки донской воды, близкой по составу представленной ОАО «Азерсу», в результате которых была установлена и подтверждена практическая целесообразность метода контактного фильтрования применительно к маломутным и малоцветным водам и более экономичного в сравнении с традиционными одно- и двухступенными технологиями [2–5].

Контактные фильтры по принципу своего действия аналогичны контактными осветлителями и устойчиво работают при мутности, поступающей на них воды до 70 – 90 мг/дм³ и цветности до 120 град. Однако, поскольку движение потока фильтруемой воды в контактных осветлителях осуществляется в восходящем направлении (снизу-вверх), скорость фильтрования ограничена $v_{\phi} = 5,0 \div 5,5$ м/ч а удельная

производительность на единицу площади фильтрования $F_{\phi} = 1 \text{ м}^2$ составит не более $q_{\text{уд.}} = 5,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ [6–7].

В отличие от контактных осветлителей важным преимуществом контактных фильтров (фильтрование сверху-вниз) является возможность достижения скорости фильтрования до 15 – 20 м/ч. Соответственно площадь фильтрования в сравнении с контактными осветлителями снижается в 3 – 4 раза [7–9].

Для проведения натурных, экспериментальных исследований контактного фильтрования в схеме одноступенной технологии подготовки питьевой воды Джейранбатанского водохранилища и определению оптимальных регламентных показателей технологического процесса была разработана и изготовлена опытно-производственная установка (рис. 1, 2). За основу конструкции фильтра был принят контактный фильтр типа КФ-5 с двухслойной загрузкой из кварцевого песка и материала ОДМ-2Ф (опока дробленая модифицированная) в соотношении 50 / 50 % [3]. Принципиальная технологическая схема опытно-производственной установки представлена на рисунке 1.

Изготовленная опытно-производственная установка, прошла тестовые гидравлические испытания на производстве ООО НПП «ЭКОФЕС», после чего была доставлена и смонтирована на объекте исследований в г. Баку в здании смесителей второй очереди Джейранбатанского комплекса водоочистки (рис. 2).

В ходе экспериментов воду из водохранилища подавали в бак сырой воды (1), откуда насосом (2) подавали на контактный фильтр КФ-5 (3). Перед контактным фильтром в трубопровод сырой воды дозировали растворы гипохлорита натрия (ГХН), коагулянта и флокулянта насосами-дозаторами (5–7) соответственно. Очищенную воду повторно обеззараживали гипохлоритом натрия насосом-дозатором (8), и отводили в бак чистой воды (4). Отбор проб производили из пробоотборников, установленных до и после введения реагентов. Фильтр промывали накопленной чистой водой из бака (4) насосом (9). Регулирование расхода подаваемой на контактный фильтр воды для установления заданных скоростей фильтрования (от 10 до 20 м/ч) выполняли при помощи регулирующего вентиля и контролировали по показаниям ротаметра (10).

Приготовление рабочих растворов реагентов (гипохлорит натрия, коагулянт, флокулянт) осуществляли в баках (11–13) с использованием чистой водопроводной воды.

Для аналитического контроля качества воды на месте исследований была развернута полевая лаборатория. Определение мутности и цветности воды выполняли на портативном фотометре КФК-5М и мутномере Nach-2100Q.

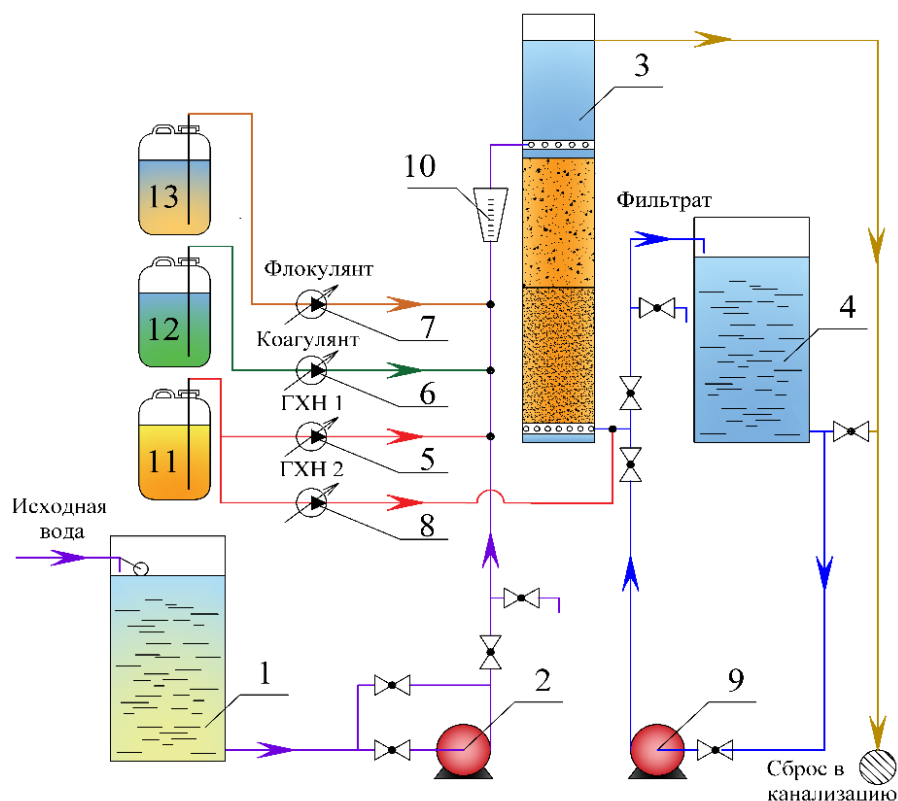


Рисунок 1. Принципиальная технологическая схема опытно-производственной установки контактного фильтрования в одноступенной технологии подготовки питьевой воды Джейранбатанского водохранилища:

- 1 – бак сырой воды; 2 – насос подачи сырой воды на фильтрование;
 3 – контактный фильтр КФ-5; 4 – бак фильтрованной воды; 5 – насос-дозатор гипохлорита натрия на первичное обеззараживание; 6 – насос-дозатор коагулянта;
 7 – насос-дозатор; 8 – насос-дозатор гипохлорита натрия на вторичное обеззараживание; 9 – промывочный насос; 10 – ротаметр контроля расхода воды;
 11 – бак с раствором гипохлорита натрия; 12 – бак с раствором коагулянта;
 13 – бак с раствором флокулянта

На первом этапе производственных испытаний по снижению мутности и цветности сырой воды Джейранбатанского водохранилища была исследована возможность очистки воды до нормативных показателей в режиме безреагентного контактного фильтрования. Эффект снижения мутности и цветности воды определяли по разности показателей на входе и выходе из фильтра.

На момент начала исследований мутность сырой воды из Джейранбатанского водохранилища составляла $3,6 - 3,8 \text{ мг/дм}^3$. Поскольку в сырой воде определенная на фотометре цветность составляла менее 5 град. (при нормативе не более 20 град.), то в дальнейшем исследовали только изменение остаточной мутности в фильтрате при различных скоростях фильтрования.



Рисунок 2. Пилотная установка после монтажа на объекте исследования – в здании смесителей (г. Баку)

Эксперимент начинали со скорости фильтрации 20 м/ч, затем через каждый час работы установки скорость снижали на 5 м/ч и фиксировали эффект очистки. В соответствии с технологическим регламентом обеззараживания воды и поддержания надлежащего санитарного состояния установки вводили гипохлорит натрия. Доза гипохлорита во всей серии эксперимента составляла 1,2 мг/дм³.

Результаты исследований снижения мутности сырой воды Джейранбатанского водохранилища в режиме безреагентного контактного фильтрации при разных скоростях (10, 15 и 20 м/ч) представлены в таблице 1, из которой следует, что эффект снижения мутности в режиме безреагентного фильтрации составлял 56,0 – 63,4 %, снижение скорости фильтрации с 20 до 10 м/ч заметного влияния на эффект удаления взвешенных не оказывал. Остаточный хлор в фильтрате составлял 1,0 – 1,2 мг/дм³, что свидетельствует о низкой хлор-поглощаемости сырой воды.

После установления, что снижение мутности в режиме безреагентного фильтрации не достигает желаемого результата, были проведены исследования по выбору рабочей (оптимальной) дозы коагулянта.

Руководствуясь низкой щелочностью воды Джейранбатанского водохранилища 1,96 – 2,65 мг-экв/дм³, в качестве коагулянта в

производственных исследованиях применяли полиоксихлорид алюминия марок «АКВА-АУРАТ™30» и «ГранЭКО™» производства ОАО Аурат, г. Москва, Россия.

Таблица 1. Результаты исследований снижения мутности сырой воды Джейранбатанского водохранилища в режиме безреагентного контактного фильтрования при скоростях 10, 15 и 20 м/ч

№ п/п	Время работы КФ-5, мин	$M_{исх,3}$ мг/дм ³	$V_{ф,}$ м/ч	$M_{ф,}$ мг/дм ³	Эффект очистки, %
1	0	3,6–3,8	—	—	—
2	20		20	1,66	56
3	45		20	1,67	56
4	60		20	1,64	56,7
5	80		20	1,58	58,3
6	100		15	1,48	60,9
7	120		15	1,49	60,8
8	140		15	1,42	62,5
9	160		10	1,46	61,5
10	180		10	1,39	63,4
11	200		10	1,46	61,5

Данные марки коагулянта практически не изменяют рН очищаемой воды, что позволяет отказаться от использования подщелачивания воды. Кроме того, полиоксихлорид алюминия обладает большей способностью к полимеризации, что ускоряет хлопьеобразование и осаждение коагулированной взвеси и позволяет отказаться от использования флокулянтов, а также дает низкое остаточное содержание алюминия в воде.

На начальном этапе подбора оптимальной дозы коагулянта были приняты минимальные дозы используемых реагентов. Для «ГранЭКО™» доза составила 0,35 мг/дм³, для «АКВА-АУРАТ™30» – 0,5 мг/дм³. В ходе работы доза «АКВА-АУРАТ™30» постепенно повышалась. Пилотная установка во время эксперимента работала в интервале скоростей фильтрования от 10 до 20 м/ч, доза гипохлорита натрия для первичного обеззараживания составляла 1,2 мг/дм³, флокулянт в воду не добавляли. Результаты исследований по выбору рабочей дозы коагулянта при очистке сырой воды Джейранбатанского водохранилища в режиме контактного фильтрования представлены в таблице 2.

В результате проведенных исследований режима контактного фильтрования было установлено, что минимальная оптимальная доза коагулянта при мутности исходной воды до 4,5 мг/дм³ составляет 0,5 мг/дм³. Последующее повышение дозы коагулянта до 1 и более мг/дм³ дополнительного эффекта снижения мутности не обеспечивала.

В ходе производственных испытаний было выполнено сравнение эффекта очистки воды при использовании коагулянта «АКВА-

АУРАТ™30», «ГранЭКО™» и применяемого на Джейранбатанском водоочистном комплексе катионного органического коагулянта – полиамина марки «АКВА-АУРАТ™30» Доза коагулянта «Floqat FL 2949 PWG». была равной дозе, применяемой на Джейранбатанских ВОС и составляла 0,05 мг/дм³.

Таблица 2. Результаты исследований по определению оптимальной дозы коагулянта при очистке сырой воды Джейранбатанского водохранилища в режиме контактного фильтрования

№ п/п	Время работы КФ-5, мин	М _{исх,з} мг/дм ³	V _ф , м/ч	Д _к , мг/дм ³ (по Al ₂ O ₃)	М _ф , мг/дм ³	Эффект очистки, %
Коагулянт «ГранЭКО™»						
1	0	3,47	10	0	–	–
2	30	3,47	10	0	1,33	61,7
3	60	3,47	10	0	1,45	58,1
4	90	3,47	10	0	1,64	52,9
5	120	4,20	10	0	1,07	74,5
6	150	4,20	10	0,35	0,89	78,7
7	180	4,20	10	0,35	0,90	78,5
8	210	4,20	10	0,35	0,88	79,1
9	240	4,20	10	0,35	0,59	85,8
10	270	3,70	10	0,35	0,71	83,2
11	300	3,70	10	0,35	1,25	66,0
12	330	3,70	10	0,35	1,64	55,8
Коагулянт «АКВА-АУРАТ™30»						
13	360	3,70	10	0,5	0,28	92,4
14	390	3,70	10	0,5	0,34	91,0
15	420	3,70	10	0,5	0,27	92,6
16	450	3,70	10	0,5	0,23	93,7
17	480	3,70	15	0,67	0,21	94,5
18	510	3,16	15	0,67	0,10	97,0
19	540	3,16	20	1,0	0,11	96,6
20	570	3,16	20	1,0	0,10	96,7
21	600	3,16	20	1,0	0,11	96,5

Согласно полученным данным, представленным на рисунке 3, наиболее эффективным коагулянтом следует считать «АКВА-АУРАТ™30». Так же следует отметить, что все изучаемые коагулянты показали достаточно высокий эффект снижения мутности.

Для определения рабочей дозы коагулянта «АКВА-АУРАТ™30» в периоды повышенной мутности сырой воды Джейранбатанского водохранилища на пилотной установке была проведена серия экспериментов с предварительным искусственным замутнением. В качестве замутнителя была использована бентонитовая глина – голубая (ближайший аналог каолина), создающая в водной среде

высокоустойчивую коллоидную систему, по своим свойствам близкую к коллоидной системе природных вод.

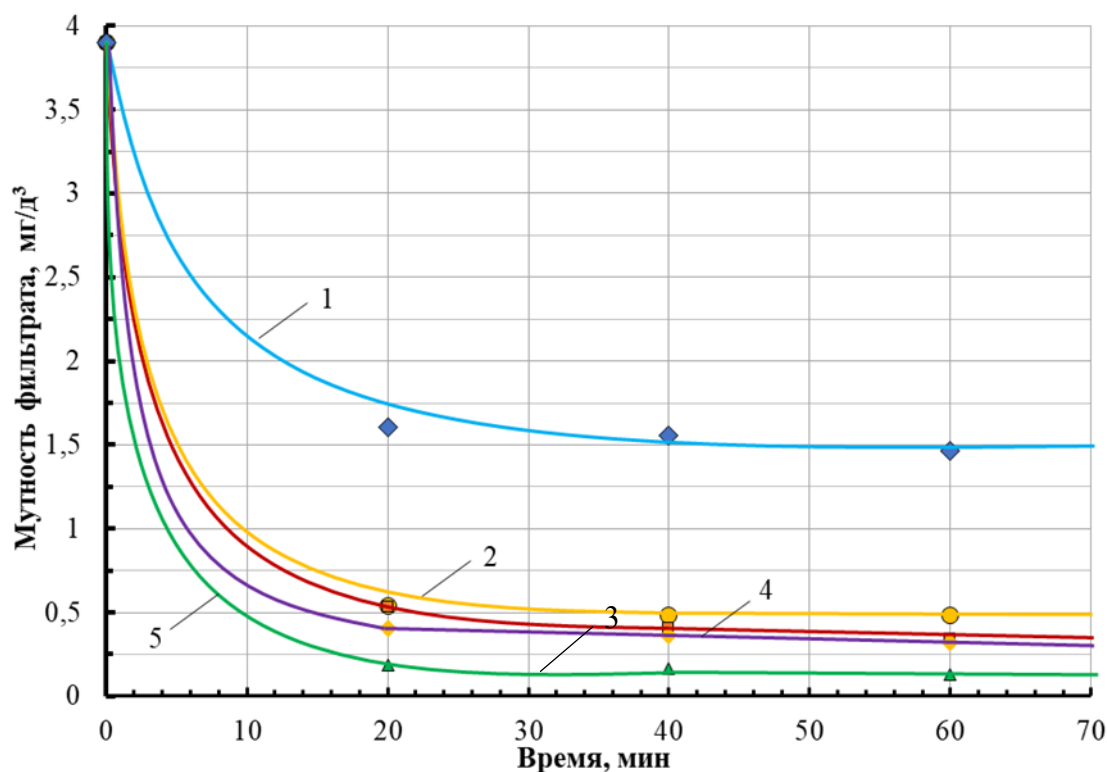


Рисунок 3. Изменение остаточной мутности воды после контактного фильтрования при использовании различных марок коагулянтов:

- 1 – без коагулянта; 2 – «ГранЭКО™» ($D_k = 0,5 \text{ мг/дм}^3$); 3 – «АКВА-АУРАТ™30» ($D_k = 0,25 \text{ мг/дм}^3$); 4 – «Floqat FL 2949 PWG» ($D_k = 0,05 \text{ мг/дм}^3$); 5 – «Аква-Аурат™ 30» ($D_k = 0,5 \text{ мг/дм}^3$)

В качестве исследуемого объекта выступала сырая вода с мутностью, доведенной бентонитовой глиной до значений 12, 24, 36 и 72 мг/дм³. Контактный фильтр пилотной установки работал на скорости фильтрования 20 м/ч. Для обеззараживания воды перед коагулянтom подавали гипохлорит натрия дозой 1,2 мг/дм³. Флокулянт в исследованиях не применяли. Так же были проведены опыты с используемым на Джейранбатанских ВОС органическим коагулянтom «Floqat FL 2949 PWG» в условиях максимальной в течение года мутности. Результаты снижения мутности сырой воды с предварительным её замутнением при разных дозах коагулянта представлены в таблице 3.

По результатам проведенных экспериментов были установлены для коагулянта «АКВА-АУРАТ™30» были установлены следующие рабочие дозы:

- при исходной мутности 36 – 72 мг/дм³ доза 4 мг/дм³;
- при исходной мутности 24 – 36 мг/дм³ доза 2 мг/дм³;
- при исходной мутности 4,5 – 24 мг/дм³ доза 1 мг/дм³;
- при исходной мутности 1,5 – 4,5 мг/дм³ доза 0,5 мг/дм³.

Остаточный алюминий в фильтрате при дозах 1 и 2 мг/дм³ составлял менее 0,1 мг/дм³, что отвечает требованиям нормативных показателей качества воды СанПиН и ВОЗ.

Таблица 3. Результаты очистки сырой воды Джейранбатанского водохранилища в режиме контактного фильтрования при разных дозах коагулянта с предварительным замутнением

№ п/п	Марка коагулянта	Доза коагулянта, мг/дм ³	М _{исх} , мг/дм ³	М _ф , мг/дм ³	Эффект очистки, %
1	«АКВА-АУРАТ™30»	4	72	0,17	99,76
2		2		0,47	99,31
3		2	36	0,13	99,63
4		1		0,26	99,25
5		1	24	0,16	99,30
6		0,75		0,22	99,03
7		1	12	0,11	99,05
8		0,5		0,12	98,95
9	«Floqat FL 2949 PWG»	0,25	72	0,25	99,64
10		0,1	36	0,26	99,62

Во время рабочих испытаний установки также был исследован эффект совместного применения коагулянта и флокулянта, для чего был проведен эксперимент на сырой воде с мутностью 3,9 мг/дм³. Доза коагулянта была принята 0,5 мг/дм³, флокулянта 0,2 мг/дм³. Полученный на выходе из установки фильтрат после двух часов её работы имел мутность 0,12 – 0,2 мг/дм³. Эффект очистки составлял 95,3 %. Аналогичный эффект очистки был получен и в ранее проведенных экспериментах без добавления флокулянта, следовательно, в совместном применении коагулянта и флокулянта в одноступенной технологии контактного фильтрования нет необходимости.

На завершающем этапе производственных исследований была определена грязеемкость двухслойной фильтрующей загрузки и были поставлены два эксперимента: в первом – средняя мутность в исходной воде составляла 18,5 мг/дм³, во втором – 72 мг/дм³ и доза коагулянта «АКВА-АУРАТ™30» 1 и 4 мг/дм³ соответственно. Эксперименты проводили при скорости фильтрования 20 м/ч. Установка работала до проскока мутности фильтрата, превышающей 1,5 мг/дм³, или до снижения скорости фильтрования более чем на 10 %. Результаты исследований представлены на рисунках 4 и 5.

При средней мутности сырой воды на входе в установку $M_o^1 = 18,5 \text{ мг/дм}^3$ и средней мутности фильтрата $M_{\phi}^1 = 0,45 \text{ мг/дм}^3$, продолжительность фильтроцикла до начала проскока мутности более чем 1,5 мг/дм³ – T_1 составила 9,3 ч.

При средней мутности сырой воды на входе в установку $M_o^2 = 72,0 \text{ мг/дм}^3$ и средней мутности фильтрата $M_\phi^2 = 0,76 \text{ мг/дм}^3$, продолжительность фильтроцикла до начала проскока мутности более чем $1,5 \text{ мг/дм}^3$ – T_2 составила 2,25 ч.

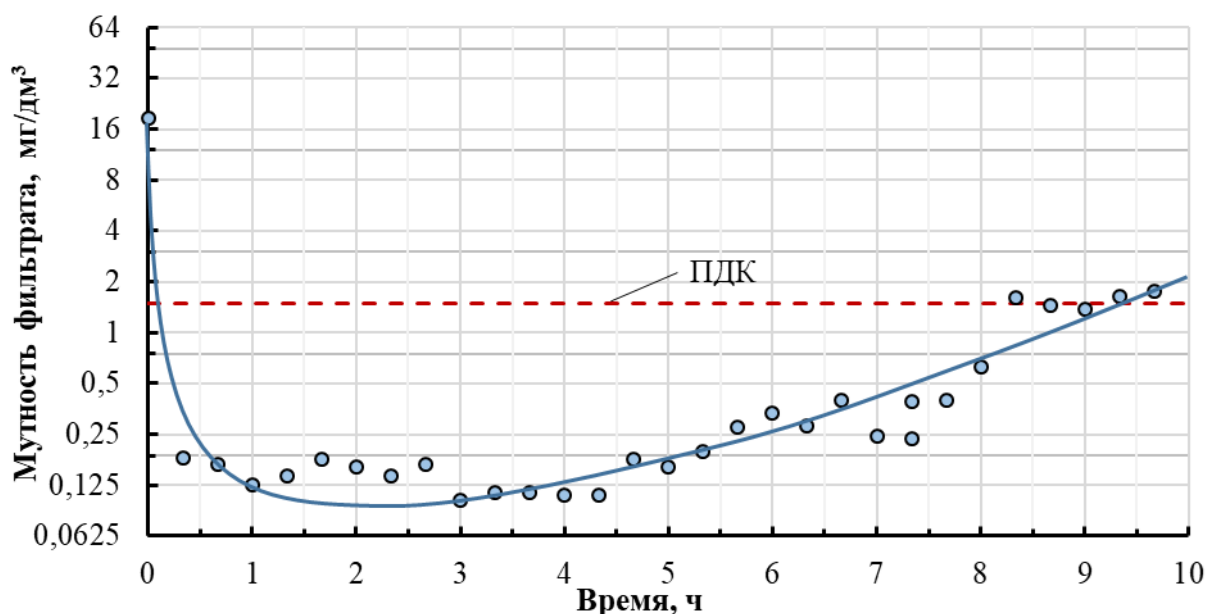


Рисунок 4. Определение грязеемкости при средней исходной мутности $18,5 \text{ мг/дм}^3$ и скорости фильтрации 20 м/ч

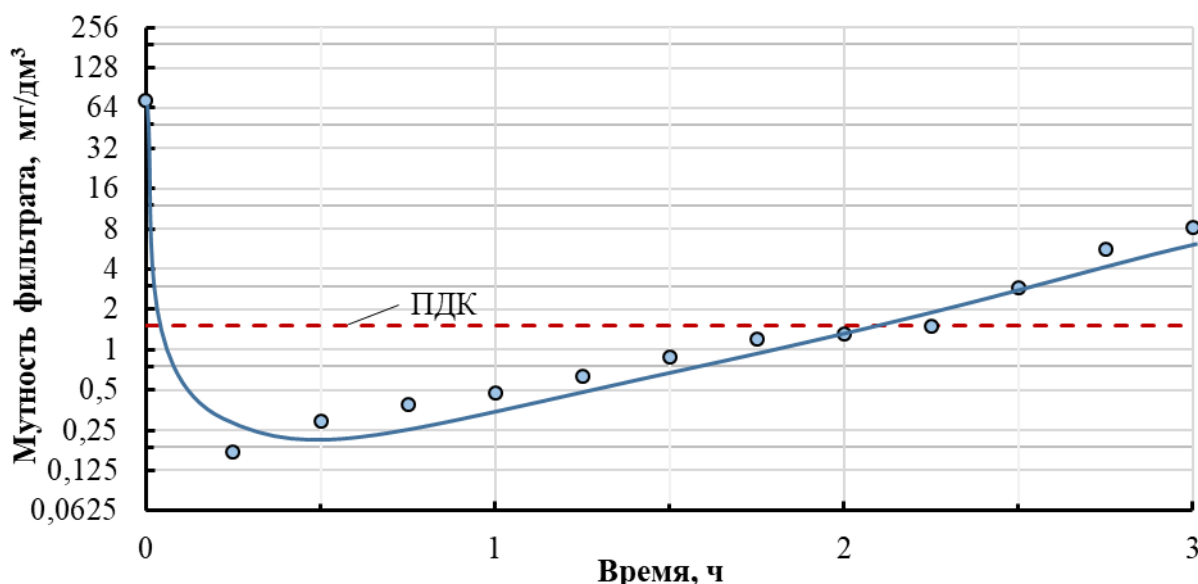


Рисунок 5. Определение грязеемкости при средней исходной мутности 73 мг/дм^3 и скорости фильтрации 20 м/ч

По полученным данным грязеемкость загрузки составит:

$$\Gamma_1 = (M_o^1 - M_\phi^1) \cdot V_\phi \cdot T_1 = (18,5 - 0,45) \cdot 20 \cdot 9,3 = 3357,3 \text{ г/м}^2,$$

$$\Gamma_2 = (M_o^2 - M_\phi^2) \cdot V_\phi \cdot T_2 = (72 - 0,76) \cdot 20 \cdot 2,25 = 3250,8 \text{ г/м}^2,$$

где V_ϕ – средняя скорость фильтрации, 20 м/ч .

Таким образом, полученная грязеемкость двухслойной загрузки составляет $3,2 - 3,4 \text{ кг/м}^2$, что является весьма хорошим показателем.

Согласно литературным данным [7–9] средняя грязеемкость однослойных скорых фильтров составляет $0,8 - 1,5 \text{ кг/м}^2$, контактных осветлителей $1,5 - 1,8 \text{ кг/м}^2$, что меньше полученной грязеемкости в 2 – 3 раза, а значит подтверждает правильность принятых решений о применении двухслойной загрузки (кварцевый песок совместно с ОДМ-2Ф) в режиме одноступенного контактного фильтрования при высоком эффекте очистки.

В эксперименте в качестве верхнего фильтрующего слоя использовали загрузку ОДМ-2Ф фракцией 0,8 – 2,0 мм. Для достижения большей грязеемкости возможно использование более крупной фракции зёрен размером 1,2 – 2,5 мм.

На основании экспериментально полученных результатов по грязеемкости в таблице 4 представлены данные расчёта продолжительности фильтроцикла при различных сезонных мутностях воды Джейранбатанского водохранилища.

Таблица 4. Продолжительность фильтроцикла двухслойной загрузки при очистке исходной воды Джейранбатанского водохранилища для стандартной и полученной экспериментально грязеемкости с учетом колебаний мутности в сезоне

№ п/п	Год	2014	2015	2016	2017	Расчетные данные	
	Мутность исходной воды, мг/дм^3	Количество дней в году				Фильтроцикл с учетом общепринятой грязеемкости, $(1,5 \text{ кг/м}^2)$, ч	Фильтроцикл с учетом полученной грязеемкости, $(3,2 \text{ кг/м}^2)$, ч
1	40 (максимальная мутность воды)	–	1	–	–	1,26	3,8
2	20–40	–	3	–	–	2,6–1,26	7,7–,8
3	12,0–20,0	1	21	2	–	4,4–2,6	13,2–,7
4	6,0–12,0	11	69	33	13	8,75–4,4	26,3–3,2
5	3,5–6,0	56	57	124	121	14,65–8,75	42,85–26,3
6	Ниже 3,5	297	217	206	231	14,65	42,85

По результатам выполненных опытно-производственных исследований по очистке сырой воды Джейранбатанского водохранилища контактным скоростным фильтрованием по одноступенной схеме подготовки питьевой воды можно сделать следующие **выводы**:

- 1 Сырая вода Джейранбатанского водохранилища согласно действующей классификации относится к первому классу загрязнений источников централизованного водоснабжения и считается как маломутная, малоцветная вода с мутностью сырой воды от 3,5 до 12 мг/дм^3 . Природные воды с такими показателями качества рекомендуется доводить до требований СанПиН 1.2.3685-21 в одну ступень;

- 2 В качестве технологии очистки воды Джейранбатанского водохранилища была принята и экспериментально подтверждена эффективность и экономическая целесообразность применения одноступенной схемы кондиционирования воды с применением скорого контактного фильтрования на двухслойной фильтрующей загрузке (кварцевый песок совместно с ОДМ-2Ф);
- 3 Проведённые исследования по определению эффективности осветления и обесцвечивания воды контактным фильтрованием с применением коагулянта подтвердили высокий эффект очистки сырой воды (95 – 99,63 %) при изученных скоростях фильтрования в интервале от 10 до 20 м/ч;
- 4 Рекомендуемая рабочая скорость контактного фильтрования для очистки воды Джейранбатанского водохранилища, установленная результатами исследований, составляет 12 – 15 м/ч;
- 5 Наиболее эффективным коагулянтом следует считать реагент торговой марки «АКВА-АУРАТ™30» дозой 0,5 – 3,5 мг/дм³ для исходной мутности воды 2,5 – 12 мг/дм³;
- 6 Применение флокулянтов дополнительного эффекта не обеспечивает, следовательно, его применение в технологии водоочистки нецелесообразно;
- 7 Экспериментально установленная грязеемкость двухслойной загрузки фильтра (кварцевый песок совместно с ОДМ-2Ф) составляет 3,2 – 3,3 кг/м², при этом рекомендуемая продолжительность промывки контактного фильтра 4 – 7 мин при её интенсивности 20 л·с/м² и степени расширения 40 – 50 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно - противоэпидемических (профилактических) мероприятий».
2. Линевиц С.Н. Эффективность применения метода контактной коагуляции на донских водопроводах/С.Н. Линевиц, С.И. Игнатенко, М.А. Дилина // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 1998. № 3. С. 68–72.
3. Загрузка контактного фильтра для очистки природных вод / С.Н. Линевиц, Л.Н. Фесенко, С.С. Богданов, С.И. Игнатенко // Экологические системы и приборы. 2005. № 10. С. 52–53.
4. Технологические и проектные решения реконструкции сооружений очистки воды нижнего течения р. Дон (на примере ВОС х. Хапры Мясниковского района Ростовской области) АКВА-АУРАТ™14»

- / С.И. Игнатенко, А.Ю. Черкесов, Л.Н. Фесенко [и др.] – Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2016»: материалы IX Межд. науч.-практ. конф.; г. Ростов-на-Дону, 5–7 октября 2016 г./ Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т (НПИ) имени М.И. Платова – Новочеркасск: Лик, 2016. С. 75–85.
5. Экспериментально-теоретические и производственные испытания полиоксихлорида алюминия на донской воде / С.Н. Линевич, В.А. Сикачев, С.С. Богданов, С.В. Гетманцев // Водоснабжение и санитарная техника. 2004. № 1. С. 15–20.
 6. Кульский Л.А. Технология очистки природных вод: учебник / Л.А. Кульский, П.П. Строкач. Киев.: Вища школа. Головное издательство, 1981. 328 с.
 7. Николадзе Г.И. Технология очистки природных вод. – М.: Высшая школа, 1987. 479 с.
 8. Фрог Б.Н., Левченко А.П. Водоподготовка: Учебн. пособие для вузов. М. Издательство МГУ, 1996 г. 680 с.
 9. Пчельников И.В., Костюков В.П., Федотов Р.В. Расчет и проектирование водопроводных очистных сооружений: Уч. пособие / Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т (НПИ) имени М.И. Платова – Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ), 2018. 185 с.

УДК 628.1/2-049.7:691.175

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СЕТЕЙ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ И МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

О.А. Продоус

ООО «ИНКО-эксперт», г. Санкт-Петербург, Россия

В.В. Иващенко, А.А. Мурлин

ООО «ИнКонСтрой», г. Санкт-Петербург, Россия

Проведено сравнение характеристик труб из ПНД и ВЧШГ^{ПУ} по двум критериям – стоимостному и эксплуатационному. Показан пример оценки эффективности эксплуатации сетей водоснабжения из труб диаметром 500 мм по разным характеристикам. Дано обоснование применения при строительстве трубопроводов более дорогих труб из ВЧШГ^{ПУ}, обоснованных коэффициентом эффективности их использования. Даны рекомендации по оценке эффективности эксплуатации сетей водоснабжения и водоотведения.

Эффективность работы сетей водоснабжения из полимерных и металлополимерных материалов, принято оценивать путем сравнения значений ценовых и их гидравлических характеристик труб [1].

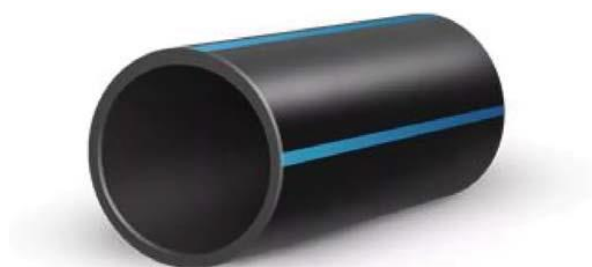
Установлены два критерия, с помощью которых производится выбор вида материала труб и оценка эффективности работы сети водоснабжения:

– строительный критерий, включающий стоимость отрывки траншеи, подготовку основания под трубы, стоимость укладки (монтажа) труб, стоимость засыпки песком смонтированного трубопровода;

– эксплуатационный, оцениваемый совокупностью значений характеристик гидравлического потенциала труб – $d_{\text{вн}}$, V , i [2].

Обычно сравнивают значения этих характеристик для труб из разного вида материалов, но одного и того же диаметра.

Оценим на конкретном примере эффективность работы сети водоснабжения из напорных полиэтиленовых труб РЕ 100 диаметром 500 мм по ГОСТ 18599-2001 и сети диаметром 500 мм из чугунных раструбных металлополимерных труб из ВЧШГ с полиуретановым покрытием по EN 545-2010 (рис.).



Труба из ПНД диаметром 500 x 29,7 мм, SDR17 по ГОСТ 18599-2001



Трубы чугунные раструбные из ВЧШГ диаметром 500 с полиуретановым покрытием по EN 545-2010



Рисунок. Внешний вид сравниваемых труб

Условие задачи.

По трубопроводу из названных труб диаметром 500 мм транспортируется расход $q = 0,16 \text{ м}^3/\text{с}$ (160 л/с). Для обоснования выбора вида материала труб рассчитать и сравнить значения характеристик гидравлического потенциала по двум критериям: строительному и эксплуатационному.

Решение.

1. Производим расчет стоимостных показателей сравниваемых труб из разных видов материалов. Стоимостные характеристики сравниваемых труб сведены в таблицу 1.

Таблица 1. Стоимостные показатели труб

Диаметр условного прохода d_y , мм	Стоимость 1 п. м, тыс. руб., НДС в т.ч.			
	Труб		Только монтажных работ	
	ПНД, SDR 17	ВЧШГ ^{ПУ}	ПНД, SDR 17	ВЧШГ ^{ПУ}
500	17937,60 * е = 29,7 мм	35068,0 *	9722,0	2924,0

Примечание: * – стоимость 1 п. м на 01.05.2021г.

Данные в таблице 1 свидетельствуют о том, что несмотря на более высокую стоимость 1 п. м труб из ВЧШГ^{ПУ} в 1,95 раза больше стоимости труб того же диаметра из ПНД. Однако стоимость их монтажа (без подготовки основания) в 3,3 раза ниже, чем труб из ПНД. То есть по первому критерию применять трубы из ПНД выгоднее.

2. Сравниваем значения характеристик труб по второму критерию. Данные по гидравлическим характеристикам труб сведены в таблицу 2.

Таблица 2. Гидравлические параметры труб

Материал внутренней поверхности	Характеристики труб				
	Внутренний диаметр $d_{вн}$, мм	Расход q , м ³ /с	Средняя скорость, V , м/с	Удельные потери напора, $1000 i$, мм/м	Параметр шероховатости Ra , мкм
Полиэтилен ПЭ 100	440,6	0,16	1,05	1,89	0,410
Полиуретан	515,8	0,18	0,84	0,76	0,304

Анализ значений характеристик сравниваемых труб в таблице 2 показывает, что внутренний диаметр труб из ПНД на 14,6 % меньше (в 1,17 раза), чем у труб из ВЧШГ^{ПУ}. Вследствие этого расход q в трубах из ПНД на 12,5 % (в 1,13 раза) меньше, чем в трубах из ВЧШГ^{ПУ}. Удельные потери напора $1000i$ в трубах из ВЧШГ^{ПУ} на 59,8 % (в 2,49 раза) меньше, чем у труб из ПНД.

Следовательно, по второму критерию трубы из ВЧШГ^{ПУ} – предпочтительнее. Кроме того, сравнение значений рабочего давления PN показывает, что для труб из ПНД диаметром 500 мм, SDR17, PN = 10 кг/см² (10 бар), а для труб из ВЧШГ^{ПУ}, PN = 38 кг/см² (38 бар). То есть рабочее давление в трубах из ВЧШГ^{ПУ} в 3,8 раза больше, что

обеспечивает защиту трубопровода при возникновении гидравлических ударов.

Также, вес 1 п.м трубы диаметром 500 мм из ВЧШГ^{ПУ} больше, чем у трубы из ПНД 500, SDR 17 (120 кг/1п.м > 43,9 кг/1п.м). Следовательно, трубы из ВЧШГ^{ПУ} имеют большую сопротивляемость сдвигу при динамическом колебании грунтов, и значит, при их монтаже требуется меньше количество упоров, чем для труб из ПНД.

По срокам монтажа труб диаметром 500 мм:

- трубы из ВЧШГ^{ПУ} – 210 п.м / смену (8 час.),
- трубы из ПНД – 36 п.м / смену,

то есть использование труб из ВЧШГ^{ПУ} позволяет существенно сократить срок монтажа трубопровода.

Оценка эффективности использования трубопровода для конкретных условий (примера) из любого вида материала производится по значению коэффициента эффективности трубопровода $K_{эф}$, с учетом энергозатрат насосного оборудования на перекачку заданного расхода воды q [3].

Для приведенного примера:

$$K_{эф} = \frac{N_{дв}^{ВЧШГ^{ПУ}}}{N_{дв}^{ПНД}},$$

где $N_{дв}^{ВЧШГ^{ПУ}} = 10^6 \cdot i \cdot (d_{вн})^2 \cdot V \cdot \frac{0,00808}{\eta}$, кВт/ч; η – к.п.д. насоса.

Для расчетов принимают $\eta = 0,7$ [3].

Для условий приведенного примера по данным таблицы 2 имеем:

$$N_{дв}^{ВЧШГ^{ПУ}} = 10^6 \cdot 0,00076 \cdot (0,5158)^2 \cdot 0,84 \cdot \frac{0,00808}{0,7} = 1,96 \text{ кВт/ч}$$

Для труб из ПНД диаметром 500 мм:

$$N_{дв}^{ПНД} = 10^6 \cdot 0,00189 \cdot (0,4406)^2 \cdot 1,05 \cdot \frac{0,00808}{0,7} = 4,45 \text{ кВт/ч}$$

$$K_{эф} = \frac{1,96}{4,45} = 0,44$$

Это означает, что при прочих равных условиях эффективность трубопровода, проложенного из труб ВЧШГ^{ПУ} диаметром 500 мм на 55,96 % или в 2,27 раза выше, чем у труб из ПНД того же диаметра.

Таким образом, несмотря на более высокую стоимость 1 п.м труб из ВЧШГ^{ПУ}, эффективность их использования при строительстве трубопроводов систем водоснабжения выше, чем у трубопроводов из ПНД. При обосновании выбора вида материала труб для строительства сетей водоснабжения и водоотведения следует всегда проводить оценку эффективности эксплуатации сетей по вышеописанной методике.

ЛИТЕРАТУРА

1. Продоус О.А., Мурлин А.А., Иващенко В.В. Критерии выбора материалов труб для напорных трубопроводов коммунального и промышленного водоснабжения // Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2017»: материалы X-юбилейной Межд. науч.-практ. конф. г. Астрахань, 5–6 октября 2017г. / Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т. (НПИ) имени М.И. Платова – Новочеркасск: Лик, 2017. С. 101–105.
2. Продоус О.А. Таблицы для гидравлического расчета труб напорных из полиэтилена // Справочное пособие. Издание 3-е, дополненное. Санкт-Петербург, «Свое издательство». 2017. 240 с.
3. Дикаревский В.С., Якубчик П.П., Продоус О.А., Смирнов Ю.А. Резервы экономии электроэнергии при транспортировании воды по водоводам из железобетонных труб // Тезисы докладов Всесоюзного научно-технического семинара «Рациональное использование воды и топливно-энергетических ресурсов в коммунальном водном хозяйстве. Алма-Ата, 6–8 августа 1985. М.:КСМ ВСНТО. 1985. С. 90–92.

УДК 628.161

ОСОБЕННОСТИ СОВМЕСТНОГО ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ И ДЕМАНГАЦИИ ПОДЗЕМНОЙ ВОДЫ НА ЛОКАЛЬНЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ Х. МАХИН РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Л.Н. Фесенко, Р.В. Федотов, С.А. Щукин

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия

С.И. Игнатенко, Д.В. Каберская, Д.В. Паукова

ООО НПП «ЭКОФЕС», г. Новочеркасск, Россия

Представлены результаты лабораторных и производственных исследований совместного обезжелезивания и демангации подземной воды на локальных очистных сооружениях х. Махин Ростовской области. Установлен эффект обезжелезивания и демангации подземной воды в схеме с искусственной аэрацией, окислением и последующим одно- и двухступенным фильтрованием. Определены точки ввода и оптимальные дозы перманганата калия и коагулянта в схеме двухступенного фильтрования.

За последние годы на территории Российской Федерации наблюдается заметный рост строительства и благоустройства новых коттеджных поселков, сельских поселений, находящихся в структуре дачных некоммерческих партнерств (ДНП) или садовых некоммерческих товариществ. Одним из этапов развития поселков такого типа является организация качественного питьевого водоснабжения.

В ряде случаев из-за отдалённости новых поселений от инфраструктуры больших городов, в том числе централизованного водоснабжения, прибегают к строительству локальных станций водоподготовки. Зачастую в малых населенных пунктах основным источником водоснабжения являются подземные горизонты с забором пресной питьевой воды из колодцев (верховодки), индивидуальных неглубоких скважин (глубиной бурения от 5 до 30 м), родников и ключей, а также артезианских скважин (глубиной от 35 до 250 м).

Одним из таких поселений, столкнувшихся с необходимостью подготовки питьевой воды стало ДНП «Агро-клуб Усадьба», расположенное в х. Махин Аксайского района Ростовской области. Из-за отсутствия возможности использования близлежащего поверхностного источника – р. Дон, для водоснабжения посёлка на его территории было пробурено несколько артезианских скважин. Как и во многих других регионах нашей страны, артезианские воды Ростовской области характеризуются сложным физико-химическим составом. Анализ качественных показателей воды из разработанной скважины показал превышение общего солесодержания – $1,5 \text{ г/дм}^3$, общей жёсткости – $14 \text{ }^\circ\text{Ж}$ и железа общего – $7,0 \div 7,5 \text{ мг/дм}^3$.

Из-за отсутствия иных источников водоснабжения и финансовой возможности для обеспечения земельных участков ДНП технической водой из р. Дон было принято решение строительства локальной станции водоподготовки на базе местных артезианских вод.

В 2016 г. для обеспечения поселения технической водой компанией ООО НПП «ЭКОФЕС» была собрана и введена в эксплуатацию блочно-модульная станция обезжелезивания производительностью $200 \text{ м}^3/\text{сут}$, представленная классическим методом обезжелезивания – принудительной аэрацией с последующим контактным фильтрованием через зернистую загрузку из материала ОДМ-2Ф, обеззараживанием и подачей воды в водонапорную башню. Основной задачей станции по желанию заказчика было снижение показателей по мутности, цветности и железу общему до требований СанПиН [1].

В 2020 г. после утверждения Федеральным дорожным агентством «Росавтодор» строительства объездной трассы М-4 «Дон» согласно проекту, участок шоссе должен проходить через территорию поселения, в связи с чем расположенную на его пути станцию водоподготовки перенесли в другую часть земельного участка. Смена местоположения станции повлекла за собой необходимость бурения новой скважины. Состав подземной воды из новой скважины представлен в таблице 1.

Согласно качественного состава подземной воды, представленного в таблице 1, кроме превышения общего солесодержания и общей жёсткости зафиксировано превышение концентрации ионов железа и марганца. После пуска в работу на новом источнике блочно-модульной станции

обезжелезивания было установлено, что принятая ранее технология позволила снизить только показатель по железу общему до 0,4 – 0,6 мг/дм³, в то время как остаточная концентрация марганца в фильтрате оставалась неизменной.

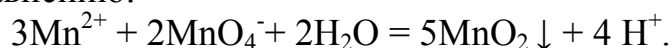
Таблица 1. Показатели качества подземной воды скважины № 1 на территории ДНП «Агро-клуб Усадьба», х. Махин, Ростовская область

№ п/п	Показатель	Ед. измерений	Значение (источник)	ПДК (СанПиН 1.2.3685-21)
1	Водородный показатель (рН)	Ед.	7,0 – 7,1	в пределах 6 – 9
2	Цветность	град.	< 20	20 (35)
3	Мутность	мг/дм ³	< 1,5	1,5
4	Общая жесткость	мг-экв/дм ³	22,5	7,0 (10)
5	Общее солесодержание	мг/дм ³	2033	1000 (1500)
6	Хлориды	мг/дм ³	293	350
7	Сульфаты	мг/дм ³	432	500
8	Щелочность общая	мг-экв/дм ³	12,4	–
9	Железо	мг/дм ³	14,8	0,3
10	Марганец	мг/дм ³	3,2	0,1

В 2021 году руководство ДНП «Агро-клуб Усадьба» обратилось к ООО НПП «ЭКОФЕС» с предложением в рамках договорных обязательств доукомплектовать станцию обезжелезивания оборудованием деманганизации в рамках существующих габаритных размеров и площадей с проведением пуско-наладочных работ.

В качестве технологии дополнительного удаления марганца в условиях существующих габаритов станции и размещенным в ней оборудованием был принят реагентный метод, основанный на введении в воду окислителя – перманганата калия.

Деманганизация воды перманганатом калия основана на его способности окислять марганец (II) с образованием малорастворимого осадка оксида марганца [2]. Реакция окисления протекает согласно следующему уравнению:



Важным аспектом применения перманганата калия для очистки воды от марганца является образование дисперсного осадка оксида марганца MnO_2 , который, имея большую удельную поверхность порядка 300 м²/г, является эффективным сорбентом. При обработке воды перманганатом калия также происходит снижение привкусов и запахов вследствие частичной сорбции органических соединений с образующимся

мелкодисперсным хлопьевидным осадком гидроксида марганца. Кроме того, осадок оксида марганца обладает каталитическими свойствами по отношению к процессу окисления иона марганца (II) кислородом воздуха.

Применение перманганата калия позволяет удалить из воды как марганец, так и железо независимо от форм их содержания в воде. В водах с повышенным содержанием органических веществ железо и марганец образуют устойчивые органические соединения (комплексы), медленно и трудно удаляемые при обычной обработке хлором и коагулянтом. Применение перманганата калия, сильного окислителя, позволяет разрушить эти комплексы с дальнейшим окислением ионов марганца (II), железа (II) и коагуляцией продуктов окисления. Кроме того, коллоидные частицы гидроксида марганца $Mn(OH)_4$ в интервале pH от 5 до 11 имеют заряд, противоположный зарядам коллоидов коагулянтов $Al(OH)_3$, и $Fe(OH)_3$, поэтому добавление перманганата калия к воде интенсифицирует процесс коагуляции [3].

Таким образом, перманганат калия, оказывая совокупное действие как окислитель, сорбент и вспомогательное средство коагуляции, считается высокоэффективным реагентом для очистки воды от целого ряда загрязнений, в том числе и от марганца.

Максимальное снижение концентрации марганца (II) в воде (до 97 %) достигается при обработке воды перманганатом калия дозой из расчета 2 мг $KMnO_4$ на 1 мг марганца (II) с дальнейшим добавлением коагулянта для удаления продуктов оксидации и взвешенных веществ. Остаточное содержание марганца в воде при этом не превышает 0,1 мг/дм³, а после фильтрования воды на песчаных фильтрах она практически не должна содержать ионов марганца (II). Одновременно наблюдается полное удаление железа.

При удалении марганца из подземных вод для увеличения фильтроцикла одновременно с раствором $KMnO_4$ в обрабатываемую воду рекомендуется вводить флокулянт в количестве 0,5 – 1,5 мг/дм³. В этом случае укрупняются хлопья образующихся при оксидации соединений марганца (IV), которые медленнее проникают в фильтрующую загрузку.

Для окисления марганца (II) в диоксиде марганца должен поддерживаться определенный окислительно-восстановительный потенциал, значение которого зависит от остаточной концентрации марганца и pH воды. В результате реакций железа кислородом воздуха и гидролиза коагулянта происходит снижение pH среды. Для поддержания благоприятной для процесса деманганизации pH воды в интервале от 8,5 до 9, в начале технологической схемы предусмотрено введение щелочного реагента – соды [4].

Окончательная принципиальная технологическая схема станции водоподготовки, дооснащенная оборудованием деманганизации, приведена на рисунке 1.

При подготовке к пусконаладочным работам был выполнен расчет изменения химического состава подземной воды в процессе её обработки и определен рабочий диапазон доз соды, перманганата калия, коагулянта и флокулянта. В качестве коагулянта использовали полиоксихлорид алюминия марки АКВА-АУРАТ™30, в качестве флокулянта – катионный флокулянт Praestol 650^{TR}. Пуск станции и отработку режимов её работы с подбором оптимальных доз реагентов выполняли в период с 01.08.21 г. по 01.09.21 г.

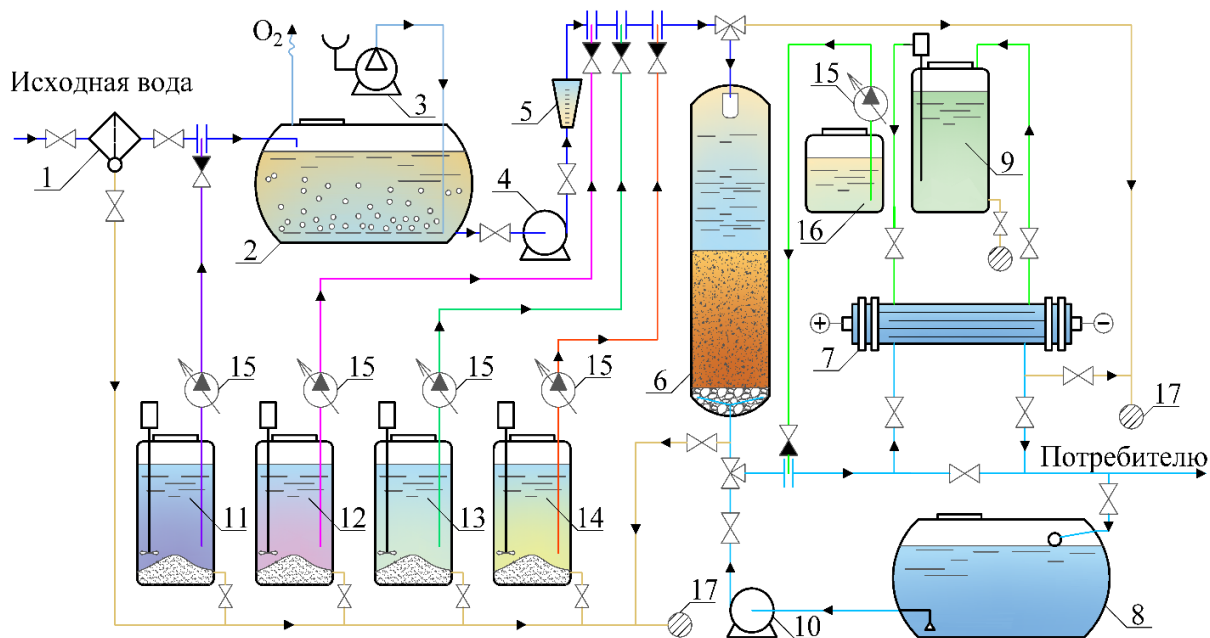


Рисунок 1. Принципиальная технологическая схема станции обезжелезивания воды производительностью по очищаемой воде 200 м³/сут с дооснащением реагентной деманганацией:

- 1 – самопромывной сетчатый фильтр; 2 – бак разрыва струи с аэраторами;
- 3 – воздуходувка; 4 – насос подачи сырой воды на фильтры; 5 – ротаметр;
- 6 – напорный фильтр; 7 – проточный электролизер; 8 – бак промывной воды;
- 9 – бак 5 % соляной кислоты с бочковым насосом для промывки электролизера;
- 10 – промывной насос; 11 – бак с раствором соды; 12 – бак с раствором перманганата калия;
- 13 – бак с раствором коагулянта; 14 – бак с раствором флокулянта;
- 15 – насос-дозатор; 16 – бак с раствором соляной кислоты для стабилизационной обработки воды; 17 – сброс в канализацию

Результаты пуско-наладочных работ блочно-модульной станции водоподготовки, с совмещенным процессом обезжелезивания и деманганации в схеме одноступенного контактного фильтрования, представлены в таблице 2.

Однако, как это следует из таблицы 2, проведенные пуско-наладочные работы показали невозможность совместного обезжелезивания и деманганации в режиме одноступенного контактного фильтрования с доведением показателей качества воды по железу и

марганцу до нормативных значений. Согласно полученным данным введение соды и перманганата перед фильтрами позволяет убрать порядка 97 – 98 % железа и 86 – 87 % марганца, что в обоих случаях является недостаточным. При работе станции без введения реагентов (по схеме: аэрация – фильтрование) эффективность удаления железа составляет 96 %, при этом концентрация марганца остается неизменной. Для доведения содержания железа и марганца до величин ПДК в данном случае как представляется, необходима очистка воды по схеме двухступенного фильтрования с введением перманганата калия и коагулянта перед фильтрами второй ступени.

Таблица 2. Результаты исследований совместного обезжелезивания и деманганации воды по одноступенной технологии водоочистки

№ п/п	Дозы реагентов, мг/дм ³				Показатели фильтрата		
	Сода	Перманганат	Коагулянт	Флокулянт	pH	Fe ³⁺ , мг/дм ³	Mn ²⁺ , мг/дм ³
1	0	0	0	0	6,98	0,55	3,2
2	0	0	0	0,6	6,98	0,4	3,2
3	0	0	5	0,6	6,98	0,51	3,2
4	0	0	10	0,6	6,98	0,54	3,2
5	0	3,2	20	0,6	7,4	5,7	1,76
6	34	3,2	10	0,6	7,54	9,84	3,2
7	34	4,2	10	0,6	7,49	10,09	3,2
8	68	2,2	0	0,6	7,82	2,2	1,87
9	68	3,2	0	0,6	7,68	5,53	0,57
10	68	3,2	5	0,6	7,67	0,3	0,88
11	68	3,2	20	0,2	7,58	0,37	1,51
12	102	3,5	5	0,6	7,64	0,36	0,48
13	102	4,2	5	0,6	7,62	0,38	0,41
14	136	4,2	20	0,2	7,73	0,67	0,7

Для подтверждения работоспособности предлагаемого технологического решения в лабораторных условиях было выполнено экспериментальное моделирование второй ступени фильтрования на лабораторной фильтровальной колонке (рис. 2).

В качестве исходной в лабораторной колонке использовали доставленную из х. Махин уже очищенную в одну ступень воду, отобранную после контактных фильтров станции обезжелезивания с

концентрацией марганца $3,17 \text{ мг/дм}^3$ и железа $0,48 \text{ мг/дм}^3$. Исходную воду из бака (1) подавали на лабораторную контактную колонку (3) перистальтическим насосом (2). Отфильтрованную воду собирали в ёмкости чистой воды (4). Введение перманганата калия, коагулянта или флокулянта осуществляли перед фильтровальной колонкой при помощи насосов-дозаторов (7). Коагулянт и флокулянт применяли тех же марок, что и при пуско-наладочных работах станции. Лабораторная колонка на протяжении всех экспериментов работала в режиме контактного фильтрования с подачей воды по схеме сверху-вниз. В качестве фильтрующего материала использовали опоку дробленую, модифицированную марки ОДМ-2Ф. Скорость фильтрования составляла 6 м/ч .

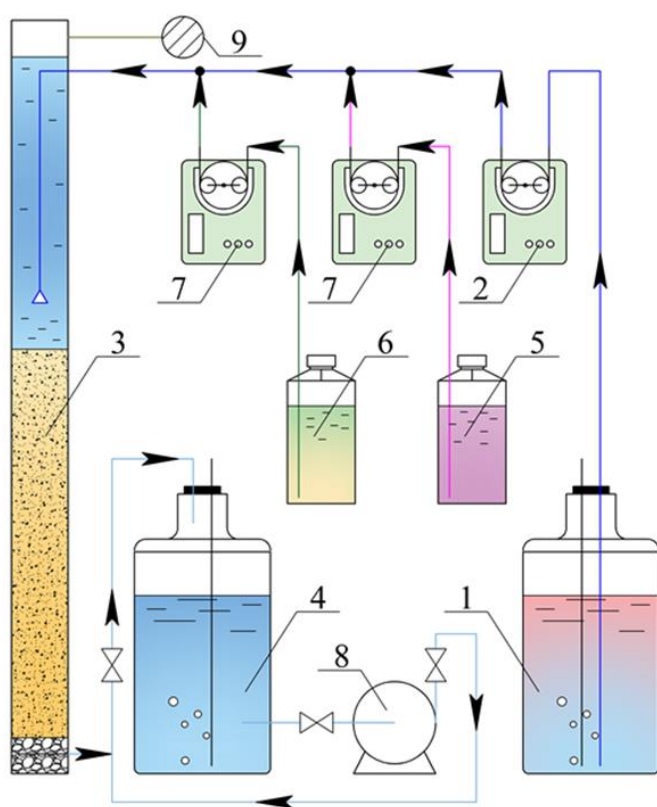


Рисунок 2. Экспериментальное моделирование второй ступени фильтрования на лабораторной колонке:

- 1 – ёмкость с обезжелезенной водой; 2 – насос подачи исходной воды;
- 3 – фильтровальная колонка второй ступени; 4 – ёмкость с фильтратом;
- 5 – ёмкость с раствором перманганата калия; 6 – ёмкость с раствором коагулянта;
- 7 – насос-дозатор; 8 – промывной насос; 9 – сброс в канализацию

Результаты лабораторных исследований по моделированию второй ступени фильтрования на лабораторной колонке представлены на рисунке 3.

Следуя полученным результатам наилучший эффект удаления марганца после второй ступени фильтрования ($99,65 \%$) был достигнут при

дозах перманганата калия $7,2 \text{ мг/дм}^3$ и коагулянта $7,0 \text{ мг/дм}^3$. В экспериментах с флокулянтом остаточные значения концентрации ионов марганца превышали ПДК в 1,5 – 2,0 раза.

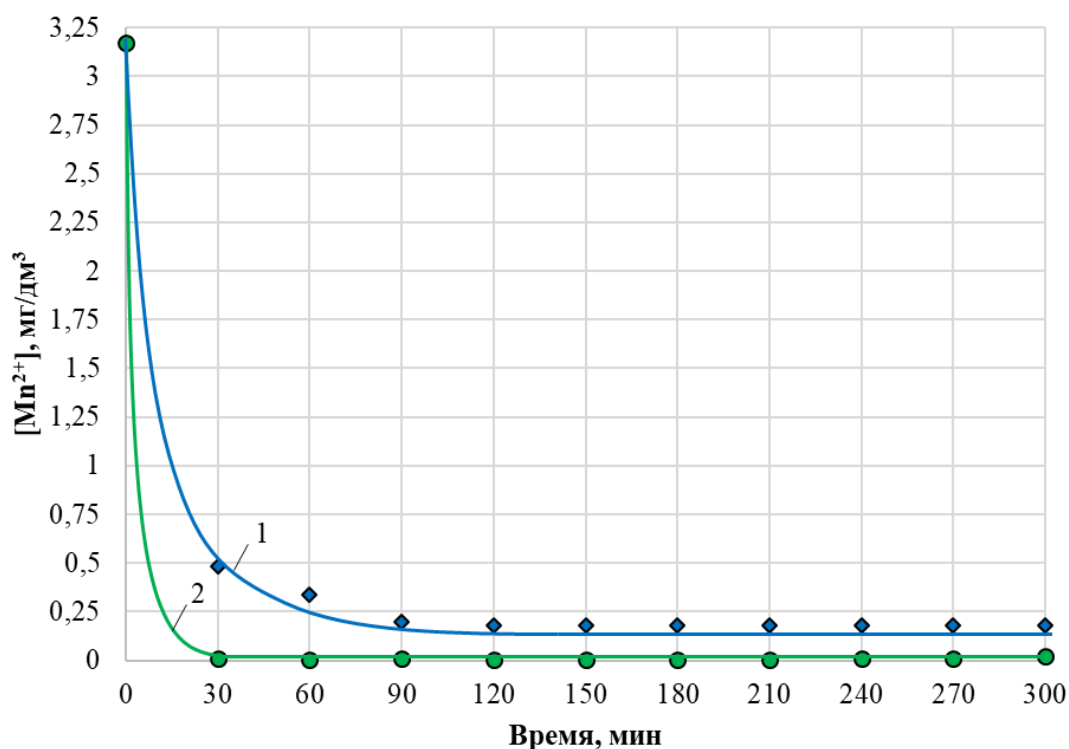


Рисунок 3. Результаты исследований по моделированию второй ступени фильтрования на лабораторной колонке:

1 – $D_{\text{KMnO}_4} = 6 \text{ мг/дм}^3$ и $D_{\text{Ф}} = 0,5 \text{ мг/дм}^3$; 2 – $D_{\text{KMnO}_4} = 7,2 \text{ мг/дм}^3$ и $D_{\text{К}} = 7,0 \text{ мг/дм}^3$

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Наилучший эффект обезжелезивания подземной воды с концентрацией Fe^{3+} от 10 до 15 мг/дм^3 достигается в схеме с искусственной аэрацией и последующим одноступенным фильтрованием без применения подщелачивающих реагентов и окислителей.
2. Совместное удаление железа и марганца по схеме: предварительная аэрация – реагентное окисление железа и марганца – последующее одноступенное фильтрование с коагулянтom и без него до значений ПДК не реализуется с фильтрованием только в одну ступень при исходных концентрациях железа $> 10 \text{ мг/дм}^3$ и марганца $> 3 \text{ мг/дм}^3$.
3. Обезжелезивание и деманганизация подземной воды х. Махин Аксайского района Ростовской области с исходным содержанием $\text{Fe}_{\text{общ}} = 14,8 \text{ мг/дм}^3$ и $\text{Mn}^{2+} = 3,2 \text{ мг/дм}^3$ достигается только с применением схемы двухступенного фильтрования с введением перманганата калия и коагулянта перед фильтрами второй ступени.

4. Оптимальные дозы перманганата и коагулянта (оксихлорида алюминия) при двухступенной очистке подземной воды х. Махин от соединений железа и марганца с доведением их концентраций до значений ПДК составляют 7,2 и 7,0 мг/дм³ соответственно.

ЛИТЕРАТУРА

1. СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий».
2. Золотова Е.Ф. Очистка воды от железа, марганца, фтора и сероводорода [Текст] / Е.Ф. Золотова, Г.Ю. Асс. – Москва: Стройиздат, 1975. 176 с.
3. Николадзе Г.И. Технология очистки природных вод. – М.: Высшая школа, 1987. 479 с.
4. Фрог Б.Н., Левченко А.П. Водоподготовка: Учебн. пособие для вузов. М. Издательство МГУ, 1996 г. 680 с; 178 ил. ISBN 5-274-01420-8.

УДК 628.144+628.179.34

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ДЕЙСТВУЮЩЕЙ ВОДОПРОВОДНОЙ СЕТИ КРУПНОГО ГОРОДА

А.Я. Найманов, Г.С. Турчина, А.А. Найманова

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
г. Макеевка, Украина

В статье представлены результаты исследования эксплуатационных показателей сети водоснабжения центрального района города. Получены численные значения интенсивности отказов элементов сети водоснабжения, которые могут быть применены для оценки надежности систем подачи и распределения воды.

Надежность водопроводной сети зависит от целого ряда факторов, наиболее значимыми из которых можно считать: материал и диаметр труб, коррозионная агрессивность транспортируемой воды и грунтов, качество запорно-регулирующей арматуры, уровень строительства и эксплуатации.

По результатам исследования эксплуатации водопроводной сети крупного города в Донбассе выполнена оценка влияния некоторых из перечисленных факторов на показатели надежности. Общая длина водопроводной сети города составляет 1562 км, из них около 69 % составляют стальные трубопроводы, около 28 % – чугунные, около 2 % – полимерные и около 1 % – прочие (главным образом, асбоцементные). Большинство трубопроводов построены в 60 – 80-х годах прошлого века и

имеют значительные сроки эксплуатации. По данным Донецкого облводоканала, за 2007 год [1] в городах Донбасса сроки эксплуатации трубопроводов можно охарактеризовать следующими цифрами:

- до 10 лет – 8 % от общей длины всей сети;
- 11 – 20 лет – 13 % от общей длины всей сети;
- 21 – 30 лет – 30 % от общей длины всей сети;
- 31 – 40 лет – 21 % от общей длины всей сети;
- 41 – 50 лет – 21 % от общей длины всей сети;
- свыше 50 лет – 7 % от общей длины всей сети.

Такая же картина и в обследованной сети города. Новое строительство ведется обычно в небольших объемах, в частности, в данном городе проложено в 2017 году 498 м полимерных труб, в 2018 г. – 569 м, в 2019 г. – 834 м, а в 2020 г. – 1745 м. В основном заменяют трубопроводы небольших диаметров до 50 – 100 мм.

Более детальному анализу были подвержены результаты аварийно-восстановительных работ в центральном районе города. Длина сети в пределах района составляет 257 км, за 4 года эксплуатации выполнено 4920 аварийно-восстановительных работ. Отсюда – средняя интенсивность отказов по району λ_{cp} составила:

$$\lambda_{cp} = \frac{N}{TL} = \frac{4920}{4 \cdot 257} = 4,8 \frac{1}{\text{км} \cdot \text{год}} = 5,5 \cdot 10^{-4} \frac{1}{\text{км} \cdot \text{час}},$$

где N – количество устраненных повреждений (отказов), шт; T – время, за которое оценивается величина λ_{cp} , лет; L – длина сети, км.

Данная величина λ_{cp} значительно превышает приведенные в литературе величины интенсивности отказов труб из разных материалов. Например, Ильин Ю.А. [2] приводит для стальных труб $\lambda = 0,29 \cdot 10^{-4} 1/(\text{км} \cdot \text{ч})$, чугуновых – $1,02 \cdot 10^{-4} 1/(\text{км} \cdot \text{ч})$, Макогонов В.С. по Гальперину [3] для стальных и чугуновых труб приводит

$$\lambda = 0,68 \frac{1}{\text{км} \cdot \text{год}} = 0,78 \cdot 10^{-4} \frac{1}{\text{км} \cdot \text{час}}, \text{ а Ромейко В.С. [4] дает для стали}$$

$$\lambda = 0,32 \frac{1}{\text{км} \cdot \text{год}} = 0,37 \cdot 10^{-4} \frac{1}{\text{км} \cdot \text{час}}, \text{ чугуна } \lambda = 0,27 1/(\text{км} \cdot \text{год}). \text{ По}$$

данным же Швеции [5] для стали $\lambda = 0,32 1/(\text{км} \cdot \text{год})$, чугуна $\lambda = 0,19 1/(\text{км} \cdot \text{год})$, полиэтилена $0,02 1/(\text{км} \cdot \text{год})$. Кроме того, по Ромейко В.С. [4] новые стальные трубы $d = 200$ мм имеют $\lambda = 0,25 \cdot 10^{-4} 1/(\text{км} \cdot \text{ч})$, а через 20 лет эксплуатации $\lambda = 1,5 \cdot 10^{-4} 1/(\text{км} \cdot \text{ч})$, т.е. в 6 раз выше.

Связано превышение интенсивности аварий в районе над литературными сведениями, в первую очередь, со значительным износом труб – более 70 % трубопроводов имеют сроки эксплуатации свыше 20 лет. Кроме того, водопроводная вода в Донбассе характеризуется высокой коррозионной агрессивностью, начальная скорость коррозии стальных

труб по нашим экспериментальным данным, составляет около 1 мм/год. Даже через 20 лет эксплуатации она отлична от нуля, а в городе около 70 % сетей проложены из стальных труб. Большая часть сетей проложена из труб малого диаметра, которые имеют относительно небольшую толщину стенок (2,5 – 4 мм для стальных труб). По Донецкой области на 2007 год трубы диаметром до 100 мм составляли 59 % сетей, 150 – 300 мм – 31 %, итого – 90 % сетей.

В таблице 1 приведено распределение количества повреждений по материалам и диаметрам труб.

Таблица 1. Распределение числа повреждений по материалам и диаметрам труб в центральном районе города (линейная часть трубопроводов)

Диаметры труб, мм	Количество повреждений по материалам труб, шт.			Всего отказов
	Сталь	Чугун	Полимер	
До 50	415	44	36	495
63 – 100	1113	187	84	1384
110 – 200	924	154	19	1197
250 – 300	272	27	–	299
400 – 500	103	5	–	108
600 – 700	48	9	–	57
800 – 1000	12	–	–	12
Итого	2887	526	139	3552

Очевидно, что наибольшее количество повреждений наблюдается на стальных трубопроводах, при этом из общего количества 2887 повреждений, на трубы диаметром до 100 мм приходится 1528 повреждений (около 53 % от всех повреждений линейной части).

Однако повреждения возникают не только на линейной части трубопроводов, но и в колодцах – на задвижках, пожарных гидрантах, фланцевых соединениях. В таблице 2 представлена локализация числа повреждений на сети за 2017 – 2020 годы.

Таблица 2. Локализация повреждений на сети района за 2017 – 2020 гг.

№ п/п	Место повреждения или поврежденный объект	Количество повреждений по годам				Всего за весь период		λ , 1/(км·год)
		2017	2018	2019	2020	шт.	%	
1	Линейная часть трубопровода (тело труб)	701	731	699	544	2675	54,4	2,6
2	Стыки труб	162	173	198	271	804	16,4	0,78
3	Ремонт или замена задвижек	214	220	219	199	852	17,3	0,83
4	Ремонт или замена пожарных гидрантов	102	97	132	129	460	9,3	0,45
5	Прочее	17	30	35	47	129	2,6	0,13
Всего		1196	1251	1283	1190	4920	100	4,8

Из всех повреждений больше половины (54,4 %) приходится на линейную часть трубопроводов. Стыки труб повреждались как в линейной части, так и в колодцах. Причиной повреждения в 2423 случаях (49 % от всех повреждений) является коррозия труб. Так же 49 % аварийно-восстановительных работ приходилось выполнять в колодцах (ремонт задвижек, пожарных гидрантов, фланцевых соединений). Это позволяет сделать вывод о том, что литературные сведения об интенсивностях отказов трубопроводов [2–5] следует относить только к линейной их части, а для учета отказов оборудования колодцев эти цифры необходимо увеличить вдвое. И все же, $\lambda_{\text{ср}} = 2,6$ 1/(км·год) для линейной части трубопроводов является очень высоким значением, что свидетельствует о крайней изношенности сетей и необходимости их капитального ремонта.

Количество повреждений по годам изменяется, относительно, в небольших пределах $1190 \div 1283$ и нет видимого роста. Это свидетельствует о достаточной стабильности состояния сети. И это несмотря на то, что по примерным нормам эксплуатации [6], периодичность работ по капитальному ремонту водопроводных сетей и сооружений на них должно составлять: для стальных трубопроводов – 15 лет, чугунных – 20 лет, задвижек – 5 лет, пожарных гидрантов – 4 года, полная замена задвижек и гидрантов должна производиться через 20 лет. Однако эти требования нарушаются, в основном, из-за недостатка финансирования. Работоспособность сети поддерживается за счет текущих ремонтов и замены наиболее изношенных участков малых диаметров прокладкой полимерных труб.

Величину коэффициента готовности сети можно оценить, исходя из величины потери воды. В данном городе потери воды составляют около 30 % производительности, а в среднем по области – около $21,1 \text{ м}^3/\text{сут} \cdot \text{км}$ [1] и могут быть до 50 % Q. Тогда коэффициент готовности вычисляется по формуле

$$K_z = 1 - \frac{\Delta Q}{Q} = 1 - \frac{0,3Q}{Q} = 0,7, \quad (1)$$

где Q – расчетная производительность сети, $\text{м}^3/\text{сут}$; ΔQ – потери воды, $\text{м}^3/\text{сут}$ (недоподача воды).

Известно, что

$$K_z = \frac{\mu_c}{\mu_c + \lambda_c}, \quad (2)$$

где μ_c – интенсивность восстановления сети, 1/час; λ_c – интенсивность отказов сети, 1/час.

$$\lambda_c = \lambda \cdot L = 5,5 \cdot 10^{-4} \frac{1}{\text{час} \cdot \text{км}} \cdot 257 \text{ км} = 0,141 \frac{1}{\text{час}},$$

где L – длина сети в пределах района, $L = 257$ км.

Из формул (1) и (2) следует $\mu_c = \frac{\lambda_c K_z}{1 - K_z} = \frac{0,141 \frac{1}{\text{час}} \cdot 0,7}{0,3} = 0,329 \frac{1}{\text{час}}$.

Тогда среднее время восстановления T_v составит для данной сети

$$T_v = \frac{1}{\mu_c} = \frac{1}{0,329 \frac{1}{\text{час}}} = 3,04 \text{ час.}$$

По Ильину Ю.А. [2] среднее время восстановления стальных трубопроводов составляет 25 – 50 часов, а чугунных 25 – 100 часов. Нормы [6] дают время на ликвидации аварий от 8 до 18 часов, в зависимости от диаметра труб. Сравнение этих величин с полученной нами величиной T_v приводит к выводу, что большинство аварий являются мелкими, не требующими больших затрат времени.

Необходимо отметить, что столь скрупулезный учет и устранение даже мелких аварий все же не привел к значительному снижению потерь воды. В целом, для стран бывшего СССР величина потерь 15 – 20 % считалась признаком хорошей работы водопровода. Общепринято, что величина потерь воды не может быть достигнута ниже примерно 7 – 8 % от расхода, подаваемого городу. Значительная часть утечек, очевидно, является скрытой – не проявляется на поверхности земли.

В целом, учитывая практическую стабильность количества повреждений по годам, можно прогнозировать достаточно устойчивую работу сети при нынешней организации аварийно-восстановительных работ еще до 10 – 15 лет. Но обязательна замена наиболее изношенных трубопроводов малых диаметров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зотов Н.И., Моисеенко Н.В. Вода в нашей жизни [Текст] / Н.И. Зотов, Н.В. Моисеенко. – Донецк: Вебер, 2007. 245 с.
2. Ильин Ю.А. Расчет надежности подачи воды : научное издание [Текст] / Ю.А. Ильин. – М.: Стройиздат, 1987. С. 314.
3. Гальперин Е.М. Расчет кольцевых водопроводных сетей с учетом надежности функционирования [Текст] / Е.М. Гальперин. – Саратов: Издательство Саратовского университета, 1989. 104 с.
4. Защита трубопроводов от коррозии [Текст] / В.С. Ромейко, В.Г. Баталов, В.И. Готовцев, В.Е. Дубенчак, И.А. Симонова; под ред. В. С. Ромейко. – М.: ВНИИМП, 2000. 208 с.
5. Пластмассовые трубы, их характеристики и область применения [Текст]. Стокгольм–Москва: Северное объединение производителей пластмассовых труб (NPG). – М.: МГСУ, 1999–2000. 114 с.
6. СП 31.13330.2012. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения / Water supply. Pipelines and portable water treatment plants: свод правил: издание

официальное: утвержден приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 29 декабря 2011 г. N 635/14: дата введения 01.01.2013. Москва: АО «Кодекс». URL:[https:// docs.cntd.ru/document/1200093820](https://docs.cntd.ru/document/1200093820) (дата обращения: 09.11.2021).

УДК 628.166

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОДЫ ХЛОРСОДЕРЖАЩИМИ РЕАГЕНТАМИ

Л.Н. Фесенко, А.Ю. Черкесов, И.В. Пчельников, А.С. Пчельникова

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия

В работе представлено технико-экономическое сравнение трех методов обеззараживания воды: газообразным хлором, высококонцентрированным и низкоконцентрированным гипохлоритом натрия. Сравнительный анализ проводили на примере действующей хлораторной, расположенной на территории канализационных очистных сооружений г. Ленинск-Кузнецкий Кемеровской области.

Санитарно-эпидемиологическая безопасность воды в подавляющем большинстве случаев обеспечивается хлорированием. При использовании жидкого хлора бесспорной является опасность его транспортировки через населенные пункты, а также хранение многотонных запасов реагента на водоочистных станциях, зачастую соседствующих с жилой застройкой. Высокий риск использования жидкого хлора (2-й класс опасности), наряду с невозможностью соблюдения ряда положений ужесточающихся Федеральных норм и правил в области хлорбезопасности привели традиционную хлорную технологию обеззараживания воды в тупик.

Решением проблемы является перевод станции на менее опасный дезинфектант, сочетающий положительные качества жидкого хлора и отсутствие его недостатков, так как с точки зрения обеззараживания воды все хлорсодержащие реагенты одинаково надежны и эффективны. Альтернативными хлору реагентами являются низко- и высококонцентрированный гипохлорит натрия, широко применяемые во всем мире [1–3].

Перед эксплуатирующими организациями стоит неочевидный выбор метода обеззараживания, который должен обеспечивать не только безопасность и технологичность применения, но и быть экономически выгодным для предприятия. Экономическое обоснование перспективности применения того или иного метода обеззараживания следует выполнять для конкретного объекта с учетом его местоположения, стоимости электроэнергии, условий эксплуатации и т.д.

Технико-экономическое сравнение методов обеззараживания воды проводили на примере реконструкции системы обеззараживания канализационных очистных сооружений ОАО «СКЭК» города Ленинск-Кузнецкий Кемеровской области. На площадке ОСК расположена типовая хлораторная станция производительностью 200 кг/сут [4].

Оценку экономической эффективности выполняли в сравнении технологий обеззараживания: газообразным хлором, поставляемым на объект в контейнерах; низкоконцентрированным гипохлоритом натрия (ГХН), производимым на месте потребления; высококонцентрированным гипохлоритом натрия (ВГХН), поставляемым на объект в товарном виде. Производительность по активному хлору и обрабатываемой воде для сравниваемых методов приняли одинаковой, равной 40 тыс. м³/сут и 200 кг/сут по активному хлору (доза 5 мг/дм³). Среднегодовая потребность в активном хлоре составляет 73 тонны (200 кг/сут · 365 дней = 73 т). Экономическую эффективность оценивали по укрупненным показателям путем сопоставления капитальных затрат на соответствующее оборудование, монтажных работ и эксплуатационных затрат предприятия на приобретение реагентов и оплату электроэнергии.

Общие капитальные затраты на оборудование и его монтаж определяли по сметной стоимости объектов-аналогов на основе сметного расчета. Для хлораторной станции принята реконструкция существующего здания и оборудования. При сравнении вариантов обеззараживания ГХН и ВГХН оборудование располагается в новом здании с металлическим каркасом и ограждающими конструкциями из сэндвич-панелей, габаритными размерами 12х24х7,6 м с инженерным обеспечением: электроснабжение, отопление, вентиляция, водоснабжение, канализация и пожарная сигнализация (в соответствии с техническим заданием Заказчика). В расчетах принят одинаковый состав эксплуатирующего персонала: аппаратчики электролизной установки (хлораторщики) – 5 ед., 3-го разряда. Технико-экономическое обоснование технологии обеззараживания воды представлено в таблице. Ниже приведены пояснения и обоснование расчетов, представленных в указанной таблице.

Вариант 1. Окислитель-дезинфектант – привозной жидкий хлор в контейнерах, ГОСТ 6718-93 (существующая хлораторная). Хлор – ядовитый газ. Хлорные хозяйства станций водоподготовки являются опасными промышленными объектами, поэтому находятся под постоянным контролем Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору. Работа технологического оборудования на объектах в среде жидкого и газообразного хлора, регламентируется «Приказом Ростехнадзора от 03.12.2020 № 486 Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности. Правила безопасности при производстве, хранении,

транспортировании и применении хлора» (Зарегистрировано в Минюсте России 24.12.2020 № 61776).

В расчетах учтены затраты на реконструкцию хлораторной с целью приведения ее в соответствие требованиям безопасной эксплуатации [5–6]. Общая сметная стоимость реконструкции здания существующей хлораторной (капитальные затраты) принята на основе объекта-аналога – хлораторной на ОСК-2 г. Краснодара (9063,59 тыс. руб.). Работы выполнены в 2016 – 2017 гг. В качестве объекта-аналога при оценке стоимости замены оборудования хлораторной выбран объект: «Техническое перевооружение склада хлора в здании хлораторной со складом хлора на ВНС-2 в г. Заозерск Мурманской области» в соответствии с разработанной документацией для ТП «Водоканал» АО «ГУ ЖКХ» [7].

Расход электрической энергии принят на основании потребляемой мощности хлораторной [4]. Удельные среднегодовые расходы электроэнергии составляют 2,52 кВт·ч/кг. Сумма годовых эксплуатационных затрат (С), составляет 7 281 710,35 тыс. руб.

Вариант 2. Реагент – высококонцентрированный гипохлорит натрия марки А, поставляемый на объект в товарном виде.

Электрохимический или технический (товарный) высококонцентрированный раствор гипохлорита натрия (3-й класс опасности) с высоким значением рН (12 и более ед.) и концентрацией активного хлора 14 – 19 % (140 – 190 г/л) производится на химических заводах путем пропускания хлор-газа через раствор едко-натровой щелочи и доставляется к объекту специализированным транспортом. Качество получаемого продукта должно соответствовать ГОСТ 11086-76 (марка А). Технический гипохлорит необходимо хранить в помещении с температурой воздуха $10 \pm 5^\circ\text{C}$ в резервуарах, обеспечивающих его не менее чем 15-суточный запас (в соответствии с п. 9.173 СП 31.13330.2012).

Водный раствор гипохлорита натрия крайне неустойчив и со временем разлагается даже при комнатной температуре (от 0,085 % в сутки). Согласно ГОСТ 11086-76 величина потери активного хлора по истечении 10 сут с момента отгрузки продукции с завода-изготовителя составит до 30 % от первоначального содержания, что соответствует снижению концентрации активного хлора до 13,3 %, в расчетах приняли среднюю концентрацию ВГХН 15 %. Согласно СП 31.13330.2012 п. 9.123, пунктов 9.124 и 9.15 использование товарного гипохлорита натрия целесообразно на объектах, расположенных на расстоянии не более 250 – 300 км от завода-поставщика.

Для обеспечения заявленной производительности по активному хлору (200 кг/сут) при концентрации раствора ВГХН 150 г/л (с учетом его 15 % разложения в течение 15 сут с начальной концентрацией 200 г/л) необходимо 1,33 м³/сут, а с учетом 15 суточного запаса – 20 м³. В

соответствии с Федеральным законом «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.1997 № 116-ФЗ приложение 2, таблица 1 при единовременно хранящимся на объекте гипохлорите натрия (окисляющие вещества) массой 3 т данный объект **относится к опасным производственным объектам IV класса опасности.**

При использовании химических гипохлоритов в технологической схеме необходимо предусматривать системы промывки трубопроводов и емкостей кислотой и водой, что предусмотрено пунктом «Годовые затраты на HCl» (табл.). Соляная кислота используется для промывки трубопроводов и насосов от отложений солей жесткости (2 раза в месяц по 150 л 14 % HCl или 420 л 5 % HCl).

В качестве объекта-аналога для определения стоимости строительства нового здания для электролизной станции и узла хранения и дозирования ВГХН (капитальные затраты) приняты затраты на СМР по объекту: «Реконструкция систем обеззараживания на Партизанских ВОС, г. Симферополь». (29 748,8 тыс. руб.). Работы были выполнены в 2019–2020 гг. Сметная стоимость оборудования узла хранения и дозирования ВГХН принята по объекту: «Реконструкция нежилого здания – склада хлора под склад хранения гипохлорита натрия на Южной водопроводной станции № 2 в г. Калининграде» (31 208,79 тыс. руб.).

Расход электрической энергии принят на основании потребляемой мощности узла хранения и дозирования ВГХН. Удельные среднегодовые расходы электроэнергии составляют 2,64 кВт·ч/кг на технологические нужды (работа насосов, вентиляторов и т.д.). Сумма годовых эксплуатационных затрат (С), составит 13 722 329,60 тыс. руб.

Вариант 3. Реагент – гипохлорит натрия, производимый на месте потребления.

Гипохлорит натрия получают на месте потребления электролизом раствора поваренной соли в специальных аппаратах – электролизерах. Электролизная установка производит гипохлорит натрия с концентрацией эквивалента активного хлора в растворе 7 г/л (0,7 %) электролизом солевого раствора концентрацией 30 г/л (3 % по NaCl). Для обеспечения заявленной производительности по активному хлору (200 кг/сут) потребуется электролизная станция, состоящая из трех установок «ХЛОРЕФС» УГ-25МК-100 (две рабочих, одна резервная) производительностью 100 кг/сут по эквиваленту активного хлора каждая. В качестве реального прототипа электролизной выбрана станция на площадке КОС г. Дербент, построенная в 2018 г. ООО НПП «ЭКОФЕС».

В расчет расходов по статье «Реагенты» для получения низкоконтрированного гипохлорита натрия включены: соль поваренная пищевая, кислота соляная 14 %, вода питьевая. Приняты удельные показатели:

- расход соли 4,5 кг на 1 кг активного хлора;
- расход 14 % соляной кислоты 0,3 л/кг активного хлора (декарбонизации и промывки электролизеров);
- расход питьевой воды 200 л/кг активного хлора из которых 143 л на производство ГХН и 57 л на промывку солерастворителя и электролизеров;
- расход электрической энергии рассчитан на основании потребляемой мощности электролизной станции с учетом неравномерности потребления электроэнергии при подогреве технологической воды в теплое и холодное время года. При удельном расходе электроэнергии 4,5 кВт·ч на производство 1 кг активного хлора и 6,55 кВт·ч/кг на технологические нужды (работа насосов, вентиляторов, подогрев технологической воды и т.д.). Удельные среднегодовые затраты составляют 11,05 кВт·ч/кг.

По статье «Ремонт оборудования» учтена замена электролизеров на одной установке один раз в три года, а также замена уплотнений кранов и мембран дозирующих насосов. Статья «Техническое обслуживание» включает комплекс операций по поддержанию работоспособности и исправности производственного оборудования в процессе его эксплуатации. Правильное техническое обслуживание снижает затраты на ремонт оборудования и уменьшает время его простоя, и как следствие, приводит к увеличению ресурса электролизеров до 8 500 – 10 000 часов непрерывной работы, вместо нормативных 5000. В расчете учтена стоимость ТО электролизной с учетом приезда специалистов ООО НПП «ЭКОФЕС» на объект 1 раз в квартал.

Сумма годовых эксплуатационных затрат (С), составит 6 321 699,58 тыс. руб.

Приведенные затраты по вариантам сравнения при сроке окупаемости 5 лет ($E_n = 0,2$) составят:

$$П_i = C_i + E \cdot K_i$$

где C_i – эксплуатационные затраты по i -му варианту; E – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, равный 0,2; K_i – капиталовложения по i -му варианту. $П_1$, $П_2$, $П_3$ – приведенные затраты соответственно по технологии обеззараживания воды хлором, вариантам сравнения (ВГХН) и (ГХН), определяемые по формуле:

$$П_1 = 7281710,35 + 0,2 \cdot 18558452,30 = 10993400,81 \text{ руб/год,}$$

$$П_2 = 13722329,60 + 0,2 \cdot 60957590,00 = 25913847,60 \text{ руб/год,}$$

$$П_3 = 6321699,58 + 0,2 \cdot 68402800,00 = 20002259,58 \text{ руб/год,}$$

Указанные приведенные затраты для $П_2$ и $П_3$ обусловлены необходимостью строительства нового здания электролизной, а также помещения для хранения и дозирования ВГХН. Так как технология обеззараживания воды газообразным хлором существующая, то

экономическую эффективность определяем для вновь внедряемых технологий.

Критерием экономической эффективности внедрения технологии производства ГХН принята себестоимость 1 кг активного хлора и годового экономического эффект, отнесенный к годовому объему производства:

$$\mathcal{E} = \Pi_2 - \Pi_3$$

Годовой экономический эффект, определяемый по разности приведенных затрат по сравниваемым вариантам, при использовании ГХН (Π_3) и ВГХН (Π_2) составит:

$$\mathcal{E} = \Pi_2 - \Pi_3 = 25913847,60 - 20002259,58 = 5911588,03 \text{ руб.}$$

Далее представлены диаграммы распределения эксплуатационных расходов сравниваемых технологий обеззараживания (рис. 1–3).

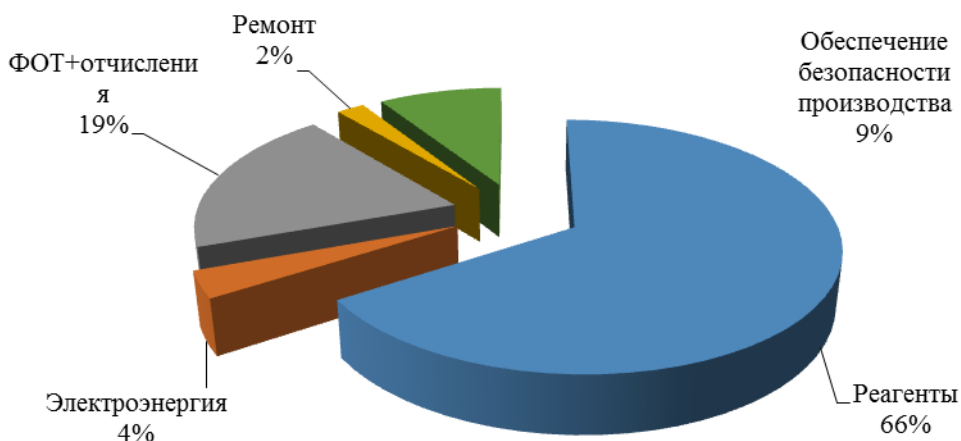


Рисунок 1. Диаграмма распределения эксплуатационных расходов при использовании газообразного хлора

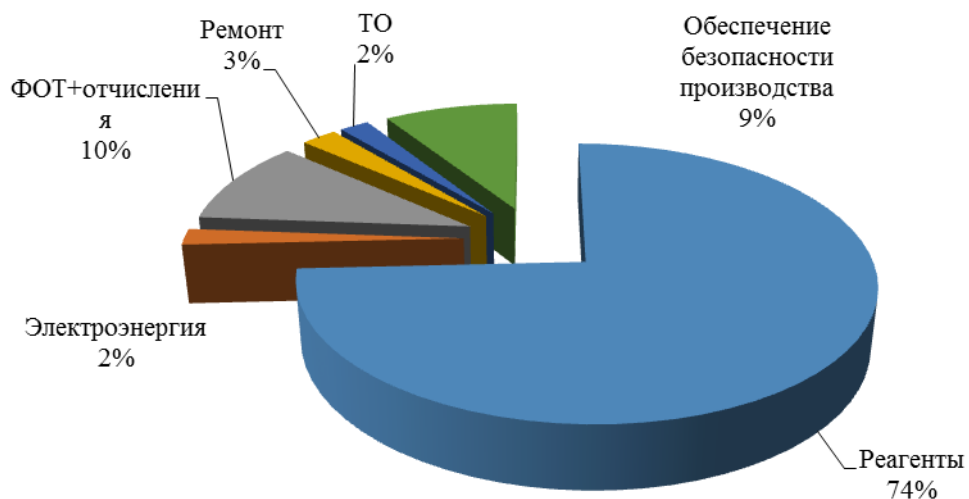


Рисунок 2. Диаграмма распределения эксплуатационных расходов при использовании газообразного хлора

Из представленных диаграмм (рис. 1–3) видно, что наиболее экономически эффективным с точки зрения эксплуатационных расходов является применение ГХН, так как при этом варианте при прочих равных условиях, затраты на приобретение реагентов и стоимость 1 кг активного хлора (табл.) минимальна.

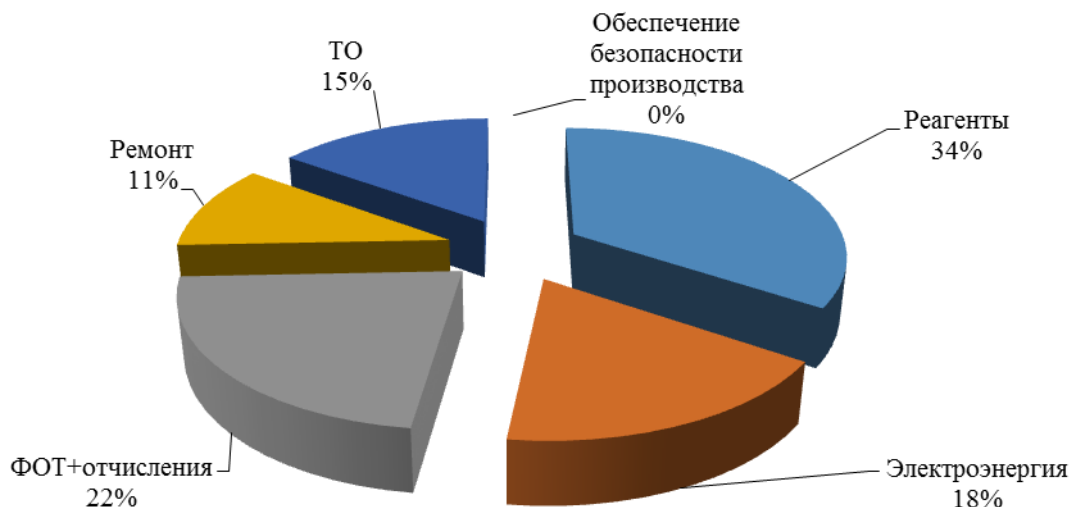


Рисунок 3. Диаграмма распределения эксплуатационных расходов при использовании ГХН

ВЫВОДЫ

Экономический анализ показал, что использование ГХН в сравнении с ВГХН, является выгодным, дает ожидаемый годовой экономический эффект в размере 5,9 млн. руб., что сокращает сроки окупаемости, подтверждает целесообразность применения данной технологии и позволяет в большей степени реализовать социально-ориентированную тарифную политику для потребителей ООО «ЛКС». Стоимость 1 кг активного хлора при использовании газообразного хлора составляет 99,75 руб/кг, ГХН – 86,60 руб/кг, ВГХН – 187,98 руб/кг.

Финансирование строительства или реконструкции объектов коммунального хозяйства можно осуществить за счет госбюджетных ассигнований, например, по программе «Чистая вода», в то время как эксплуатационные расходы ложатся только на организацию поставщика услуг. Поэтому такому предприятию важно учитывать эксплуатационные расходы, а не только величину капитальных затрат.

При выборе конкретного реагента его преимущества следует искать в безопасности доставки и хранения, технологичности применения, образовании и количестве побочных отходов при производстве продукта на месте использования, сроках и условиях сохранения его рабочих характеристик, а также цены поставок хлорсодержащего реагента или стоимости аппаратов, производящих его непосредственно на площадке водоочистных сооружений из приобретаемого сырья.

Таблица. Технико-экономическое обоснование технологии обеззараживания воды

Показатель	Ед. изм.	Технологии обеззараживания			Примечание
		Хлор (П ₁)	ГХН (П ₃)	ВГХН (П ₂)	
Эксплуатационные расходы					
Годовой расход активного хлора (365 дней), Q	т	73,00	73,00	73,00	200 кг/сут · 365 дней = 73 т
	м³	73,15	10 439,00	486,67	В 1 м³ ГХН содержится 7 кг активного хлора или 1 кг активного хлора в 0,143 м³ ГХН. Таким образом годовое производство ГХН составит 10 439 м³ В 1 м³ ВГХН концентрацией 150 г/л содержится 150 кг активного хлора или 1 кг активного хлора содержится в 0,0067 м³ ВГХН. Таким образом годовое потребление ВГХН составит 486,67 м³.
	г/л	998,00	7,00	150,00	
	%	99,80	0,70	15,00	
Концентрация активного хлора					
Годовой расход реагентов:					
жидкий хлор (ГОСТ 6718-93)	т	73,00			
технический гипохлорит (марка А, ГОСТ 11086-76)	м³			486,67	
Стоимость реагента (в ценах 2020 г.) с учетом доставки с НДС 20 %	руб/м³	65 800,00		20 933,00	
соль поваренная пищевая (ГОСТ Р 51574-2018)	т		328,50		При удельном расходе соли 4,5 кг на 1 кг активного хлора
стоимость поваренной соли	руб/т		3 950,00		
Годовые затраты на NaCl	руб		1 297 575,00		
Кислота соляная 14 % (ТУ 2122-432-03783543-2008)	т		23,38	3,60	При расходе соляной кислоты 0,3 л/кг активного хлора при производстве ГХН. При использовании ВГХН соляная кислота для промывки трубопроводов и насосов от отложений солей жесткости (2 р в месяц по 150 л).
стоимость 14 % соляной кислоты	руб/т		18 500,00	18 500,00	https://www.mkmagna.ru/catalog/solyanaya-kislota/
Годовые затраты на HCl	руб		432 497,63	66 600,00	
Вода питьевая для промывки электролизеров, солерастворителей и производство ГХН	м³		14 600,00	9,60	При расходе воды 200 л/кг активного хлора

Показатель	Ед. изм.	Технологии обеззараживания			Примечание
		Хлор (Π ₁)	ГХН (Π ₃)	ВГХН (Π ₂)	
Тариф на покупку воды для водоканала	руб/м ³	-	30,35	30,35	
Годовые затраты на воду	руб		443 110,00	291,36	
Годовой расход электроэнергии	кВт·ч	183 960,00	806 650,00	192 720,00	1. ГХН. При удельном расходе электроэнергии 4,5 кВт·ч на производство 1 кг активного хлора и 6,55 кВт·ч/кг на технологические нужды (работа насосов, вентиляторов, подогрев технологической воды и т.д.). Удельные среднегодовые затраты составляют 11,05 кВт·ч/кг.
					2. ВГХН. При удельном расходе электроэнергии 2,64 кВт·ч/кг на технологические нужды (работа насосов, вентиляторов и т.д.). По данным расчета потребляемой мощности.
					3. Хлор. При удельном расходе электроэнергии 2,52 кВт·ч/кг
Тариф на электроэнергию для ООО «ЛКС» в 2021 г.	руб/кВт·ч	1,38	1,38	1,38	
Годовые затраты на оплату электроэнергии	руб.	254 416,68	1 115 596,95	266 531,76	
Годовые затраты на реагенты	руб.	4 803 400,00	2 173 182,63	10 187 393,33	
Техническое обслуживание оборудования	руб.		951 000,00	276 000,00	951 тыс. руб/год по договору на ТО электролизной, обслуживание 1 раз в квартал. 276 тыс. руб/год по договору на ТО склада высококонцентрированного гипохлорита, обслуживание 2 раз в год.
					Замена электролизеров на одной установке один раз в три года, замена уплотнений кранов, мембран дозирующих насосов по мере износа. Стоимость замены для электролизной: 2 000 000/3 = 670 000 в год. Для ВГХН: 1 000 000/3 = 333 000 в год.
Ремонт оборудования	руб.	150 000,00	670 000,00	333 000,00	
ФОТ	руб	1 065 600,00	1 065 600,00	1 065 600,00	Аппаратчики электролизной установки (хлораторщики) – 5 ед., 3-го разряда
Отчисления от ФОТ	руб	346 320,00	346 320,00	346 320,00	30,25 %
Обеспечение безопасности производства	руб	661 973,67	0,00	1 247 484,51	10 % от эксплуатационных затрат при использовании хлора
Сумма годовых эксплуатационных затрат, С	руб	7 281 710,35	6 321 699,58	13 722 329,60	

Показатель	Ед. изм.	Технологии обеззараживания			Примечание
		Хлор (П ₁)	ГХН (П ₂)	ВГХН (П ₂)	
Капитальные затраты					
Общая сметная стоимость строительства нового здания / реконструкции существующей хлораторной	руб	9 063 592,30	29 748 800,00	29 748 800,00	Примечание: 1. Для хлораторной приведены затраты на капитальный ремонт. Объект аналог – хлораторная на ОСК 2 г. Краснодара. Работы выполнены в 2016 – 2017 гг. 2. Для электролизной станции и узла хранения и дозирования ВГХН приняты затраты на СМР по объекту аналогу ВОС г. Симферополь. Работы выполнены в 2019 – 2020 гг. ГХН – сметная стоимость оборудования для электролизной станции КОС г. Дербент. ВГХН – сметная стоимость склада ВГХН для объекта Реконструкция нежилого здания – склада хлора под склад хранения гипохлорита натрия на Южной водопроводной станции № 2 в г. Калининграде». Хлор – объект аналог Техническое перевооружение склада хлора в здании хлораторной со складом хлора на ВНС-2 в г. Заозерск Мурманской области [7].
	руб	9 494 860,00	38 654 000,00	31 208 790,00	
Сумма капитальных затрат, К	руб	18 558 452,3	68 402 800,00	60 957 590,00	
Итого затрат	руб	25 840 162,65	74 724 499,58	74 679 919,60	
Удельные показатели и экономический эффект					
Себестоимость 1 кг активного хлора для обеззараживания воды (с учетом капитальных затрат)	руб/кг	353,97	1 023,62	1 023,01	
Эксплуатационные затраты на себестоимость 1 кг активного хлора для обеззараживания воды (без учета капитальных затрат), С/Q	руб/кг	99,75	86,60	187,98	
Приведенные затраты (П _П = С + Е _н · К)	руб/год	10 993 400,81	20 002 259,58	25 913 847,60	Е – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, равный 0,2
Годовой экономический эффект (Э = П ₂ – П ₃)	руб		5 911 588,03		
Примечание: стоимость приведена с учетом НДС 20 %					

ЛИТЕРАТУРА

1. Иткин, Г.Е. Сравнительная технологическая и технико-экономическая оценка хлорсодержащих средств обеззараживания воды / Г.Е. Иткин // Водочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2015. № 10(94). С. 54–62.
2. Петросян, В.С. Обеспечение химической безопасности водопользования / В.С. Петросян, Е.А. Шувалова // Экология и промышленность России. 2016. Т. 20. № 4. С. 40–45. – DOI 10.18412/1816-0395-2016-4-40-45.
3. Низко- и высококонцентрированный гипохлорит натрия: преимущества и недостатки применения в схемах обеззараживания питьевых вод / А.Ю. Скрябин, Л.Н. Фесенко, С.И. Игнатенко, И. В. Пчельников // Водочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2014. № 2(74). С. 48–52.
4. Типовой проект хлораторной ТП 901-7-17.90
5. Федеральный закон от 21.07.1997 N 116-ФЗ (ред. от 11.06.2021) «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».
6. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности. Правила безопасности при производстве, хранении, транспортировании и применении хлора. Утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 3 декабря 2020 г. N 486.
7. Выполнение работ по техническому перевооружению склада хлора в здании хлораторной со складом хлора на ВНС-2 в г. Заозерск Мурманской области в соответствии с разработанной документацией для ТП «Водоканал» АО «ГУ ЖКХ». Извещение о закупке № 32009415160 на сайте <https://zakupki.gov.ru/223/purchase/public/purchase/info/common-info.html?regNumber=32009415160>.

УДК 628.147.29(571.63)

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ КОММУНАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РОССИИ БЕСТРАНШЕЙНЫМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ

Л.Д. Терехов, А.В. Федорчук

Петербургский государственный университет путей сообщения
императора Александра I, г. Санкт-Петербург, Россия

В статье приведены сведения о видах и протяженности коммунальных трубопроводов населенных пунктов Дальневосточного федерального округа (ДФО), приведен анализ их состояния. Выявлены наиболее изношенные трубопроводы определенных диаметров. Предложена программа по их реновации.

В последние годы Дальнему Востоку России руководством страны уделяется большое внимание, создаются территории опережающего развития. Площадь округа составляет около 41 % территории России.

На Дальнем Востоке находятся крупнейшие запасы минеральных ресурсов, по объёму запасов которых регион занимает ведущее место в России. Дальневосточные запасы сурьмы, бора, олова составляют около 95 % всех запасов этих ресурсов России, плавикового шпата и ртути – до 60 %, вольфрама – 24 % и около 10 % общероссийских запасов железной руды, свинца, самородной серы, апатита.

В состав Дальневосточного Федерального округа включены девять субъектов Российской Федерации, на рисунке 1 представлена карта ДФО с обозначением субъектов Российской Федерации.

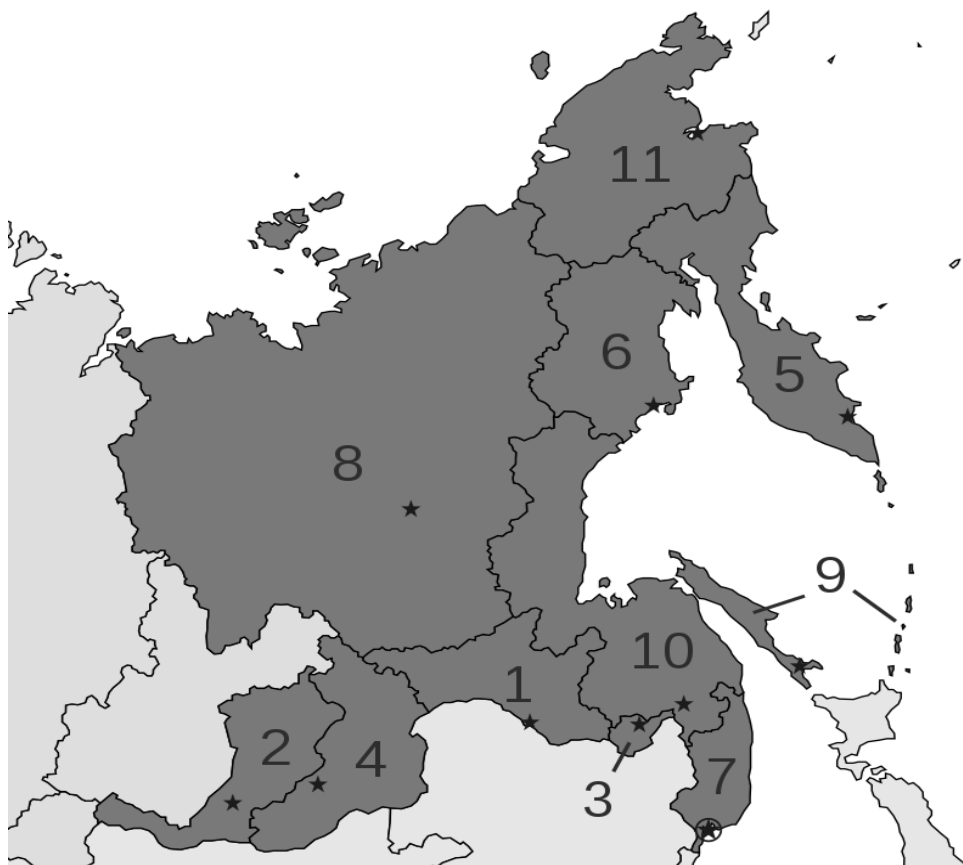


Рисунок 1. Территории Дальневосточного федерального округа:

- 1 – Амурская область, 2 – Республика Бурятия, 3 – Еврейская автономная область,
4 – Забайкальский край, 5 – Камчатский край, 6 – Магаданская область,
7 – Приморский край, 8 – Республика Саха (Якутия), 9 – Сахалинская область,
10 – Хабаровский край, 11 – Чукотский автономный округ

Официально история строительства коммунально-бытовых трубопроводов на Дальнем Востоке начинается с первого пуска воды Хабаровского водопровода, который состоялся 28 июля (15 июля по старому стилю) 1907 года. Строительство было обусловлено идеей предотвращения инфекционных заболеваний и борьбы с ценовым диктатом водовозов-монополистов.

Ситуация со стремительно стареющими коммунально-бытовыми трубопроводами в округе весьма сложная. В результате эксплуатации систем, износ которых в некоторых городах Дальневосточного федерального округа (далее ДФО) превышает 80 %, помимо постоянных утечек, происходит вторичное загрязнение воды.

По результатам исследований в шести территориях ДФО по санитарно-химическим и по микробиологическим показателям удельный вес неудовлетворительных проб воды превышает средний для Российской Федерации уровень.

Как показывает практика, в зависимости от численности населения диаметры водопроводов в населенных пунктах сильно отличаются. Для проведения анализа состояния, вида и диаметра трубопроводов ДФО, предлагается разделить населенные пункты на четыре группы:

1. крупные пункты, с численностью более 200 тыс. чел.;
2. средние пункты с численностью 50 – 200 тыс. чел.;
3. небольшие населенные пункты, с численностью 10 – 50 тыс. чел.;
4. малые населённые пункты, численность которых не превышает 10 тыс. человек.

В работе были собраны статистические данные по предприятиям ВКХ Дальнего Востока России за исключением Забайкальского края и Республики Бурятия. Населенные пункты ДФО с численностью более двухсот тысяч человек представлены на рисунке 2. Данные о протяженности трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения в крупных населенных пунктах ДФО с численностью более двухсот тысяч человек представлены в таблице 1.



Рисунок 2. Населенные пункты Дальнего Востока с численностью населения более двухсот тысяч человек

Таблица 1. Протяженность трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения в крупных населенных пунктах ДФО

Населенный пункт	Численность населения, тыс. чел.	Общая протяженность сетей, км	Протяженность сетей водопровода, м	Протяженность сетей канализации, км
Владивосток	592	776,5	499,1	277,4
Хабаровск	580,7	754,04	453,84	300,2
Комсомольск-на-Амуре	269,8	265,5	157,8	107,7
Якутск	269,5	197,6	108,4	89,2
Благовещенск	219,8	202,3	151,5	50,8
Южно-Сахалинск	219,8	268,8	186,8	82
Петропавловск-Камчатский	195,1	322,4	245,5	76,9

Населенные пункты ДФО с численностью от пятидесяти до двухсот тысяч человек представлены на рисунке 3. Данные о протяженности трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения в средних населенных пунктах ДФО представлены в таблице 2.



Рисунок 3. Населенные пункты Дальнего Востока России с численностью от пятидесяти до двухсот тысяч человек

Таблица 2. Протяженность трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения в средних населенных пунктах ДФО

Населенный пункт	Численность населения, тыс. чел.	Общая протяженность сетей, км	Протяженность сетей водопровода, км	Протяженность сетей канализации, км
Находка	165,7	247,2	150,8	96,4
Уссурийск	152,9	420,2	333,3	86,9
Артём	101,8	244,3	179	65,3
Биробиджан	75,4	45,8	39,9	11,9
Магадан	75,4	99,8	48,2	51,6
Белогорск	67,9	108,5	63,4	45,1
Нерюнгри	61,7	40,1	19,6	20,5
Свободный	59,3	127	76,6	50,4
Арсеньев	56,8	59,5	48,4	11,1

Населенные пункты ДФО с численностью от десяти до пятидесяти тысяч человек представлены на рисунке 4.

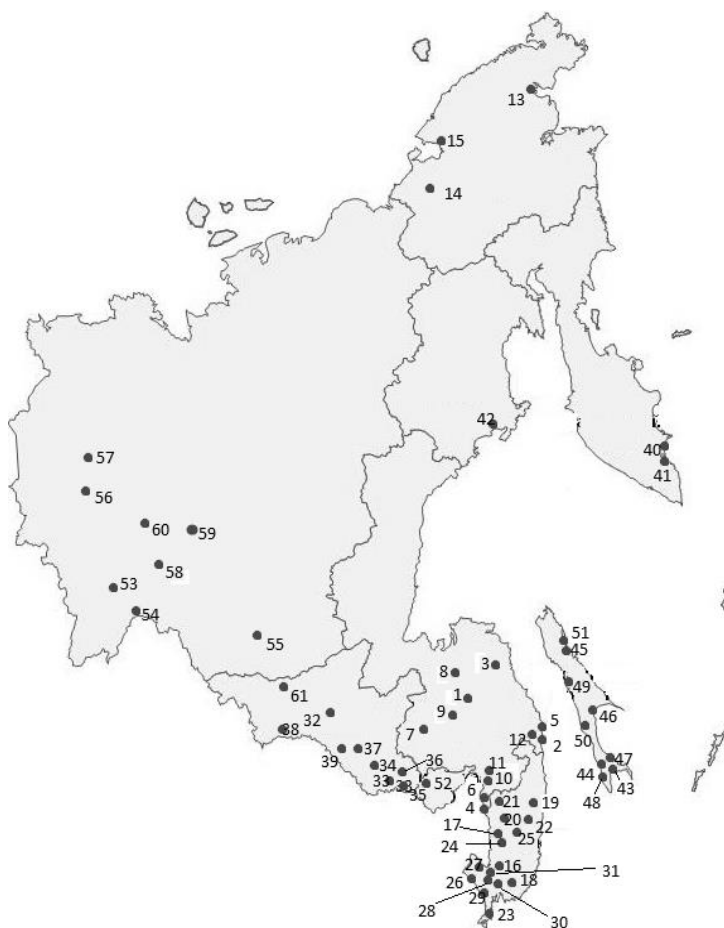


Рисунок 4. Населенные пункты Дальнего Востока России с численностью от десяти до пятидесяти тысяч человек

Таблица 3. Протяженность трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения в небольших населенных пунктах ДФО

№ п/п	Населенный пункт	Численность населения, тыс. чел.	Общая протяженность сетей, км	Протяженность сетей водопровода, км	Протяженность сетей канализации, км
1	2	3	4	5	6
1	Амурск	45,3	29,9	14,5	15,4
2	Советская Гавань	28,4	115,1	79,2	35,8
3	Николаевск-на-Амуре	24,5	23,3	14,6	8,7
4	Бикин	18,8	34,6	21,6	13,0
5	Ванино	18,3	45,8	31,2	14,6
6	Вяземский	15,3	61,3	35,5	25,8
7	Чегдомын	14,2	31,2	20,4	10,8
8	Солнечный	14	4,9	2,4	2,5
9	Эльбан	12,4	32,9	22,0	10,9
10	Хор	11,2	12,5	9,4	3,1
11	Переяславка	10,1	57,3	57,3	X
12	Заветы Ильича	10	16,16	16,2	X
13	Анадырь	11,8	39,9	23,6	16,3
14	Билибино	5,3	27,5	19,2	8,3
15	Певек	4,4	66,1	35,8	30,3
16	Спасск-Дальний	45,3	83,2	49,4	33,8
17	Лесозаводск	41,0	64,7	37,5	27,2
18	Партизанск	40,5	196,8	151,4	45,4
19	Дальнегорск	27,7	107,4	56,5	50,9
20	Дальнереченск	27,7	32,7	25	7,7
21	Лучегорск	21,8	30,6	5,9	24,7
22	Кавалерово	16,9	63,7	40,8	22,9
23	Славянка	14,3	54,5	38,9	15,6
24	Черниговка	14,3	41	21,6	19,4
25	Чугуевка	13,7	22,1	10,1	12
26	Пограничный	11,8	23,1	16,2	6,9
27	Камень-рыболов	11,7	27,5	15,3	12,2
28	Хороль	11,5	134,4	101,3	33,1
29	Покровка	10,9	56,9	38,6	18,3
30	Михайловка	10,3	29,7	19,5	10,2
31	Новошахтинский	10	57,5	47,1	10,4
32	Зея	26,8	42,6	19,6	23,0
34	Екатеринославка	10,1	13,5	7	6,5
35	Прогресс	12,9	26,2	13,3	12,9
36	Завитинск	12,5	25,7	16,8	8,9
37	Серышево	11,5	15,4	10,4	5
38	Магдагачи	10,6	22	10,8	11,2
39	Шимановск	21,9	36,1	22,9	13,2
40	Елизово	39,8	116,2	76,6	39,6
41	Вилючинск	24,6	53,9	34,6	19,3

Продолжение табл. 3

1	2	3	4	5	6
42	Ола	6,3	35	14,6	20,4
43	Корсаков	35,5	120,6	115	5,6
44	Холмск	31	119	85	34
45	Оха	23	117,9	87,1	30,8
46	Поронайск	16,5	72,5	57,1	15,4
47	Долинск	12,2	122,9	97,7	25,2
48	Невельск	11,7	49,8	43,1	6,7
49	Александров-Сахалинский	10,6	59,7	39,4	20,3
50	Углегорск	10,4	134	82,1	51,9
51	Ноглики	22,6	17,4	16,8	0,6
52	Облучье	10,4	65,1	41,1	24,0
53	Мирный	37,2	92,3	55,5	36,8
54	Ленск	25,0	117,2	106,5	10,7
55	Алдан	21,3	195,1	84,8	110,3
56	Айхал	13,7	68,1	33	35,1
57	Удачный	12,6	42,8	32,5	10,2
58	Сунтар	10,3	10,3	1,4	X
59	Вилуйск	10,2	10,2	1,7	X
60	Нюрба	10,2	10,2	5,2	X
61	Тында	35,5	109,4	82,3	27,1

В крупных ДФО городах проживает 36 % населения, на 1-го человека приходится 1,2 м коммунально-бытовых трубопроводов (табл. 1). В средних населенных пунктах ДФО проживает 13 % населения, на 1-го человека приходится 1,7 м трубопроводов (табл. 2). В небольших населенных пунктах проживает 17 % населения, на 1-го человека приходится 3,1 м коммунально-бытовых сетей (табл. 3). Более трети населения Дальнего Востока России проживает в мелких населенных пунктах со слаборазвитой системой коммунально-бытовых трубопроводов.

В большинстве мелких населенных пунктов централизованное водоснабжение и канализация отсутствуют, поэтому в данной статье они не рассматриваются.

Для наглядности на диаграмме (рис. 5) приведена систематизированная информация о протяженности и диаметрах коммунальных трубопроводов в населенных пунктах ДФО различной численности, каждый сектор соответствует условному диаметру и протяженности в процентах. Наиболее востребованные способы восстановления и замены изношенных трубопроводов можно разделить на следующие: традиционный с экскавацией грунта и последующей укладкой новых труб; комбинированный с применением различных бестраншейных технологий и способ горизонтального направленного бурения (ГНБ).

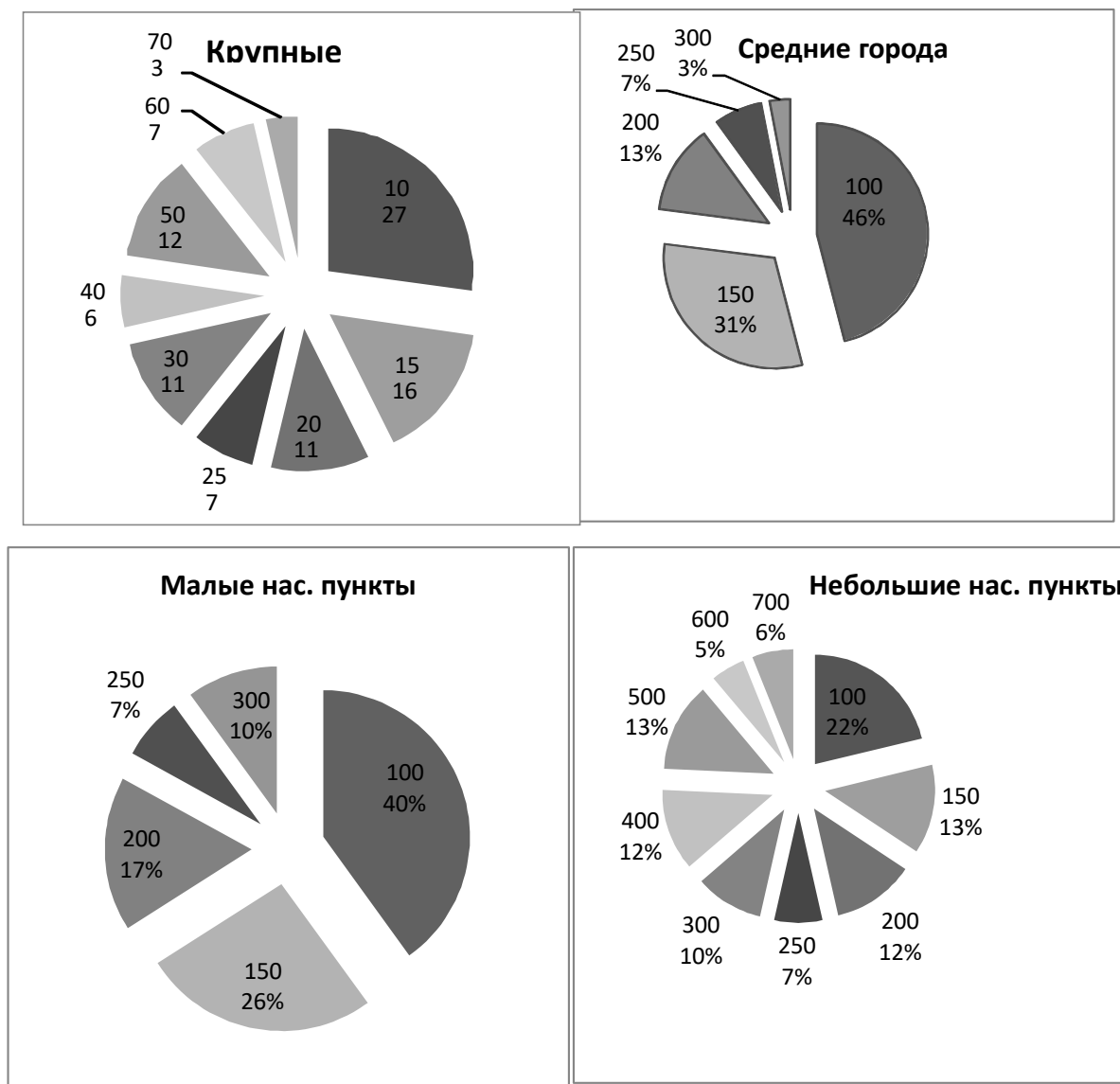


Рисунок 5. Протяженность изношенных трубопроводов ДФО в населенных пунктах с разной численностью населения

Наиболее востребованные способы восстановления и замены изношенных трубопроводов можно разделить на следующие: традиционный – с экскавацией грунта и последующей укладкой новых труб; комбинированный – с применением различных бестраншейных технологий и способ горизонтального направленного бурения (ГНБ).

Сравнительная оценка стоимости работ по восстановлению всех трубопроводов ДФО каждым из этих методов приведена на рисунке 6.

Из диаграммы следует, что наиболее экономичный способ – комбинированный и ГНБ.

Рассчитаем необходимое количество и виды оборудования для бестраншейного ремонта, при условии восстановления трубопроводов в течение 10 лет. Оборудование для бестраншейного ремонта

классифицируется в соответствии с тяговым усилием. Классификация оборудования представлена в таблице 4. Подбор осуществляется в зависимости от диаметра трубопровода и протяженности участка.

Условный диаметр, мм

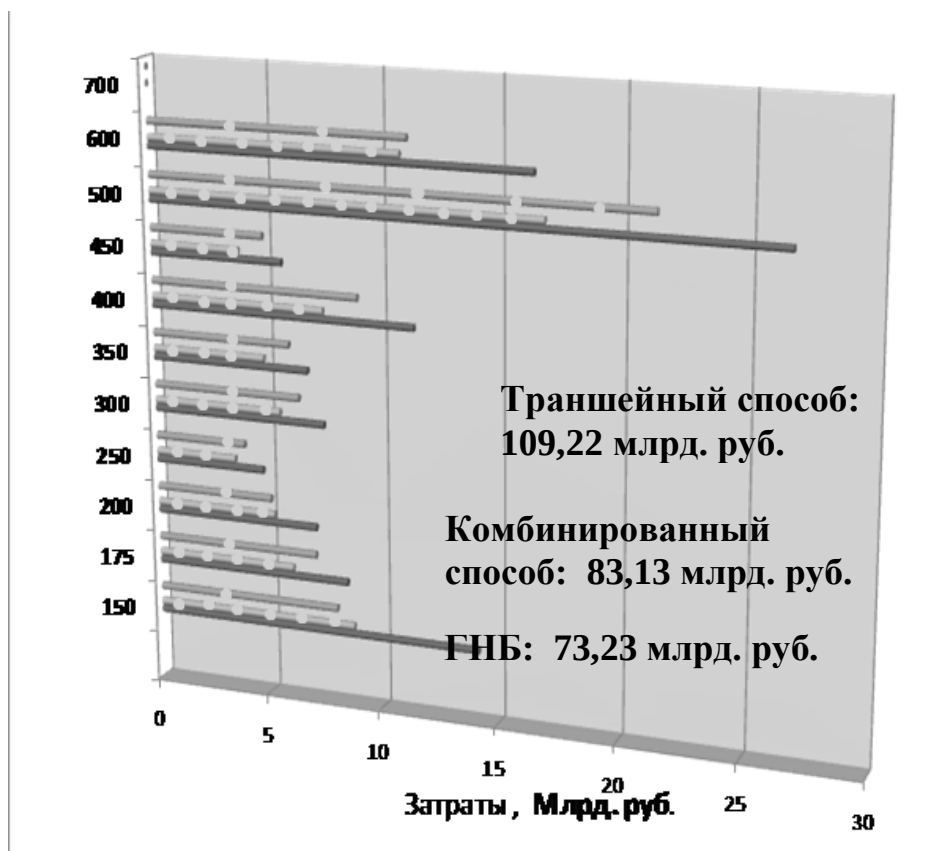


Рисунок 6. Сравнительная диаграмма затрат, необходимых на реновацию наружных трубопроводов холодного водоснабжения Дальнего Востока России, различными способами:

----- — комбинированный способ; --- --- — способ горизонтального направленного бурения; ----- — способ экскавации грунта

Сопоставив данные протяженности изношенных трубопроводов ДФО и технические характеристики различных бестраншейных установок, мы определили потребность необходимого оборудования по формуле:

$$V = L / A / 6 / 10$$

где L — протяженность изношенных трубопроводов оптимального диаметра для машин соответствующего класса, при протяжке на расстояние 100 м, определяем по диаграмме для каждого типа населенных пунктов соответственно; A — производительность оборудования бестраншейного ремонта (км в месяц); 6 — количество месяцев в году, в течение которых возможно производство работ (в среднем по ДФО); 10 — расчетное количество лет.

Таблица 4. Классификация оборудования для бестраншейного ремонта труб по тяговым усилиям и основным техническим характеристикам

Технология	Класс установки для протяжки труб	Тяговое усилие, тс/кН	Диаметр прокладываемого трубопровода, мм	Длина прокладываемой коммуникации, м
Труба в трубу	Компакт	до 2 / 29,42	32÷260	до 120
	Мини	2–4 / 29,42 – 58,86	32÷315	до 300
	Миди	4–9 / 58,86 – 117,72	200÷500	до 400
	Макси	10–20 / 147,15 – 294,3	300÷700	до 500
ГНБ	Компакт	до 6 / 58,84	32÷260	до 120
	Мини	6–12 / 58,84 – 117,72	32÷315	до 300
	Миди-1	12–25 / 117,72 – 245,25	32÷500	до 800
	Миди-2	25–45 / 245,5 – 441,45	32÷800	до 1500
	Макси-1	45–150 / 441,45 – 1471,5	32÷1400	до 2500
	Макси-2	150 / 1471,5	1400÷2000	до 2500
Разрушающий способ	Мини	до 6 / 400	75÷280	до 120
	Миди-1	6–12 / 800	100÷300	до 300
	Миди-2	12–25 / 1250	200÷600	до 800
	Макси-1	25–45 / 1900	250÷710	до 1500
	Макси-2	45–150 / 2500	400÷1000	до 2500

Проведенный анализ показал, что для проведения реновации наружных трубопроводов системы холодного водоснабжения ДФО за период 10 лет необходимо приобрести следующее оборудование:

1) Установки для протяжки способом «труба в трубу» класса Компакт – 7 шт., Мини – 10 шт., миди – 21 шт., макси – 7 шт.;

2) Установки ГНБ класса Компакт – 20 шт., Мини – 79 шт., Миди1 – 25 шт., Миди2 – 22 шт.

3) Установки статического разрушения класса Компакт – 14 шт., Мини – 53 шт., Миди1 – 20 шт., Миди2 – 15 шт.

Дальний Восток России характеризуется большой протяженностью сетей водопровода и канализации, отработавших свой ресурс. Общая протяженность трубопроводов, требующих незамедлительной реновации, составляет приблизительно 6,4 тыс. км труб различных диаметров. Наибольшую протяженность имеют изношенные сети диаметром D 100, 150, 200, 250, 300 мм. В этом случае следует применять следующие способы восстановления трубопроводов: «труба в трубу», «релейнинг с разрушением трубопровода», «горизонтальное направленное бурение». Это оборудование довольно дорогостоящее, и не все водоканалы способны его приобрести. Поэтому, предлагается создание специализированной организации. Организация должна заниматься бестраншейным восстановлением труб, обслуживая весь ДФО. Предприятие, в

ЛИТЕРАТУРА

1. Терехов Л.Д., Федорчук А.В. Оценка эффективности бестраншейных методов реновации коммунально-бытовых трубопроводов. Научно-технические и экономические проблемы промышленности, транспорта и образования: труды Всероссийской молодежной научно-практической конференции, 21–23 апреля 2010 г. В 6 т.; под ред. О.Л. Рудых. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2010. – Т.2. С 240–244.
2. Терехов Л.Д., Федорчук А.В. Применение бестраншейных технологий для восстановления трубопроводов на Дальнем Востоке. Новые достижения в областях водоснабжения, водоотведения гидравлики охраны водных ресурсов: материалы Межд. науч.-практ. конф.; г. Санкт-Петербург, 23 апреля 2013 г. / ПГУПС – СПб.: «Издательство ОМ-Пресс» 2013. С.25–30.

УДК 621.9.09

РАСЧЁТ ОСНОВНЫХ УЗЛОВ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ УСТАНОВКИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

Аль-Амри Заед Садик Абрахим

г. Багдад, Исламская республика Ирак

Воронежский государственный технический университет, Воронеж. Россия

В.И. Щербаков

Воронежский государственный технический университет, Воронеж. Россия

В статье на основе проведенных исследований разработаны рекомендации по проектированию технологической части установки приготовления питьевой воды из опресненной дистилляцией морской воды производительностью 12 000 м³ в сутки. Приведены расчеты всех узлов и вспомогательных устройств установки приготовления питьевой воды. Разработана принципиальная технологическая схема кондиционирования дистиллята для питьевого водоснабжения.

Расчет установки приготовления питьевой воды (УППВ) производится по узлам и вспомогательным устройствам, следуя по соответствующим элементам технологической схемы приготовления питьевой опресненной воды [1–2].

Производительность УППВ и карбонизация дистиллята. Расчетная производительность термического опреснителя нового поколения горизонтально-трубного плёночного аппарата – ГТПА составляет $Q_d = 500 \text{ м}^3/\text{ч}$ или 12 000 м³ в сутки. Полезная производительность УППВ (технологическая схема представлена на рис.) с учетом расхода дистиллята на собственные нужды установки (2 %) равна $Q_{п.в.} = 0,98 \cdot 500 = 490 \text{ м}^3/\text{ч}$ или 11 760 м³/сут. Необходимо обеспечить содержание кальция в питьевой воде на уровне 1,5 г-экв/м³. Согласно кинетике фильтрационного процесса обогащения при времени контакта 8–9 мин концентрацию диоксида

углерода (ДУ) в дистилляте общего потока следует принять не менее 2 г-экв/м³, считая по эквивалентному соотношению. Следовательно, расчетная концентрация ДУ $C_{\text{ду}} = 2 \cdot 22 = 44 \text{ г/м}^3$.

$$\text{Общий расход ДУ} - P_{\text{ДУ}} = \frac{490 \times 44}{1000} = 21,6 \text{ кг/ч.}$$

При $T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ предельная растворимость ДУ в воде $C_{\text{ду}} = 0,173 \text{ \%}$.

Фильтры обогащения (ФО) воды. Расчетный расход карбонизированного дистиллята $Q = 490 \text{ м}^3/\text{ч}$. Концентрация ДУ в дистилляте $C_{\text{ду}} = 44 \text{ г/м}^3$.

Концентрация кальция в обогащенном дистилляте $C_{\text{к}} = 30 \text{ г/м}^3$ или 1,5 г-экв/м³. Удельный расход связанного ДУ $C_{\text{сду}} = 1,5 \cdot 22 = 33 \text{ г/м}^3$, т.е. 75 % от дозировочного расхода реагента.

При режиме обогащения с избытком ДУ, расчетное время контакта его с карбонатной загрузкой $\tau = 8 \text{ мин}$. Принимаем в качестве загрузки ФО природный известняк (ракушечник) из местных прибрежных карьеров, разрешенных санитарными органами для использования в технологии обработки воды на УППВ.

Фракционный состав загрузки крупностью в пределах 0,8 – 2,4 мм. Высота фильтрующего слоя загрузки $h_c = 3,0 \text{ м}$ с расчетом использования напорных фильтров.

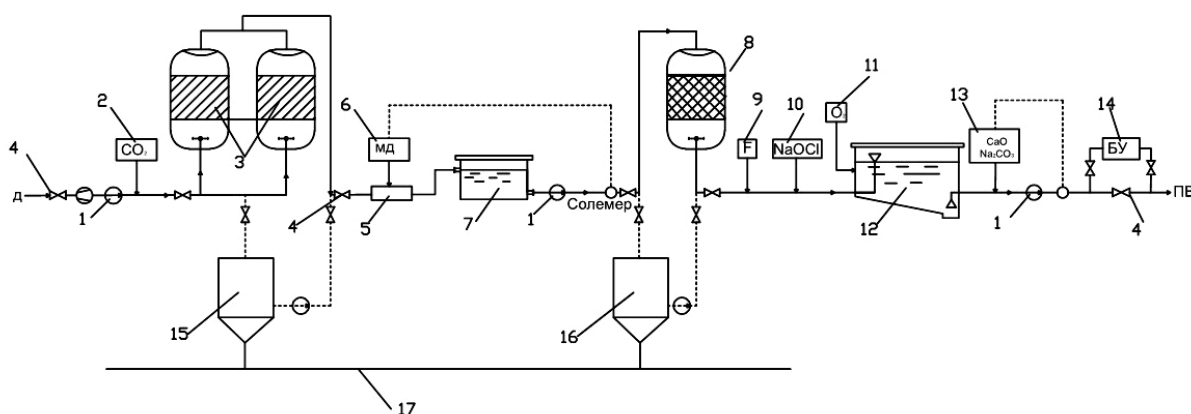


Рисунок. Принципиальная технологическая схема кондиционирования дистиллята для питьевого водоснабжения:

- 1 – электронасос; 2 – узел абсорбции и дозирования в дистиллят диоксида углерода;
 3 – фильтры обогащения $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ с загрузкой ракушечника; 4 – задвижка;
 5 – смеситель; 6 – узел дозирования солевой добавки; 7 – промежуточная емкость;
 8 – фильтр с загрузкой активированного угля; 9 – узел фторирования воды;
 10 – узел обеззараживания; 11 – узел аэрации; 12 – резервуар питьевой воды;
 13 – узел стабилизации питьевой воды; 14 – бактерицидная установка; 15 – рабочая секция промывного бака; 16 – циркуляционный бак; 17 – опорожнение;
 Д – дистиллят; ПВ – питьевая вода

Расчетная скорость фильтрования воды $v = \frac{3,0 \cdot 60}{8} = 22,5$ м/ч..

Целесообразно использовать в первую очередь крупную фракцию загрузки с условным диаметром зерен более 1.5 мм. Для этого фильтрование воды в ФО осуществляем снизу вверх, т.е. при подаче дистиллята через дренажную систему, выполненную в коррозионностойком исполнении.

Необходимая площадь фильтрования воды $F = \frac{490}{225} = 2,18$ м².

Принимаем фильтры $D = 3,0$ и $f = 7,1$ м².

Количество ФО $N = \frac{2,18}{7,1} + 1 = 1,31$.

Принимаем четыре напорных ФО $D = 3,0$ м, в том числе один резервный. Продолжительность фильтроцикла не менее 24 часов.

Режим промывки ФО: обратным током исходного охлажденного дистиллята с интенсивностью 15 л/(м²·с) в течение 5 мин. Производительность промывного электронасоса $Q_n = 7,1 \cdot 15 = 106,5$ л/с или 383,4 м³/ч.

Принимаем промывной электронасос производительностью $Q_n = 400$ м³/ч и манометрическим напором $H_m = 25$ м.в.с., который уточняется при проектировании установки. Устанавливаем два электронасоса, в том числе 1 резервный. Предусматриваем повторное использование промывных вод после их отстаивания с добавкой свежего дистиллята в количестве 10 %. Промывной бак – двухсекционный.

Полезная вместимость каждой секции $V_c = \frac{383,4 \cdot 5}{60} = 31,95$ м³.

Принимаем секцию емкостью $V_c = 35$ м³. Каждая секция оборудуется поплавковой системой с гибким соединительным шлангом для забора отстоянной воды в поверхностном слое ее в секции. При $v = 2,5$ м/с

диаметр внутреннего сечения шланга $d = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{0,1065}{2,5}} = 0,233$ м.

Принимаем шланг с условным проходом $d_y = 240$ мм с внутренней гладкой поверхностью его стенки. Для удаления осадка наклон днища следует принять не менее 30°, а форму секции в плане – прямоугольной для более удобной компоновки промывного бака. В этом случае удаление осадка должно быть осуществлено трубчатым сборником с отверстиями, расположенными по двум образующим вразбежку под углом 45° в сторону днища. Для более равномерного удаления осадка по длине сборника следует среднюю скорость струй принять не менее 5 м/с, что позволит осуществить режим удаления осадка по принципу большого сопротивления. При полезной высоте секции $h_c = 4,5$ м площадь ее

$f_c = 7,8 \text{ м}^2$, а промывного бака $f_6 = 15,6 \text{ м}^2$. При обогащении опресненной воды кальцием до $1,5 \text{ г-экв/м}^3$ или 30 г/м^3 , удельный расход карбоната кальция составит $P_{KI} = 1,5 \cdot 50 = 75 \text{ г/м}^3$.

При $v = 22,5 \text{ м/ч}$ и $\tau_{ф-ц} = 23,5 \text{ ч}$ расход карбоната кальция за фильтроцикл составит:

$$P_{KI} = \frac{75 \text{ г/м}^3 \cdot 22,5 \text{ м/ч} \cdot 23,5 \text{ ч}}{1000} = 39,66 \text{ кг/(м}^2 \text{ фц)},$$

а в течение месяца

$$P_{K3} = \frac{39,66 \cdot 30}{1000} = 1,2 \text{ т/м}^2.$$

При $\gamma = 1,5 \text{ т/м}^3$ высота слоя сработки карбоната кальция:

$$\Delta h_C = \frac{1,2}{1,5} = 0,8 \text{ м/м-ц.}$$

С учетом примесей и потерь мелких зерен при промывке (10 %)

$$\Delta h_C = \frac{1,1 \cdot 1,2}{1,5} = 0,88 \text{ м/м-ц.}$$

Догрузку ФО производим 2 раза в месяц на величину $\Delta h_{CI} = 0,45 \text{ м}$. Высота фильтрующего слоя загрузки $h_C = 3,0 \pm 0,23 \text{ м}$, т.е. после догрузки $h_{CH} = 3,23 \text{ м}$, а после сработки слоя сорбента $h_{CK} = 3,0 - 0,23 = 2,77 \text{ м}$.

Сорбционные фильтры. Сорбционные фильтры, возможно, принять либо в виде напорных насыпных с гранулированным активным углем или намывных напорных с высокодисперсным активным углем.

Максимальный диаметр стандартного насыпного сорбционного фильтра $D = 3,4 \text{ м}$ с единичной полезной площадью фильтрования $f_I = 9,1 \text{ м}^2$. Расчетную скорость фильтрования воды, в среднем, принимают равной $v = 15 \text{ м/ч}$. Производительность одного фильтра $q = 9,1 \cdot 15 = 136,5 \text{ м}^3/\text{ч}$.

При общем расходе воды $Q = 490 \text{ м}^3/\text{ч}$ количество фильтров первого типа $N_\phi = \frac{490}{136,5} + 1 = 4,6$.

В этом случае придется принимать не менее 5 фильтров, в том числе один резервный. Такое количество фильтров усложняет узел сорбционной очистки воды. Кроме большой металлоемкости этот вариант нерационален по одновременному расходу гранулированного активного угля. При времени контакта в режиме фильтрования $\tau = 8 \text{ мин}$ расчетная высота

фильтрующего слоя сорбента (АГ-3) $h_c = \frac{8 \cdot 12}{60} = 2,0 \text{ м}$.

Единовременный расход сорбента для загрузки насыпных СФ $v = 9,1 \cdot 2,0 \cdot 5 = 91 \text{ м}^3$. В качестве сорбента для очистки опресненной воды от органических соединений на УППВ применяют активный уголь марки АГ-3. В настоящее время имеется достаточно широкий диапазон выбора

сорбентов различных марок и производств.

При удельном объемном весе гранулированного АГ-3 $\gamma = 0,45 \text{ т/м}^3$ общий расход сорбента на начальную загрузку СФ $P_o = 91 \cdot 0,45 = 41 \text{ т}$.

Ежегодная догрузка СФ для восполнения потерь АГ-3 на истирание и унос мелких частиц сорбента составляет 5 % или $0,05 \cdot 41 = 2,05 \text{ т}$. Таким образом, первоначальный расход сорбента для загрузки СФ и ежегодный расход его на восполнение потерь весьма значительный [3].

Намывные сорбционные фильтры обладают большой единичной производительностью, благодаря наличию в них развитой системы фильтрующих элементов. НСФ-80 диаметром 2,65 м имеет 440 фильтрующих элементов с единичной фильтрующей поверхностью $0,182 \text{ м}^2$ каждый. Общая фильтрующая поверхность в таком аппарате составляет 80 м^2 , т.е. в 15 раз больше площади внутреннего сечения самого аппарата. НСФ работает в режиме убывающей скорости фильтрования воды в пределах от 14 до 6 м/ч. Средняя приведенная скорость фильтрования воды принимается равной $v = 10 \text{ м/ч}$. Таким образом, производительность НСФ-80 равна $Q = 800 \text{ м}^3/\text{ч}$. Если принять в расчет НСФ-80, то в данном случае количество их потребуется:

$$N_{\phi} = \frac{490}{800} + 1 = 1,61 \approx 2, \text{ в том числе, 1 резервный.}$$

Более обоснованным следует принять НСФ-45 меньшей производительности, чтобы вспомогательный узел намыва сорбента и его удаления был компактным и менее громоздким. Принимаем НСФ-45 диаметром 2,0 м с количеством фильтрующих элементов 250 и общей поверхностью фильтрования воды $F = 45 \text{ м}^2$. Расчетная производительность НСФ-45 равна $Q = 450 \text{ м}^3/\text{ч}$, т.е. примерно в 2 раза меньше, а расчетное количество НСФ будет $N_{\phi} = \frac{490}{450} + 1 = 2,08$.

Принимаем 2 НСФ-45, в том числе 1 резервный.

Фракционный состав дисперсного активного угля марки АГ-3 следующий: $d_3 = 40 - 80 \text{ мкм}$; $d_{80} = 73,0 \text{ мкм}$; $d_{10} = 50,0 \text{ мкм}$; коэффициент неоднородности $K = 1,46$; $d_{эжв} \approx 60,0 \text{ мкм}$. Расчетная продолжительность фильтроцикла НСФ-45 может быть принята $T_{\phi\text{ц}} = 300 \text{ ч}$. Количество фильтроциклов в течение года $N_{\phi\text{ц}} = 1 \cdot 365 \cdot 24/300 \sim 29$.

Годовой расход сорбента (АГ-3) при одноразовом использовании в НСФ $P_c = \frac{29 \cdot 45}{1000} = 1,31 \text{ т}$, что меньше годовых эксплуатационных потерь сорбента в намывных СФ в 3,1 раза, не считая единовременного расхода его при загрузке фильтров.

Режим намыва пульпы циркуляционный в условиях фильтрования:

- средняя скорость фильтрования пульпы $v = 10 \text{ м/ч}$;
- продолжительность намыва пульпы $\tau = 10 \text{ мин}$;

- концентрация сорбента в сатураторе 2 % или 20 кг/м^3 ;
- то же в циркуляционном потоке 0,06 % или $0,6 \text{ кг/м}^3$;
- полезная емкость сатуратора $V_C = \frac{45_{\text{кг}}}{20_{\text{кг/м}^3}} = 2,25 \text{ м}^3$

При кратности рециркуляции пульпы в сатураторе $n = 6$ производительность малого циркуляционного электронасоса $Q_H = 6 \cdot 2,25 = 13,5 \text{ м}^3/\text{ч}$. Манометрический напор насоса $H_M \approx 0,25 \text{ МПа}$ и подлежит уточнению при проектировании. Дозировочный расход

концентрированной пульпы $q_d = \frac{2,25 \cdot 60}{10} = 13,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ или $3,75 \text{ л/с}$.

Расчетный расход разбавленной пульпы $Q_{\text{ц}} = 45 \text{ м}^2 \cdot 10 \text{ м/ч} = 450 \text{ м}^3/\text{ч}$. При кратности циркуляции $n = 30$ емкость циркуляционного бака $V_6 = \frac{450}{30} = 15 \text{ м}^3$.

Производительность большого циркуляционного электронасоса $Q_H = 450 \text{ м}^3/\text{ч}$. Манометрический напор насоса $H_M \approx 0,45 \text{ МПа}$ и подлежит уточнению при проектировании установки.

Циркуляционные насосы устанавливаются с резервом. Сатуратор и циркуляционный бак могут быть без резерва, т.к. текущий ремонт их может быть произведен в перерыве между операциями по намыву сорбента в НСФ.

Учитывая дефицит и высокую отпускную стоимость активных углей и в том числе АГ-3, целесообразно предусмотреть регенерацию сорбента и повторное использование его с добавкой свежего сорбента в количестве 5 %. В этом случае отработанный сорбент направляют в реактор для термической регенерации его паром в режиме конденсации непосредственно в дисперсной массе сорбента. Для этого отработанная пульпа поступает в приемник, в котором сорбент осаждается. Свободная вода удаляется, а влажный осадок гидроэлеватором откачивается в реактор. Отрегенерированный сорбент гидравлически в виде концентрированной пульпы направляют в сатуратор для повторного использования с добавкой свежего сорбента. Отработанный слой сорбента можно удалить из НСФ-45 обратным током воды в режиме фильтрования со скоростью $v = 20 \text{ м/ч}$ в течение $\tau = 5 \text{ мин}$. Объем воды $V = \frac{45 \cdot 20 \cdot 5}{60} = 75 \text{ м}^3$.

Более высокий эффект обеспечивается комбинированным способом водо-воздушной эмульсией. При добавке сжатого воздуха компрессором в пропорции 3 : 1 расход воды можно сократить в 4 раза, а именно по приведенной скорости фильтрования воды до 5 м/ч и объем ее до $18,75 \text{ м}^3$ на одну операцию. В приемном баке должно быть предусмотрено отделение пузырьков воздуха с помощью диффузора и удаление

свободной воды путем ее дренирования. Полезную емкость бака принимаем равной $V = 20 \text{ м}^3$. При помощи гидроэлеватора дисперсная масса отработанного сорбента (АГ-3) перекачивается в реактор для регенерации его термическим способом. Реактор оборудуется дренирующим днищем. Регенерацию осуществляют после поступления до 3 – 5 порций сорбента. Во избежание слеживания и для подсушивания массы сорбента следует предусмотреть продувку воздухом. Трубчатая воздушная система находится под дренирующим днищем. Загрязненная вода из приемного бака и реактора удаляется в канализацию. Если принять пять порций отработанного сорбента, то дисперсная масса его по весу составит $P_o = 5 \cdot 45 = 225 \text{ кг}$ во влажном состоянии. При объемном удельном весе сорбента $\gamma = 0,45 \text{ т/м}^3$ общий объем массы его

$$V_o = \frac{225}{0,45 \cdot 1000} = 0,5 \text{ м}^3. \text{ Расчетную емкость реактора можно принять с}$$

некоторым запасом $V_3 = 1,0 \text{ м}^3$. При диаметре реактора 1,0 м полезная высота его $H_p = \frac{1,0}{0,785 \cdot 1,0^2} = 1,27 \text{ м}$.

После регенерации дисперсная масса сорбента промывается очищенной опресненной водой и перекачивается в сатуратор. В качестве теплоносителя можно использовать пар, поступающий на ДОУ-ГТПА.

В перспективе, возможно, рассматривать вариант использования промышленных фильтров с готовыми угольными картриджами (без процесса намыва АУ) с заменой их во времени и возвратом в рабочий цикл после регенерации.

Приемный резервуар с аэрационной системой. При расходе очищенной воды $Q = 490 \text{ м}^3/\text{ч}$ и времени пребывания ее $\tau = 2,0 \text{ ч}$, расчетная емкость приемного резервуара $V = 490 \cdot 2 = 980 \text{ м}^3$. Принимаем резервуар двухсекционным. Емкость каждой секции $V_c = 500 \text{ м}^3$.

При глубине воды в секции $h = 5 \text{ м}$ площадь секции $f_c = 100 \text{ м}^2$, а размеры ее в плане определятся при компоновке приемного резервуара. Расчетная высота аэрационной камеры $h_k = 2,0 \text{ м}$, считая над зеркалом воды. Аэрационная камера оборудуется приточно-вытяжной вентиляцией. В случае загрязненности воздуха на площадке УППВ приточный расход его подлежит очистке от механических и других примесей. Аэрационная система трубчатая, состоящая из трех дырчатых распределителей длиной $l = 7,5 \text{ м}$, расположенных друг от друга на расстоянии 2,5 м. В каждом распределителе отверстия $d_o = 6 \text{ мм}$ просверливают по 4 образующим под углом $\alpha = 15$ и 30° к свободной поверхности воды в резервуаре [4].

Расчетный расход на одну секцию резервуара $q_c = \frac{490}{2} = 245 \text{ м}^3/\text{ч}$, а

на один распределитель $q_p = \frac{245}{3} = 81,7 \text{ м}^3/\text{ч}$.

При скорости воды на входе в распределитель $v_o = 1,2$ м/с диаметр внутреннего сечения его:

$$d = 1,13 \sqrt{\frac{81,7}{1,2 \cdot 3600}} = 0,156 \text{ мм.}$$

Принимаем распределитель с условным проходом $d_y = 160$ мм. При скорости истечения струй $v_c = 1,5$ м/с единичный расход $q_c = 0,785 \cdot 0,006^2 \cdot 1,5 = 42,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$.

Дырчатые распределители расположены на высоте 1,5 м над расчетным уровнем воды в резервуаре. По всему периметру аэрационной камеры вмонтированы жалюзи высотой 1,0 м для поступления свежего воздуха и защиты от капельного уноса. В холодный период года следует предусмотреть подогрев воздуха в приточной вентиляции. Учитывая агрессивность диоксида углерода в воде, подающий трубопровод и дырчатые распределители аэратора должны быть смонтированы в антикоррозионном исполнении, а лучше всего из полиэтиленовых или винипластовых труб.

Узел коррекционной обработки очищенной воды. Очищенную воду последовательно обрабатывают водными растворами фтористого натрия и активного хлора.

Фторирование воды. Расчетная доза фтора (F^-) $a_\phi = 0,7 \text{ г/м}^3$.

$$\text{Суточный расход фтора } A_\phi = \frac{0,7 \cdot 490}{1000} = 0,34 \text{ кг.}$$

$$\text{Расход фтористого натрия } A_{\phi n} = \frac{0,34 \cdot 42}{1000} = 0,75 \text{ кг/сут.}$$

Технологическая схема фторирования опресненной очищенной воды, где основными элементами являются: герметичная камера, водоструйный эжектор, сатуратор насыщенного водного раствора фтористого натрия, мерник, расходный бак разбавленного раствора реагента, циркуляционные электронасосы, механический фильтр, ротаметр и конфузорная вставка-смеситель. При $t = 30^\circ\text{C}$ предельная растворимость фтористого натрия в воде равна $C_{np} = 42 \text{ кг/м}^3$. Принимаем полезную емкость сатуратора $V_c = 1 \text{ м}^3$, для периодической загрузки его реагентом в количестве 50 кг, содержащимся в одном фанерном барабане [3]. Охлажденный дистиллят имеет температуру на уровне 30°C , что обеспечивает постоянную концентрацию реагента в присутствии избытка

$$\text{его в сатураторе. Вместимость мерника } V_m = \frac{0,75 \text{ кг/сут} \cdot 1000}{42 \text{ кг/м}^3} = 17,86 \text{ л.}$$

Расходный бак – двухсекционный. Вместимость каждой секции принимаем на суточный расход разбавленного раствора фтористого натрия с концентрацией 1 % или 10 г/дм^3 . $V_c = \frac{17,86 \cdot 42}{10} = 75 \text{ л.}$

Общую вместимость секции принимаем с некоторым запасом

$V_c = 85 \text{ дм}^3$, а расходного бака $V_{\phi} = 2 \cdot 85 = 190 \text{ дм}^3$. Дозировочный расход раствора реагента $q_d = \frac{75}{24} = 3,13 \text{ л/ч}$.

Механический фильтр: диаметр $D_{\phi} = 40 \text{ мм}$; высота слоя загрузки $h_c = 600 \text{ мм}$; полная высота фильтра $H_{\phi} = 1200 \text{ мм}$; скорость фильтрования воды $v = 3.6 \text{ м/ч}$; загрузка – кварцевый песок фракцией $0,6 - 1,2 \text{ мм}$; режим промывки загрузки – периодический, обратным током водопроводной воды с интенсивностью $W = 10 \text{ л/(м}^2 \cdot \text{с)}$ в течение 5 мин ; продолжительность фильтроцикла $T_{\phi\text{Ц}} = 48 \text{ ч}$, а точнее до осветления промывной воды. Растворение реагента в сатураторе в режиме рециркуляции. Кратность циркуляции раствора в течение одного часа $n = 8$. Производительность электронасоса $Q_n = 8 \cdot 1 = 8 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Манометрический напор насоса $H_m = 0,45 \text{ МПа}$, что следует уточнить при проектировании узла фторирования воды. Водоструйный эжектор – стандартный. При скорости струи $v_c = 5 \text{ м/с}$ диаметр выходного отверстия сопла

$$d_c = 1,13 \sqrt{\frac{8,0}{5,0 \cdot 3600}} = 0,0238 \text{ м. Принимаем } d_c = 24 \text{ мм. При } f_* = 20$$

диаметр внутреннего сечения камеры смешения $d_k = 24\sqrt{20} = 107,3 \text{ мм}$. Принимаем $d_k = 110 \text{ мм}$.

Резервный ВЭ в помещении узла фторирования воды в готовом проверенном виде. Устанавливаем два электронасоса, в том числе один резервный.

Смешение раствора реагента в рабочей расходной секции в режиме рециркуляции с кратностью $n = 4$. Производительность электронасоса $Q_H = 4 \cdot 0,106 \approx 0,5 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Манометрический напор $H_M = 0,25 \text{ МПа}$ следует уточнить при проектировании узла фторирования воды. Устанавливаем два электронасоса: рабочий и резервный. Оборудование и коммуникации должны быть в антикоррозионностойком исполнении.

Обеззараживание воды гипохлоритом натрия. При обеззараживании питьевой опресненной воды целесообразно отказаться от использования жидкого привозного хлора и использовать гипохлорит натрия, получаемый на месте из поваренной соли. Установка электролизного получения гипохлорита натрия размещается на проектируемой УППВ. Производительность электролизной установки определена из необходимости постоянного обеззараживания $490 \text{ м}^3/\text{сут}$ воды и периодической хлорной обработки загрузки фильтров. Производительность обеззараживающей установки по максимальному расходу активного хлора – $20 \text{ кг Cl}_2/\text{сут}$ принята по следующим исходным данным:

- доза вводимого хлора – $1,5 \text{ г Cl}_2/\text{м}^3$;
- остаточное содержание активного хлора не менее $0,8 \text{ мг/дм}^3$;

- для проведения пробной хлорной промывки 20 фильтров требуется $20,8 \text{ кг Cl}_2$ ($3,4^2 \cdot 0,785 \cdot 1,2 \cdot 0,4 \cdot 25 \text{ г/м}^3 \cdot 20 \cdot 10^{-3}$).

При промывке 1 фильтра 1 раз в сутки требуется 1 кг Cl_2 . Электрохимический способ получения гипохлорита натрия основан на получении хлора и его взаимодействии со щелочью в бездиафрагмовом электролизере.

Для ведения процесса электролиза на оптимальном уровне имеют влияние следующие факторы: концентрация раствора хлоридов, температурный режим, анодная плотность тока, способ расположения электродов и скорость движения жидкости между электродами.

Для снижения расхода поваренной соли на 1 кг получаемого гипохлорита натрия обычно принимают концентрацию соли в электролите от 30 до 40 – 50 г/дм³. Концентрация гипохлорита натрия в результате электролиза находится в диапазоне 5 – 8 г/дм³, в среднем – 6 г/дм³, содержание H_2 составляет менее 1 %. Удельный расход поваренной соли, электроэнергии и питьевой воды на 1 кг активного электролизного хлора составляет соответственно 2 – 4 кг, 2 – 6 кВт ч, 100 – 200 л в зависимости от конструкции и режима работы электролизера. Сила рабочего тока (на паре пластин) от 3 – 8 до 35 А, напряжение на разрядный промежуток – от 4 – 5 до 8 – 10 В, плотность тока составляет 80 – 100 А/м², межэлектродное расстояние – 3 – 5 мм, скорость протока электролита – 0,25 м/с.

Технико-экономические показатели электролизной установки:

- установка работает в три смены в периодическом режиме 6 – 8 ч с фактической суточной производительностью 35 кг Cl_2 ;
- электропитание, В/Гц – 220 – 50;
- насыщенный раствор хлорида натрия получают в железобетонном резервуаре на открытой площадке рядом с помещением, где расположена электролизная установка. Бак оборудуют водораспределительной решеткой (внизу), плавающим патрубком для забора и перемешивания раствора. К баку подводят промышленный дистиллят. Производительность насоса 12 – 20 м³/ч, напор 40 м. Продолжительность перемешивания 4 – 5 ч, отстаивания – 10 – 15 ч;
- концентрация насыщенного раствора NaCl при 20 °С, г/м³ – 350;
- плотность раствора, г/см³ – 1,2;
- содержание хлоридов, г/дм³ – 180 – 200;
- суточный расход NaCl , кг – 175.

ВЫВОДЫ

Внедрение результатов данных исследований произведено в процессе разработки рекомендаций по проектированию технологической части установки приготовления питьевой воды из опресненной дистилляцией морской воды производительностью 12 000 м³ в сутки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Щербаков В.И., Аль-Амри Заед Садик Абрахем. К оценке запасов и качества подземных вод в Ираке / В.И. Щербаков, Заед Садик Абрахем Аль-Амри // Сб. докладов научн.-практ. конф. «Яковлевские чтения». Москва, 2016. С. 167–171.
2. Щербаков В.И., Алексеев Л.С., Ивлева Г.А., Аль-Амри Заед Садик Абрахем. Исследование фильтрационной кальцинации мягких питьевых вод / В.И. Щербаков, Л.С. Алексеев, Г.А. Ивлева, Заед Садик Абрахем Аль-Амри // Научный вестник Воронежского ГАСУ. Высокие технологии. Экология. 2013. С. 72–77.
3. Щербаков В.И., Аль-Амри Заед Садик Абрахем, Помогаева В.В. Исследование методов кондиционирования опреснённой воды для питьевых нужд (в условиях Ирака) / В.И. Щербаков, В.В. Помогаева, Заед Садик Абрахем Аль-Амри // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2016. № 4 (44). С. 64–70.
4. Булыжев Е.М., Ламзин Е.М., Вдовин Р.Д. Мобильная станция водоподготовки / Е.М. Булыжеев, Е.М. Ламзин, Р.Д. Вдовин // Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2019» Материалы XII Межд. науч.-практ. конф.; г. Москва / Юж.-Рос. гос. политехи. ун-т. (НПИ) имени М.И. Платова. –Новочеркасск: Лик, 2019. С. 190–198.

УДК 628.165

ОЧИСТКА ПОДЗЕМНЫХ ВОД ОТ БОРА СОРБЦИОННЫМ МЕТОДОМ С ПРИМЕНЕНИЕМ АКТИВНОГО УГЛЯ

Л.Н. Фесенко, Р.В. Федотов, С.А. Щукин

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия

С.И. Игнатенко, Д.В. Каберская

ООО НПП «ЭКОФЕС», г. Новочеркасск, Россия

В.А. Онкаев

Калмыцкий государственный университет имени Б.Б. Городовикова,
г. Элиста, Россия

Показана актуальность проблемы очистки артезианских вод питьевого назначения от бора, удаление которого не достигается традиционными методами водоподготовки. Рассмотрена возможность удаления из воды боркислородных соединений при помощи активного угля различных производителей. Экспериментально установлено преимущество применения углеродного сорбента WT 830 E в сравнении с другими марками активных углей.

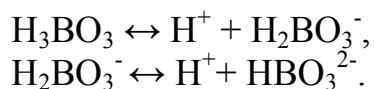
В России в общем объеме подаваемой населению питьевой воды доля подземных источников составляет лишь третью часть от суммарного

водопотребления, что существенно меньше, чем в большинстве развитых стран. С другой стороны, дополнительное вовлечение в хозяйственный водооборот ранее разведанных запасов артезианских вод зачастую сдерживается повышенной концентрацией солей жесткости, а также железа, марганца, сероводорода, фтора, бора и других нормируемых микроэлементов. Водонесные горизонты ряда регионов России: (Центральный район, Ставропольский и Краснодарский края, Южный Урал, Западная Сибирь и многие другие) содержат бор в концентрациях, превышающих предельно-допустимую в 3 – 8 раз. По информации Всемирной Организации Здравоохранения (ВОЗ) концентрации бора в подземных и поверхностных водах в Российской Федерации находится в интервале $0,01 - 7 \text{ мг/дм}^3$ и в основном определяется географическом расположением водоисточника [1]. Бор является биологически активным компонентом и в соответствии с принятой классификацией относится к весьма токсичным веществам второго класса опасности по санитарно-токсикологическому признаку. Его влияние на метаболизм человека абсолютно не однозначно. В токсикологии сложилось двойственное положение относительно соединений бора. Так, длительное потребление борсодержащей питьевой воды вызывает повышение содержания общего сахара в крови, усиление тормозных процессов в коре головного мозга, снижение кислотности желудочного сока, нарушение минерального обмена в организме и др. С другой стороны, при поступлении в организм с пищей и водой он практически полностью поглощается из желудочно-кишечного тракта и играет существенную роль в обмене углеводов и жиров, ряде витаминов и гормонов, обладает противовоспалительным и противоопухолевым действием, оказывает лечебный эффект при остеопорозе, артритах и костном флюорозе. Т.е. его влияние на метаболизм человека совершенно неоднозначно. Считается, что верхний предел безопасной дозы бора для человека является 13 мг/сут. Среднесуточная потребность человека в боре составляет $1 - 2 \text{ мг}$ (минимум поступления бора – $0,2 \text{ мг}$ [2]. Этими цифрами, а также токсикологической опасностью соединений бора объясняется необходимость контроля за их содержанием в питьевой воде. В США нет обязательного верхнего предела для бора в питьевой воде, но американское агентство по охране окружающей среды (USEPA) рекомендует в качестве нормативной величины значение 1 мг/дм^3 . ВОЗ приняла предел содержания бора в питьевой воде равным $0,5 \text{ мг/дм}^3$, а страны Европейского сообщества 1 мг/дм^3 . В Японии допустимый уровень содержания бора еще ниже и равен $0,2 \text{ мг/дм}^3$.

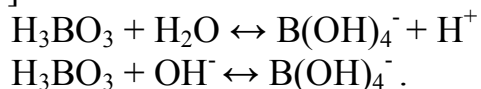
В России оценка пригодности подземных вод для питьевого назначения проводится согласно СанПиН 1.2.3685-21, согласно которому содержание бора в питьевой воде не должно превышать $0,5 \text{ мг/дм}^3$. Поэтому многие природные воды, содержание бора в которых достаточно

велико необходимо подвергать глубокой очистке от данного элемента и его соединений. Решение данной задачи до настоящего времени осуществляется с большим трудом, поскольку традиционные схемы водоподготовки и сочетания их вариантов предусматривают очистку в основном от железа и марганца.

В природных водах бор в большинстве случаев присутствует в форме борной кислоты $B(OH)_3$ (или H_3BO_3), которая в слабо-кислой среде (при pH 2 – 6) диссоциирует в воде с образованием дигидроборат- и гидроборат ионов:



Ортоборная кислота в растворах ведет себя как одноосновная кислота, однако, не как донор протонов, а как кислота Льюиса, образуя связь с донором электронной пары – кислородом гидроксила воды и высвобождая протон [3]:



Общая концентрация бора в природных водах определяется суммой концентраций борной кислоты H_3BO_3 и ионов $B(OH)_4^-$ в растворе, а соотношение между ними определяется водородным показателем (pH) воды [4]. С переходом в щелочную область (при pH = 7 – 11) бор присутствует в воде также в форме тетра-, пента-, гекса- и других полиборных кислот, а при pH = 12 – 14 – в форме метаборной кислоты HBO_2 . Пока нет единого мнения, какие полиборные кислоты преимущественно образуются в водном растворе борной кислоты. Примерный количественный состав полиборных кислот в растворе позволяет оценить диаграмма соотношений форм борных соединений: $B(OH)_3$, $B_5O_6(OH)_4^-$, $B_3O_3(OH)_4^-$, $B_4O_5(OH)_4^{2-}$, $B_3O_3(OH)_5^{2-}$, $B(OH)_4^-$ в зависимости от pH водной среды (рис. 1) [3, 5].

Поскольку соединения бора относятся к трудноудаляемым соединениям, на сегодняшний день известно не так много практически апробированных технологических приемов и методов, позволяющих снизить содержание бора в воде. К наиболее известным из них следует отнести [1–2, 4, 6–7]:

- химическое осаждение в виде малорастворимых соединений из раствора;
- фиксация на активированных (модифицированных) окисях переходных металлов;
- ионный обмен на специальных борселективных смолах;
- мембранное разделение (электродиализ и обратный осмос);
- сорбция на гранулированном активном угле.

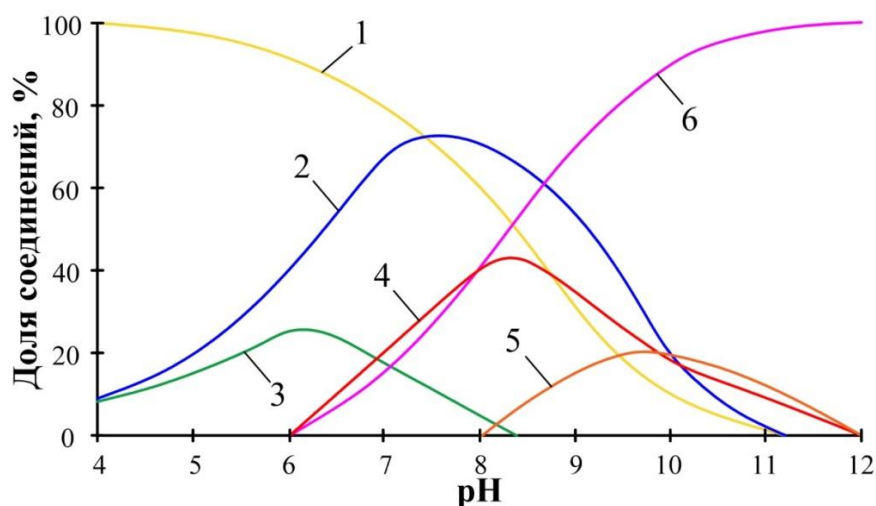


Рисунок 1. Равновесное количественное распределение соединений форм борной кислоты от pH водных растворов:

1 – $B(OH)_3$, 2 – $B_3O_3(OH)_4$, 3 – $B_5O_6(OH)_5^{2-}$, 4 – $B_4O_5(OH)_4^-$,
5 – $B_3O_3(OH)_5^{2-}$, 6 – $B(OH)_4^-$

Эти методы не равнозначны по применимости между собой. Использование традиционных методов водоподготовки (коагуляция, седиментация, фильтрование) для снижения концентрации бора соосаждением с применением гидроксида магния, алюминия, железа и др. оказалось малоэффективным из-за их низкой сорбционной емкости по бору, сложности технологического процесса, в котором образуется большое количество непостоянных по составу осадков, нуждающихся в обезвоживании и переработке, а также трудоемкости аппаратного осуществления процессов очистки и повторного использования гидроксидов металлов. Кроме того, осуществить этим методом очистку воды от соединений бора до нормативных показателей ($0,5 \text{ мг/дм}^3$) с применением в качестве коагулянтов $Al_2(SO_4)_3$, $Al_2(OH)_5Cl$, $FeSO_4$ и $FeCl_3$ в наших экспериментах, даже в широком диапазоне их доз не удалось, в отличие от положительных результатов, описанных в [8]. Теоретически возможно удаление бора с использованием технологии электрокоагуляции, с учетом возможности образования активированной окиси алюминия. Однако ссылок на реальное использование такого процесса, кроме лабораторных исследований [9], не найдено.

Анализ литературных источников позволяет сделать заключение о том, что реально эколого-экономически обоснованными методами снижения концентрации бора в воде являются ионный обмен (борселективные смолы с особыми функциональными группами) и обратный осмос. В частности, установлено, что наиболее эффективно ионный обмен происходит на сильноосновных анионитах в отсутствие анионов сильных кислот, которые возможно удалить на первой ступени анионированием или мембранной нанофильтрацией. Определенная сложность при использовании ионитов вызвана необходимостью

проведения нескольких последовательных регенераций кислотой и щелочью с сопутствующим образованием значительных объемов отработанных регенерационных растворов, требующих своей дальнейшей нейтрализации и очистки. Например, на одну регенерацию 1 м³ борселективного анионита «ГРАНИОН Д 403» расход серной кислоты и едкого натра составляет соответственно 100 и 60 кг (по чистому продукту) при объеме сточных вод 11 м³ от одной регенерации. Опыт удаления оксоборатов из природных вод селективными смолами (наиболее известны МК 51 производства Lewatit, S 108 производства Puzolite и IRA 743 компании Rohm and Haas) пока только ставит задачи по усовершенствованию их избирательной способности по бору и на сегодняшний день еще не разработана высокоселективная смола, позволяющая избирательно извлекать только бор при его концентрации в воде 1,5 – 2,0 мг/дм³. Кроме того высокая стоимость таких борселективных смол ограничивает область их широкого применения.

Особенности удаления бора посредством обратного осмоса связаны, в первую очередь, с химией бора. При низком pH бор находится в виде малодиссоциированной борной кислоты, а при высоком pH – пространственно более крупного гидратированного иона, имеющего значительную гидратную оболочку. Поэтому задержание бора наиболее целесообразно при высоких значениях pH. Очевидно, что для повышения степени очистки от бора мембранным разделением необходимо создание оптимальных условий в борсодержащих растворах, таких, как pH; температура и т.д. Кроме того, в большинстве случаев невозможно осуществить удаление бора до требуемых норм при помощи технологии обратного осмоса в одну ступень. Основным же недостатком применения обратного осмоса, как и ионного обмена, при очистке подземных вод, в том числе и от бора, является образование больших объемов соленой воды, которая может стать источником вторичного загрязнения и даже гибели экосистемы. Так, ранее проведенные испытания данного метода для очистки артезианских вод в Ставропольском крае не показали удовлетворительных результатов, а сброс засоленных вод в соседний водоём привел к гибели всей рыбы.

Как следует из литературных источников, известные на сегодняшний день методы удаления бора, в основном, применяются для очистки морских и сточных вод горнодобывающих компаний, концентрация бора в которых достигает десятки граммов на литр воды. Что касается подземных источников, где содержание бора, как правило, составляет 1,0 – 5,0 мг/дм³, то данные об эффективных методах очистки такого типа вод с утилизацией образующихся отходов практически отсутствуют.

Как представляется, одним из наиболее приемлемых методов очистки слабо концентрированных по бору водных растворов является сорбция на углеродных активных сорбентах, поскольку этим методом

теоретически может быть достигнута практически полная очистка воды (до проскока удаляемых соединений на выходе из сорбционного фильтра). Активные угли (АУ) являются относительно дешевым (в сравнении с селективными ионообменными смолами) и доступным адсорбентом, вследствие чего представляет определенный интерес изучение их сорбционных свойств по отношению к боркислородным соединениям. В изученной нами литературе информация по этому вопросу не найдена. Для использования активного угля в качестве сорбента бора для каждого конкретного состава воды необходимо проводить подбор как самого АУ, так и межрегенерационного периода и самого регенерационного раствора, что требует проведения предварительных исследований. Выпускаемые промышленностью АУ в зависимости от метода и условий их получения характеризуется различной химической природой поверхности, которая может изменяться при хранении углей в присутствии кислорода воздуха, воды и т.д. Проблема очистки воды от избыточного бора в России еще только начинает проявлять себя, в связи с чем актуальность и прикладное значение совершенствования существующих и разработка новых, высокоэффективных и безотходных методов очистки низкоконтентрированных борсодержащих вод не вызывают сомнений.

Цель исследований заключалась в экспериментальном изучении сорбционных способностей различных марок активных углей в статических условиях на снижение концентрации борных соединений в воде. Предметом исследований служила отфильтрованная после сорбции искусственно приготовленная модельная борсодержащая вода, отобранная после 1,5 часового статического контакта с АУ. Была выдвинута следующая гипотеза: концентрация борных соединений в исходной воде ($1,5 \text{ мг/дм}^3$) во времени контакта с углем в режиме перемешивания должна снижаться до требований СанПиН 1.2.3685-21, предписывающих не более $0,5 \text{ мг/дм}^3$.

Модельную борсодержащую воду готовили на основе донской водопроводной воды, отобранную из хоз-питьевого водопровода г. Новочеркасска, с добавлением в нее 0,1 % раствора (1 г/дм^3) борной кислоты (H_3BO_3). Например, для получения 55 л модельной воды с ожидаемой концентрацией бора $1,5 \text{ мг/дм}^3$ в 55 л водопроводной воды приливали 2,5 мл 0,1 % раствора H_3BO_3 . Сорбцию проводили в объеме воды 500 мл с концентрацией H_3BO_3 , равной $1,46 \text{ мг/дм}^3$ по бору и навеской АУ в количестве 100 г. стакан с навеской АУ помещали на магнитную мешалку, время перемешивания 90 мин, во времени перемешивания отбирали пробы воды с интервалом 5, 15, 30, 45, 60 и 90 мин от начала запуска. Отобранные пробы отфильтровывали под вакуумом в колбе Бунзена, определение концентрации бора проводили по стандартной методике [10] на фотометре КФК-3 при длине волны 420 нм.

В качестве сорбентов были использованы восемь марок углей, в том числе: березовый БАУ-А; активный дробленый антрацит Донбасского угольного пласта «Обуховский» шахты «Майская» марка «ДонАкваСорб» и шахты «Шерловской» марки «Термолант»; дробленый неактивированный антрацит марки «PUROLAT» компании «АУРАТ» и, АУ из активированной скорлупы кокосовых орехов производства индийской компании «Carbonut» марок WP 816E, WT 830E, WT 124 E и марка «КАУСОРБ» производства ОАО «Сорбент» г. Пермь.

Результаты пробных поисковых исследований после 90-минутного перемешивания проб с марками АУ представлены в таблице, из которой следует, что сорбционной способностью к бородоксидным соединениям обладают только угли из активированной скорлупы кокосовых орехов, тогда как АУ на каменноугольной и березовой основах практически не меняют химический состав воды по всем анализируемым показателям, в том числе и по оксоборатам.

Таблица. Результаты исследований по очистке воды от соединений бора методом сорбции в статическом режиме

Показатели	Марка угля								
	Исходная вода	КАУСОРБ 221	WP 816 E D = 1,2–2,4 мм	WT 830 E D = 0,6–2,4 мм	WT 124 E D = 0,4–1,7 мм	БАУ-А	ДонАкваСорб	Термолант № 3	PUROLAT
pH	7,93	8,77	9,8 2	9,96	10,31	7,55	7,66	7,87	7,83
Ж _{общ} , мг-экв/дм ³	6,4	3,2	1,2	1,2	1,2	6,0	8,8	7,0	7,0
Ж _{Ca} , мг-экв/дм ³	–	1,0	0,45	0,4	0,4	2,8	4,8	4,0	3,6
Ж _{Mg} , мг-экв/дм ³	–	2,2	0,75	0,8	0,8	3,2	4,0	3,0	3,4
НСО ₃ ⁻ , мг/дм ³	134,2	219,6	136,6	109,8	0,0	170,8	195,2	170,8	195,2
СО ₃ ²⁻ , мг/дм ³	–	84,0	220,8	264,0	312	–	–	–	–
ОН ⁻ , мг/дм ³	–	–	–	–	6,8	–	–	–	–
SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³	249,6	96,0	182,4	182,4	201,6	144,0	345,6	307,2	259,2
Cl ⁻ , мг/дм ³	85,1	85,1	120,5	127,6	127,6	127,6	156,0	127,6	156,0
Концентрация бора в воде, мг/дм ³									
5 мин	–	0,81	0,940	0,646	0,781	1,23	1,13	1,33	1,31
15 мин	–	0,61	0,742	0,400	0,583	1,22	1,13	1,33	1,32
30 мин	–	0,42	0,497	0,263	0,376	1,31	1,39	1,28	1,20
45 мин	–	0,34	0,405	0,198	0,313	1,25	1,34	1,33	1,33
60 мин	–	0,28	0,371	0,125	0,225	1,24	1,41	1,33	1,10
90 мин	1,46	0,24	0,231	0,053	0,198	1,22	1,26	1,36	1,27

На рисунке 2 представлена динамика снижения концентрации борных соединений во времени контакта с коксовым АУ некоторых марок, которая свидетельствует о преимуществе загрузки марки WT 830E перед остальными и свидетельствует о принципиальной возможности снижения содержания бора в мало-концентрированных по этому компоненту водах методом сорбции на АУ, что создает определенную уверенность в реальной возможности применения данной технологии по отношению к бору. Тем не менее, для окончательных выводов и составления регламентных рекомендаций по технологии очистки воды от бора необходимо продолжение научных исследований ввиду недостаточной изученности вопроса.

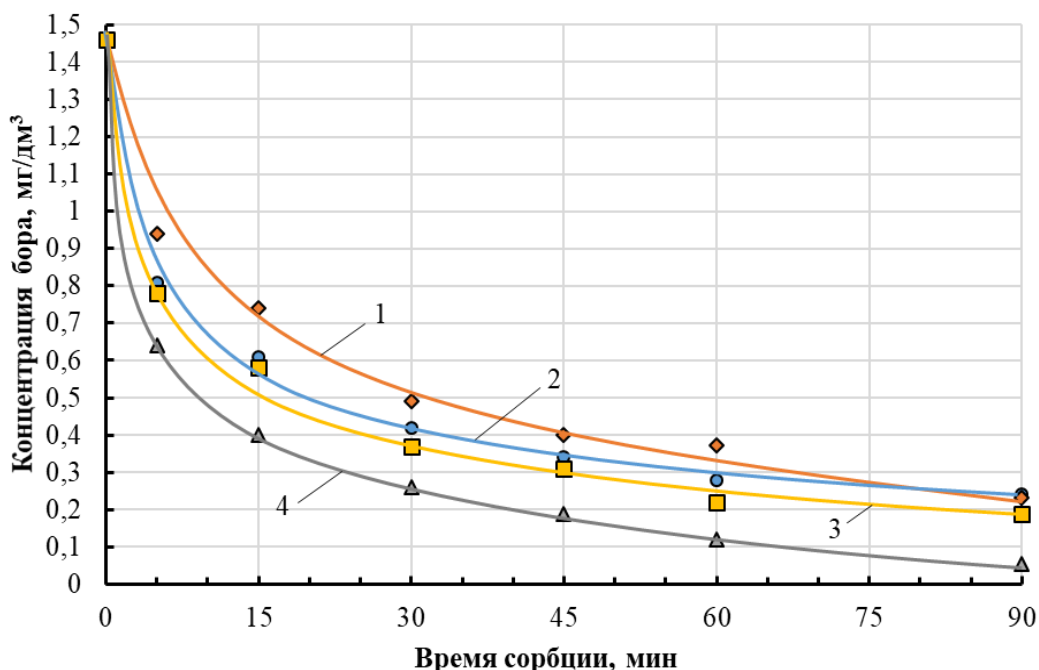


Рисунок 2. Зависимость остаточной концентрации бора от времени контакта с углеродным сорбентом в статическом режиме сорбции:
1 – WP 816 E; 2 – КАУСОРБ; 3 – WT 124; E, 4 – WT 830 E

ВЫВОДЫ

1. Основным недостатком существующих способов очистки воды от бора методами ионного обмена и мембранного разделения является сопутствующее образование значительных объемов вторичных водных минеральных отходов водоочистки, сбрасываемых в конечном итоге в сток, который должен быть переработан, обессолен и ликвидирован, что заведомо будет стоить дороже, чем собственно сама водоподготовка.
2. Экспериментально подтверждена возможность снижения концентрации борных соединений в воде питьевого назначения до нормативных показателей методом сорбции на активных углях, среди которых реальной сорбционной емкостью по бору обладают активированные угли из скорлупы кокосовых орехов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Видякин М.Н., Лазарева Ю.Н., Reisewits R. Мембранные технологии удаления бора из природных вод // Водочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2010. № 12. С. 60 с.
2. Краснов М.С. Очистка воды от бора. Проблемы и особенности. Чистая вода: проблемы и решения. 2010. № 2–3. С. 91–100.
3. Нестеров Д.В. Синтез новых бор-хелатообразующих лигандов – производных 3-аминопропандиола-1,2: дис. ... канд. хим. наук: – Федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина. Екатеринбург, 2018. 143 с.
4. Самбурский Г.А. Анализ технико-экологических проблем удаления бора из природной воды // Вестник МИТХТ «Эколого-экономических проблем химических технологий». 2011. Т. 6. № 4. С. 118–125.
5. Бровкина О.В. Изучение комплексообразования бора в водно-пероксидных растворах методом ЯМР. Синтез пероксидборатов щелочных металлов: дис. ... канд. хим. наук: – Институт химии Дальневосточного отделения РАН. Владивосток. 2001. 208 с.
6. Л.С. Алексеев, Г.А. Ивлева, З.Аль-Амри. Очистка подземных вод питьевого назначения от бора // Научно-технический журнал Вестник МГСУ, МГАКХИС, 2011. № 8. С. 312–315.
7. С.В. Мещеряков, А.М. Гонопольский, А.В. Сушкова, И.С. Дуженко, И.В. Беганский. Исследование технологической схемы водоподготовки при повышенном содержании бора // Экология и промышленность России. 2017. Т 21. № 10. С. 4–8.
8. Иванова С.А. Разработка технологии очистки природных вод от соединений бора, аммония и железа: дис. ... канд. техн. наук: – Рос. хим.-технол. ун-т им. Д.И. Менделеева. Москва. 2015. 104 с.
9. С.А. Иванова и др. Очистка подземных вод от бора методом электрокоагуляции // Вода: химия и экология. 2013. № 10. С. 96–101.
10. РД 52.24.389-2011. Массовая концентрация бора в водах. Методика выполнения измерений фотометрическим методом с азометином – Аш.

УДК 628.16

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕАГЕНТНОЙ ОБРАБОТКИ ВОДЫ НА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ ВОДОПРОВОДА АО «РОСТОВВОДОКАНАЛ» В ТЯЖЕЛЫЕ ДЛЯ ВОДОПОДГОТОВКИ ПЕРИОДЫ

И.А. Тронь, Г.В. Поповьян

АО «Ростовводоканал», г. Ростов-на-Дону, Россия

Освещены проблемы, возникшие при осветлении воды поверхностного водоисточника при высоком органическом загрязнении, предложена технология интенсификации осветления воды при применении органических флокулянтов.

На протяжении более чем двух десятков лет специалисты АО «Ростовводоканал» отмечают в створе водозаборов постоянное ухудшение качества Донской воды [1-5]. На сегодняшний день водоисточник по показателям: химическое потребление кислорода (ХПК), концентрация фитопланктона, запах, сухой остаток, жесткость – не соответствует требованиям нормативных документов ГОСТ 2761-84 «Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Гигиенические, технические требования и правила выбора», с учетом которого были построены водопроводные очистные сооружения, и СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» (рис. 1).

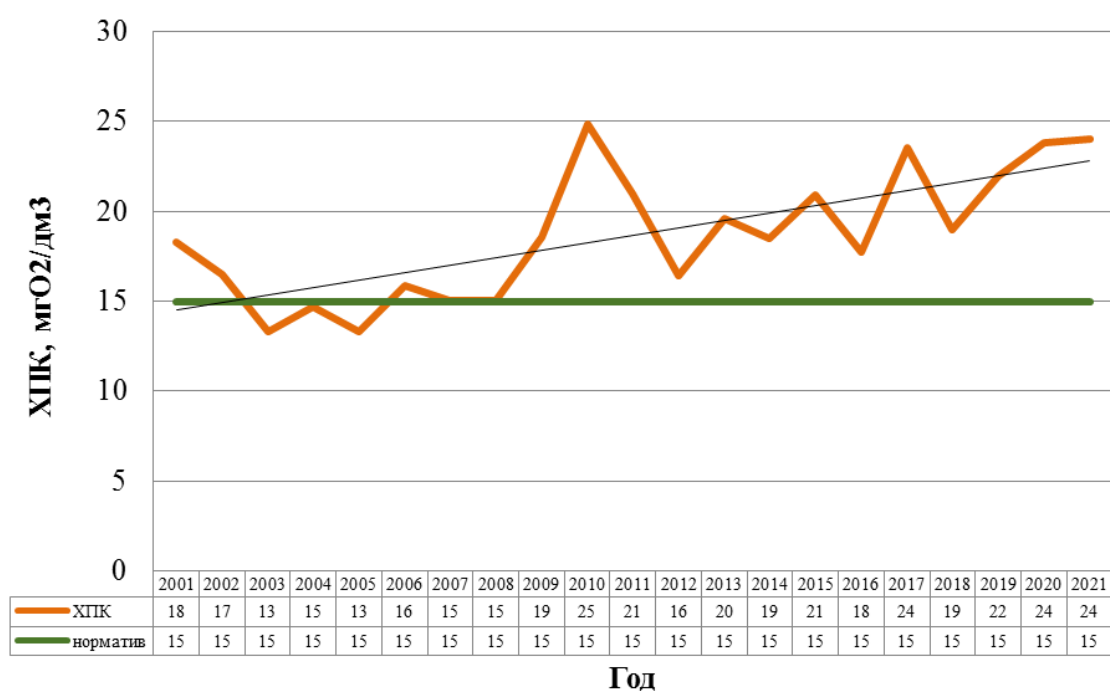


Рисунок 1. Среднегодовые концентрации ХПК в створе водозабора АО «Ростовводоканал»

Необходимо отметить, что значительное ухудшение качества воды в водоисточнике с октября 2020 года по показателю «ХПК», который характеризует наличие трудноокисляемой органики было аномальным, так средняя концентрация данного показателя за октябрь-февраль месяцы 2020 – 2021 гг. соответственно составила $29 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$, при нормативе для поверхностного источника хозяйственно-питьевого назначения не более $15 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$ [6]. За более чем 20-летнюю историю наблюдений за качеством воды в реке Дон в створе водозаборов такого длительного периода повышенных концентраций органического загрязнения водоисточника в холодный период года не отмечалось никогда.

Повышенные концентрации трудноокисляемой органики на фоне низких температур обрабатываемой воды способствовали значительному ухудшению коагуляции и дальнейшему процессу осветления воды в отстойниках и фильтрах водопроводных очистных сооружений, мутность воды на выходе из очистных сооружений была выше, чем в среднем за остальные периоды года. Кроме того, необходимо отметить повышение мутности очищенной воды на выходе с площадок очистных сооружений в периоды интенсивного развития микроводорослей.

Специалистами технологического департамента в марте-апреле, а также в июле-октябре месяцах была проведена исследовательская работа по поиску возможных технологических решений в направлении модернизации существующей реагентной обработки воды. Были изучены существующие типы и марки флокулянтов и коагулянтов, возможность их сочетаний. Точка ввода дополнительного реагента, а так же необходимые дозы были испытаны при моделировании процесса обработки воды на флокуляторе.

Испытания проводились с помощью программируемого флокулятора ПЭ-0244, позволяющего имитировать различные гидродинамические режимы смешения воды с реагентами аналогично существующим реальным режимам на очистных сооружениях, параллельно в шести стаканах объемом 1,5 дм³ для поддержания одинаковых условий при оценке различных видов и доз реагентов (рис. 2).



Рисунок 2. Общий вид флокулятора при проведении пробной коагуляции в зимний период
(с аккумуляторами холода для поддержания низкой температуры воды)

Производилось перемешивание воды с градиентом скорости 150 с-1 в течение 1 мин (имитация аванкамеры), затем интенсивное

перемешивание воды с градиентом скорости 350 с-1 в течение 15 с (имитация насоса), далее перемешивание воды с градиентом скорости 180 с-1 в течение 25 мин (имитация движения воды по водоводам от ВНС I-го подъема до очистных сооружений), после этого перемешивание воды с градиентом скорости 120 с-1 в течение 3 мин и затем с градиентом скорости 250 с-1 в течение 30 с (имитация нахождения воды в смесителях и трубопроводах от смесителей к камерам хлопьеобразования (КХО)), далее производилось медленное перемешивание с градиентом скорости 50 с-1 в течение 7 мин (имитация движения воды в КХО). Затем мешалки извлекались из стаканов, вода отстаивалась, эффект осветления оценивался через 15 и 30 мин отстаивания в отбираемой воде из верхней части стаканов пипеткой объемом 25 см³, эффект хлопьеобразования оценивался визуально, мутность отстоянной воды определялась с помощью мутномера HACH LANGE 2100Qis.

Имитировался процесс ввода реагентов для осветления воды на водозаборе и перед смесителями, дозы применяемого в настоящий момент реагента полиДАДМАХ назначались исходя из мутности реальной исходной воды согласно таблицам, разработанным НИИ КХ, а также применялись коэффициенты, завышающие и занижающие дозы реагентов относительно табличных на 10 ÷ 30 %.

В качестве реагентов для осветления воды в период проведения испытаний использовались следующие коагулянты и флокулянты:

- синтетический катионный полиэлектролит на основе диаллилдиметиламмоний хлорида (полиДАДМАХ) марки Нитрофлок 215 (ООО «НОВОРОС», Россия), Magnafloc LT-38 («BASF SE», Германия);
- неорганический коагулянт полиоксихлорид алюминия марки «ЭПОХА» (ООО «АКВАРИУС», Россия);
- неионогенный полиакриламид марок Superfloc N-100, Superfloc N-300 («Kemira», Финляндия);
- анионный полиакриламид марки Superfloc A-100 («Kemira», Финляндия);
- катионный полиакриламид марок Нитрофлок К-1587 (ООО «НОВОРОС», Россия – реагент не предназначен для применения в хозяйственно-питьевом водоснабжении, но при его применении был замечен положительный эффект при применении катионных полиакриламидов), Экоплюс 610, Экоплюс 620, Экоплюс 630, Экоплюс 640 (ООО «ЭкоИндустрия», Россия), Superfloc C-492 («Kemira», Финляндия).

Применение минерального коагулянта не способствовало значительной интенсификации хлопьеобразования и седиментации, положительный эффект осветления воды наблюдался при использовании

минерального коагулянта совместно с неионогенным или катионным флокулянтом (ввод реагентов в смесители) при этом требовались высокие дозы реагента, что значительно увеличивает стоимость реагентной обработки воды, а также существует риск превышения нормативов по остаточным концентрациям вводимых реагентов.

Самостоятельное применение полиакриламидов при вводе на водозаборных сооружениях или в смесители не показали положительных результатов, осветляемая вода оставалась мутной, при увеличении дозы реагентов наблюдалась опалесценция.

Применение полиакриламидов, имеющих анионный заряд и неионогенных совместно с используемым в настоящий момент катионным реагентом полиДАДМАХ также не показала положительных результатов.

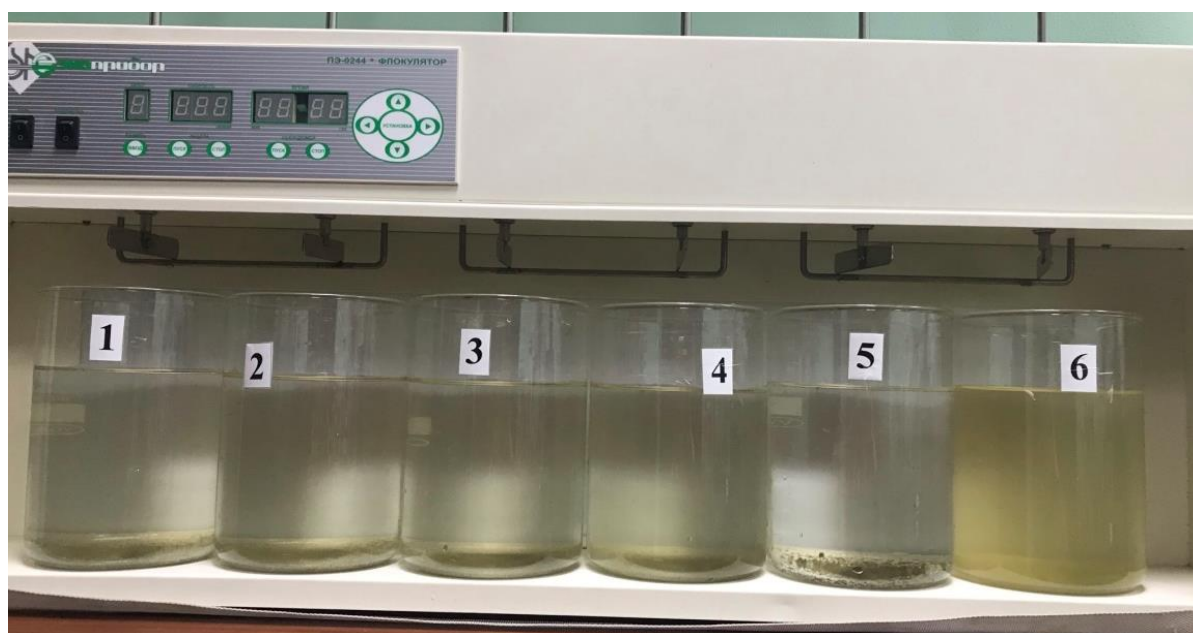


Рисунок 3. Пробная коагуляция, отстаивание 30 минут:
(стаканы № 1, 2, 3 реагент Нитрофлок 215 в разных дозах, стакан № 4 реагент Magnafloc LT-38, стакан № 5 реагенты Нитрофлок 215 + Экоплюс 630, стакан № 6 без реагентов)

Наилучший эффект осветления воды был достигнут за счет синергетического эффекта взаимодействия, применяемого в настоящий момент синтетического флокулянта самостоятельного действия полиДАДМАХ, вводимого на водозаборных сооружениях, и дополнительного флокулянта катионный полиакриламид марки Экоплюс 630, дозируемого на площадках водопроводных очистных сооружений перед смесителями в дозах $0,1 - 0,2 \text{ мг/дм}^3$. Совместное применение реагента полиДАДМАХ и катионного полиакриламида способствует образованию крупных хлопьев, интенсивно оседающих в существующих отстойниках (рис. 3).

ВЫВОДЫ

Таким образом, в условиях негативной динамики снижения качества воды реки Дон за последние несколько лет и с учетом его несоответствия требованиям ГОСТ 2761-84 и СанПиН 1.2.3685-21 было решено выполнить модернизацию реагентной обработки воды на очистных сооружениях водопровода путем установки флокулянтских станций для растворения и дозирования катионного полиакриламида в тяжёлые для водоподготовки периоды при повышенном органическом загрязнении водоисточника и низкой температуре обрабатываемой воды (февраль-апрель), а также в периоды интенсивного развития микроводорослей (июль-октябрь) в смесители очистных сооружений в дозах $0,1 \div 0,2$ мг/дм³ в дополнении к основному флокулянту полиДАДМАХ, дозируемому на водозаборных сооружениях.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Лысов В.А., Скрябин А.Ю., Поповьян Г.В. Микрофиты в системе подготовки донской воды / «Строительство-2009»: Материалы юбилейной Международной научно-практической конференции. – Ростов н/Д: Рост. гос. строит. ун-т, 2009. 334 с.
- 2 Скрябин А.Ю., Поповьян Г.В. Изменение качества реки Дон: микроводоросли как фактор, влияющий на органолептические свойства воды / Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2014»: материалы VIII межд. науч.-практ. конф.; Красная Поляна, г. Сочи, 23–24 октября 2014 г. / Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т. (НПИ). – Новочеркасск: Лик, 2014. 285 с.
- 3 Скрябин А.Ю., Поповьян Г.В., Тронь И.А. Микроводоросли как фактор, влияющий на органолептические свойства реки Дон // Водоснабжение и санитарная техника № 8. 2015.
- 4 Скрябин А.Ю., Поповьян Г.В., Тронь И.А. Изменение качества воды реки Дон. Изучение факторов, влияющих на интенсивное развитие микроводорослей / Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2016»: материалы IX межд. науч.-практ. конф.; г. Ростов-на-Дону, 5–7 октября 2016 г. / Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т. (НПИ) имени М.И. Платова. – Новочеркасск: Лик, 2016. 300 с.
- 5 Скрябин А.Ю., Поповьян Г.В., Тронь И.А. Изучение факторов, влияющих на интенсивное развитие микроводорослей // Водоснабжение и санитарная техника» № 4 2017.
- 6 СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

УДК 355.7:628.144.22

ЗАЩИТА МАГИСТРАЛЬНЫХ ВОДОВОДОВ В ГОРНЫХ УСЛОВИЯХ ОТ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО УДАРА

О.А. Продоус

ООО «ИНКО-инжиниринг», г. Санкт-Петербург, Россия

А.А. Шипилов, Н.Е. Иевлева

ООО "СпецСтройПроект", г. Санкт-Петербург, Россия

Для конкретного примера магистрального водовода выполнен расчет на возможность возникновения гидравлического удара и приведены графики по результатам расчета. Предложены схемные решения защиты магистральных водоводов от гидравлического удара, эффективность которых подтверждена гидравлическим расчетом с использованием специальных программных продуктов.

Одним из основных условий надежной и безопасной работы магистральных сетей водоснабжения и водоотведения является требование по обеспечению мероприятий по защите водоводов от гидравлического удара. К таким мероприятиям относятся [1]:

- установка запорной арматуры с безопасным периодом закрытия;
- выпуск воды и впуск воздуха в возможные места образования разрывов сплошности потока;
- сброс воды из водовода;
- применение защитных устройств-гасителей гидравлического удара.

Для этого применяются следующие основные защитные устройства: предохранительные пружинные устройства [2], воздушно-гидравлические колпаки [1] и разрушающиеся мембраны.

Наиболее простым и доступным схемным решением для гашения гидравлического удара является схема с использованием мембранных предохранительных устройств (МПУ), показанных на рисунке 1.



Рисунок 1. Мембранные предохранительные устройства:
а) до срабатывания, б) после срабатывания

Обоснованием применения эффективных схемных решений и оборудования для защиты трубопроводов от гидравлических ударов

является расчет с использованием разработанного программного продукта ZuluGIS 8.0 с приложением ZuluHydro 8.0 [3–4].

На примере проекта системы водоснабжения горно-климатического курорта «Альпика-Сервис» (Красная Поляна, г. Сочи) были выполнены гидравлические расчеты магистральных трубопроводов с использованием указанных программных продуктов.

При расчете магистральных водоводов на гидравлический удар принципиально учитывать два характерных случая: 1 – гидравлический удар при быстром закрытии задвижки; 2 – гидравлический удар при внезапной остановке или пуске насоса.

Разработана расчетная схема для гидравлического расчета магистрального водовода с учетом оптимальной частоты вращения насосов, для первого участка расчетной схемы от резервуара № 1 (отм. +780 м) до резервуара № 2 (отм. +1150 м) представлены графики с результатами расчета на гидравлический удар, приведенные на рисунках. 2–4.

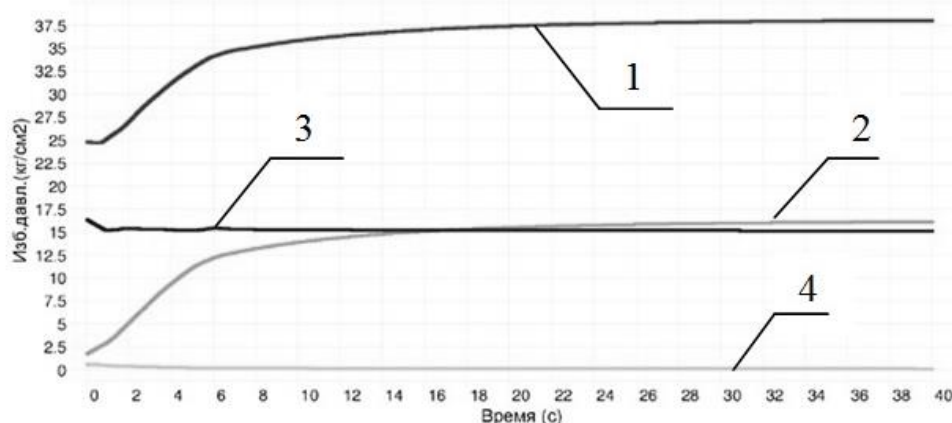


Рисунок 2. График расчета на гидроудар при отключении насоса на отметке +995 м

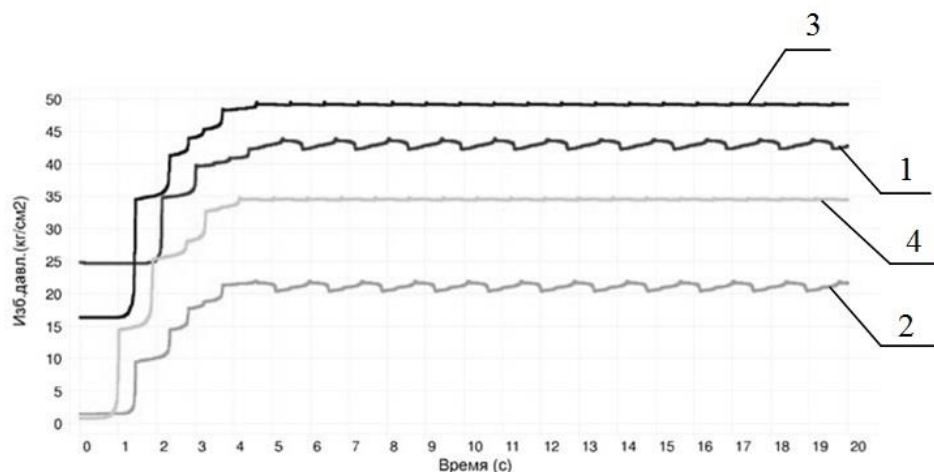


Рисунок 3. График расчета на гидроудар при закрытии задвижки на отметке +1150 м

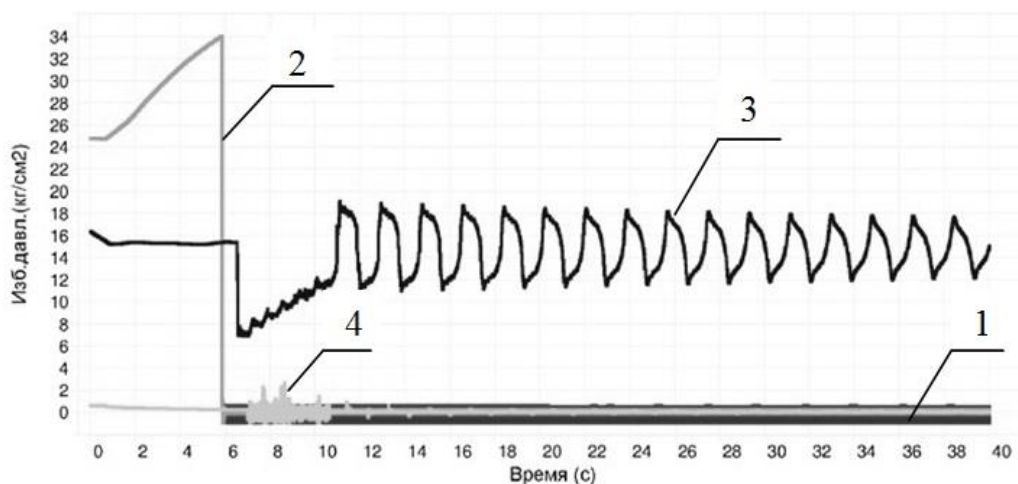


Рисунок 4. График расчета на гидроудар при отключении насоса на отметке + 995 м с мембраной на отметке +780 м

Точки наблюдения: 1 (линия 1) – после насоса на отм. +780 м между задвижкой и обратным клапаном; 2 (линия 2) – участок 1 перед бустерной установкой на отм. +995 м; 3 (линия 3) – участок 2 после бустерной установки на отм. +995 м между задвижкой и обратным клапаном; 4 (линия 4) – участок перед резервуаром на отм. +1100 м перед закрываемой задвижкой.

Анализ приведенных графиков на рисунках 4 и 5 позволяет сделать следующие выводы.

И для I-го случая (рис. 2) и для II-го случая (рис. 3) возникновения гидравлического удара требуется установка защитных предохранительных устройств. В качестве наиболее эффективного устройства для гашения гидравлического удара – это применение предохранительных разрывных мембран с давлением разрыва мембраны на 1 – 1,5 бара ниже максимальных предельно допустимых значений, в нашем случае предельно допустимым значением являлось 34 бара. Установка мембранных предохранительных устройств (МПУ) с давлением разрыва мембраны на 34 бара была произведена в следующих точках:

- на напорной линии между задвижкой и обратным клапаном скважинного погружного насоса, размещенного в водной части резервуара (рис. 4);
- на напорной линии между задвижкой и обратным клапаном промежуточной бустерной повысительной насосной станции, расположенной на отм. +995,0 м.

При разработке конструкторской документации на изготовление резервуаров и повысительных насосных станций из стеклопластика блок-модульного типа были приняты схемные решения по размещению защитных устройств-гасителей гидравлического удара в «сухих» отделениях емкостных водопроводных сооружений блок-модульного типа

(рис. 5 а) и в повысительных насосных с бустерными насосными установками (рис. 5 б) [5–6].

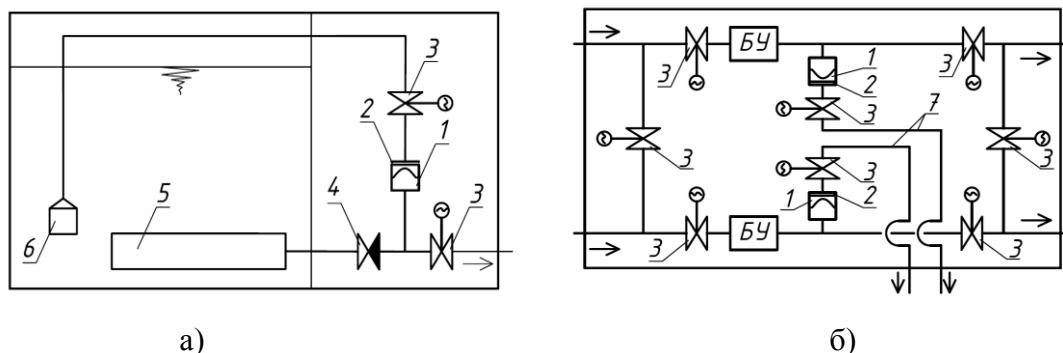


Рисунок 5. Схемные решения по размещению МПУ

а) в «сухих» отделениях резервуаров блок-модульного типа,

б) в повысительных насосных с бустерными насосными установками:

1 – разрывная мембрана, 2 – датчик контроля разрыва мембраны, 3 – запорное устройство с электроприводом, 4 – обратный клапан, 5 – напорная линия от насоса, 6 – гаситель напора при отводе воды в емкость, 7 – сбросной трубопровод

Достоинства такого схемного решения очевидны.

При разрыве мембраны 1 (рис. 5а) сбрасываемый через нее расход воды (объем гашения) возвращается без потерь в резервуар, датчик контроля разрыва мембраны 2 дает сигнал на закрытие задвижки с электроприводом 3 и отключение насоса 5, происходит закрытие обратного клапана 4 и плавное закрытие задвижки 3, что приводит к прекращению сброса воды из напорного водовода. Для снижения воздействия сбрасываемого объема воды на стенки емкости внутри «мокрого» отсека блок-модульного резервуара размещается гаситель напора 6 при отводе воды после гидравлического удара. В процессе работы установленного оборудования для гашения гидравлического удара основной объем воды в магистральном трубопроводе сохраняется.

При размещении МПУ в помещении насосной станции (рис. 5б) точкой присоединения является участок трубопровода между обратным клапаном (на рис. 5б он включен в состав бустерной установки БУ) и задвижкой 3 на напорной линии. В состав МПУ включены те же элементы: разрывная мембрана (1) с датчиком разрыва мембраны (2), задвижка с электроприводом (3). При таком схемном решении, при отсутствии рядом накопительной емкости или резервуара, часть воды через сбросной трубопровод (4) отводится за пределы помещения насосной станции. После срабатывания датчика разрыва мембраны (2) закрывается задвижка с электроприводом (3) на сбросном трубопроводе (7), отключается бустерная установка БУ, тем самым обеспечивая сохранность основного запаса воды в магистральном водоводе.

Простота приведенной схемы и эффективность предлагаемого устройства многократно проверена на практике и обеспечивает защиту трубопроводов и насосного оборудования емкостных водопроводных сооружений от последствий возможных гидравлических ударов, как на гражданских объектах, так и на объектах военной инфраструктуры. Не исключается также возможность использования данных схемных решений для защиты трубопроводов от влияния ударной волны при применении различного вида других технологических сооружений.

Анализ приведенных схемных решений защиты магистральных водоводов в горных условиях от гидравлических ударов позволяет сделать следующие выводы.

1. При выборе устройств для предотвращения гидравлических ударов необходимо подвергать оценке вид материала труб, из которого выполнен водовод. Давление в водоводе не должно быть больше предельного значения давления – разрушения материала труб, указанного в ГОСТ на трубы из конкретного вида материала [6];
2. Эффективность противоударных средств, устанавливаемых на водоводе, определяется схемным решением, обеспечивающим полную защиту водовода от гидравлических ударов;
3. Применяемые схемные решения позволяют существенно сократить объемы потерь перекачиваемых жидкостей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьмин Ю.М., Кошелев Г.Н. Водоснабжение. Часть 1. Водоснабжение объектов общеугольного строительства. ЛВВИСКУ, 1981. 240 с.
2. Дикаревский В.С., Прокоус О.А. Коэффициенты расхода и сопротивления гасителя гидравлических ударов конструкции ЛИИЖТа. // Сборник трудов «Водоснабжение, канализация и охрана водоемов от загрязнений на железнодорожном транспорте», вып. 418.1077. С. 42–45.
3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ ZuluGIS 8.0 № 2014615667 от 30.05.2014.
4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ ZuluHydro 8.0 № 2014615347 от 26.05.2014.
5. Шипилов А.А., Усков К.А., Горобец А.Ю. Опыт проектирования магистральных трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения в особых горноклиматических условиях // Журнал «Военный инженер» № 4 (10), 2018. С. 20–29.
6. Прокоус О.А., Шипилов А.А. Особенности проектирования трубопроводов систем водоснабжения для горных условий с высокой сейсмичностью // Водочистка. Водоподготовка. Водоснабжение № 8, 2018. С. 64–68.

УДК 544.723

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УГЛЕРОДНЫХ СОРБЕНТОВ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ МАРГАНЦА ИЗ ВОДНЫХ СРЕД

Т.А. Краснова, О.В. Беляева, Н.В. Гора

Кемеровский государственный университет, г. Кемерово, Россия

Исследовано извлечение Mn (II) из водных сред углеродными сорбентами марок СКД-515, АБГ и Пуrolat-Стандарт. Установлено, что наибольшее количество марганца извлекается сорбентом АБГ. С использованием теорий мономолекулярной адсорбции (уравнения Фрейндлиха и Ленгмюра) рассчитаны основные адсорбционные параметры. Определено, что уравнение Ленгмюра описывает изотермы адсорбции марганца с меньшей корреляцией. Можно предположить, что адсорбция марганца протекает на неоднородных адсорбционных центрах.

Водоснабжение является одной из приоритетных проблем, решение которой необходимо для сохранения здоровья, улучшения условий деятельности и повышения уровня жизни населения. По данным Всемирной организации здравоохранения 80 % болезней в мире связаны с неудовлетворительного качества питьевой водой. В материалах «Водной стратегии РФ» отмечено, что каждый второй житель России вынужден использовать для питьевых целей воду, не соответствующую по ряду показателей установленным нормативам. Основными причинами низкого качества питьевой воды является загрязнение природных вод техногенными контаминантами и веществами естественного происхождения, а также несовершенство технологий подготовки воды. Современные технологии подготовки воды, в том числе и из подземных источников, многостадийны, трудоемки, материалозатратны и, как правило, сопровождаются образованием жидких и / или твердых отходов. При этом нормативное качество воды достигается не всегда.

Разработка технологии водоподготовки, позволяющей уменьшить количество стадий обработки, исключить использование реагентов и образование отходов при получении воды, соответствующей нормативным требованиям, является актуальной задачей. Одним из путей достижения данной цели является применение для подготовки питьевой воды активных углей, обладающих способностью к очистке как органических соединений, так и тяжелых металлов.

Марганец является характерным поллютантом природных вод Кемеровской области. Так, например, в 2020 г. среднегодовые концентрации марганца в створах контроля реки Томь в районе п. Теба, выше/ниже г. Междуреченска и выше/ниже г. Новокузнецка превысили ПДК в 1,4 – 2,1 раза.

Одними из основных источников поступления марганца в

природные воды являются месторождения марганцевых и железных руд. Для последних марганец является сопутствующим элементом. Следует отметить, что Кемеровская область обладает значительными запасами марганцевых руд, которые сосредоточены на Усинском, Кайгадатском, Дурновском, Селезеньском месторождениях и участке Чумай. Кроме того, его соединения выносятся в водоемы со сточными водами предприятий химической промышленности и с шахтными водами. Значительные количества марганца поступают в процессе разложения водных животных и растительных организмов.

Соединения марганца относятся к числу сильных протоплазматических ядов. Они негативно действуют на центральную нервную систему, поражают легкие, почки, органы кровообращения. Предельно допустимые концентрации марганца в водоемах культурно-бытового и хозяйственно-питьевого водоснабжения, а также в питьевой воде – $0,1 \text{ мг/дм}^3$, в водоемах рыбохозяйственного назначения – 0.001 мг/дм^3 .

Настоящая работа посвящена изучению адсорбции марганца на активных углях в условиях равновесия. Адсорбция марганца исследовалась в условиях равновесия на модельных растворах с содержанием хлорида марганца в интервале концентраций от $0,10$ до 40 мг/дм^3 . В качестве сорбентов (УС) использовались каменноугольный гранулированный активный уголь СКД-515 (АО «Сорбент», Россия), буроугольный полукокс АБГ (НПО «Карбоника», Россия) и антрацитовый полукокс Пуrolат-Стандарт (ОАО «Синтез», Россия). Соотношение УС : раствор Mn^{2+} составляло $1 : 200$. Равновесная концентрация марганца определялась по реакции образования окрашенного соединения с формальдоксимом. Изотермы адсорбции представлены на рисунке.

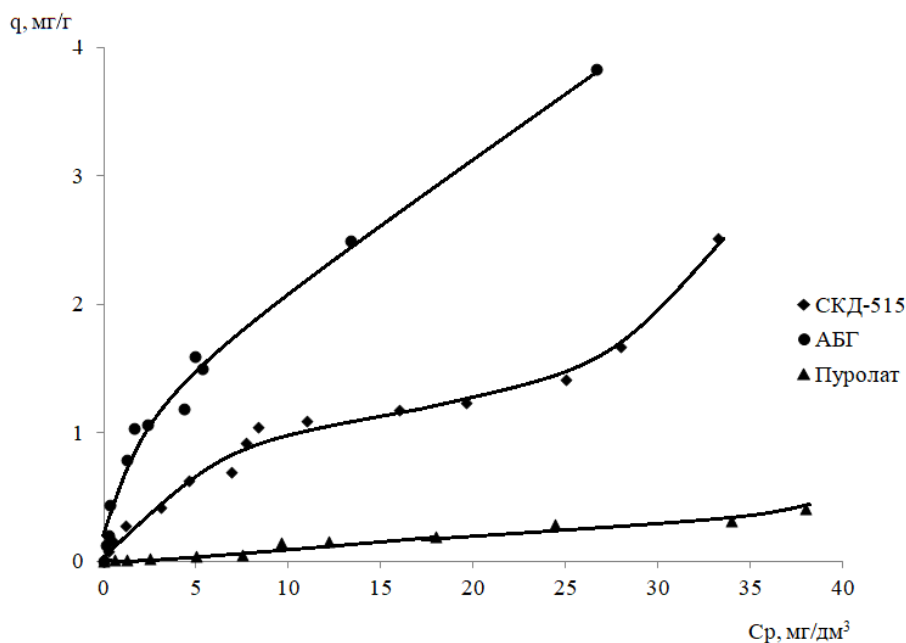


Рисунок. Изотермы адсорбции Mn^{2+} углеродными адсорбентами

Согласно полученным результатам наиболее эффективное извлечение марганца наблюдалось для сорбента АБГ, тогда как адсорбция этого иона на Пуrolате незначительна. Обработка изотерм адсорбции проводилась с использованием уравнений Фрейндлиха и Ленгмюра. Установлено (табл.), что уравнение Ленгмюра (величина R^2 колеблется от 0,56 до 0,81) хуже описывает адсорбционное поведение ионов марганца, чем уравнение Фрейндлиха (R^2 составляет 0,91 – 0,98). На изотерме адсорбции марганца УС Пуrolат-Стандарт в координатах уравнения Ленгмюра наблюдается два линейных участка.

Таблица. Параметры адсорбции Mn^{2+} углеродными адсорбентами

Марка адсорбента	Уравнение Фрейндлиха			Уравнение Ленгмюра			
	$k \cdot 10^3$	$1/n$	R^2	$q_{max},$ мг/г	k	$\Delta G,$ кДж/моль	R^2
СКД-515	3.89	0.63	0.98	2.49	4266	30.15	0.80
АБГ	11.75	0.64	0.95	7.09	129.6	21.64	0.68
Пуrolат-Стандарт	4.12	0.89	0.91	0.08	12119	32.69	0.81
				1.04	108.9	26.09	0.59

Рассчитанные значения параметров уравнений мономолекулярной адсорбции позволяют предположить, что взаимодействие Mn^{2+} происходит с разнородными центрами на поверхности адсорбента. При этом, вероятно, возможно протекание, как реакций ионного обмена, так и комплексообразования.

Исследование проводилось в рамках Координационного плана Научного совета Российской академии наук по физической химии (номер 20-03-460-27, раздел "Адсорбционные явления").

УДК 665.662:628.1

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕМБРАННЫХ СИСТЕМ ОЧИСТКИ ВОДЫ С УЧЕТОМ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ: ЛИКВИДАЦИЯ И УТИЛИЗАЦИЯ КОНЦЕНТРАТОВ

Д.В. Спицов, А.Г. Первов, В.А. Курочкина

Национальный исследовательский Московский государственный строительный
университет, г. Москва, Россия

Описано предлагаемое решение проблемы сокращения расходов концентратов установок обратного осмоса, применяемых в питьевом водоснабжении. Представлена новая технология сокращения расхода концентрата, состоящая в работе установки в циркуляционном режиме и прохождении концентрата через реактор с осадком, благодаря чему ионы кальция и карбонат-ионы переходят в осадок, при этом снижается величина общего солесодержания исходной воды и жесткость воды. Представлена схема процесса и определены параметры процесса на каждой ступени. Описанная

экспериментальная методика позволяет определить глубину удаления ионов жесткости из концентрата и минимально возможное значение расхода концентрата, которое можно получать в сутки, а также величину его общего солесодержания.

Метод обратного осмоса в последние годы находит все более широкое применение в питьевом водоснабжении. Особенно эффективно применение метода обратного осмоса ведется при очистке подземных вод не только от ионов жесткости и железа, но и от аммония, стронция, бора, фторидов и лития. Одной из причин недостаточно широкого использования установок обратного осмоса на станциях питьевого водоснабжения является образование концентратов – сбросных потоков, содержащих удаленные из воды загрязнения – и проблемы их утилизации и сброса. Расходы концентратов обычно составляют порядка 15 – 30 % от общего расхода поступающей на очистку воды, что гораздо больше расходов воды на «собственные нужды» традиционных систем очистки воды. В настоящей работе описываются результаты пилотных испытаний разработанной авторами новой технологии, позволяющей радикально сократить расходы концентратов установок обратного осмоса до минимальных значений, позволяющих осуществлять вывоз их автотранспортом. Традиционно проходит обезжелезивание с применением методов аэрации и фильтрования, после чего поступает на установку обратного осмоса, где разделяется на пермеат и концентрат. Именно по этому принципу проектируются системы очистки подземных вод для целей питьевого водоснабжения. В зависимости от концентраций, содержащихся в воде, помимо жесткости и железа, других загрязнений (фторид-ионов, ионов аммония, стронция, лития и др.) и эффективности их задержания обратноосмотическими мембранами, может меняться соотношение потоков исходной обезжелезенной воды и фильтрата установки обратного осмоса при их смешивании.

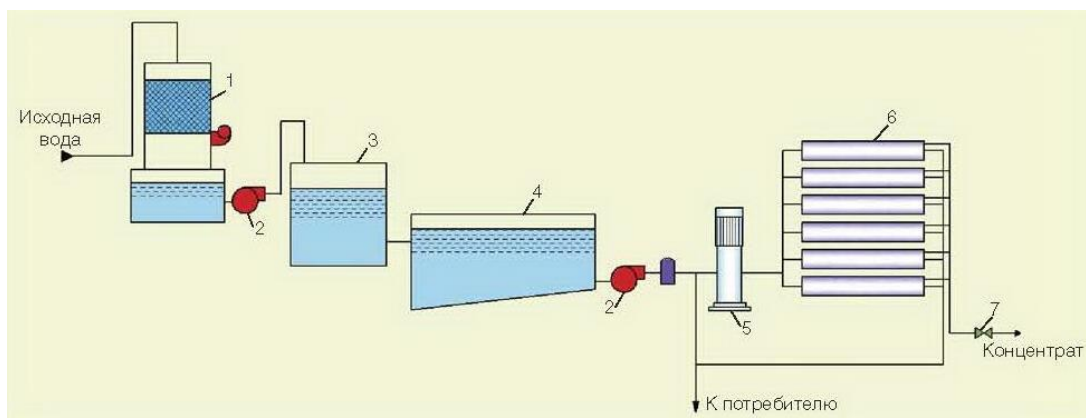


Рисунок 1. Технологическая схема применения установок обратного осмоса, применяемая для очистки подземных вод:

- 1 – аэратор; 2 – насос; 3 – механический фильтр; 4 – резервуар очищенной воды;
5 – рабочий насос высокого давления; 6 – установка обратного осмоса;
7 – регулирующий вентиль

Проблема сокращения расхода концентрата установок обратного осмоса напрямую связана с проблемой образования на мембранах малорастворимых солей, в основном, карбоната кальция [1–2]. Как уже сообщалось в ряде работ [3–5], применение нанофильтрационных мембран позволяет уменьшить расходы на предотвращение осадкообразования и увеличить значение величины выхода фильтрата установок обратного осмоса. Авторами в ряде статей [4–5] экспериментально продемонстрировано преимущество нанофильтрационных мембран в снижении интенсивности осадкообразования, что делает возможным существенно увеличить значение выхода фильтрата установки и сократить расходы концентрата. На рисунке 2 показана разработанная авторами усовершенствованная схема обработки подземных вод нанофильтрационных мембран, позволяющая существенно (в 4 – 5 раз) сократить расходы концентрата [6–7]. Отличительной чертой технологии сокращения расхода концентрата является использование второй ступени обработки концентрата установки обратного осмоса с применением нанофильтрационных мембран с низкой величиной селективности по солям (рис. 2). Благодаря низкому значению селективности мембран на второй ступени процессы осадкообразования в мембранах второй ступени идут замедленно [7]. При этом пермеат аппаратов второй ступени, имеющий низкое качество и по своему составу приближающийся к составу исходной воды, направляется на вход в установку обратного осмоса (рис. 2).

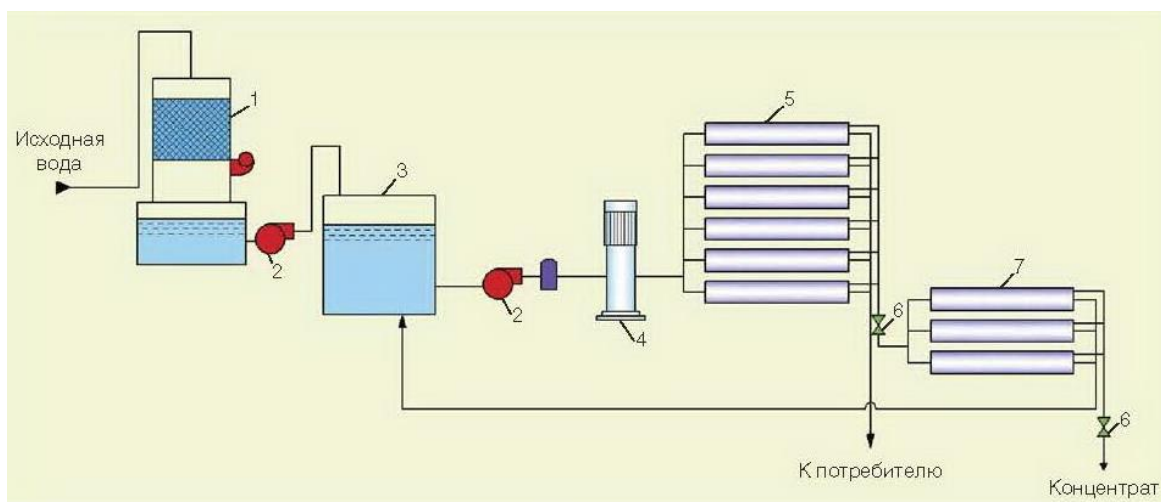


Рисунок 2. Технологическая схема очистки подземных вод с применением метода нанофильтрации с блоком для сокращения расхода концентрата:

- 1 – аэратор; 2 – насос; 3 – механический фильтр; 4 – рабочий насос высокого давления;
5 – установка нанофильтрации; 6 – регулирующий вентиль; 7 – мембранный блок сокращения расхода концентрата

Принципы дальнейшего снижения расхода концентрата с применением низкоселективных нанофильтрационных мембран с целью

снижения его расхода и балансовая схема потоков показаны на рисунке 3. Концентрат после установки обратного осмоса (рис. 3) проходит последовательно через аппараты-концентраторы с нанофильтрационными мембранами. Нанофильтрационные мембраны задерживают от 60 до 70 процентов содержащихся в исходной воде солей. Поэтому пермеат каждой ступени аппаратов-концентраторов направляется на вход в аппараты предыдущей ступени, поскольку пермеат аппаратов этой ступени по своему солевого составу приближается к исходной воде, поступающей в аппараты предыдущей ступени. Так, пермеат аппаратов-концентраторов первой ступени поступает на вход в установку обратного осмоса, поскольку его солесодержание близко по значению к солесодержанию исходной воды. Пермеат аппаратов-концентраторов второй ступени идет на вход в аппараты-концентраторы первой ступени, поскольку по своему составу этот пермеат приближается к составу концентрата установки обратного осмоса. И так далее: пермеат аппаратов третьей ступени поступает на вход в аппараты второй ступени. Таким образом, достигается требуемое снижение расхода концентрата при низком давлении. Например, как видно из рисунка 3, концентрация солей в концентрате установки достигает 47,5 граммов на литр при давлении 1,6 – 1,7 МПа, поскольку разница осмотических давлений между концентратом и пермеатом составляет порядка 1,5 МПа [4–5].

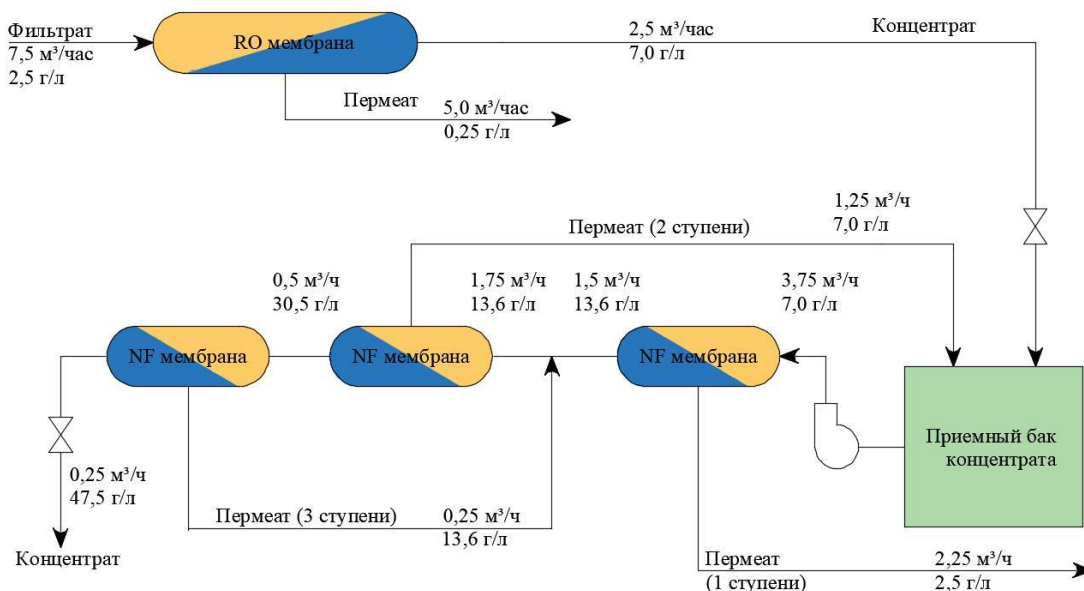


Рисунок 3. Принципы снижения расхода концентрата путем применения «каскада» нанофильтрационных мембран: балансовая схема

Проблема сокращения расхода концентрата установок обратного осмоса напрямую связана с проблемой образования на мембранах осадков малорастворимых солей, в основном – карбоната кальция [5–7]. Попытки сократить расходы концентратов всегда были связаны с предотвращением

осадкообразования с применением удаления кальция из исходной воды на стадии предочистки с применением метода ионного обмена [8–9] или реагентного умягчения [10]. Применяется также удаление кальция из концентрата за счет его реагентного осаждения в вихревых реакторах [8]. С целью более эффективного удаления кальция из концентрата перед подачей концентрата в вихревые реакторы увеличивают степень пересыщения по карбонату кальция путем пропускания концентрата через дегазаторы с удалением углекислоты [9]. Ряд методов сокращения расхода концентрата использует внесение в концентрат «затравочных» кристаллов [8]. Высаживание карбоната кальция на кристаллах «затравки» происходит за счет пересыщения, достигаемого в результате концентрирования исходной воды в каналах аппаратов обратного осмоса [8]. Авторами настоящей статьи были предприняты попытки использовать аппараты с «открытым» каналом и ввод затравочных кристаллов в исходную воду для осуществления роста карбоната кальция в каналах мембранных аппаратов. В настоящей работе приводится экспериментальная проработка более простой схемы, позволяющей держать осадок в реакторе-отстойнике вертикального типа и удалять концентрат вместе с осадком.

Целью работы было проведение пилотных экспериментов и ресурсных испытаний на установке обратного осмоса с получением концентрата, расход которого составляет 0,5 – 1 % от расхода обрабатываемой воды. Эксперименты проводились на пилотной опытно-промышленной установке обратного осмоса производительностью 120 – 150 л/ч с блоком нанофильтрационной обработки концентрата. Работа установки велась в непрерывном рабочем режиме. Внешний вид опытно-промышленной установки в лабораторном корпусе НОЦ НИУ МГСУ показан на рисунке 4.

Эксперименты проводились на воде Московского водопровода. Для обработки водопроводной воды использовались мембранные элементы модели 3012-400 с низконапорными обратноосмотическими мембранами BLN производства компании CSM (Корея). Для обработки концентрата установки обратного осмоса использовались мембранные элементы модели NE 1812-70 с нанофильтрационными мембранами типа 70 NE производства компании CSM (Корея). Кристаллы «затравки» готовились путем добавления раствора едкого натра в концентрат установки обратного осмоса (водопроводной воде, сконцентрированной в 5 – 10 раз). В установке обратного осмоса использовался шестеренчатый насос модели DP-125-300W производства компании «Райфил» (Россия).

Определение концентраций ионов кальция и магния производилось с помощью трилометрического титрования. Определение величины общего солесодержания концентрата проводилось кондуктометрическим методом с применением портативного TDS-метра. Получение кристаллов «затравки» производилось путем добавления 300 мл раствора едкого натра

(1 н концентрации) к 10 л концентрата, представляющего собой сконцентрированную в 10 раз водопроводную воду.



Рисунок 4. Внешний вид опытно-промышленной пилотной установки обратного осмоса производительностью 150 л/ч с блоком радикального сокращения расхода концентрата

Способ включает обратноосмотическое обессоливание минерализованной воды при помощи установки путем пропускания минерализованной воды под давлением через пористые полупроницаемые мембраны рулонного мембранного элемента с получением пермеата и концентрата. Новым в способе является исключение сброса солевых стоков в окружающую среду за счет того, что концентрат установки обратного осмоса проходит дополнительную обработку с помощью мембранного аппарата-концентратора, концентрат которого проходит через реактор, в котором находятся затравочные кристаллы, которые растут за счет постоянно увеличивающихся концентраций ионов кальция и магния. Благодаря работе установки третьей ступени в циркуляционном режиме концентрации солей в концентрате постоянно растут. Содержимое отстойника (отстой) вместе с выросшими кристаллами удаляется с установки после 24 – 48 ч непрерывной работы после достижения концентрации солей 75 – 80 г/л, составляя 0,5 – 1 % от общего расхода воды, поступающей на обессоливание.

Технологическая схема установки для сокращения расхода концентрата показаны на рисунке 5.

Сокращение расхода концентрата осуществляется следующим образом: исходную минерализованную воду с помощью насоса 1 высокого давления подают в аппарат 2 с рулонным мембранным элементом, где проходит обратноосмотическое обессоливание с получением пермеата и концентрата. Пермеат поступает к потребителю, а концентрат поступает в бак исходной воды второй ступени 4. Из бака 4 насосом второй ступени 5 концентрат подается в мембранный аппарат 6, где также разделяется на пермеат и концентрат. Концентрат направляется в отстойник-реактор 7, в котором находятся затравочные кристаллы. Концентрат аппаратов 6 после прохождения через реактор и осаждения карбоната кальция возвращается в бак 4, а пермеат аппарата возвращается на вход в насос 1 и смешивается с исходной водой. Работа установки ведется до тех пор, пока концентрация солей в баке 7 не достигнет максимальной концентрации солей 75 000 – 80 000 мг/л.

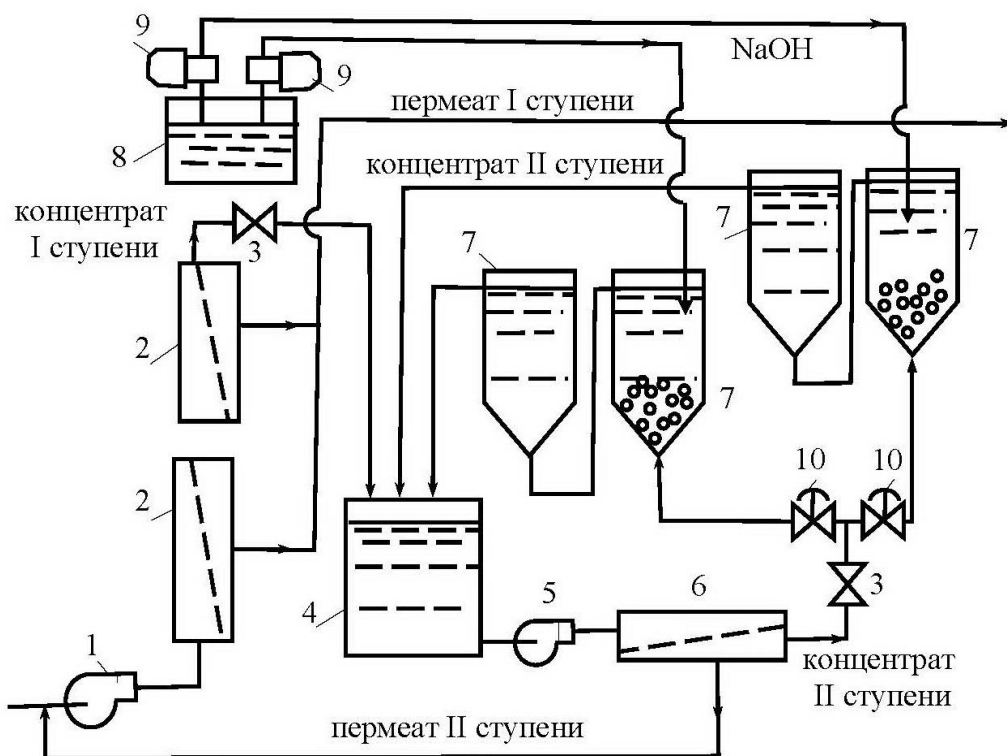


Рисунок 5. Схема работы пилотной установки для радикального сокращения расхода концентрата установки обратного осмоса:

1 – рабочий насос высокого давления; 2 – нанофильтрационный аппарат первой ступени обработки концентрата; 3 – регулирующий давление вентиль; 4 – бак сбора концентрата; 5 – насос второй ступени; 6 – нанофильтрационный аппарат второй ступени; 7 – вертикальные реакторы-отстойники; 8, 9 – бак и дозатор едкого натра; 10 – магнитные клапана

Таким образом, концентрат установки проходит обработку на дополнительной ступени в циркуляционном режиме: концентрат из бака 4 поступает в аппарат-концентратор второй ступени 6, а концентрат аппарата проходит в реактор-отстойник 7 с затравочными кристаллами и возвращается в бак 3. В процессе работы установки второй ступени в циркуляционном режиме происходит постоянное увеличение концентраций содержащихся в воде ионов, что вызывает пересыщение раствора по малорастворимым солям и рост затравочных кристаллов. Концентрация солей в циркулирующем концентрате доводится до значения 75 – 80 г/л.

В процессе работы установки производится получение затравочных кристаллов. Количество затравочных кристаллов, которое образуется в баке-отстойнике, эквивалентно общей жесткости, поступающей с концентратом в бак в течение одного часа работы установки. В реактор 7 производится дозирование едкого натра в количестве, эквивалентном количеству солей жесткости в концентрате в течение 1 ч работы установки. «Затравочные» кристаллы готовились в баке концентрата установки второй ступени 4 (рис. 5) путем добавления в полученный объем концентрата (10 л) едкого натра в количестве 400 мг-экв (путем добавления 0,4 л 1 н раствора едкого натра). После добавления едкого натра раствор перемешивался и отстаивался в течение двух часов. После этого осадок собирался в реактор-отстойник 7. Объем реактора-отстойника 7 рассчитывается, исходя из объема удаляемого концентрата 1 раз в 24 или 48 ч непрерывной работы. Объем удаляемого концентрата рассчитывается как объем, содержащий все удаленные из исходной воды соли при концентрации солей в баке 7, равной 75 – 80 г/л. После заполнения бака 7 концентратом насос-дозатор 9 подает едкий натр в количестве, необходимом для удаления всей жесткости, содержащейся в исходной воде в течение одного часа работы. Образовавшиеся кристаллы карбоната кальция и гидроокиси магния осаждаются в баке в течение одного часа. При поступлении в бак-отстойник 7 концентрата из аппарата 6, затравочные кристаллы, будучи очень малого размера, могут взвешиваться в восходящем потоке. Для предотвращения выноса кристаллов из отстойника 7 используются параллельно два отстойника. Переключение отстойников производится один раз в час с помощью магнитных клапанов 10. В течение одного часа из отстойника-реактора 7 выводится половина его объема. Через час работы концентрат переключается на вход во второй отстойник, и процесс ведется в течение следующего часа. За это время кристаллы в отстойнике успевают осесть на дно. По мере роста кристаллов их размеры увеличиваются, и осаждение происходит быстрее. Часовой расход концентрата из аппарата 2 составляет половину объема реактора отстойника 7. Таким образом, из концентрата производится удаление части солей жесткости, что приводит также к снижению величины его

солесодержания. Расход фильтрата аппаратов 6 установки второй ступени равен расходу поступающего в бак 4 концентрата аппарата первой ступени 2. Результаты эксперимента (состав исходной воды, состав концентрата до и после контакта с «затравкой» представлены в таблице.

Таблица. Результаты экспериментов по росту кристаллов «затравки» при контакте с концентратом

Параметры	Исходная вода	Концентрат (выход фильтрата 0,9)	Концентрат после контакта с затравочными кристаллами (выход фильтрата 0,9; К = 10 затр. 200 мг-экв.)	Концентрат после контакта с затравочными кристаллами (выход фильтрата 0,9; К = 30 затр. 200 мг-экв.)	Концентрат после контакта с затравочными кристаллами (выход фильтрата 0,9; К = 90 затр. 200 мг-экв.)
Кальций, мг-экв/л	3,1	20,1	12,2	15,1	27,5
Магний, мг-экв/л	0,93	4,3	1,7	2,5	6,7
Жесткость общая, мг-экв/л	4,03	17,8	10,5	18,9	21,0
Щелочность, мг-экв/л	3,0	15,2	9,3	12,0	16,1
Хлориды, мг/л	37,9	231	226	460	1100
pH	6,8	8,0	7,9	7,5	7,4
Общее солесодержание, мг/л	360	2010	1410	7600	16000

Таким образом, новым технологическим результатом является исключение сбросов солевых стоков в окружающую среду или горканизацию за счет того, что концентрат установки обратного осмоса обрабатывается в циркуляционном режиме на специальной ступени, оснащенной нанофильтрационными мембранами и постоянно проходит через отстойник с затравочными кристаллами. За счет постоянно увеличивающихся концентраций ионов кальция и магния кристаллы растут, за счет чего значения концентраций этих ионов в концентрате постоянно уменьшаются. За счет перехода ионов в осадок снижается солесодержание и увеличивается кратность снижения объема исходной воды. В циркуляционном режиме концентрации солей доводятся до 70 000 мг/л.

Как показали результаты эксперимента, после 50 ч работы установки в циркуляционном режиме на «затравочных» кристаллах высадилось 1412,5 мг-экв карбоната кальция и 431,5 мг-экв гидроокиси магния. Количество концентрата составило 5 л, что составило 1/100 часть объема обработанной воды. Требуемое количество едкого натра составило 30 мг-экв, что составляет 2 % от стехиометрического количества едкого натра, необходимого для реагентного умягчения исходной воды.

В качестве примера рассмотрим расчет блока утилизации концентрата установки производительностью $1\,000\text{ м}^3/\text{сут}$ ($42\text{ м}^3/\text{ч}$). Расход концентрата, направляемого для утилизации, составит $10\text{ м}^3/\text{ч}$. Объем резервуара-отстойника составит: $1\,000\text{ м}^3 \cdot 350\text{ г}/\text{м}^3 : 70\,000\text{ г}/\text{м}^3 = 5\text{ м}^3$, или составляет объем концентрата, накапливаемого за 0,5 ч. Таким образом, кратность снижения объема исходной воды составит: $1000/5 = 200$. Расход концентрата составляет $42/200 = 210\text{ л}/\text{ч}$, потому объем бака-отстойника емкостью 5 м^3 опорожняется через: $5\,000/210 = 24$, т.е. один раз в сутки. Расход пермеата на второй ступени составляет $10\text{ м}^3/\text{ч}$, т.е. равняется расходу концентрата первой ступени, поступающего на утилизацию.

В таблице представлены: состав исходной воды, состав концентрата при величине выхода фильтрата 0,9 (при снижении объема в 0 раз), а также составы концентрата после контакта с «затравкой» в реакторе-отстойнике по достижении величины выхода фильтрата 0,967 (при снижении объема в 30 раз) и величины выхода фильтрата 0,99 (при снижении объема в 100 раз). Применение описанной технологии позволяет «утилизировать» концентрат обратноосмотических установок, сокращая его объем до величины, не превышающей 0,3 – 1 % от расхода очищаемой воды. Концентрат с величиной солесодержания 80 г/л и выше может быть направлен на кристаллизацию.

Таким образом, благодаря предложенному способу достигается требуемый технический результат, заключающийся в эффективности и надежности работы установки обратного осмоса, путем сокращения расхода концентрата и его утилизации, а также исключение сброса солевых стоков в окружающую среду за счет того, что установка работает в циркуляционном режиме и ее концентрат проходит через реактор, в который помещаются затравочные кристаллы карбоната кальция и гидроокиси магния, которые в процессе прохождения через него концентрата растут за счет постоянно увеличивающихся концентраций ионов кальция и магния.

Эксперименты по высаживанию малорастворимых солей на затравочных кристаллах были проведены при обработке воды Московского водопровода с использованием обратноосмотических низконапорных мембран. На рисунках 6 – 8 представлены результаты экспериментов. На рисунке 6 показаны зависимости увеличения концентрации ионов кальция и магния в баке 4 установки (рис. 5). На рисунке 7 показано снижение производительности нанофильтрационных мембранных элементов 6 в процессе работы пилотной установки.

Результаты определения скоростей осадкообразования и роста малорастворимых солей на кристаллах затравки представлены на рисунке 8. Как видно из рисунка 8, по мере роста значения K наблюдается рост кристаллов затравки – карбоната кальция и гидроокиси магния (рис. 8а).

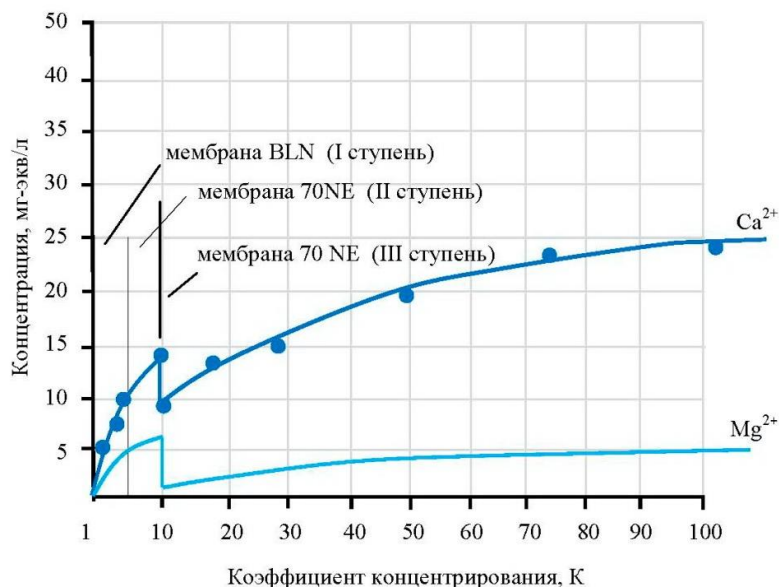


Рисунок 6. Изменение концентраций ионов кальция и магния в концентрате установки на каждой ступени от значения коэффициента снижения объема К

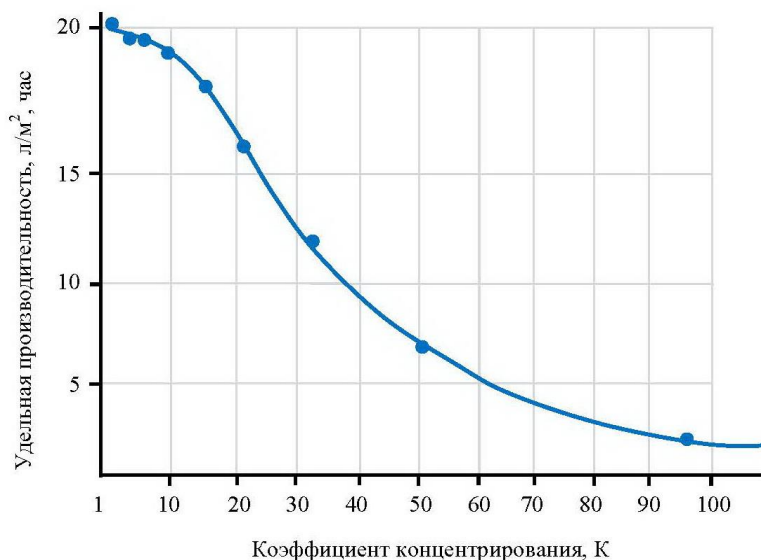
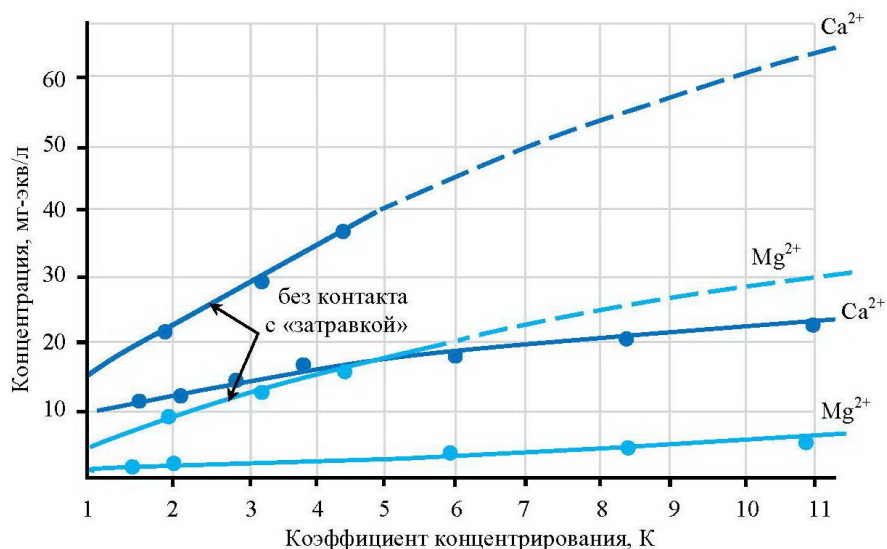


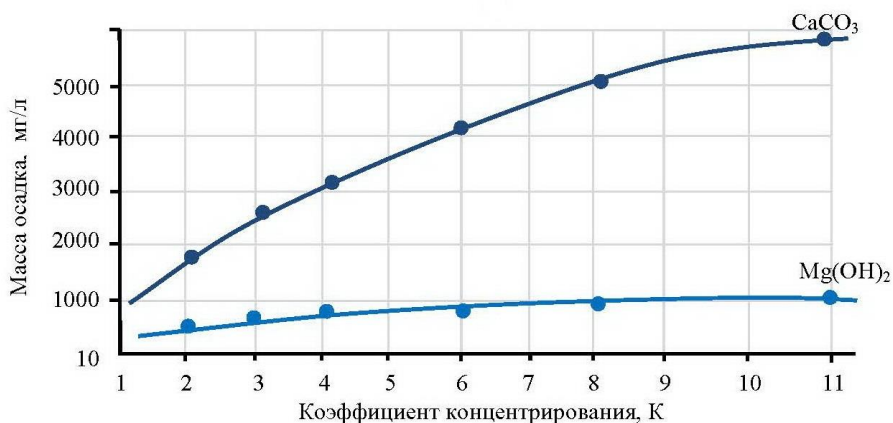
Рисунок 7. Снижение удельной производительности мембран 70 NE в процессе обработки концентрата на третьей ступени в зависимости от значения коэффициента снижения объема К

Это связано с тем, что при добавлении едкого натра в концентрат (в бак 3) высаживаются как карбонат кальция, так и гидроксид магния [11]. На рисунке 8(а) для сравнения представлены кривые зависимостей концентраций ионов кальция и магния в баке 4 (рис. 5) в экспериментах без затравки и с затравкой. Рост кристаллов вызывает уменьшение содержания в воде карбонат-ионов и кальций-ионов, а также снижение величины общего солесодержания. Расчет количеств образовавшихся на

«затравке» осадков в зависимости от значения коэффициента K показаны на рисунке 8(б).



а)



б)

Рисунок 8. Результаты экспериментов по накоплению карбоната кальция и гидроксида магния на третьей ступени очистки:

- а) зависимости концентраций ионов кальция и магния в концентрате установки третьей ступени в зависимости от величины K ;
- б) зависимости количеств образовавшихся осадков карбоната кальция и гидроксида магния на «затравке» в реакторе от величины K

На рисунке 9 представлены результаты обработки экспериментальных данных в виде зависимостей: а) количества осажженного карбоната кальция (в мг-экв) в зависимости от времени работы пилотной установки; б) зависимости скорости роста карбоната кальция на затравке от времени работы установки; в) пересыщения концентрата по карбонату кальция, определяемого, как отношение значений произведения концентраций ионов кальция и карбонат-ионов (выраженных в мг-экв/л) и произведения растворимости карбоната кальция в зависимости от значения коэффициента снижения объема K (отношения объема обработанной исходной воды к объему концентрата в баке 4 в

заданный момент времени работы установки); г) зависимости значений скоростей роста карбоната кальция от пересыщения.

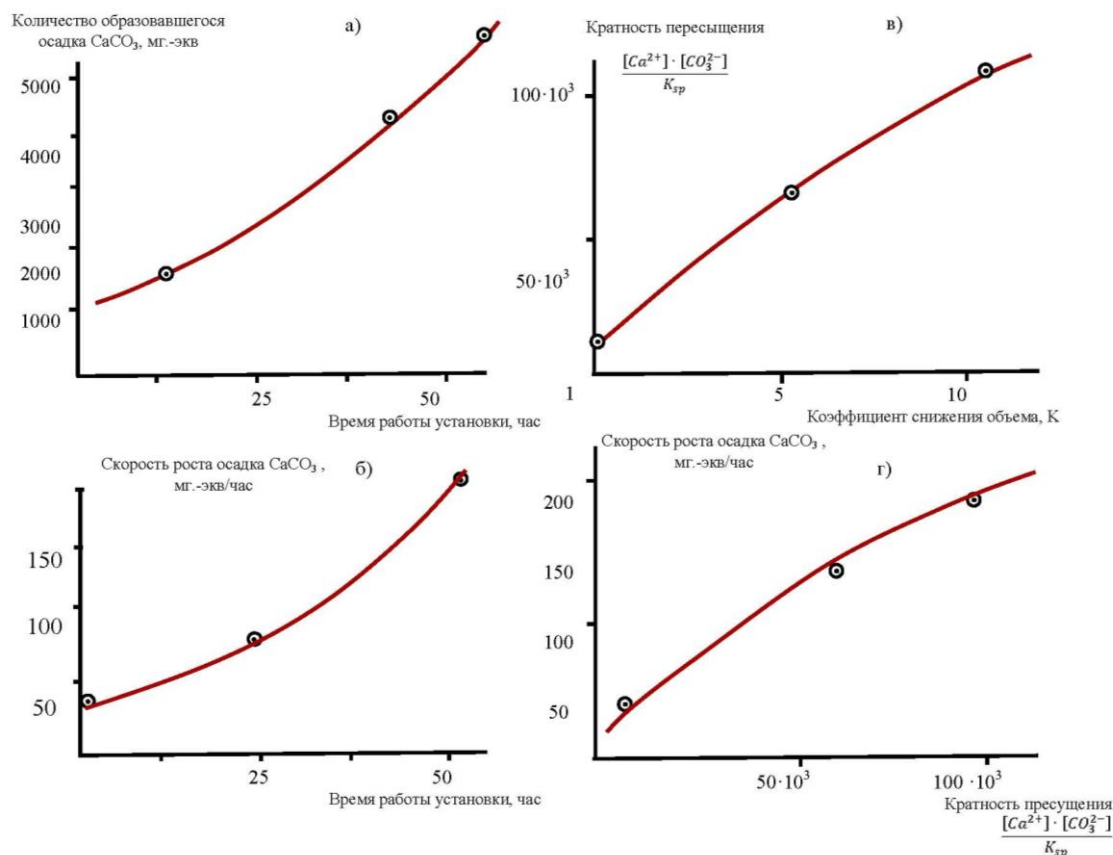


Рисунок 9. Результаты определения параметров процесса кристаллизации на «затравке»:

- а) зависимость количества осажденного карбоната кальция от времени работы установки; б) зависимость скорости роста карбоната кальция от времени работы установки; в) зависимость степени пересыщения концентрата по карбонату кальция от значения коэффициента снижения объема исходной воды K;
- г) зависимость скорости роста карбоната кальция от степени пересыщения концентрата по карбонату кальция

Максимально достижимое значение K подбирается, исходя из максимально достижимого с применением нанопермембранных мембран величины общего солевого содержания, которое составляет 75 000 мг/л.

Часто в практике питьевого водоснабжения сброс концентратов в канализацию ведет к увеличению тарифов на очищенную воду. В ряде случаев станция водоподготовки расположена вблизи от водозаборного сооружения в удалении от канализационных сетей, что приводит к тому, что сбрасывать концентрат некуда. В этих случаях разработчики установок стараются сократить расходы воды «на собственные нужды» установок до такого минимума, чтобы осуществлять вывоз концентратов с объектов автотранспортом и сбрасывать в очистные сооружения. По такому пути идет ряд жилых объектов Калифорнии (США) при использовании

обратного осмоса для подготовки питьевой воды [12]. Похожая ситуация имеет место в ряде городов и небольших объектов водоснабжения в Подмосковье и в Новой Москве. Для одного из таких объектов в районе г. Видное авторами была разработана схема очистки от аммония, фтора и жесткости производительностью 1 000 м³ в сутки, позволяющая сократить расход до 5 м³ в сутки и менее. Концепция очистки состоит в применении реактора-отстойника с затравочными кристаллами, в котором накапливается концентрат при работе установки в циркуляционном режиме. Содержимое бака-отстойника обновляется 1 раз в сутки. Технологическая схема установки представлена на рисунке 10.

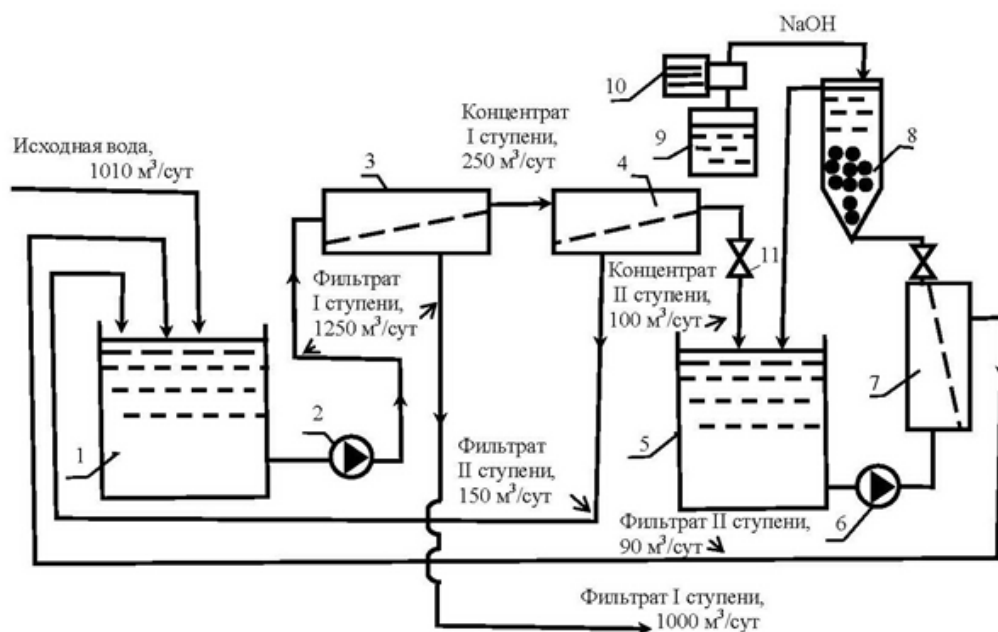


Рисунок 10. Технологическая схема снижения расхода концентрата при обработке подземных вод с использованием установки обратного осмоса:

- 1 – резервуар исходной воды (после предпочистки, обезжелезивания и добавления ингибиторов); 2 – рабочий насос высокого давления; 3 – аппарат обратного осмоса первой ступени; 4 – аппарат нанофильтрации второй ступени; 5 – сборный бак концентрата второй ступени; 6 – рабочий насос второй ступени;
- 7 – нанофильтрационный аппарат-«концентратор» третьей ступени;
- 8 – реактор-отстойник с «затравочными» кристаллами; 9 – бак с едким натром;
- 10 – насос-дозатор едкого натра; 11 – регулирующий вентиль.

ВЫВОДЫ

1. Предложена новая технология сокращения расхода концентрата путем его многократного пропускания через реактор с затравочными кристаллами и доведения его объема до минимально возможного значения.
2. Экспериментально проработана схема сокращения расхода концентрата. Расчеты ведутся на основе заданного значения коэффициента K , которое определяется, исходя из максимально достижимого значения концентрации солей в концентрате 75 000 мг/л.

ЛИТЕРАТУРА

1. Yoram Cohen, Raphael Semiat, Anditya Rahardianto. A Perspective on Reverse Osmosis Water Desalination: Quest for Sustainability/ *AIChE Journal*, June 2017, Vol. 3, No. 6, DOI 10.1002/aic.15726.
2. Arun Subramani, Joseph G. Jacangelo. Treatment technologies for reverse osmosis concentrate volume minimization: A review. *Separation and Purification Technology*, Volume 122, February 2014, Pages 472-489.
3. Sung Hee Joo, Berrin Tansel. Novel technologies for reverse osmosis concentrate treatment: A review. *Journal of Environmental Management*, Volume 150, 1 March 2015, Pages 322–335.
4. Lee Foster, Jacqueline Kepke, Rebecca Sommer, Damian McCann. Hold the salt; Innovative Treatment of RO Concentrate. *Proceedings of the Water Environment Federation*, 2008 (14): 219230, DOI: 10.2175/ 19384708788734539.
5. Turek M., Mitko K., Dydo P., Laskovska E., Jacobic Kolon A. Prospects for high water recovery membrane desalination// *Desalination*. 201. Vol. 401. Pp.180189. DOI: 10.101/j.desal.201.07.047.
6. Jiang S., Li Y., Ladewig B.P. A review of reverse osmosis membrane fouling and control strategies// *Science of the total environment*. 2017. Vol. 595. Pp. 57583. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.03.235.
7. Suratt W.B., Adrews D.R., Pujals V.J., Richards S.A. Design considerations for major membrane treatment facility for groundwater// *Proceedings of the Conference on Membranes in Drinking and Industrial Water Production*. 2000. Vol. 1. Pp.61–70.
8. Veesspareni S., Bond R. Getting this last drop: new technology for treatment of concentrate// *Tianjin IDA World Congress 2013 on Desalination and water Reuse*, October 2025, China 2013, TIAN 13–357.
9. Shalid M.K., Pyo M., Choi Y-G. The operation of reverse osmosis system with CO₂ as a scale inhibitor: A study on operational behavior and membrane morphology// *Desalination*. 2018. V. 426. P.p. 11–20.
10. Chaussemier M., Pourmohtasham E., Gelus D., Pecoul N., Perrot H., IEGION j., Cheap-Charpentier H., Homer O. State of art of natural inhibitors of calcium carbonate scaling. A review article// *Desalination*, 2015, v. 356, pp. 47–55. DOI: 10.1016/j.desal.2014.10.014.
11. А.Г. Первов. Удаление карбоната кальция из концентратов установок обратного осмоса, содержащих ингибирующие вещества. Мембраны и мембранные технологии, 2017. Т. 3, С. 1–14.
12. Головесов В.А., Рудакова Г.Я., Первов А.Г., Спицов Д.В. Выбор мембран и сервисных реагентов для мембранных установок, применяемых для обработки подземных вод // *Вестник МГСУ*. 2020. Т. 15. Вып. 11. С. 1493–1504. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.11.1493–1504.

III. ПОВЫШЕНИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ
И ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ
ОЧИСТКИ ХОЗБЫТОВЫХ
И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ
ВОД

УДК 628.32

**ЭМИССИЯ ГАЗОВ КАК РЕГУЛЯТОР ПРОЦЕССОВ ОЧИСТКИ
И ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ СТОЧНЫХ ВОД**

Н.Б. Бондаренко, Н.С. Серпокрылов

Донской государственный технический университет,
г. Ростов-на-Дону, Россия

Загрязнение воздуха в условиях городской среды ставит задачи по поиску эффективных и недорогих методов его очистки. Перспективным методом по удалению загрязняющих и дурнопахнущих веществ из атмосферного воздуха является абсорбция с использованием природных материалов. Экспериментальные исследования показали технологическую и природоохранную перспективность удаления поллютантов и дурнопахнущих примесей систем водоотведения абсорбентами из природных материалов на основе модифицированной пшеничной соломы.

Загрязнение воздуха различными поллютантами в условиях городской среды ставит вполне конкретные задачи по поиску и разработке эффективных и недорогих методов по его очистке. Одной из перспективных технологий может быть абсорбция с использованием природных материалов.

Целью работы являлись экспериментальные исследования по удалению поллютантов и дурнопахнущих примесей из модельного раствора, имитирующего их выбросы из городских канализационных очистных сооружений (КОС), путем использования пшеничной соломы

как абсорбирующего материала, модифицированного различными способами. Изучено использование различных вариантов смешения пшеничной соломы и других органических материалов, используемых в качестве абсорбента. Получены экспериментальные данные, на основании которых доказана перспективность использования природных материалов в воздухоочистке, а также приведена сравнительная оценка их эффективности.

Тенденцией последних лет становится достаточно высокая скорость урбанизации, которая обуславливает новые нормы и подразумевает своевременное внесение корректив в технологические процессы водоочистки и защиты окружающей среды от негативного воздействия. При росте объема потребляемой водопроводной воды, соответственно, растет и объем её сброса в городские сети водоотведения. Соответственно, атмосферный воздух смешанный с воздушными поллютантами, исходящими из городских КОС и КНС, должен отвечать гигиеническим нормативам по предельно допустимым концентрациям загрязняющих веществ (максимальным или минимальным значениям ПДК), ориентировочным безопасным уровням воздействия (ОБУВ), предельно-допустимым уровням физического воздействия (ПДУ), а также по биологическим факторам, обеспечивающим их безопасность для здоровья человека [1]. При этом по СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 размер санитарно-защитной зоны (в зависимости от производительности объекта) может варьироваться от 15 до 300 м, что является достаточным расстоянием для четкого ощущения дурнопахнущих выбросов, особенно в теплое время года [2]. Целью исследований являлась разработка нового метода абсорбции подобных поллютантов путем использованием природных материалов, таких как, например, пшеничная солома и кремнийсодержащие породы. Данные материалы широко распространены на территории РФ и имеют достаточно низкую себестоимость, т.е. рациональное соотношение цены и технологической эффективности.

Анализ профильных литературных источников показывает перспективность применения такого типа загрузок в процессах абсорбции компонентов газовойоздушных выбросов [3–5]. Это потребовало разработку экспериментальной установки с изменяемой загрузкой с варьированием способов ее подготовки. Установка моделировала стандартную приемную камеру городской КНС с использованием сорбирующей загрузки различного состава. Внутри емкости, объемом 19 л, смонтирован регулируемый вентилятор, осуществляющий выброс направленного потока воздуха со скоростью потока $\geq 1,5$ м/с, который прокачивался через модели абсорберов с сорбирующей загрузкой из различных материалов (рис. 1).

Основываясь на теоретических и практических рекомендациях литературных источников [6], в качестве загрузки модели абсорберов нами

выбраны кремнийсодержащие породы (бентонит и диатомит) и пшеничная солома местного происхождения, как дешевые и обладающие высокой сорбционной емкостью материалы.

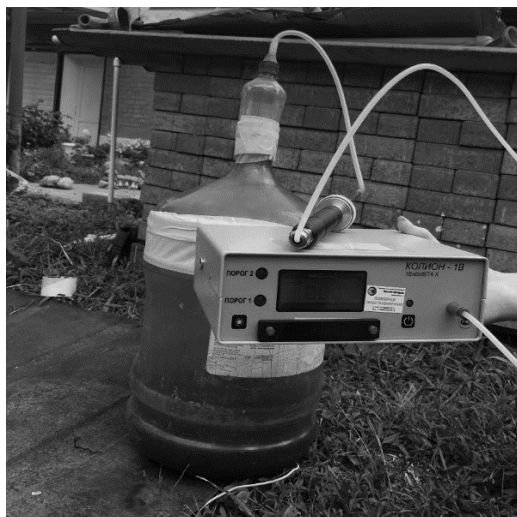


Рисунок 1. Экспериментальная установка в момент проведения измерения

Модель биосорбера с сорбирующей загрузкой представляет собой емкость объемом 200 мл, куда помещена подготовленная солома, объем которой равен примерно 55 см^3 . Для выбора эффективной загрузки испытано 3 опытных модели с различными вариантами рабочего сырья, исходная пшеничная солома смешивалась с термически модифицированной кремнийсодержащей породой местного месторождения ($D \approx 1 \text{ мм}$, $V = 16 \text{ см}^3$), а также золой этой же соломы, карбонизированной при температуре около $250 - 300^\circ\text{C}$ ($V = 16 \text{ см}^3$):

1. Подготовленная пшеничная солома ($V = 55 \text{ см}^3$).
2. Подготовленная пшеничная солома + термически модифицированная кремнийсодержащая порода ($V = 55 \text{ см}^3 + 16 \text{ см}^3 = 71,5 \text{ см}^3$).
3. Подготовленная пшеничная солома + карбонизат соломы ($V = 55 \text{ см}^3 + 16 \text{ см}^3 = 71,5 \text{ см}^3$).

Биосорбер герметично присоединялся к экспериментальной установке для предотвращения потери воздушного потока на выходе и для прохождения полного объема загрязненного воздуха через адсорбирующую загрузку. Далее, в самой крайней точке экспериментальной установки, из биосорбера выводился силиконовый шланг для его прямого подсоединения к газоанализатору. Фотография общего вида одного из биосорберов представлена на рисунке 2.

Для изготовления раствора, моделирующего выброс поллютантов из приемной камеры КНС, была использована дождевая вода ($V = 2,5 \text{ л.}$), смешанная с отходами жизнедеятельности КРС (крупнорогатого скота), в пропорции 2 : 1, соответственно.



Рисунок 2. Общий вид испытываемого биосорбера

Измерения концентраций газов в выбросах от экспериментальной установка производили поверенными газоанализаторами Эко-Интех ЭЛАН и Колион 1-В, имеющими свидетельства о поверке МС (табл. 1–3).

В таблице 1 представлены исходные концентрации газовых выбросов от модельного раствора, сравниваемые с нормативами СанПиН 1.2.3685-21 [7] в мг/м^3 (как средние результаты двух параллельных измерений).

Таблица 1. Состав газовых выбросов модельного раствора и ПДК по СанПиН 1.2.3685-21

№ п/п	Определяемый показатель (газ)	Ед. изм.	Результат измерений	ПДК, м.р.
1	CO (углерода оксид)	мг/м^3	0,45	5
2	NO (азот монооксид)	мг/м^3	1,4	0,4
3	NO ₂ (двуокись азота)	мг/м^3	> 10	0,2
4	H ₂ S (водород сернистый)	мг/м^3	≥ 20 (23,5)	0,008
5	SO ₂ (диоксид серы)	мг/м^3	1,34	0,5
6	NH ₃ (аммиак)	мг/м^3	0	0,2

Можно видеть (табл. 1), что некоторые исходные показатели концентрации газовых выбросов от модельного раствора превышают нормы ПДК (согласно требованиям СанПиН 1.2.3685-21) в несколько раз, что потребовало поиска наиболее эффективной абсорбционной загрузки из трех вариантов.

Обработка газовых выбросов в моделях испытываемых биосорберов (табл. 2) показала существенное снижение концентраций почти по всем

показателям, причем ниже норм ПДК. Наилучшие показатели очистки получены при использовании комбинированных вариантов загрузок (солома + бентонит, солома + карбонизат).

Результаты измерений, полученные в ходе сравнительных измерений с различными моделями биосорберов, представлены в таблице 2.

Таблица 2. Остаточные концентрации в очищенных газовых выбросах с использованием различных абсорбентов

№ п/п	Показатель	Ед. изм.	Солома	Солома + бентонит	Солома + карбонизат	ПДК м.р.
1	CO (углерода оксид)	мг/м ³	0,62	0,55	1,52	5
2	NO (азот монооксид)	мг/м ³	0	0,704	0,033	0,4
3	NO ₂ (двуокись азота)	мг/м ³	0	> 10 (143,9)	0,09	0,2
4	H ₂ S (водород сернистый)	мг/м ³	> 20	6,1	0,12	0,008
5	SO ₂ (диоксид серы)	мг/м ³	1,00	0,42	0,1	0,5
6	NH ₃ (аммиак)	мг/м ³	0	0	0	0,2

Анализируя и сравнивая полученные результаты с исходными значениями, отметим (табл. 2), что испытанные материалы позволяют снизить эмиссию газов данной группы поллютантов до норм ПДК. Однако, подобные материалы, используемые в агрессивных газовых средах, в процессе эксплуатации способны снижать свои адсорбционные характеристики [8]. Поэтому для проверки заполнения адсорбционных пор используемых природных материалов молекулами загрязняющих соединений и их регенерации, изучена эффективность промывки комбинированного адсорбента.

Промывка фильтров осуществлялась в течение 15 мин водопроводной водой. Полученные результаты измерений по суммарному количеству выброса поллютантов из модельного раствора после промывки экспериментальных биосорберов представлены в таблице 3.

Таблица 3. Показатели очистки газовых выбросов с использованием регенерированных абсорбентов

№ п/п	Показатель	Ед. изм.	Солома	Солома + бентонит	Солома + карбонизат	ПДК м.р.
1	CO (углерода оксид)	мг/м ³	0,7	1,16	1,75	5
2	NO (азот монооксид)	мг/м ³	0,1	0,325	0,012	0,4
3	NO ₂ (двуокись азота)	мг/м ³	0	0,0	0,2	0,2
4	H ₂ S (водород сернистый)	мг/м ³	0,88	2,08	0,43	0,008
5	SO ₂ (диоксид серы)	мг/м ³	0,18	0,4	0,1	0,5
6	NH ₃ (аммиак)	мг/м ³	0	0	0	0,2

Сравнивая показатели очистки газов до (табл. 2) и после (табл. 3) промывки загрузки, можно видеть некоторое снижение эффективности, но

в пределах ПДК, что указывает на принципиальную возможность восстановления абсорбционных свойств в процессе эксплуатации.

Таким образом, можно сделать вывод, что смешанные органические наполнители являются перспективными природными материалами для абсорбции газов, что требует проведения дальнейших исследований по технологической эффективности в реальных промышленных условиях систем водоснабжения и водоотведения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ «Санитарные правила и нормы СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению населения, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий» от 28.01.2021 № 3 // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2021 г. – с изм. и допол. в ред. от 26.06.2021.
2. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ «О введении в действие новой редакции санитарно-эпидемиологических правил и нормативов СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов» от 25.09.2007 № 74//Собрание законодательства Российской Федерации. – 2007 г. - с изм. и допол. в ред. от 25.04.2014.
3. Баженов, В.И. Варианты технических решений по удалению запаха сточных вод / В.И. Баженов, Е.А. Королева // Научно-технический вестник Поволжья. – Казань: ООО «Рашн Сайнс», 2014. С. 104–107.
4. Гаврилова, Н.Н. Анализ пористой структуры на основе адсорбционных данных: учеб. пособие / Н.Н. Гаврилова, В.В. Назаров. – Москва: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2015. С. 12–22, С. 33–39.
5. Xiaohua, Qi Preparation and Properties of Diatomite Composite Super Absorbent / Qi Xiaohua, Liu Mingzhu, Chen Zhenbin: Polymers for Advanced Technologies 18(3), 2007. S. 184–193.
6. Синельцев А.А. Сорбционная очистка сточных вод от ионов тяжелых металлов с помощью модифицированного гранулированного глауконита: дис. ... канд. техн. наук: СГТУ им Ю.А. Гагарина. Саратов, 2016. 158 с.
7. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» (вместе с

«СанПиН 1.2.3685-21)» от 28.01.2021 № 2 // Собрание законодательства Российской Федерации.

8. Simon, Woodhouse Absorbent regeneration with flashed lean solution and heat integration / Woodhouse Simon. – Текст: электронный // patents.google.com:[сайт]. URL:<https://patents.google.com/patent/WO2008063079A2/en> (дата обращения: 20.10.2021).

УДК 628.35

ВЫБОР СХЕМ РЕКОНСТРУКЦИИ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ВОДООТВЕДЕНИЯ МАЛЫХ ГОРОДОВ И ПОСЕЛЕНИЙ

Д.А. Бутко, Л.А. Долженко

Донской государственный технический университет,
г. Ростов-на-Дону, Россия

В статье рассмотрена проблематика актуализации применяемых технологий очистки сточных вод на «средних» и «небольших» станциях очистки сточных вод на примере ОСК г. Сальск Ростовской области. На основании выполненного обследования и с использованием действующих ИТС предложен вариант реконструкции с максимальным использованием существующих емкостей.

В связи с принятием в России новых технологических нормативов для сброса очищенных сточных вод в водоемы, для всех очистных сооружений централизованной системы водоотведения необходимо проведение актуализации их состояния и выбора способа реализации реноваций. При этом особое внимание уделяется большим – сверхкрупным очистным сооружениям, которые вошли в список 300 объектов первой категории, оказывающих значительное негативное воздействие на окружающую среду. По данным справочника ИТС 10-2019, примерно 50 % канализационных очистных сооружений производительностью меньше 100 тыс. м³/сут были построены до 1980 года и требуют реноваций [1]. Для таких очистных сооружений особенно остро стоит вопрос с финансированием и необходимо определение внутренних резервов при максимальном использовании имеющихся емкостей и оборудования.

Состав очистных сооружений по проектам 70 – 80 годов для рассматриваемой категории примерно одинаков: сооружения механической очистки (решетки грубой очистки, песколовки неаэрируемые, первичные отстойники), сооружения биологической очистки (аэротенки в режиме полной биологической очистки, реже капельные или высоконагружаемые биофильтры с насыпной загрузкой), обеззараживание в контактных резервуарах хлорреагентами, сооружения по обработке осадков (аэробные минерализаторы с уплотнением, иловые и песковые площадки).

В качестве способа реноваций очистных сооружений водоотведения может быть осуществлена реконструкция, модернизация, ретехнологизация или новое строительство. Работающие очистные сооружения водоотведения производительностью более 20 тыс. м³/сут, обязаны разрабатывать планы повышения экологической эффективности, в которых закладываются такие мероприятия. Особое место занимают очистные сооружения водоотведения категории по мощности «средние» (от 4 до 10 тыс. м³/сут) и «небольшие» (от 1 до 4 тысяч соответственно). Процентное распределение населения России по проживанию в поселениях различных категорий показывает, что в малых городах России проживает около 55 % населения, а состояние систем водоотведения крайне неудовлетворительное. Остановить и закрыть такие очистные сооружения малых городов и поселений не представляется возможным. Необходимо отметить, что достаточных объемов собственных источников финансирования у таких объектов нет, рассчитывать на инвестиции со стороны бизнеса практически бесполезно, и без поддержки муниципальных и региональных бюджетов, им не справиться. В такой сложной ситуации представляется своевременным проведение актуализации работающих сооружений и оборудования, позволяющей выявить основные проблемы и рассмотреть возможности их решения для достижения установленных технологических нормативов на сброс.

Актуализация очистных сооружений водоотведения состоит из нескольких этапов: оценка текущего состояния объектов, оборудования и технологий; разработка возможных вариантов изменений технологий, которые могут привести к улучшению качества очищенной воды; подбор эффективного оборудования; выбор типа реноваций [2]. Такой подход позволяет разработать план повышения экологической эффективности объекта и при минимальном финансировании выполнять поставленные задачи поэтапно.

Обследование городских очистных сооружений города Сальска проводилось в июле 2021 года сотрудниками кафедры «Водоснабжение и водоотведение» Донского государственного технического университета. В связи с отсутствием полного комплекта исполнительной документации на существующие сооружения и оборудование, изучение состояния объекта носило визуальный характер с комментариями руководящего и обслуживающего персонала, а также использования журналов технического и санитарно-химического контроля.

Очистные сооружения канализации были запроектированы институтом «Южгипроводхоз» в 70-х годах прошлого века производительностью 6,3 тыс. м³/сут. Строительство очистных сооружений канализации было начато в 1966 году. В 1972 году были запущены сооружения механической очистки, биологическая очистка из-за конструктивных и строительных недоработок была введена в

эксплуатацию только в 1984 году. В 1985 г. СКУ «Росводоканалналадка» были разработаны мероприятия по интенсификации работы очистных сооружений, в результате которых производительность последних была доведена до 7,5 тыс. м³/сут, однако выйти на стабильный режим по эффективности очистки сточных вод не смогли из-за конструктивных неполадок. Разработка проекта «Расширение и реконструкция очистных сооружений канализации г. Сальска Ростовской области» выполнена институтом ФГУП «Северо-Кавказский Гипрокоммунводоканал» в 2004 г. с доведением их производительности до 15 тыс. м³/сут с полной биологической очисткой и доочисткой, однако не была реализована.

Технологическая схема очистки сточных вод и обработки осадков при проектировании объекта выбрана достаточной для обеспечения нормативов на сброс в 80-х годах 20 века и экономически эффективной при минимальных энергетических затратах. Очистные сооружения состоят из приемной камеры, горизонтальных песколовок с круговым движением воды, двухъярусных первичных отстойников, капельных биофильтров, вторичных вертикальных отстойников.

Сооружения механической очистки должны были обеспечивать достижение допустимого качества сточных вод для подачи на биологическую очистку и полную обработку первичного осадка, включая анаэробное сбраживание и уплотнение. В настоящее время песколовки выключены из технологической линии, первичные отстойники заполнены осадком и практически не работают.

Сооружения биологической очистки – капельные биофильтры и вертикальные отстойники – запроектированы в режиме полной биологической очистки сточных вод. Пять секций биофильтров демонтированы, последняя – шестая находится в нерабочем состоянии, загрузка полностью заилена. Вторичные вертикальные отстойники принимают поступающие сточные воды, не работают из-за конструктивных недостатков и частичного разрушения сборных желобов.

Обеззараживание предусматривалось жидким хлором, однако в настоящее время заменено гипохлоритом натрия, хлораторная не работает и практически неочищенные сточные воды сбрасываются в р. Средний Егорлык с недопустимыми по качеству очистки характеристиками.

Из первичных и вторичных отстойников передвижными насосами перекачивается на иловые площадки. Иловые площадки имели дренажную систему, но после чистки площадок система пришла в негодность.

Ввиду крайне неудовлетворительной эксплуатации и отсутствия средств на капитальный ремонт, износ сооружений и оборудования в настоящее время составляет более 80 %.

Анализ результатов обследования показал, что полному восстановлению станция очистки сточных вод не подлежит, т. к. часть сооружений механической очистки выключена из технологической схемы,

а биофильтры полностью не работают. Следовательно, для достижения требуемых технологических нормативов необходимо новое строительство очистных сооружений, для реализации которого необходимы существенные финансовые средства.

Для выбора возможных вариантов сохранения станции очистки сточных вод г. Сальска и поэтапного достижения технологических нормативов при минимальном финансировании объекта, были уточнены входные характеристики [3].

Расходы поступающих сточных вод определялись по журналам производственного контроля притока в течение 2020 и начало 2021 годов. Анализ притока сточных вод на очистные сооружения показывает, что насосные станции подают сточную воду примерно 16 ч в сутки, наблюдается отсутствие притока сточных вод в течение 6 – 8 ч в сутки, перерывы в подаче воды могут быть 0,5 ч и более.

Максимальный суточный расход за рассматриваемый период достигал 5000 м³/сут, минимальный – 1440 м³/сут. Среднесуточный расход сточных вод за 2020 г. составил 3430 м³/сут с учетом жидких бытовых отходов.

В целом, поступающие сточные воды можно отнести к категории «концентрированные»: органические загрязнения (по БПК_п) – 284 мгО₂/л, взвешенные вещества – 256 мг/л; азот аммонийный – 67 мгN₂/л; азот нитритов – 0,14 мгN₂/л; азот нитратов – 0,21 мгN₂/л.

В соответствии с рекомендациями информационно-технического справочника по наилучшим доступным технологиям была принята следующая технологическая схема для очистки городских сточных вод и обработки осадков г. Сальска, включающая блок механической очистки, блок биологической очистки с активным илом; блок обеззараживания; блок обработки осадков [4].

Блок механической очистки необходим для подготовки сточных вод для контакта с микроорганизмами: необходимо убрать из сточных вод грубые отбросы, песок, жиры. Для удаления грубых отбросов устанавливают решетки, для удаления песка и других минеральных (тяжелых) примесей – песколовки. При выборе сооружений биологической очистки на практике более устойчивую и надежную работу показывают сооружения с активным илом, по сравнению с биофильтрами. Конструктивно, биологический процесс осуществляется в аэротенках прямоугольной формы, куда поступает сточная вода и возвратный активный ил, отделяемый в сооружениях илоотделения. Конструкция оснащена системой аэрации или мешалками.

Для реконструкции или нового строительства очистных сооружений были выбраны наилучшие доступные технологии для достижения технологических нормативов при сбросе сточных вод в водные объекты категорий Б-Г [1]:

- НДТ 8в «Биологическая очистка с удалением азота и химическим удалением фосфора»;
- НДТ 8г «Очистка с биологическим удалением азота и биолого-химическим удалением фосфора»;
- НДТ 9б «Совместное применение НДТ 8 с доочисткой.

Однако в качестве промежуточного варианта или первого этапа реконструкции рассматривалась возможность устройства и наладки в существующих емкостях применения НДТ 8а «Полная биологическая очистка» и НДТ 8б «Биологическая очистка с удалением азота». Необходимо отметить, что данное технологическое решение является временным и достижение технологических нормативов с ним невозможно, однако может быть промежуточным вариантом при реконструкции до строительства полноценной биологической очистки.

При обязательном устройстве сооружений механической очистки качество очищенных сточных вод определяет принятая технология биологической очистки сточных вод, поскольку является завершающей стадией процесса. Обеззараживание, как правило, не влияет на химический состав сточных вод. Рассматривались следующие возможные варианты реконструкции очистных сооружений водоотведения категории по мощности «средние» и «небольшие» с учетом наилучших доступных технологий:

- восстановление сооружений механической очистки или закупка комплекса механической очистки сточных вод заводского изготовления;
- реконструкция первичных отстойников в биореакторы с активным илом в режиме работы от полной биологической очистки до глубокой биологической очистки с удалением соединений азота и химическим удалением фосфора;
- приобретение и установка отдельных сооружений, блоков, технологических узлов с оборудованием заводского изготовления.

Таким образом, предложенный вариант реконструкции очистных сооружений г. Сальска позволяет на период строительства новых очистных сооружений использовать существующие емкости для продолжения работы очистных сооружений по временной схеме. Все приобретенное новое оборудование для работы по временной схеме, продолжит работать и после завершения полной реконструкции. Существующие емкостные сооружения можно использовать при расширении станции в связи с увеличением притока сточных вод или для обработки осадка в режиме биологического удаления соединений фосфора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС-10-2019 «Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов». [Электронный ресурс]
2. Вильсон Е.В., Бутко Д.А. Актуализация технологии очистки сточных вод на базе наилучших доступных технологий // Вестник Евразийской науки, 2019 № 4, <https://esj.today/PDF/39SAVN419.pdf> (доступ свободный).
3. Данилович Д.А. Кризис компетенции в проектировании очистных сооружений канализации: формы, последствия, пути преодоления // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. 2018. № 4. С. 5–13.
4. Данилович Д.А., Скобелев Д.О., Щелчков К.А. Определение технологических показателей качества очистки городских сточных вод, соответствующих применению наилучших доступных технологий // Водоснабжение и санитарная техника. 2017. № 3. С. 40–51.

УДК 628.3

ОБОСНОВАНИЕ МОДИФИКАЦИИ СОРОЗАДЕРЖИВАЮЩИХ РЕШЕТОК НА КАНАЛИЗАЦИОННЫХ НАСОСНЫХ СТАНЦИЯХ

Н.С. Серпокрылов, Е.В. Бочкова

Донской государственный технический университет г. Ростов-на-Дону, Россия

А.Г. Бочков

ООО «КЭСК», г. Ростов-на-Дону, Россия

В технологической схеме очистки сточных вод обязательным элементом являются решетки для задержания крупных загрязнений органического и минерального происхождения. Обоснованием для их модификации является повышение эффективности улавливания твердых отходов, в том числе салфеток из нетканых материалов, и, как следствие, безотказность и безаварийность канализационных насосных станций. Смонтированные в 3-х насосных станциях жилого микрорайона «Суворовский» г. Ростова-на-Дону модифицированные сорозадерживающие решетки в течение года промышленной эксплуатации показали, что прочистка насосов ведется один раз в 10 суток, а не ежедневно, как до их установки.

В технологической схеме очистки сточных вод обязательным элементом являются решетки для задержания крупных загрязнений органического и минерального происхождения.

В канализационных насосных станциях жилого микрорайона «Суворовский» г. Ростова-на-Дону для решения данной проблемы предусмотрена сорозадерживающая корзина, которая улавливает часть

крупных загрязнений. Данного решения недостаточно вследствие высокой аварийности насосов канализационных станций, вызванной гидродинамикой потока сточной воды и частицами прошедших в корзину загрязнений.

Центробежный насос погружается в жидкость, и рабочее колесо начинает вращаться [1]. Жидкость поступает на вход в рабочее колесо и с минимальным гидродинамическим сопротивлением, огибая входные кромки лопаток 3, установленные под углом β_2 , движется вдоль поверхностей второго порядка лопаток 3, взаимодействуя с выходными кромками лопаток 3, установленными под углом β_1 и, приобретая максимальную абсолютную скорость, выходит из рабочего колеса центробежного насоса. Крупные включения сточных вод, под действием напора, создаваемого рабочим колесом, попадают в систему регулировки рабочего колеса (рис. 1).

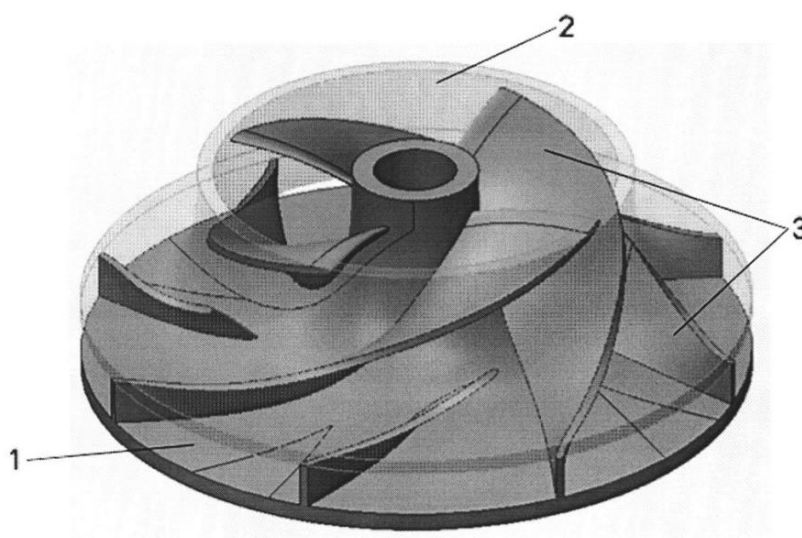


Рисунок 1. Рабочее колесо центробежного насоса

В данной ситуации имеет место неустойчивый режим работы насоса, характеризующийся уменьшением подачи, колебанием напора в достаточно значительных пределах. В результате происходят своего рода гидравлические удары, сопровождающиеся вибрацией, шумами насосной установки [2]. Данный эффект, исходя из надежности эксплуатации, недопустим в работе насосных станций.

Снизить нарушение режима работы канализационных насосных станций предложено путем модификации существующих решеток. Данные решетки были смонтированы в колодце-отстойнике (рис. 2), расположенном перед насосной станцией в целях предварительной очистки сточных вод.

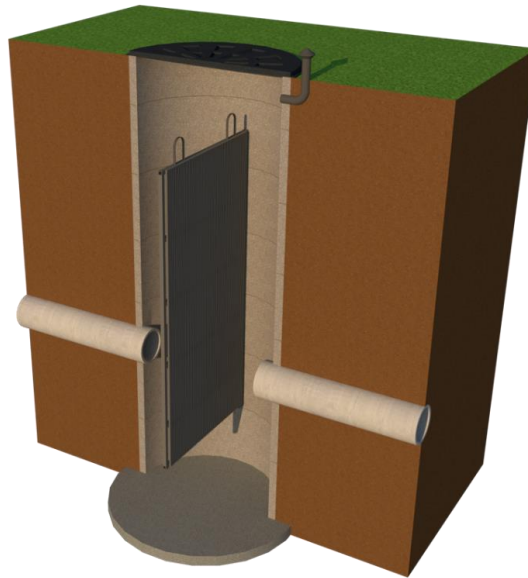


Рисунок 2. Сорозадерживающая решетка и колодец-отстойник

Аналогичная система очистки описывается в патенте RU №2 529 231 С1 («Механическая решетка», МПК E02B 5/08, E03F 5/14) [3], в котором механическая решетка имеет сорозадерживающую решетку с рядом параллельных прутков на балках решетки, скребки с рядом параллельных зубьев на балках скребков для очистки решетки. Сорозадерживающая решетка и скребки выполнены разборными. Балка решетки снабжена съемным уголком. Ушки прутков решетки имеют возможность вставляться в сквозные отверстия балки решетки. Выступающая часть ушек из сквозных отверстий в балке решетки снабжена пазами для вставки в них верхней части одной из полок уголка, а другая полка уголка закреплена болтовым соединением к одной из полок швеллера балки решетки с образованием замкового соединения.

Недостатком такой конструкции является снижение эффективности сорозадерживающей решетки из-за большого количества мест закрепления болтовыми соединениями, пазов для вставки полок уголка, скребков и зубьев, что приводит к образованию коррозионных процессов, в том числе и электрохимической, и необходимости более частого обслуживания и проведения ремонтных работ. Данная конструкция является менее эффективной, так как имеет низкое сопротивление потоку сточных вод с твердыми примесями, из-за увеличенного прозора между прутьями, что приводит к снижению срока эксплуатации.

Обоснованием модификации решеток является устранение вышеуказанных недостатков, а именно, снижение количества профилактических мер и аварийности канализационных насосных станций путем повышения эффективности улавливания твердых отходов, в том числе основным компонентом которых являются салфетки из нетканых

материалов, улавливание которых является одной из актуальных проблем в области очистки сточных вод [4].

Данное решение в настоящее время реализовано в опытном образце: колодцах-отстойниках перед КНС № 1, № 2 и № 5 микрорайона Суворовский г. Ростова-на-Дону, где проведены в течение года промышленные испытания, подтверждающие заявляемый технический результат: прочистка насосов ведется один раз в 10 суток, а не ежедневно, как до установки модифицированных решеток.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нифантов Ю.А., Пацей П.С., Тойбич С.В. – Патент на изобретение «Рабочее колесо центробежного насоса» № 218.016.72 FВ от 21.07.2018 г.
2. Колесник Ю.В., Журба М.С., Гончаров А.Г., Левченко О.В., Татьянко Н.О. – Патент Российской федерации на изобретение «Механическая решетка» № 2 529 231 от 27.09.2014 г.
3. Ухин Б.В. Гидравлические машины. Насосы, вентиляторы, компрессоры и гидропривод. – М.: ИД «ФОРУМ» – ИНФРА-М, 2011. С. 117–118.
4. Серпокровлов Н.С., Бочков А.Г., Бочкова Е.В. – Патент Российской федерации на полезную модель «Сорозадерживающая решетка» № 204883 от 05.02.2021 г.

УДК 628.34; 628.35

ОСОБЕННОСТИ РЕАГЕНТНОЙ ДЕФОСФАТИЗАЦИИ СТОЧНЫХ ВОД

Е.В. Вильсон

ООО «НИЦ «ЭКОСТЕХ», г. Новочеркасск, Россия

Представлены результаты исследований по влиянию вида алюминийсодержащих коагулянтов при различных значениях рН системы на биоценоз активного ила аэротенков.

Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений и городских округов относится к области применения наилучших доступных технологий, что определено ст. 28.1, введенной федеральным законом от 21.07.2014 г. N 219-ФЗ. В справочнике ИТС 10-2015, согласно НДТ, приводятся технологии очистки сточных вод. Для сооружений производительностью менее 10 тыс. м³/сут, в ИТС 10-2015, регламентируются следующие наилучшие доступные технологии: НДТ 8а – полная биологическая очистка для сверхмалых сооружений производительностью 10 – 100 м³/сут; НДТ 8в – полная биологическая

очистка с удалением азота для малых, небольших и средних сооружений производительностью 100 – 10000 м³/сут. В данных технологических схемах не заложены методы дефосфатизации и содержание фосфора фосфатов в очищенной воде не установлено. В сточных водах небольших населенных пунктов, согласно литературным данным и собственным исследованиям автора, концентрация фосфора фосфатов в исходных сточных водах в среднем колеблется от 3,9 до 15 мг/дм³. В данном случае не совсем понятно как будут реагировать на содержание в очищенных сточных водах фосфора фосфатов в концентрации 10 мг/дм³ и более государственные и общественные природоохранные организации. При этом для одного и того же объекта также характерен значительный интервал колебания концентраций общего фосфора в исходных сточных водах (рис. 1). В исходных сточных водах, поступающих на очистные сооружения производительностью более 10 тыс. м³/сут концентрация фосфатов, как правило, не превышает 4 мг/дм³. Однако встречаются и исключения, так в сточных водах, поступающих на очистные сооружения г. Новошахтинска, концентрация фосфора фосфатов в исходных сточных водах в среднем составляет 18,0 мг/дм³. Для сооружений производительностью более 10 тыс. м³/сут ИТС10-2015 регламентируются наилучшие доступные технологии, предусматривающие удаление фосфора фосфатов до нормативного значения 0,7 мг/дм³. К таким технологиям относятся: НДТ 7е – очистка с биологическим удалением азота и фосфора с ацидофикацией; НДТ 7ж – очистка с биологическим удалением азота и биолого-химическим удалением фосфора; НДТ 7з – очистка с биологическим удалением азота и биолого-химическим удалением фосфора с ацидофикацией.

Концентрации общего фосфора, мг/л

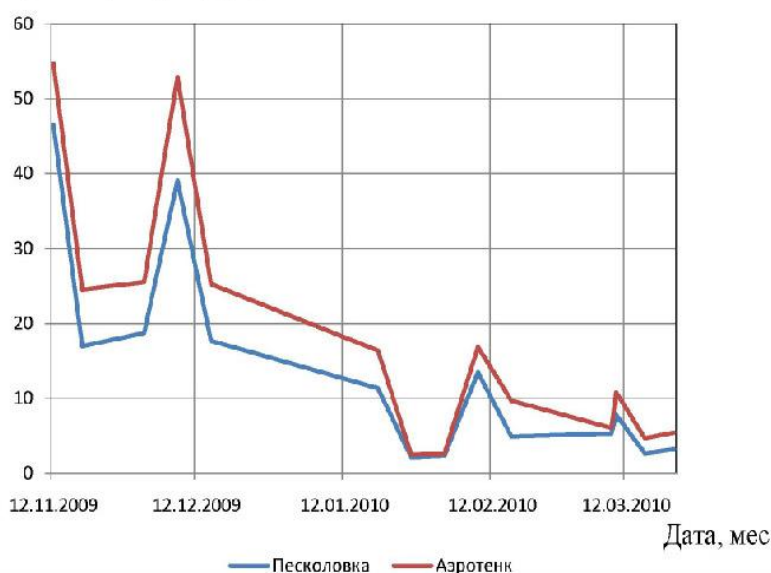
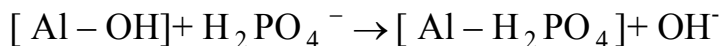
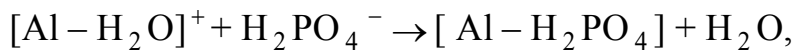


Рисунок 1. Концентрация общего фосфора в сточных водах ст. Куцевская

Таким образом, реагентная дефосфатизация продолжает быть актуальной. Наиболее часто для удаления фосфат-ионов из СВ применяют алюминийсодержащие коагулянты. На продуктах гидролиза коагулянта возможна хемосорбция фосфат-ионов, протекающая по ионообменному механизму, обусловленному обменом фосфат-ионов на молекулы воды или на гидроксидные группы [1]:



Теоретическая доза коагулянта для дефосфатизации определяется по соотношению стехиометрических коэффициентов реагирующих веществ, при этом на практике доза всегда выше, и в зависимости от вида применяемого алюминийсодержащего коагулянта и места ввода реагента в сооружения очистки сточных вод превышает теоретически определенную дозу в среднем в 2 – 4 раза. Оптимальные дозы следует в каждом конкретном случае определять опытным путем.

В соответствии с рекомендациями справочного пособия к СНиП концентрацию вводимого оксида металла следует ограничивать, так как возможно угнетение микроорганизмов активного ила при введении реагента в иловую смесь. При использовании сернокислого алюминия рекомендуется принимать не более 18 мг/дм³ по Al₂O₃, [2]. Нами были проведены соответствующие исследования, в процессе которых было установлено, что безвредная для простейших микроорганизмов доза коагулянта по оксиду алюминия, в частности, при введении коагулянта в аэротенк зависит от множества факторов: от нагрузки на ил, от технологической схемы очистки сточных вод, влияющей на pH очищаемых сточных вод в аэротенке, а также от вида применяемого алюминийсодержащего коагулянта. Наибольшая токсичность алюминия проявляется в растворенном состоянии и связана с его влиянием на обмен веществ живых организмов. Часть ионов алюминия аккумулируется микроорганизмами активного ила, концентрируется в нем и с возвратным илом неоднократно возвращается в аэротенк, где значительная часть подаваемого кислорода воздуха затрачивается не на эффективное биологическое окисление загрязнений, а на восстановление свойств активного ила после токсического повреждающего воздействия. Восстановительный период может продолжаться от 2 недель до нескольких месяцев. Для соединений алюминия растворимость определяется, прежде всего, величиной pH системы и становится значимой при pH менее 5. При этом установлено, что внесение в иловую жидкость сульфата алюминия даже в дозах, значительно превышающих среднестатистическую применяемую, существенно не снижает pH среды (табл. 1).

Таблица 1. Изменение величины pH системы в зависимости от дозы коагулянта

Доза коагулянта по Al_2O_3 , мг/дм ³	Изменение значения pH при введении коагулянта		
	Исходное значение pH		
	3,8	7,4	9,6
33,3	3,72	7,2	9,25
116,6	3,68	6,8	8,95
283,3	3,62	6,6	8,67

Значительное понижение pH иловой жидкости до 4,5 – 5 может проявляться в процессе нитрификации, протекающем с выделением азотной кислоты ($\text{HNO}_3 = \text{H}^+ + \text{NO}_3^-$).

Д.С. Орлов предложил уравнение, позволяющее определять расчетным способом концентрацию растворенного фосфата алюминия при известном значении pH: $\text{pH}_2\text{PO}_4^- = 10,7 - \text{pH}$ [3].

Мы использовали это уравнение для расчета значения pH, при котором образуется наименее растворимое соединение фосфата алюминия при известной концентрации фосфора фосфатов в исходных сточных водах (табл. 2).

Таблица 2. Значение pH для образования нерастворимых соединений фосфата алюминия в зависимости от исходной концентрации фосфатов

$[\text{PO}_4^{3-}]$, мг/дм ³	pH_2PO_4^-	Оптимальное значение pH
1	4,98	5,72
3	4,50	6,2
5	4,28	6,42
10	4,00	6,70
15	3,80	6,90
20	3,68	7,07

Например, при концентрации фосфатов в сточных водах 5 мг/дм³, для успешной дефосфатизации и минимизации растворенного алюминия в очищенной воде, pH в аэротенке не должен быть ниже 6,42. Также было установлено, что и жизнеспособность индикаторных простейших активного ила при введении различных доз сульфата алюминия зависит и от дозы сульфата алюминия и от pH иловой жидкости [4]. На рисунке 2 представлен график жизнеспособности простейших микроорганизмов. Жизнеспособность биоценоза определяли по состоянию простейших, их активности и подвижности [4].

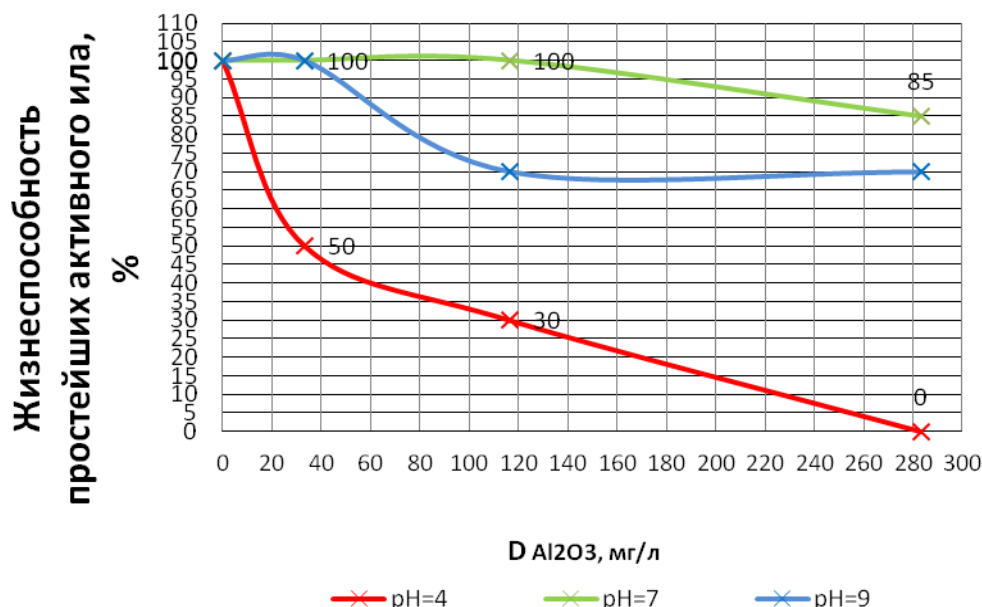


Рисунок 2. Жизнеспособность простейших активного ила при введении сульфата алюминия при разных значениях pH среды

Анализ полученных зависимостей показывает, что жизнеспособность микроорганизмов резко снижается при введении коагулянта в систему с кислой реакцией среды, что можно объяснить тем, что при $\text{pH} < 5$ в системе превалируют растворимые соединения алюминия, которые оказываются более токсичными, чем малорастворимые, следовательно, реагентная дефосфатизация с введением коагулянта в аэротенк-нитрификатор без предварительного подщелачивания безопасна для биоценоза ила только при концентрации фосфатов не более 3 мг/дм^3 .

Также на состояние активного ила оказывает влияние вид алюминийсодержащего коагулянта. Так из практики подготовки воды для питьевых целей известно, что оксихлорид алюминия (ОХА) не индифферентен по отношению к микроорганизмам. Результаты исследований коагуляции маломутных вод Саратовского водохранилища (г. Самара) показали, что эффективность обеззараживания при коагуляционной обработке оксихлоридом алюминия в 1,5 – 2 раза выше, чем сернокислым алюминием. Нами был выполнен сравнительный анализ влияния сульфата алюминия (СА) и оксихлорида алюминия (ОХА) на биоценоз активного ила при дефосфатизации сточных вод.

Техника проведения эксперимента следующая: в иловую жидкость (доза ила $2,5 \text{ г/дм}^3$; температура 25°C ; $\text{pH} = 7,2$; БПК₅ – $3 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$; концентрация растворенного кислорода $2,5 \text{ мг/дм}^3$; исходная концентрация фосфатов – $5,3 \text{ мг/дм}^3$), помещенную в цилиндры емкостью 1 дм^3 , вносили различные дозы реагентов и далее моделировали процесс смешения, хлопьеобразования и осветления обработанной жидкости. Дозы коагулянтов подбирали по возрастающей, отмечали снижение

концентрации фосфатов и активность индикаторных простейших. В активном иле до исследования наблюдали различные виды прикрепленных и свободноплавающих инфузорий, амёб, коловраток, клещей. Результаты исследований представлены в таблице 3.

Таблица 3. Результаты состояния микроорганизмов при использовании СА и ОХА-18 для реагентной дефосфатизации при исходной концентрации фосфатов 5,3 мг/дм³

Доза по Al_2O_3 , мг/дм ³	Концентрация фосфатов после реагентной дефосфатизации, мг/дм ³		Эффект снижения концентрации фосфатов, %		Состояние микроорганизмов активного ила после двухчасового воздействия коагулянта	
	ОХА-18	СА	ОХА-18	СА	ОХА18	СА
3,0	3,4	2,3	36,8	56,6	Гибель 80 %	Активное состояние
4,0	2,9	2,2	43,8	58,7	Гибель 100 %	Активное состояние
5,0	2,1	1,3	60,0	70,0	Гибель 100 %	Активное состояние
6,0	1,06	1,0	80,0	81,1	Гибель 100 %	Незначит. угнетение
11,5		0,8		85,0		Гибель 20 %
20,0		0,5		91,0		Гибель 50 %

ВЫВОДЫ

Анализ результатов исследований свидетельствует о том, что реагентная дефосфатизация влияет на состояние биоценоза активного ила, что связано с состоянием алюминия в жидкой фазе, что в свою очередь зависит от рН среды. Необходимо контролировать этот параметр. Также следует учитывать, что ОХА токсичен для микроорганизмов, даже в малых дозах, не достаточных для достижения заданного эффекта дефосфатизации. Для удаления фосфатов из сточных вод в иловую жидкость целесообразно вводить сульфат алюминия, а в осветленную воду можно вводить как сульфат алюминия, так и оксихлорид алюминия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бабенков Е.Д. Очистка воды коагулянтами. – М.: Наука, 1977. 356 с.
2. Справ. пособие к СНиП. – М.: Стройиздат, 1990. 192 с.
3. Орлов Д.С. Химия почв. – М.: Изд-во МГУ, 1992. 400 с.
4. Методология и методы удаления фосфора в процессе очистки сточных вод / Е.В. Вильсон, А.Ф. Майер. – Ростов-на-Дону: Изд-во ООО «Мини Тайп», 2016. 144 с.

УДК 628.3

ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ УДАЛЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ ОСК СЕВЕРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

С.А. Морозов, Н.С. Серпокрылов

Донской государственный технический университет,
г. Ростов-на-Дону, Россия

В статье рассмотрены анализ и экономическое обоснование удаленного управления режимами ОСК северных территорий России. Приводится расчет затрат времени на лабораторный и технологический контроль канализационных очистных сооружений для рассматриваемых объектов: временный вахтовый поселок строителей расположенный в Ямальском районе Ямало-Ненецкого автономного округа (далее объект № 1) и комплекс очистных сооружений объектов добычи, подготовки нефти и газа Красноярский производственный участок (далее объект № 2), рассредоточенных на северо-западе Красноярского края и юго-востоке ЯНАО под единым технологическим управлением. Приведены штрафные санкции при ненадлежащем качестве очистки сточных вод.

Территориальная разобщенность производственных объектов северных территорий с пунктами проживания, имеющих биологические очистные сооружения, которые, в основном, не имеют квалифицированного обслуживающего персонала и лабораторного контроля процесса очистки, являются причиной ненормативного качества очистки сточных вод и загрязнения окружающей среды. Объединение группы очистных сооружений под единым технологическим сопровождением и управлением с учетом специфики климатических условий является актуальной водоохранной и эколого-экономической задачей, имеющей научное и прикладное значение [1].

Для «объекта № 1» при численности проживающих вахтового поселка до 12 000 человек и производительности КОС-450 1–4 очереди до 1 800 м³/сут. штатная расстановка участка лаборатории следующая, ед.: начальник – 1, технолог – 1, лаборант – 2.

В обязанности указанного штата также входит производственный и технологический контроль качества питьевой воды.

Затраты времени со стороны персонала предприятия на организацию лабораторного и технологического контроля (пос. Сабетта) включают в себя: время на дорогу сотрудника до очистных сооружений и обратно в лабораторию (ежедневно 30 мин); время на проведение стационарных замеров – О₂, рН, Т°, TDS – (2 ч) по четырем станциям КОС в день. Необходимым условием при температурах от 0 до -50 °С является сохранение температуры проб при транспортировании для проведения дальнейших исследований на показатели: масса ила – 3 ч, гидробиологические исследования ила – 1 ч, аммоний-ион, нитраты, нитриты, фосфаты –

выполнение ежедневно по одной станции КОС составляет 1,5 ч, ПАВ и нефтепродукты – 1 ч.



Рисунок 1. Схема вахтового поселка строителей с объектами системы канализации и инфраструктуры

По результатам лабораторных исследований и испытаний технологом принимается решение о необходимости внесения изменений в технологический режим.

Вышеуказанные издержки организации лабораторного и технологического контроля могут вызывать риски ненормативного качества очистки сточных вод. Например, в 2017 г природоохранной прокуратурой были выявлены превышения с последующим вынесением штрафных санкций в соответствии с Представлением об устранении нарушений закона от 2018 г, таблица 1.

Согласно расчету размер вреда, причиненного водному объекту, за 2 квартал 2017 года составляет 782 236 рублей, за 3 квартал 2017 года – 478 492 рублей.

Объект № 2 включает в себя группу очистных сооружений центрального производственного объекта (ЦПО): КОС-400, КОС-300, КОС-35, КОС-10, расположенных в радиусе одного километра. Остальные 5 КОС рассредоточены по производственному участку: производственный объект (ПО) № 1 КОС-10, ПО № 2 – КОС-30, ПО № 3 – КОС-50, ПО № 4 – КОС-50, ПО № 5 – КОС-50, с удаленностью в соответствии со схемой расположения объектов, приведенной на рисунке 2, и количестве рабочих по объектам ЦПО, человек, – 1550, ПО № 1 – 40, ПО № 2 – 150, ПО № 3 –

200. Максимальная суточная производительность сооружений соответствует номенклатуре, указанной в названиях КОС.

Таблица 1. Выявленные превышения НДС в соответствии с проверкой

Выявленные превышения в 2017 году			
2	Фактическая концентрация сбрасываемых веществ со сточными водами	Концентрация, мг/дм³	Значение превышения установленной концентрации, мг/дм³
квартал	азот аммонийный	2,234	0,05 (в 4,468 раза)
	фосфор фосфатов	0,455	0,1 (4,55 раз)
	хлориды	204,3	50 (4,1 раза)
	сульфаты	255,885	50 (5,12 раз)
3	азот аммонийный	0,64	1,28 раза
	хлориды	113	2,26
	нитрат-анион	130	6,5
	нитрит-анион	0,21	5,25

При данном количестве объектов предусмотрена одна единица инженера-технолога с функциями начальника производственной лаборатории и лаборанта. Инженер-технолог зачастую выполняет анализы по объекту ЦПО и ПО № 1 при полной загрузке времени, а также ведет лабораторный и технологический контроль по питьевой воде. Технологический контроль на объектах ПО № 2 – ПО № 5 осуществляется дистанционно в телефонном режиме, лабораторный контроль на данных объектах возложен на операторов КОС и ведется по показателям – аммоний- ион, нитраты, нитриты, фосфаты, взвешенные вещества.



Рисунок 2. Схема удаленности объектов Красноярского производственного участка

Аналогичная ситуация с рисками по превышению нормативов допустимого сброса складывается с объектами Красноярского производственного участка, по которым также были получены предписания об устранении превышений:

Таблица 2. **Выявленные превышения в соответствии с проверкой**

Выявленные превышения в 2019 году		
Период выявленного нарушения	Содержание загрязняющих веществ, сбрасываемых со сточными водами	Значение превышения установленной концентрации, мг/дм ³
18.11.2019	азот аммонийный	36 раз
09.09.2019	азоту нитритному	5 раз
27.03.2019	нефтепродукты	1,6 раза
06.05.2019		7,2 раза
09.09.2019		3,6 раза
18.11.2019		1,8 раза
27.03.2019	фосфаты	78 раз
06.05.2019		40 раз
18.11.2019		92 раза
06.05.2019	БПК полн.	2 раза
09.09.2019		3,5 раза
18.11.2019		4,6 раза
18.11.2019	взвешенные вещества	1,6 раза
18.11.2019	медь	1,3 раза
27.03.2019	марганец	1,8 раза
18.11.2019	марганец	1,6 раза

Так, в 2018 г., в соответствии с планом мероприятий об устранении замечаний, выявленных природоохранной прокуратурой на канализационных очистных сооружениях КОС-400, относящихся к ЦПО, была произведена крупномасштабная реконструкция, в которую вошло следующее оборудование: усреднительная ёмкость, илоуплотнитель, погружные насосы, приборы автоматизации уровней с выходом сигналов на АРМ оператора, скимеры, дополнительные фильтры, расходомеры и др., таким образом «цикл» биологической очистки был увеличен на 25% [3].

Затраты времени для обоих объектов в части выполнения условий производственного и технологического контроля являются сложной, иногда не выполнимой составляющей для служб, обеспечивающих работу очистных сооружений с учетом требований времени с момента отбора проб до начала анализа, при минимальном периоде времени 6 ч (рН, органолептические и микробиологические показатели) [2]. График производственного контроля для объекта № 2 включает в себя

организацию и отправку тары для проб, отбор проб на объекте персоналом неквалифицированным для данного вида работ (операторы очистных сооружений), отправка проб в город приписки места получения разрешения для осуществления данного вида деятельности, в аккредитованную лабораторию.

Затраты времени на технологический контроль для объекта № 2 включают в себя выполнение на объектах узкого количества экспресс тестов (анализов) доступных для выполнения неквалифицированным персоналом (операторы очистных сооружений).

С учетом разницы проектов в 5 лет на объекте № 1 предусмотрены минимальные функции дистанционной передачи данных.

Ввиду разных периодов проведения исследований – на объекте № 1 в 2018 г., на объекте № 2 в 2021 г. – сложно произвести точный экономический расчет, приводятся общие тенденции сравнения затрат.

Проведенный анализ и экономическое обоснование удаленного управления режимами очистки сточных вод позволяет сделать следующие выводы.

ВЫВОДЫ

1. Несвоевременные корректировки технологических режимов могут приводить к значительным затратам, возникающим в результате разработки планов мероприятий по устранению выявляемых нарушений, в результате проверок надзорными органами.
2. В случае установки приборов автоматического мониторинга с датчиками показателей: O_2 , pH, T, TDS (минимальный набор) экономия времени лаборанта составила бы 2 ч в день, при дополнительном мониторинге показателей: аммоний-ион, нитраты, нитриты, фосфаты – экономия времени +1,5 ч, а также при реализации дистанционного управления режимами КОС по алгоритмам управления режимами КОС на основании данных с приборов, с передачей информации и операций на АРМ технолога последует повышение скорости корректировки технологического режима без личного присутствия на объекте, что, в свою очередь, напрямую, отразится на качестве очистки, но при этом в расчет следует внести затраты на обслуживание приборов, периодическое обслуживание и контроль работы оборудования АСУ ТП.
3. Положительной составляющей для объекта № 1 является компактность расположения очистных сооружений, лаборатории и АРМ технолога на территории вахтового поселка, что может увеличить эффективность управления режимами технологического контроля и снизить риски ненормативной очистки сточных вод.
4. Для объекта № 2 проектирование и строительство канализационных очистных сооружений осуществлялось в период 2009 – 2011 гг.,

автоматизация и диспетчеризация зачастую не предусмотрена, за исключением дистанционной передачи на АРМ диспетчера показателей: O_2 , рН, температура в аэробном реакторе и помещении от приборов постоянного мониторинга. В свою очередь проектирование и строительство очистных сооружений объекта № 1 осуществлялось в 2013 – 2014 гг., где была предусмотрена более расширенная версия диспетчеризации и автоматизации с некоторыми функциями дистанционного управления запорной арматурой и насосным оборудованием, а также выводом показателей на АРМ технолога, представленных в таблице 3.

Таблица 3. Карта входных аналоговых сигналов САУ КОС на диспетчерский пульт (АРМ технолога)

Карта уставок входных аналоговых сигналов САУ КОС на диспетчерский пульт										
№	Условные обозначения, наименование сигнала	Позиция	Тип сигнала	Пределы измерения			Предупредительные границы		Аварийные границы	
				min	max	Ед. изм.	min	max	min	max
1	Давление на входе в станцию	PIR1.1	AI	0	6	Мпа	-	-	-	-
2	Давление на выходе из танки	PIR6.1	AI	0	6	Мпа	-	-	-	-
3	Расход воды на входе станции	FIR1.1	AI	0	100	м3/час	-	-	-	-
4	Расход воды на выходе станции	FIR6.1	AI	0	100	м3/час	-	-	-	-
5	Температура сточн.вод на входе станции	TIR1.1	AI	0	150	град.С°	-	-	-	-
6	Температура воздуха на станции	TIR2.1	AI	-50	85	град.С°	-	-	-	-
7	Уровень в усреднительной емкости	LIRSA1.1	AI	0	3	м.вод.ст	1,00	2,50	0,80	2,70

ЛИТЕРАТУРА

1. Морозов С.А. Особенности дистанционного управления режимом очистки сточных вод муниципальных поселений северных территорий, Традиции и инновации в строительстве и архитектуре // Строительство и строительные технологии [Электронный ресурс]: сб. статей / Под ред. М.В. Шувалова, А.А. Пищулева, А.К. Стрелкова. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2021. С. 609–616.
2. ГОСТ 31861-2012. Вода. Общие требования к отбору проб. Утвержден Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 ноября 2012 г. N 1513-ст и введен в действие 01 января 2014 года.
3. Морозов С.А., Серпокровлов Н.С. Исследование работы станции биологической очистки КОС-400 северных территорий как базовой для внедрения режима дистанционного управления. Интеллектуальный марафон в области водоснабжения и водоотведения [Электронный ресурс]: Сб. докл. участников интеллектуального марафона в области водоснабжения и водоотведения; г. Москва, 9 сентября 2021 г.) / Министерство науки и высшего образования РФ, – Электрон. дан. и прогр. (3,1 Мб). – Москва: МИСИ-МГСУ, 2021. С. 26–34.

4. СП 32.13330.2018. Канализация. Наружные сети и сооружения. – М.: Минстрой России, 2019. 76 с.
5. СП 77.13330.2016. Системы автоматизации. / Утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 20 октября 2016 г. N 860/пр. и введен в действие с 21 апреля 2017 г. – М.: Минстрой России, 2019. 76 с.

УДК 628.34/35

ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЯ ГЛУБОКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ЯИЦ

С.В. Степанов, О.С. Пономаренко, П.П. Авдеенков

Самарский государственный технический университет, Самара, Россия

К.М. Морозова, А.В. Беляков

ООО «Группа компаний Эколос», Самара, Россия

Изучен состав сточных вод предприятия по глубокой переработке куриных яиц, который характеризуется следующими показателями: ХПК 3,6 – 12,4 г/л, БПК_{полн} около 70 % ХПК, концентрация взвешенных веществ составляет 440 – 1880 мг/л. Методом пробного коагулирования с использованием ряда солей алюминия и железа (III) определен оптимальный коагулянт «АКВА-АУРАТ™14» с дозой 125 мг/л по Al₂O₃. При этом эффективность удаления органических веществ (по ХПК) в среднем составила 78 %, взвешенных веществ – 74 %. Приведены результаты экспериментов по биологической очистке данной категории сточных вод после предварительного коагулирования, которые показали перспективность биохимического окисления органических загрязнений и удаления соединений азота.

Яйцепереработка, как самостоятельный тип предприятий, является относительно новым направлением пищевой промышленности в РФ. Куриные яйца находят применение на кондитерских фабриках при производстве мясных изделий и полуфабрикатов, в спортивном питании, в масложировой отрасли при производстве майонезов и соусов. Раньше эти предприятия в своей технологии применяли непосредственно яйцо. Однако со всех точек зрения выгоднее использовать яичные белки, желтки и их смесь – меланж в жидком пастеризованном, сухом или замороженном виде.

Сточные воды образуются в процессе мойки оборудования между разными партиями и видами продукции. Анализ их состава показал, что концентрация органических загрязнений всегда была высокой – 3,6 – 12,2 г/л по ХПК. БПК_{полн} составляло примерно 70 % ХПК. Концентрация взвешенных веществ колебалась в пределах 440 – 1880 мг/л. Содержание минеральных соединений азота обычно было невелико, однако азот всегда содержался в составе белковых соединений. Фосфаты в исследованных сточных водах не были обнаружены.

Для определения параметров первого этапа очистки данных сточных вод была проведена серия экспериментов по пробному коагулированию. Водные растворы кристаллических реагентов готовились с концентрацией 100 г/л по товарному продукту, а жидкие дозировали без разбавления с концентрацией товарного раствора. В цилиндры объёмом 1000 мл добавляли 500 мл сточной воды. После добавления коагулянта сточную воду сначала интенсивно перемешивали в течение 10 с со скоростью 300 об/мин, затем перемешивали в течение 60 с со скоростью 100 об/мин. Далее сточную воду отстаивали в течение 30 мин и отбирали на анализ.

Были проверены сульфат алюминия, несколько оксихлоридов алюминия и две соли трехвалентного железа. Пример полученных результатов в виде зависимости ХПК очищенной воды от дозы коагулянта представлен на рисунке 1. Наилучшие результаты были достигнуты при дозах реагентов 100 – 150 мг/л по Me_2O_3 . Дальнейшие исследования были проведены с оксихлоридом алюминия марки «АКВА-АУРАТ™14» с дозой 125 мг/л по Al_2O_3 в связи с наименьшим значением ХПК очищенной воды и невысокой стоимостью в пересчете на активное вещество.

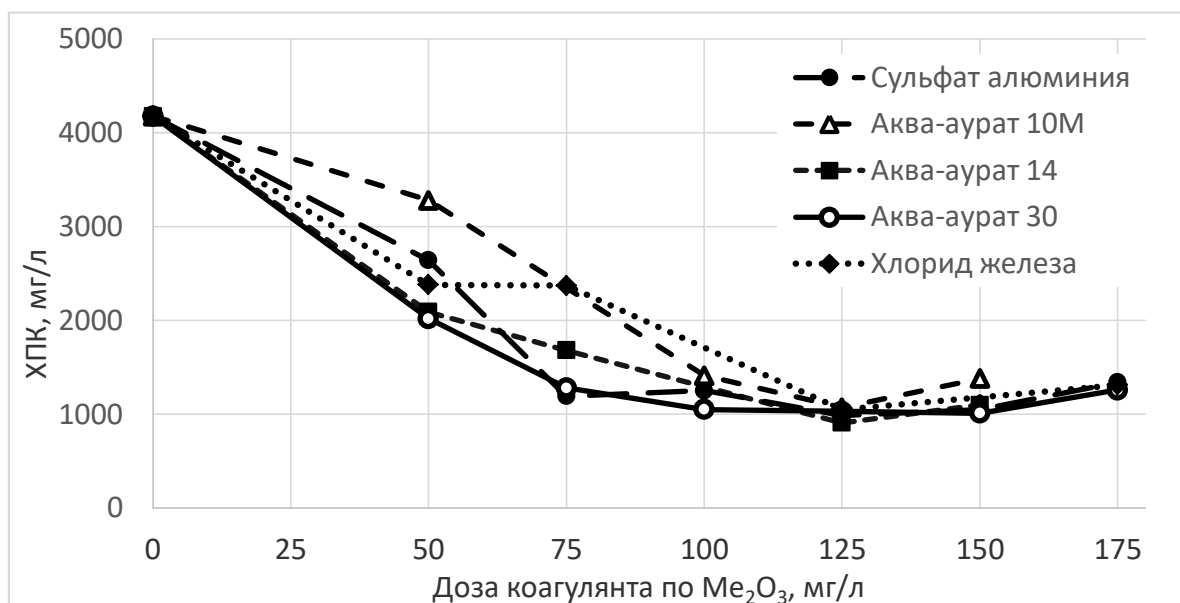


Рисунок 1. Результаты пробного коагулирования от 16.06.2021 г.

Дальнейшие исследования были проведены с оксихлоридом алюминия марки АКВА-АУРАТ™14» с дозой 125 мг/л по Al_2O_3 . При этом удалось добиться снижения ХПК в среднем на 78 % с глубиной очистки до 800 – 2000 мг/л. Эффективность снижения взвешенных веществ была чуть ниже – 74 %, остаточная концентрация взвеси составляла 100 – 400 мг/л. Значение рН снижалось с 6,4 – 7,5 до 5,8 – 7.

Предлагаемая схема установки физико-химической очистки сточных вод предприятия переработки яиц включает в себя: барабанную решетку,

жироловку, трубчатый флокулятор и напорный флотатор. Коагуляцию рекомендуется проводить с подщелачиванием и обработкой флокулянтom. Осадки собираются в шламонакопителе для последующего обезвоживания.

Далее была проверена принципиальная возможность биологической очистки данной категории сточных вод и оценено влияние предварительной обработки коагулянтom на скорость биохимического окисления путем проведения контактных опытов [1]. Для этого в лабораторный стакан объемом 100 мл заливали смесь активного ила городских очистных сооружений г. Самара и сточной воды, предварительно насыщенные кислородом воздуха. При медленном перемешивании с помощью оксиметра определяли темп снижения концентрации растворенного кислорода при различных заданных параметрах. Результаты опыта, проведенного при концентрации активного ила 1,5 г/л и температуре 20 °С, представлены на рисунке 2 в виде зависимости скорости потребления кислорода от концентрации субстрата (по ХПК). Максимальные скорости окисления составили 18 и 28 мг/(г·ч) для исходной и обработанной коагулянтom сточной воды. Константы Михаэлиса оказались 70 и 40 мг/л соответственно. Как видно из графиков, скорость окисления загрязнений для коагулированной воды оказалась выше, что подтвердило целесообразность предварительного этапа реагентной обработки.

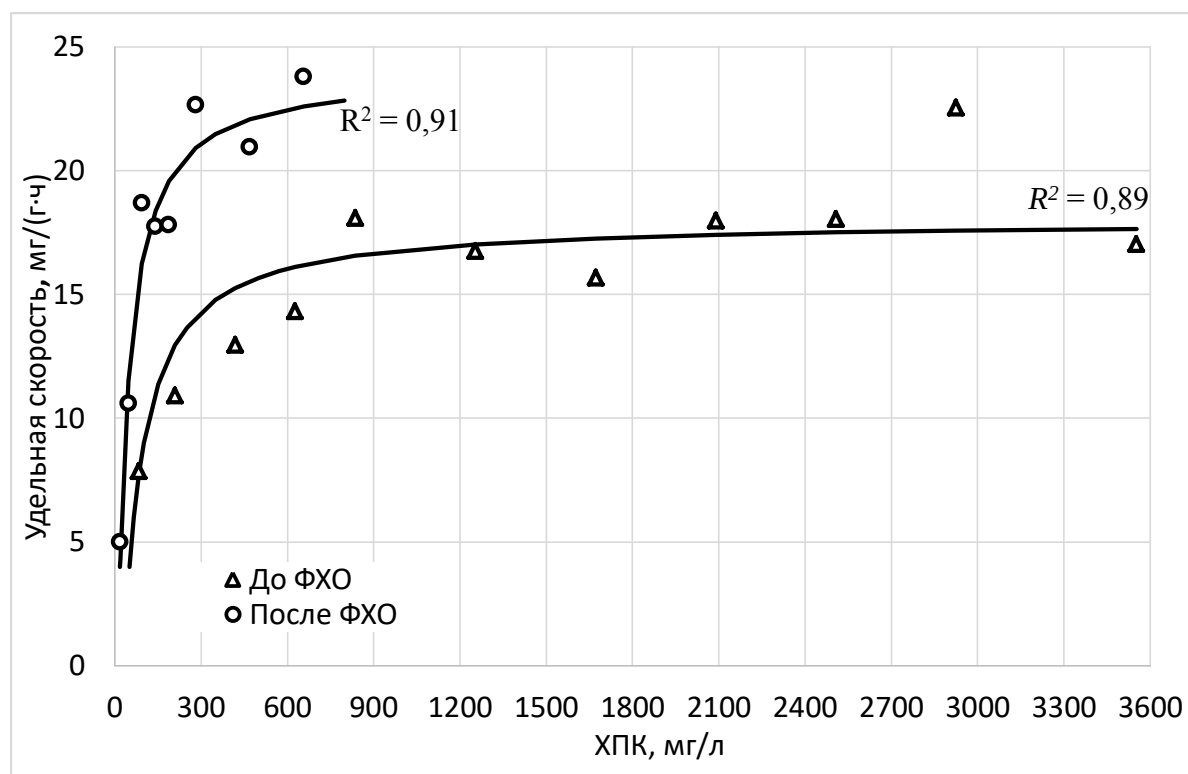


Рисунок 2. Удельная скорость потребления кислорода в контактном опыте для сточной воды до и после физико-химической очистки (ФХО)

Дальнейшие исследования были продолжены на лабораторном реакторе периодического действия *SBR* (*Sequencing Batch Reactor*). Его объем составлял 5 л, он был оборудован аэратором и мешалкой. Исследования проводили на реальной сточной воде фабрики глубокой переработки яиц, прошедшей реагентную обработку в соответствии с результатами предыдущего этапа. В связи с отсутствием фосфора в исходной воде, во всех случаях дополнительно дозировали фосфат калия в количестве 2 – 4 мг Р/л. В сточной воде присутствовал органический азот, которого оказалось достаточно для жизнедеятельности активного ила и даже потребовалось осуществлять денитрификацию. Поэтому исследования проводились в аэробном и аноксидно-аэробном режимах. В последнем случае, после заполнения реактора, процесс начинался с аноксидной фазы, при перемешивании иловой смеси погружной мешалкой со скоростью 300 об/мин. После 2 – 5 ч реактор переводили в аэробную фазу работы, для чего включали компрессор и выключали мешалку. Продолжительность аэробной фазы колебалась от 3 ч до суток. Затем в течение 1 ч проводилась фаза седиментации. Завершался цикл фазой декантации, в ходе которой сливалось от 1 до 3 л надильовой воды в зависимости от планируемой нагрузки в следующем цикле.

При проведении исследований работы лабораторного *SBR* реактора были выделены четыре этапа с разными концентрациями ила от 2 до 5 г/л. Все этапы были проведены в аэробном режиме. Полученные результаты по окислению органических веществ показаны на рисунке 3. Первый этап характеризовался высокой дозой ила, низкой концентрацией органических веществ и, соответственно, малой нагрузкой и более глубокой очисткой. Второй и третий этапы были проведены при наибольшей концентрации органических загрязнений и характеризовались наибольшей окислительной мощностью (ОМ). На четвертом этапе была наименьшая концентрация активного ила и, соответственно, были получены меньшие значения окислительной мощности и меньшая эффективность очистки.

На рисунке 4 показана трансформация соединений азота. Первый и второй этапы характеризовались глубокой нитрификацией. В ходе их проведения добавляли хлорид аммония в количестве 5 – 16 мг N/л. Уменьшение суммарной концентрации соединений азота объясняется потреблением на прирост ила. На третьем и четвертом этапах отмечен рост суммарной концентрации минеральных форм азота, что объясняется наличием органического азота в исходной воде. Особенно наглядно это видно на четвертом этапе, когда происходил значительный рост концентрации аммония вследствие аммонификации при незначительной нитрификации.

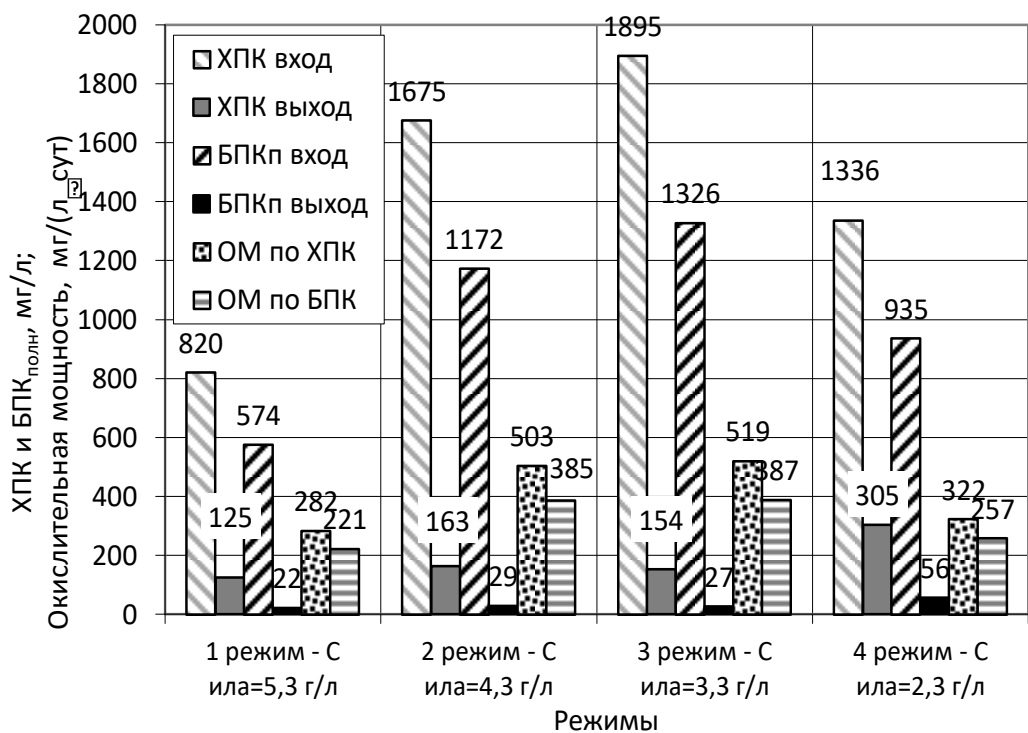


Рисунок 3. Результаты эксперимента по окислению органических веществ

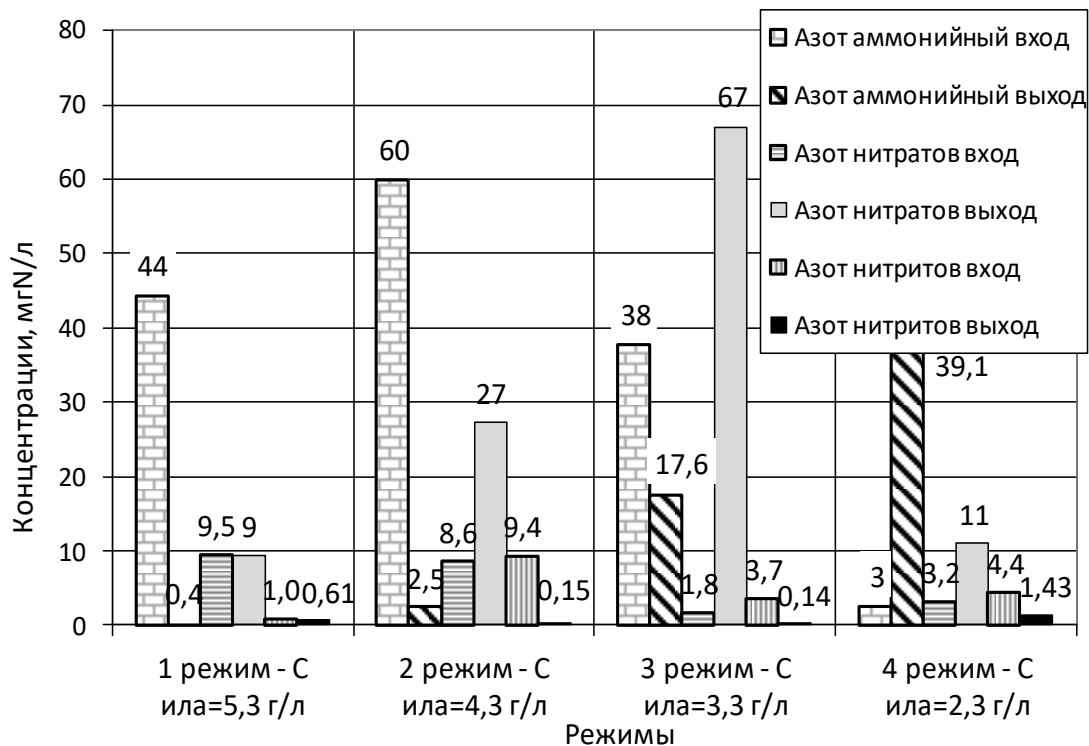


Рисунок 4. Трансформация соединений азота

Продолжение исследований на лабораторном *SBR*-реакторе позволит определить все необходимые кинетические константы и коэффициенты

для расчета сооружений биологической очистки на основе уравнений ферментативной кинетики.

ВЫВОДЫ

1. Состав сточных вод предприятий по глубокой переработке яиц характеризуется ХПК 3,6 – 12,4 г/л, значение БПК_{полн} составляло около 70 % ХПК, концентрация взвешенных веществ – 440 – 1880 мг/л.
2. Пробное коагулирование с использованием ряда солей алюминия и железа (III) показало, что наилучшие результаты были достигнуты при использовании «АКВА-АУРАТ™14» с дозой 125 мг/л по Al_2O_3 . При этом снижение ХПК в среднем составило 78 %, взвешенных веществ – 74 %.
3. Эксперименты, проведенные в контактных условиях и в лабораторном реакторе периодического действия, показали перспективность биохимического окисления органических загрязнений и удаления соединений азота из сточных вод предприятий переработки яиц.

ЛИТЕРАТУРА

1. Степанов С.В. Технологический расчет аэротенков и мембранных биореакторов: Учебное пособие. – М: Издательство АСВ, 2020. 224 с.

УДК 628.35

ОПЫТ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ЭТИЛЕНГЛИКОЛЯ В БИОРЕАКТОРАХ С ИММОБИЛИЗОВАННЫМ БИОЦЕНОЗОМ

А.А. Кадревич

АО «ЭКОС», г. Новочеркасск, Россия

В статье представлены результаты исследований очистки сточных вод от этиленгликоля, выполненных в лабораторных условиях на установках-биореакторах с иммобилизованным на синтетической загрузке «Ёрш» биоценозом.

Анализ данных литературы свидетельствует о том, что природные поверхностные воды загрязнены специфическими химическими веществами, которые попадают в водоем со сточными водами производств, использующих, получающих или производящих сопутствующие химические вещества, что связано с неполной очисткой сточных вод ввиду морального и физического износа локальных очистных сооружений, а также несовершенства методов и условий очистки.

Например, этиленгликоль, двухатомный водорастворимый спирт $HO-CH_2-CH_2-OH$, который используют при производстве противообледенительной жидкости (ПОЖ) и применяют на аэродромах

для противообледенительной обработки воздушных судов. При этом применение данного реагента является достаточно новым для аэропортов, в западных странах его применение начинается с 1980 года [1], а в России и того позже.

Концентрации этиленгликоля в сточных водах, в зависимости от деятельности аэропорта, составляют от 1 до 1000 мг/л. Этиленгликоль нормируется по санитарно-токсикологическому признаку вредности, ПДКвр составляет 0,25 мг/л. Метаболиты этиленгликоля (альдегиды и щавелевая кислота) также токсичны [2].

Вопрос очистки сточных вод от этиленгликоля возник при необходимости очистки талых сточных вод с поверхности аэродрома. Данные сточные воды обладают рядом характеристик, так этиленгликоль являясь водорастворимым спиртом, не удаляется из воды классическими для ливневых очистных сооружений физико-химическими методами (отстаивание, флотация); температура сточных вод достигает 1 °С в период снеготаяния; сточные воды имеют периодичность поступления. Поскольку основные объемы сточных вод поступают во время снеготаяния, то в начале снеготаяния концентрации загрязняющих веществ могут быть выше, а в конце уже наблюдаются остаточные загрязнения. В этой связи можно сделать выводы, что очистка сточных вод, в которые попадает этиленгликоль, невозможна на классических очистных сооружениях ливневого стока.

Для очистки сточных вод от этиленгликоля, необходим комплексный подход, который включает в себя различные методы физико-химической и биологической очистки, а также физико-химической доочистки.

Для удаления из сточных вод основной массы этиленгликоля был выбран метод биологической очистки, представленный как один из возможных к применению [3]. Для этого на базе научно-исследовательского центра «ЭКОСТЕХ» была собрана и запущена лабораторная установка IBR, моделирующую работу биореакторов. IBR представляет собой реактор биологической очистки с использованием ершовой загрузки (рис. 1).

Установка IBR состоит из:

- высоконагружаемого биореактора первой ступени заполненного синтетической загрузкой «Ёрш»;
- вторичного отстойника;
- низконагружаемого биореактора второй ступени заполненного синтетической загрузкой «Ёрш»;
- узла дозирования биогенной подпитки – карбамид;
- узла дозирования биогенной подпитки – ортофосфорной кислоты;
- узла дозирования органической подпитки – этиленгликоль;

- узла дозирования органической подпитки – формальдегид.



Рисунок 1. Внешний вид лабораторной установки

Исходной водой для лабораторной установки являлась водопроводная вода, в которую дозировался этиленгликоль различной концентрации в качестве основного загрязняющего вещества. Для поддержания оптимальных условий для биоценоза, в воду дозировались биогенная подпитка (азот и фосфор) в виде карбамида и ортофосфорной кислоты. Количество биогенных элементов дозировалось из соотношения БПК : N : P – 100 : 5 : 1.

В зависимости от дозируемых реагентов замерялась концентрация загрязняющего вещества и ХПК, результаты аналитического контроля представлены в виде графиков на рисунках 2 и 3.

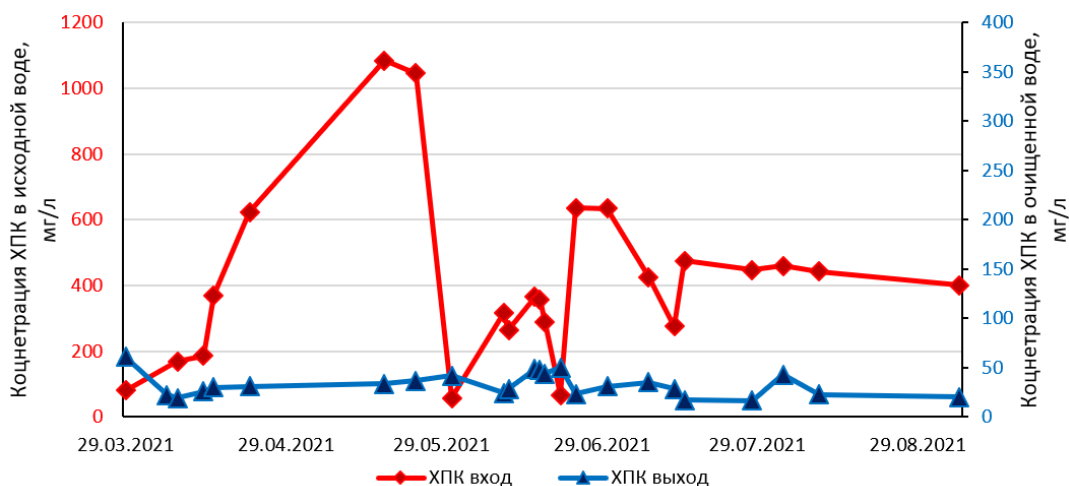


Рисунок 2. Концентрации ХПК в исходной и очищенной воде на установке ИВР

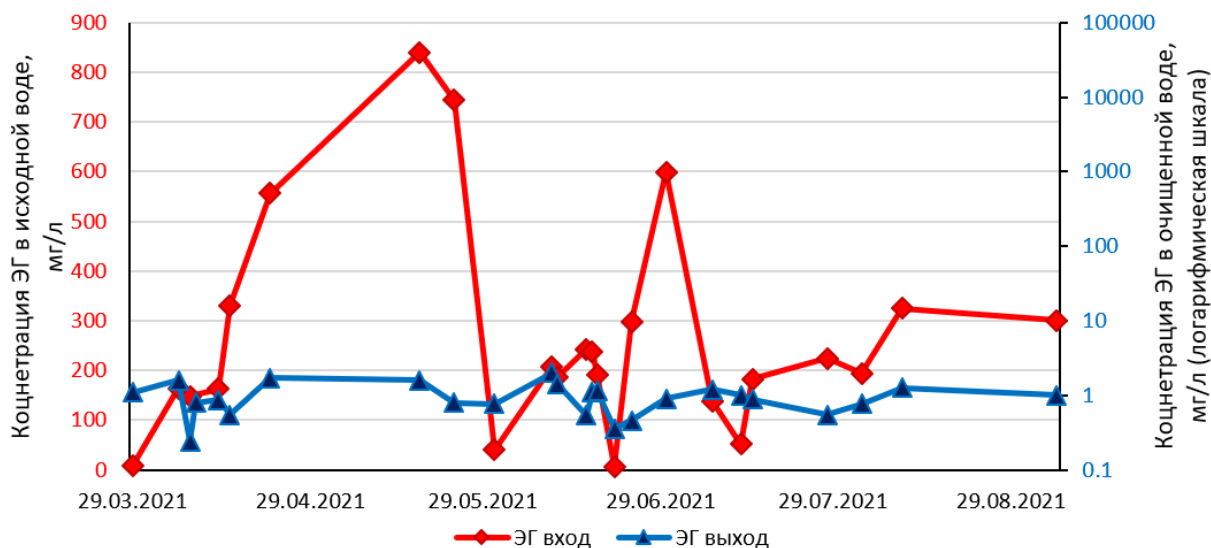


Рисунок 3. Концентрации этиленгликоля в исходной и очищенной воде на установке IBR

По данным рисунка 2 и 3 можно определить, что при концентрации ЭГ в исходной воде до 850 мг/л, что соответствует ХПК 1100 мг/л, очистка сточных вод проходила в полном объеме до минимально возможных концентраций, которые для биологической очистки составляют 0,5 – 0,7 мг/л.

В нормальном режиме работы установки концентрация ЭГ в очищенных сточных водах составляла в среднем 0,5 – 1 мг/л, а концентрация ХПК составляла 20 – 30 мг/л.

ВЫВОДЫ

Результаты экспериментов дают понимание того, что биологическая очистка сточных вод от этиленгликоля иммобилизованным биоценозом возможна до концентраций 0,5 – 1 мг/л.

Очистка сточных вод до $\text{ПДК}_{\text{ЭГ}} < 0,25$ мг/л, требует проведения дополнительных методов физико-химической доочистки, например окисление озоном.

На основании полученного опыта, дальнейшими шагами исследований является:

- отработка режимов эксплуатации биореакторов, в том числе с учетом повышенных концентраций этиленгликоля (> 1000 мг/л);
- доочистка сточных вод до $\text{ПДК}_{\text{ЭГ}}$, за счет применения окислителя (озона) и определение необходимой дозы окислителя.

ЛИТЕРАТУРА

1. <https://www.aviationpros.com/gse/article/10375841/aircraft-deicing-then-and-now>.
2. http://www.cawater-info.net/water_quality_in_ca/hydrochem4.htm.

3. Airport Cooperative Research Program Report 99. Guidance for Treatment of Airport Stormwater Containing Deicers, 2013.

УДК 628.1

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ЦИРКУЛЯЦИОННОГО ОКИСЛИТЕЛЬНОГО КАНАЛА С УДАЛЕНИЕМ СОЕДИНЕНИЙ АЗОТА

Е.В. Спасибо, Е.С. Гогина, И.А. Гульшин

Национальный исследовательский Московский государственный
строительный университет, г. Москва. Россия

Ужесточение нормативов по сбросу очищенной сточной воды приводит к поиску новых методов ее очистки. Немаловажным фактором при поиске методов очистки сточных вод является проблема энергоэффективности. Ведется усовершенствование уже существующих технологий. В данной работе представлены результаты эксперимента, проведенного на лабораторной модели циркуляционного окислительного канала. По результатам эксперимента сделаны выводы, на основании которых планируется выполнение дальнейших исследований.

Присутствие в водных объектах загрязняющих веществ, в частности биогенных элементов, пагубно влияет на состояние водоемов. Их повышенное содержание на выпуске может привести к экологической катастрофе, такой, как эвтрофикации водоема и, в последствии, к гибели рыб.

В настоящее время, учитывая высокие требования к сбрасываемым в водоем сточным водам, оказывается, что большинство очистных сооружений не эффективны и не удовлетворяют нормативным качествам. ИТС-10-2019 предложены технологические решения по удалению основных биогенных элементов (соединений азота и фосфор), находящие широкое применение при реализации реконструкции канализационных очистных сооружений.

Удаление биогенных элементов в технологиях с активным илом. Удаление основано на процессах нитрификации и денитрификации, с выделением определенных кислородных режимов в сооружении. Данные технологии в основном применимы в таких сооружениях, как аэротенки.

Удаление фосфора также реализуется в технологиях биологической очистки, представленных в справочнике ИТС-10-2019 по наилучшим доступным технологиям, однако известно, что для успешной дефосфатации требуется достаточно высокое содержание органических веществ в поступающей жидкости, что иногда затруднительно при малой мощности станции очистки. На сегодняшний день реагентный метод дефосфатации наиболее эффективен. [1].

Важным фактором при выборе технологии является экономический. Как известно, основные энергозатраты приходятся на стадию биологической очистки для аэрации и перемешивания активного ила. Потому остро стоит задача энергоэффективности процессов очистки [2].

На сегодняшний день интенсивно применяются и изучаются циркуляционные окислительные каналы (ЦОК), как перспективное решение для снижения энергозатрат на очистку сточных вод.

ЦОК начали применять в начале 20 века. Классический окислительный канал представлял из себя сооружение замкнутого типа, с направленным потоком, который задавался поверхностной аэрацией. Аэрация также насыщала кислородом иловую смесь для проведения процессов окисления и перемешивания смеси.

Ужесточение норм сброса очищенных сточных вод в водоемы, повлекло создание новых технологий, позволяющих достичь нормативных показателей. Ученые многих стран вели работу по интенсификации окислительных каналов.

Профессором В.И. Баженовым было предложено определенное распределение (градиент) растворенного кислорода по длине сооружения, ввиду чего выделялись аэробные и анаэробные зоны для успешного осуществления процессов нитрификации и денитрификации. [3–4].

Направленный поток в окислительном канале характеризуется высокой скоростью, что сильно затрудняет определенное разделение на кислородные макрозоны.

Чуть позже было проведено исследование, позволяющее практически исключить влияние скорости потока на протекание реакций высвобождения молекулярного азота, путем исследования процесса одновременной нитри-денитрификации в сооружениях ЦОК. В результате была подтверждена эффективность данного метода [5].

Важным аспектом остается изучение оптимизации кислородного режима, который в тех или иных условиях приведет к показателям, которые регламентируются: Приказом Минсельхоза № 552 от 13.12.2016 и Постановлением Правительства РФ № 1430 от 15.09.2020.

В 2021 г. было проведено экспериментальное исследование работы модели окислительного канала канализационных очистных сооружений хозяйственно-бытовых сточных вод с увеличенной длиной коридоров, что позволило создать градиент концентрации растворенного кислорода по всей длине установки.

Апробация установки производилась на модельной жидкости на основе пептона основного и растворов азото- и фосфоросодержащих солей, подобная по своему химическому составу с ренальной поступающей сточной водой небольших поселений.

Схема модельной установки приведена на рисунке 1.

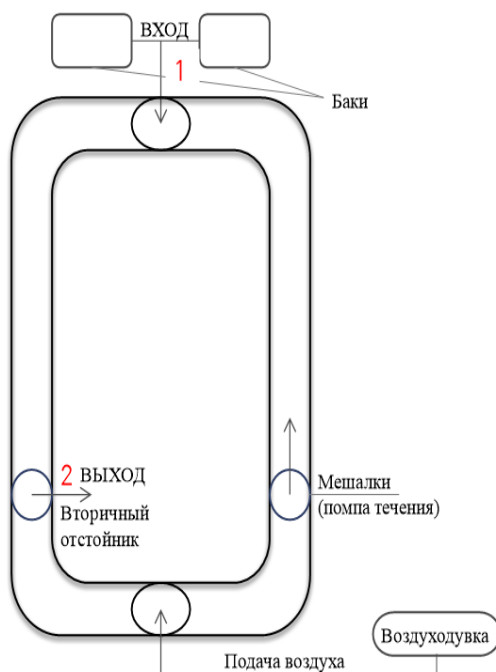


Рисунок 1. Модель исследуемого окислительного канала

Исследуемый окислительный канал оборудован мелкопузырчатой аэрацией, расположенной после отвода воды на вторичный отстойник. Горизонтальное движение потока обеспечивалось погружными мешалками. Подача модельной жидкости осуществлялась насосами-дозаторами из баков.

В технологии исследуемой модели отделение очищенной сточной воды от активного ила происходит во встроенном вторичном отстойнике, который работает по принципу восходящего потока.

Учитывая протяженность коридоров ЦОК, по направлению движения иловой смеси создавался градиент растворенного кислорода, что обеспечивало создание выраженных аэробных и анаэробных зон по объему установки. Первая кислородная зона находилась в месте подачи воздуха в установку. Вторая – в месте вывода очищенных сточных вод (узел встроенного вторичного отстойника).

Было изучено два кислородных режима для данной установки:

Кислородный режим 1. Первая зона – $2,5 \text{ мг/дм}^3$, вторая зона – $1,3 \text{ мг/дм}^3$, средняя концентрация – $1,9 \text{ мг/дм}^3$;

Кислородный режим 2. Первая зона – $1,9 \text{ мг/дм}^3$, вторая зона – $0,15 \text{ мг/дм}^3$, средняя концентрация – $1,03 \text{ мг/дм}^3$.

Распределение растворенного кислорода по зонам осуществлялось путем регулирования интенсивности пневматической аэрации и скорости потока. Скорость потока, кроме того, влияла на значение степени внутренней рециркуляции. Значения скорости потока и степени внутренней рециркуляции в зависимости от кислородных режимов представлены на рисунке 2.



Рисунок 2. Зависимость скорости течения и степени внутренней рециркуляции иловой смеси от кислородных условий в окислительном канале

В ходе эксперимента были проведены санитарно-химические анализы, которые описывают степень очистки исследуемой установки. Отбор проб производился с определенной частотой в двух точках: 1 – вход и 2 – выход. Результаты анализов по отдельным пробам представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. Результаты анализов точки (1)

Анализ	Режим	БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³	NH ₄ , мг/дм ³	NO ₂ , мг/дм ³	NO ₃ , мг/дм ³	PO ₄ , мг/дм ³	Взвешенные вещества, мг/дм ³
1	1	156	44,51	–	–	15,1	139,88
2		138	39,82	–	–	14,9	141,25
3		146	38,73	–	–	15,1	145,26
4		149	46,12	–	–	14,8	124,33
5		151	37,56	–	–	13,2	128,56
6	2	126	56,23	–	–	14,8	128,12
7		114	47,85	–	–	14,1	131,54
8		105	48,55	–	–	13,8	115,48
9		111	49,62	–	–	12,8	119,23
10		106	52,31	–	–	12,3	129,22

Точка (1) характеризует поступающую модельную жидкость, соответствующую очищаемой сточной воде.

Точка (2) характеризует выход – очищенную сточную воду. Также измерялась доза активного ила в модели окислительного канала.

Таблица 2. Результаты анализов точки (2)

Анализ	Режим	БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³	NH ₄ , мг/дм ³	NO ₂ , мг/дм ³	NO ₃ , мг/дм ³	PO ₄ , мг/дм ³	Взвешенные вещества, мг/дм ³
1	1	6,4	0,65	0,09	23,5	10,3	7,81
2		4,1	0,32	0,12	19,5	10,5	5,23
3		4,5	0,59	0,08	24,6	12,4	2,16
4		5,8	0,62	0,04	20,8	10,3	2,59
5		5,9	0,37	0,12	17,7	8,3	4,77
6	2	2,6	0,79	0,07	8,4	8,8	2,69
7		2,4	0,66	0,08	10,4	8,2	3,25
8		2,6	0,62	0,09	10,8	7,8	2,36
9		2,3	0,51	0,04	11,1	7,9	1,96
10		2,4	0,39	0,08	14,9	8,6	3,58

Данное исследование подразумевало исследование циркуляционного окислительного канала с зонированными кислородными макроразонами, разнесенными по длине коридора установки. В процессе работы установки на данном этапе случаев нитчатого вспухания активного ила отмечено не было. Было изучено два технологических режима работы установки, отличающиеся кислородными условиями работы и степенью внутренней рециркуляции. Эффективность очистки по данному этапу представлена рисунке 3.

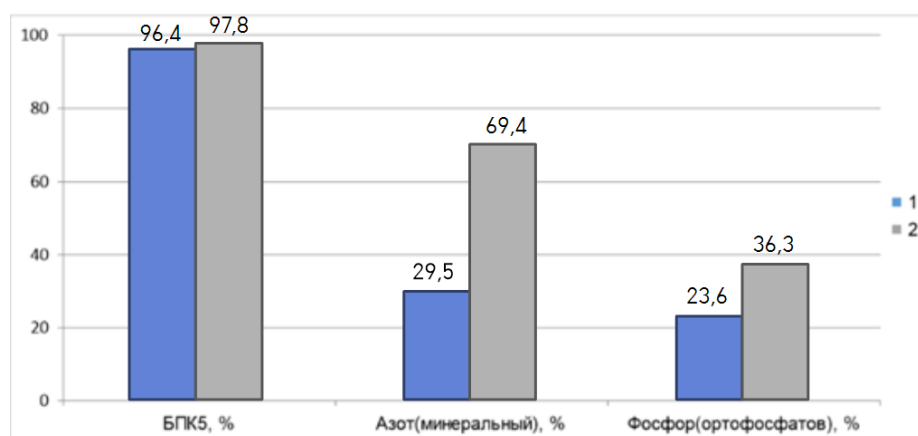


Рисунок 3. Степени очистки при различных кислородных режимах

По результатам эксперимента на данной схеме ЦОК при режиме 2 на модельной сточной воде получены показатели очищенной воды, удовлетворяющие действующим нормативным требованиям. Данная схема может быть применена для дальнейшего внедрения на станции очистки

сточных вод с малой производительностью, после дополнительных исследований по реагентному удалению фосфора при различных кислородных режимах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Теплых С.Ю., Бочков Д.С., Базарова А.О. Исследование способов удаления фосфатов из бытовых сточных вод // Градостроительство и архитектура. 2020. Т. 10, № 4. С. 69–77. DOI: 10.17673/Vestnik.2020.04.9
2. Березин С.Е. Баженов В.И. Воздуходувные станции с регулируемыми центробежными компрессорами – Симферополь: ИТ «АРИАЛ». 2019. 188 с.
3. Баженов В.И. Принцип продольной рециркуляции в аэротенках карусельного типа // Водоснабжение и канализация. №11–12. 2014. С. 101–111.
4. Баженов В.И. Механизм адаптации активного ила к низким концентрациям кислорода / Канунникова М. А. // Достижения науки и техники АПК. № 9. 2012. С. 82–84.
5. Гульшин И.А. Разработка технологии биологической очистки сточных вод от соединений азота в аэрационных сооружениях циркуляционного типа в низкокислородных условиях: дис. ... канд. техн. наук. 2018. 166 с.

УДК 621.892:621.7/9-192, 628.16

ДООЧИСТКА ЛИВНЕВЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД В МОДУЛЬНЫХ СТАНЦИЯХ

Е.М. Булыжнев, М.Е. Орлов, Е.М. Ламзин

Ульяновский государственный технический университет,
г. Ульяновск, Россия

В.Н. Голованов

Ульяновский государственный университет,
г. Ульяновск, Россия

В статье представлено описание и результаты апробации модульной станции водоподготовки на основе поверхностных вод и водных стоков.

В технологию заложены операции реагентной обработки (коагуляция, флокуляция), утяжеление микропеском, трехступенчатое осаждение (в том числе, в тонкослойном отстойнике), обеззараживание гипохлоритом натрия. При апробации получены стабильно высокие результаты по мутности, по тяжелым металлам, взвешенным веществам. Показана устойчивость к колебанию исходных показателей очищенной воды.

В стране придается огромное значение снижению негативных техногенных воздействий на водные природные объекты. Одним из

эффективных средств предотвращения дальнейшего их загрязнения является снижение водозабора посредством переработки водных стоков в модульных станциях водоподготовки (МСВ) «СВОД». Ранее были представлены контейнерная и мобильная станция водоподготовки [1–3]. В работе приводится технология водоподготовки и технологическая схема станции производительностью 1200 м³/сутки. Технологическая схема системного техпроцесса показана на рисунке 1.

В технологическом процессе (ТП) заложены апробированные длительным опытом операции, обеспечивающие высокие показатели качества подготовленной воды, такие как:

- обработка коагулянтom (слипание частиц в микроагрегаты);
- обработка флокулянтom (склеивание микроагрегатов в хлопья-флоккулы);
- утяжеление и уплотнение флокул микропеском;
- трехступенчатое осаждение;
- осветление в скорых напорных фильтрах;
- обеззараживание гипохлоритом натрия;
- УФО (обеззараживание ультрафиолетовым излучением), которые обеспечивают технологическую надежность и показатели качества в соответствии с СанПиН и ГН.

В ТП станции заложены конструктивно-технологические решения, обеспечивающие снижение объема потребления воды на собственные нужды (до 3 – 5 %) и обезвоживание шламов.

Высокая степень автоматизации станции (> 98 %) приводит к резкому снижению потребности в ручном труде. Предусмотрен пуск станции от одной кнопки.

МСВ СВОД I-1200 работает следующим образом. Стоки собираются в емкости (ЕС). Для компенсации убыли оборотной воды предусмотрена подпитка из водозабора (ВЗ) «сырой» поверхностной воды. Вода из ЕС забирается насосной станцией НС1, включающей 2 насоса (1 резервный) с производительностью 67 м³/ч и напором 2,0 МПа.

Сточная вода подается в камеру коагуляции 1-ой технологической линии в трубопровод подачи воды на расстоянии от конца равном двум диаметрам трубопровода. В результате динамического скачка падения потока воды с высоты 0,5 – 0,6 м происходит насыщение воды воздухом и улучшается распределение коагулянта по объему. Дальнейшая обработка вод коагулянтom производится в течение 2 мин при непрерывном перемешивании электрической мешалкой. Обработанная вода переливается через край и водопадом льется в камеру флокуляции (КФ). В данную камеру непосредственно в водопад вводятся:

- раствор флокулянта;
- микропесок в больших объемах при загрузке (до 5 кг/м³);

- обратный микропесок непрерывно из нижнего сопла гидроциклона (ГЦ) в виде жидкостного полого конуса;
- малые добавки микропеска при компенсации потерь с помощью дозатора ДМД.

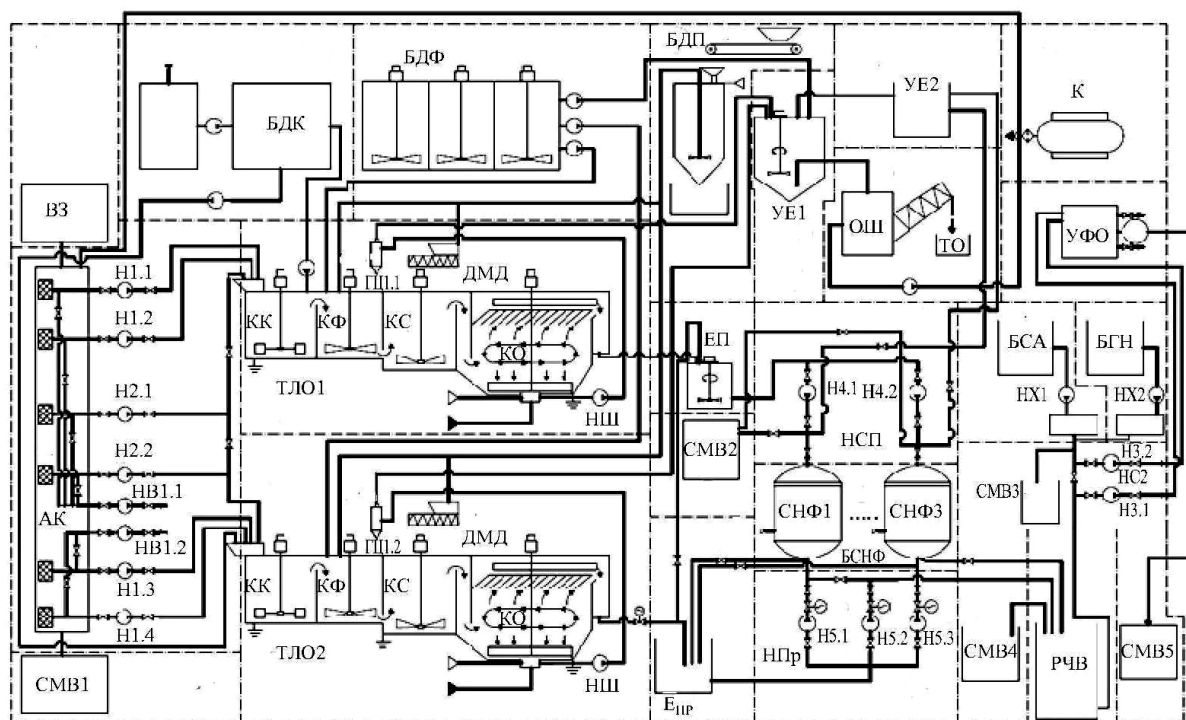


Рисунок 1. Технологическая схема модульной станции водоподготовки:

АК – аванкамера; АСУТП – автоматизированная система управления технологическим процессом; БГН – блок гипохлорита натрия; БДК – блок дозирования коагулянта; БДП – блок дозирования микропеска; БДФ – блок дозирования флокулянта; БСА – блок сульфата аммония; БСНФ – блок скорых напорных фильтров; ВЗ – водозабор; ГЦ – гидроциклон; ДМД – дозатор малых добавок; ЕП – емкость промежуточная; ЕПр – емкость промывной воды; К – компрессор; КК – камера коагуляции; КО – камера осаждения; КС – камера созревания флокул; КФ – камера флокуляции; Н – насос основной; НВ – насос водокольцевой; НПр – насос промывочный; НС – насосная станция 1-го подъема; НСП – насосная станция промежуточная; НШ – насос шламовый (винтовой); ОШ – шнековый обезвоживатель шлама; РЧВ – резервуар чистой воды; СМВ – станция мониторинга воды; СНФ – скорый напорный фильтр; ТЛО – технологическая линия осаждения; ТО – тара для осадка; УЕ – усреднительная емкость; УФО – установка ультрафиолетовой обработки

Обработка флокулянтom производится в течение 3 мин при непрерывном перемешивании с помощью электрической мешалки.

Обработанная флокулянтom вода перетекает в проем в нижней части перегородки в камеру созревания (КС) флокул, в которой в течение 4,5 мин при непрерывном перемешивании с помощью электромешалки происходит уплотнение, утяжеление и калибровка флокул.

Суспензия калиброванных флокул перетекает в переливной канал, в котором происходит интенсивное выпадение флокул в результате попутно-поточного осаждения на дно камеры осаждения (КО).

Поток воды поворачивается на 90° и движется прямолинейно до упора в заднюю стенку КО, где снова поворачивается на 90° (наверх) и затем назад при подходе к тонкослойному осадительному пакету ламелей. Затем поток движется до передней вертикальной перегородки и опускается вниз, создавая таким образом круговое течение воды в зоне, называемой зоной поперечно-поточного осаждения. Часть воды равная производительности поднимается вверх в тонких слоях между ламелями, где в тонком слое остаточные флокулы выпадают в осадок (противопоточное осаждение). В результате трехступенчатого осаждения обеспечивается степень очистки для механических примесей 99,5 %, а для мутности $> 85 - 98$ % эффективность отделения флокул определяется температурой воды, концентрацией флокул, их плотностью и размерами. Угол наклона пластин в пакете при их очистке от осадка составляет 90° , а при очистке воды – от 20° до 70° в зависимости от температуры воды. При высокой температуре очищаемой воды ($15 - 20^\circ\text{C}$) угол наклона ламелей к горизонту увеличивается до $60 - 70^\circ$. При низкой температуре воды ($2 - 10^\circ\text{C}$) угол наклона ламелей уменьшается до $15 - 25^\circ$ к горизонту. Инициация сброса осадка производится с помощью качания лотков перетока вместе с лопастями, смонтированными под днищем лотков, возбуждаемого пневмоцилиндром, или отдельными лопастями размещенными (в плане) в промежутках между лотками.

С целью предотвращения слеживания осевший на дно КО осадок перемешивается миксером и перемещается к углублению в центре днища. Из углубления ожиженный осадок шламовым насосом (износостойкие самовсасывающий или винтовой насосы) подается в гидроциклон. Мутный поток удаляется через верхний патрубок в усреднительную емкость УЕ1. Микросесок через нижнее сопло сбрасывается в воду в КФ. Осветленная вода из КО по лоткам перетекает в камеру сбора осветленной воды, из которой самотёком перемещается в емкость промежуточную (ЕП). Периодически, выпадающий на дно ЕП микросесок, взвешивается при необходимости с помощью электромиксера.

Из ЕП вода насосом (НЧ1) насосной станции (НСП) подается в верхнюю полость двух скорых напорных фильтров СНФ (2-ая ступень очистки). При прохождении фильтровальной (песчаной) загрузки мутность воды снижается до $0,2 - 0,5 \text{ мг/дм}^3$. Вторая барьерная (фильтровальная) ступень очистки по существу выполняет полицейскую функцию. При отсутствии надобности она может быть исключена.

Промывка СНФ производится с помощью промывочных насосов (два работающих и один резервный) в течение 10 мин с удельным расходом равным $q = 8 \text{ (л/с)/м}^2$. Промывная вода сбрасывается в УЕ2,

откуда самотеком сливается в УЕ1, где перемешивается с помощью электромиксера. Взвесь самотеком подается в приемную емкость обезвозжигателя шламов ОШ. Выделенная вода сбрасывается в ЕС, а обезвоженные шламы формируются в цилиндрические дисковые брикеты, которые сбрасываются в тару осадка ТО.

Загрузки больших объемов микропеска ($2 \cdot 80 - 160$ кг) одномоментно в начале работы и после ремонтов или аварийных сбросов песка с водой производятся посредством его псевдооживления и подачи с помощью напорного питателя. С помощью передвижного подъемного механизма (например, автокран) микропесок из «биг-бека» высыпается в специальную тару $v = 1,0 \text{ м}^3$. Затем уже по мере необходимости из этой тары микропесок выгружается на ленточный конвейер, расположенный непосредственно над напорным питателем. После загрузки напорный питатель герметизируется. В результате подачи сжатого воздуха внутрь питателя микропесок псевдооживляется и уходит по трубопроводу и подается непосредственно в КФ. Прозрачный трубопровод позволяет визуализировать процесс транспортировки. Процесс загрузки производится вручную не чаще одного раза в год.

Осветленная окончательно в СНФ (мутность $0,2 - 0,5 \text{ мг/дм}^3$) вода, по мере необходимости забирается насосами НЗ.1 и НЗ.2 и отправляется потребителю через лучевые смесители ЛС и устройство ультрафиолетового обеззараживания (УФО) потребителю. В лучевые смесители подается раствор сульфата аммония (продолгование действия бактерицидов) и гипохлорита натрия. Непрерывный мониторинг показателя качества воды производится на всем протяжении процесса подготовки, начиная от емкости ЕС и далее с помощью станций мониторинга СМВ1 – СМВ5. Вся информация о работе станции визуализируется и передается на все уровни управления, начиная от оборудования.

Процесс позволяет снижать мутность с $2,0 - 500 \text{ мг/дм}^3$ до $0,2 - 0,5 \text{ мг/дм}^3$, цветность с $80 - 100$ и более градусов до $5 - 7$ градусов, содержание железа и марганца уменьшать в $15 - 20$ раз, уменьшать в разы содержание в очищенной воде многих металлов (г. Кронштадт совместно с ГУП «Водоканал «Санкт-Петербург»).

Расчеты показывают, что стоимость 1 м^3 воды с учетом амортизационных отчислений не превышает 25 рублей за 1 м^3 , а удельная стоимость капвложений на единичную производительность ($1 \text{ м}^3/\text{сут}$) не превышает $20\,000 \text{ руб}/(\text{м}^3/\text{сут})$. Станция изготавливается в заводских условиях в течение 4 – 6 месяцев, наладывается в течение 2 – 4 недель. Управление станцией полностью автоматизировано. Результаты мониторинга транслируются на необходимое количество уровней.

Для оценки эффективности очистки удобно использовать относительный критерий – кратность улучшения (уменьшения) μ

конкретного показателя Π качества стока.

Кратность μ улучшения значения показателя Π определяется по формуле:

$$\mu = \frac{\Pi_{\text{и}}}{\Pi_{\text{о}}},$$

где $\Pi_{\text{и}}$ и $\Pi_{\text{о}}$ – соответственно значения показателя до и после очистки единицы Π ; $\Pi_{\text{о}}$ – предельное минимальное численное значение Π равное сумме погрешностей датчика (мониторинга), насоса-дозатора и прибора мониторинга показателя качества выходного продукта.

Критерий μ может изменяться в широких пределах от 10^0 до 10^5 крат. в зависимости от двух основных факторов: начальной степени загрязненности стока и погрешности датчиков, с помощью которых проводятся измерения.

Изменение изобарно-изотермического потенциала процесса очистки может быть оценено по закону Гесса, из которого следует, что величина изменения энергии Гиббса (как изменение энтальпии и энтропии) не зависит от пути процесса, а определяется лишь начальным и конечным состоянием реагирующей системы, по сути, исходным и конечным значением концентраций (показателей качества) вредных веществ, с которыми связана кратность улучшения (снижения) значений показателя μ при очистке. Модульные станции водоподготовки могут успешно эксплуатироваться при обслуживании специалистами по специальности инженерная экология. В настоящее время выпуск таких специалистов недостаточен, поэтому целесообразно при первых пусках таких станций на их базе организовать центры переподготовки из инженеров-экологов.

ВЫВОДЫ

Создана модульная станция доочистки ливневых или промышленных стоков, обеспечивающая функционирование систем бессточного оборота технологических водных жидкостей при минимальном водозаборе природной воды. Проведенные испытания подтвердили промышленную применимость станции и достижение требуемых показателей очистки стоков от загрязняющих веществ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Булыжев Е.М., Ламзин Е.М., Вдовин Р.Д. Мобильная станция водоподготовки // Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2019». материалы XII Межд. науч.-практ. конф.. г. Москва, 22–23 октября 2019 г./ Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т. (НПИ) имени М.И. Платова. – Новочеркасск: Лик, 2019. С. 190–198.
2. Контейнерная станция локализованной очистки и обеззараживания стоков переработки водных смазочно-охлаждающих и технологических жидкостей / Булыжев Е.М., Булыжев Э.Е., Джавахия Г.А. // Технологии

очистки воды «ТЕХНОВОД-2017» Материалы X-юбилейной Межд. науч.-практ. конф.; г. Астрахань, 5–6 октября 2017г. / Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т. (НПИ) имени М. И. Платова. – Новочеркасск: Лик, 2017. С 281–288.

3. Патент 2693761, Россия. МПК C02F 1/52, B01D 21/0006, B01D 21/0012. Способ и устройство очистки воды от взвешенных примесей / Е.М. Булыжев. 2019. Бюл. № 19.

УДК 628.32

ЛОКАЛЬНАЯ ОЧИСТКА «СЕРЫХ» СТОЧНЫХ ВОД. ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Ю.А. Щербакова

АО «ЭКОС», г. Новочеркасск, Россия

Описан первый опыт применения комбинации химических и физико-химических методов очистки «серых» вод от загрязняющих веществ.

Мы живем в век стремительного развития технологий, 21 столетие называют «век научно-технического прогресса». Под научно-техническим прогрессом понимается непрерывный процесс качественного совершенствования и количественного роста всех составляющих общественного производства – предметов труда, работников производства, а также модернизацию методов их соединения в производственных процессах на основе достижений науки, техники. На фоне общего прогрессивного развития технологий промышленной системы водоснабжения и водоотведения, ресурсосберегающие технологии в области коммунального водоснабжения практически не развиваются, особенно в сравнении со странами, испытывающими дефицит водных ресурсов. Современные реалии заставляют нас задумываться и искать способы рационального использования воды, уменьшающие как капитальные, так и эксплуатационные затраты.

Современные системы транспортировки воды, обеспечивают подачу воды со значительными потерями, достигающими 50 %, что определяет необходимость дополнительной емкости водозабора и истощает природные водные источники, помимо этого абоненты используют чистую питьевую воду на слив воды в унитазах, что является не рациональным использованием и, кроме этого, создаёт излишнюю нагрузку на системы водоотведения.

Централизованные системы очистки сточных вод имеют протяженные канализационные сети и крупномасштабные очистные сооружения, что требует высоких эксплуатационных затрат на их обслуживание. Децентрализованные системы всегда подразумевают небольшой масштаб капиталовложений и уменьшение антропогенного

воздействия на окружающую среду. С учетом местных особенностей и разумных технических решений децентрализованные системы создают условия для максимально возможного повторного использования сточных вод.

Около 50 % хозяйственно-бытовых сточных вод составляют «серые» воды, т.е. те воды, которые образуются при использовании ванн, душевых и умывальников. Локальная обработка «серых» вод может оказаться экономичной, поскольку уменьшаются расходы на транспортировку воды питьевого качества и снижается нагрузка на централизованную систему очистки сточных вод.

Для реализации данного подхода необходима двухтрубная система в жилом доме: для отвода «серых» вод на локальную обработку и отвода «черных» вод на локальную или централизованную очистку. Таким образом формируется схема децентрализованной обработки «серых» сточных вод и централизованной обработки «черных» сточных вод. Децентрализованная обработка «серых» вод может быть организована на уровне отдельных домовладений или жилых массивов.

Энергосбережение при реализации децентрализованных схем может являться одним из аргументов в пользу их применения. Централизованные очистные сооружения, как правило, располагаются на более низком геодезическом уровне по отношению к городской территории, что обеспечивает поступление сточных вод самотеком. Зоны потребления очищенных сточных вод расположены, главным образом, выше, в связи с чем возникает потребность в их перекачке с соответствующими энергозатратами. Эти затраты могут быть снижены, если очистные сооружения меньшей производительности будут расположены в местах образования загрязненных или потребления очищенных сточных вод.

«Серые» воды после очистки могут быть использованы на технические нужды.

С гигиенических позиций классификация систем технического водоснабжения должна основываться на степени контакта человека с восстановленной водой. По этому признаку выделяются:

- закрытые системы технического водоснабжения – системы, исключающие непосредственный контакт человека с технической водой;
- открытые системы технического водоснабжения – системы, предполагающие непосредственный контакт человека с технической водой.

Принимая во внимание, что техническая вода может использоваться не только для смыва воды в унитазах, но и для полива зеленых насаждений и мойки дорог, что в свою очередь может приводить к косвенному контакту с человеком, то правильнее относить очищенную сточную воду к открытым системам технического водоснабжения.

На текущий момент написания статьи (2021 г.) в Российской Федерации действуют два технических нормативных документа:

- СанПиН 1.2.3685-21 от 28 января 2021 года № 3 [1];
- Методические указания 2.1.5.1183-03 от 01 марта 2003 года. [2]

Санитарно-эпидемиологический надзор за использованием воды в системах технического водоснабжения промышленных предприятий.

В соответствии с ними установлены следующие нормативы, представленные в таблице № 1.

Таблица 1. Существующие нормативы систем технического водоснабжения

Показатель	Ед. изм.	СанПиН 1.2.3685-21		МУ 2.1.5.1183-03	
		В открытых системах технического водоснабжения и для полива улиц и зеленых насаждений	В системах технического оборотного водоснабжения моек автомобильного транспорта	В открытых системах технического водоснабжения	В закрытых системах технического водоснабжения
Взвешенные вещества	мг/л	5	20/60 – для колесных моек автотранспорта	3	10
Запах	баллы	2	3	2	–
Окраска	В столбике воды	10	–	10	–
БПК ₅	мг/л	5	10	3	10
ХПК	мг/л	30	60	30	70
Нефтепродукты	мг/л	Не отслеживается	1	–	–
Обобщенные колиформные бактерии (ОКБ)	КОЕ/100 см ³	Не более 100	Не более 100	20	500
Термотолерантные колиформные бактерии E.coli	КОЕ/100 см ³	Не более 10	Не более 10	10	100
Колифаги	БОЕ/100 см ³	–	–	10	100

При использовании восстановленной воды в открытых системах технического водоснабжения эпидемическая безопасность является важнейшим критерием ее качества и, следовательно, степени ее очистки. Для разработки локальных очистных сооружений необходимо проведение лабораторных исследований.

Загрязнения в «серых» водах привносятся от моющих средств и органических загрязнений с тела человека. Для определения возможной технологической схемы очистки и эффективности работы её узлов, на лабораторной установке проводились исследования по очистке имитата сточных вод, содержащего моющее средство.

Для понимания количества загрязнений, привносимых при пользовании санитарными приборами, такими как душ, ванна и раковина, нами были определены характеристики моющих средств (табл. 2).

Таблица 2. Сравнительная таблица характеристик образцов

Характеристика	Образец № 1	Образец № 2	Образец № 3
Тип	Жидкий шампунь	Жидкое мыло	Твердое мыло
Плотность, г/см ³	0,9876	0,9153	1,079
Объем раствора, мл	1000	1000	1000
ХПК, мг/л	240–250	113,5	244
БПК ₅ , мг/л	188,5	59,4	152
АПАВ, мг/л	45,7	12,3	0,66
ХПК : БПК	1,2:1	1,9:1	1,69 : 1

Дальнейшие исследования были направлены на определение целесообразности применения комбинации химических и физико-химических методов очистки «серых» вод от загрязняющих веществ.

Лабораторная установка, на которой проводились исследования состоит из следующих узлов: приемная емкость с мешалкой и узлов ввода коагулянта и флокулянта; механический фильтр 20 мкм; осветлительный фильтр; сорбционный фильтр; механический фильтр 5 мкм; узел введения окислителя с контактной емкостью; смеситель; установка УФО.



Рисунок. Технологическая схема лабораторной установки для очистки «серых» вод

Был проведен ряд экспериментов с целью определения:

- необходимой дозы коагулянта и флокулянта;
- подходящей сорбционной загрузки;
- необходимой дозы окислителя (перекись водорода).

Результаты одного из экспериментов представлены в таблице 3.

Таблица 3. Результаты эксперимента

Опыт	Отбор пробы	pH	ХПК (нефилт), мг/л	ПО, мг/л	Запах
№ 1	Исходная вода	7,92	116	7,32	5
№ 2	Коагуляция и флокуляция	7,65	104	6,21	3
№ 3	Сорбция на активированном угле, в динамических условиях.	7,9	59,7	5,57	1
№ 4.1	Окисление перекисью 6 % (1мл / 380 мл) + 30 мин	7,98	161	155,22	0
№ 4.2	Окисление перекисью 3 % (1мл / 380 мл) + 30 мин	7,96	114	49,35	0
№ 5.1	Обработка УФ облучением 30 мин	8,08	141	99,5	0
№ 5.2	Обработка УФ облучением 30 мин	8,13	114	58,9	0

ВЫВОДЫ

Результаты исследований показывают высокую степень очистки имитата «серых» вод применёнными методами, такими как коагуляция и флокуляция, а также сорбционная очистка. Использование окислителя также оказывает снижение запаха, но привносит сложности в определении ХПК, и на текущий момент идет процесс подбора оптимальной дозы окислителя для эффективного снижения ХПК.

На основании полученного опыта, дальнейшими шагами исследований является:

- проведение испытаний на реальной «серой» воде;
- сравнение и выбор наиболее эффективных сорбционных загрузок;
- отработка режимов эксплуатации сорбционных загрузок при различных скоростях фильтрации и времени контакта с водой;
- определение конечной сорбционной емкости фильтрующих загрузок на «серой» сточной воде;
- определение необходимой дозы окислителя для окисления остаточных загрязнений, но не привносящих погрешность в измерения;
- использование других окислителей, озон и гипохлорит натрия для доочистки и обеззараживания, с определением необходимых доз и эффективности очистки.

ЛИТЕРАТУРА

1. СанПиН 1.2.3685-21 от 28 января 2021 года № 3.
2. Методические указания 2.1.5.1183-03 от 01 марта 2003 года.

УДК 628.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГАЗОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ НАД ПОВЕРХНОСТЬЮ АЭРОТЕНКОВ НА ГОРОДСКИХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ

Н.В. Кондакова, Ю.А. Гаврилина, Н.С. Серпокрылов

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия

В.Ю. Белоусова

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург, Россия

Приведены результаты экспериментальных исследований количества компонентов газовой воздушной смеси над поверхностью сточной жидкости аэротенков канализационных очистных сооружений города Новошахтинск Ростовской области.

Проблема предотвращения выбросов в атмосферный воздух опасных и дурнопахнущих летучих соединений является актуальным направлением исследований. Основные причины появления неприятных запахов при работе канализационных очистных сооружений [1]:

- централизация утилизации сточных вод посредством использования протяженных безнапорных и напорных трубопроводов;
- завышенные размеры водоотводящих каналов и трубопроводов;
- значительные объемы сточных вод от промышленных предприятий и предприятий сферы услуг, сбрасывающих сточные воды в бытовую водоотводящую сеть;
- общее снижение потребления воды в городах и населенных пунктах;
- снижение объема сточных вод вследствие эксфильтрации по причине изношенности водоотводящих сетей.

Также появлению запахов способствует изменение таких показателей как температура сточных вод и pH, изменение их времени пребывания в водоотводящей сети. Таким образом, в подводном пространстве трубопроводов образуются такие соединения как метан, углекислый газ, сероводород, что влечет за собой угрозу разрушения стенок труб по причине газовой коррозии.

Наиболее эффективные методы предотвращения и борьбы с опасными, дурнопахнущими летучими соединениями:

- строительные и эксплуатационные меры по защите канализационных сетей (для предотвращения разрушения внутренних поверхностей трубопроводов возможно нанесение покрытий, устойчивых к биологически активной среде;

- использование эжекции воздуха; промывка сети);
- биологические и физико-химические методы очистки отходящего газа (абсорбционные процессы: сорбционные биофильтры, где содержащиеся в воздухе вещества перерабатываются микроорганизмами; физико-химические методы разделения газов водными и органическими очищающими жидкостями);
- обеззараживание сточных вод (выделяют хлорирование и озонирование сточных вод, однако данные методы имеют свои недостатки, так как применение озона и хлора чревато образованием токсичных веществ);
- термическая утилизация небольших количеств технологических сточных вод (осуществляется путём сжигания мелкодисперсных распыленных технологических сточных вод в печах, горелках до составляющих CO_2 и H_2O).

Ведутся разработки фотокаталитических методов очистки воздуха от примесей. В качестве фотокатализаторов используют полупроводниковые оксиды или сульфиды (TiO_2 , ZnO , CdS и др.) [2]. Подробно механизм фотокаталитической очистки воздуха описан в работе [3]. Эффективность данного процесса зависит от наличия загрязнений, влаги, состава исходных веществ в воздушной среде, а также от степени адсорбции удаляемого вещества.

Для снижения негативного воздействия на открытых источниках (таких, как иловые площадки и т.д.) предлагается использовать технологию дезодорирования «Мокрый Барьер». Данная технология реализована на станции очистки хозяйственно-бытовых сточных вод города Анапа [4].

При этом опыт использования данных о составе газовой смеси воздуха, выделяемого очистными сооружениями сточных вод, в большей степени ограничивается оперативным контролем нормальных значений. Вопрос практического использования информации о выбросах углекислого газа (CO_2) от объектов водного комплекса ЖКХ рассмотрен в работах [5–6]. Содержание CO_2 в газовой смеси связано с биологическими процессами аэробного и анаэробного дыхания микроорганизмов. Количественная характеристика данного газа позволяет судить об эффективности работы КОС.

Также внимание уделяется выбросам парниковых газов – оксида азота (N_2O) и метана (CH_4), так как воздействие N_2O при постоянном массовом выбросе в 300 раз превышает воздействие углекислого газа (CO_2) и в 34 раза – воздействие метана CH_4 [7]. Исследование в области контроля над объемом выбросов данных парниковых газов в атмосферу на различных этапах очистки сточных вод описано в работе [8].

Количественный и качественный состав выбросов следует логически объединить с точками их образования, то есть с эксплуатацией объектов

водного хозяйства. Тогда установление типовых характеристик выбросов позволяет нормализовать процессы очистки на конкретно взятом комплексе ЖКХ. Отклонения от нормальных значений выбросов на объекте свидетельствуют о нарушении технологического режима. Исходя из этого, целью исследования является: теоретическое обоснование и разработка технических решений по повышению эффективности работы станции аэрации путем регулирования режимов эксплуатации на основе газового состава атмосферы над поверхностью очистного оборудования.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. теоретически обосновать оптимальный (для конкретного объекта) состав газов, выделяющихся в зависимости от исходных загрязнений, технологии и степени очистки сточных вод;
2. проанализировать эффективность использования на предприятиях очистки сточных вод газоанализаторов-сигнализаторов и других индикаторов выделения загрязняющих веществ в воздушную среду.

Исследования проводились в г. Новошахтинск, Ростовской области. Объектом исследования выступала городская станция по очистке сточных вод хозяйственно-бытового назначения производительностью 14 800 м³/сутки.

При постановке эксперимента применялись методические рекомендации по расчету количества загрязняющих веществ, выделяющихся в атмосферный воздух, от неорганизованных источников загрязнения станций аэрации сточных вод (п. 5) [9]. Контрольные точки измерения компонентов атмосферного воздуха на рассматриваемом сооружении (аэротенк) были выбраны ближе к водной поверхности, исключая попадания брызг в пробоотборники. Исследования проводились в летний период (июль), светлое время суток (12 ч дня) и при соблюдении схожих метеоусловий. За один цикл проведения измерений анализировалось не менее 3 проб.

Измерения количеств конкретных компонентов газовой воздушной смеси над поверхностью сточной жидкости аэротенков проводилось с помощью газоанализатора «Геолан-1П» согласно его руководству по эксплуатации. Данный прибор включен в Государственный реестр средств измерений и имеет широкий диапазон чувствительности. Газоанализатор предназначен для непрерывного, автоматического, прямого измерения концентраций вредных и загрязняющих веществ (оксид углерода, диоксид азота, оксид азота, диоксид серы, формальдегид, этанол), содержащихся в атмосферном воздухе, воздухе рабочей зоны. Допустимая относительная основная погрешность прибора не более $\pm 20 \%$.

Измерения фоновых концентраций проводились на границе СЗЗ с подветренной стороны относительно аэротенков. Полученные фоновые

значения ниже ПДК в атмосферном воздухе [10].

В таблице представлен средний результат из 3-х определений по каждому исследуемому компоненту.

Таблица. Показатели эмиссии газов из аэротенков городских ОСК

Показатель	Хозяйственно-бытовые очистные сооружения					
	<i>Вход I секция</i>	<i>Середина I секция</i>	<i>Выход I секция</i>	<i>Вход II секция</i>	<i>Середина II секция</i>	<i>Выход II секция</i>
Измерения над поверхностью водной глади (в воздухе) на высоте 0,5 м						
P, мм рт. ст.	757,3	757,3	757,3	757,3	757,3	757,3
V, м/с	1	0,5	0,7	1	0,5	0,7
Влажность, %	28,5	28,5	30,0	28,5	28,5	30,0
t, °C	31,0	31,1	29,9	31,2	30,9	29,9
CO, мг/м ³	0	0	0	0	0	0
NO ₂ , мг/м ³	0	0	0	0	0	0
NO, мг/м ³	0	0	0	0	0	0
SO ₂ , мг/м ³	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
HCHO, (мг/м ³) (формальдегид)	0	0	0	0	0	0

Основные параметры аэротенка хозяйственно-бытовых очистных сооружений: полезный объем сооружения (две секции) – 6 000 м³, доза ила – 2,7 г/л, интенсивность аэрации (ориентировочно) – 1,8 м³/м²·ч.

Поступление загрязняющих веществ в атмосферу из сточной воды, подвергающейся обработке биологическим методом, зависит от скорости молекулярной диффузии газа через поверхностную пленку воды. Очевидно, что локальные явления, характерные для данной системы, будут определять скорость переноса. Массовое количество поступающего компонента в атмосферу из очищаемых вод связано с его равновесной концентрацией в системе, которая, в свою очередь, зависит от природных и технологических факторов.

Анализ результатов исследований позволяет выделить общие типовые критерии при изучении состава газовой воздушной смеси. Биологическая природа основного состава отходящих газов изменчива и зависит от ряда факторов:

- технологическое оснащение очистных сооружений (особое влияние имеет характер системы биологического удаления биогенных веществ);
- сезонное изменение температуры окружающего воздуха (в летнее время возможно возрастание количеств выбросов ввиду усиленной общей микробной активности при повышенных температурах);
- производительность очистных сооружений (большой объем сооружений очистки активным илом может привести к возникновению анаэробных зон).

Таким образом, регулирование режимов работы станции аэрации возможно осуществлять на основе показаний газоанализаторов-сигнализаторов воздушной среды, расположенных над поверхностью жидкости в аппаратах очистки. Данный метод контроля опосредованный, однако, аналитические исследования состава сточной жидкости требуют значительно большего количества времени и трудовых затрат.

ЛИТЕРАТУРА

1. Орлов В.А., Крашенинина Ю.Е. Запах в самотечных водоотводящих сетях и мероприятия по борьбе с ним // Системные технологии. № 30. 2019. С. 41–46.
2. Орлов В.А., Саймуллов А.В., Мельник О.В. Изучение процесса появления дурно пахнущих запахов в канализационных сетях и анализ средств их удаления. Вестник МГСУ, № 15, вып. 3. 2020. С. 409–431.
3. Canela C., Alberici R.M., Jardim W.F. Gas phase destruction of H₂S using TiO₂/UV-VIS. Journal of Photochemistry and Photobiology, Chemistry. 1998. С. 73–80.
4. Свицков С. В. Внедрение технологии уничтожения неприятных запахов на очистных сооружениях г. Анапа // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения, № 4. 2015. С. 36–41.
5. Серпокрылов Н.С., Земченко Г.Н., Вильсон Е.В. Эмиссия диоксида углерода в водном комплексе. Процессы очистки и транспортирования вод. LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH, 2012. 289 с.
6. Каменев Я.Ю., Попова Ю.А. Повышение эффективности работы очистных сооружений регулированием режимов на основе методики экспресс-контроля по эмиссии газов [online]. Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». 2013. Доступно по ссылке: <http://publ.naukovedenie.ru> [Дата обращения 17.11.2020].
7. Лосдрехт ван М., Нильсен П.Х., Лопес-Васкес К. и Брджанович Д. Экспериментальные методы в очистке сточных вод. Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2020. 383 с.
8. Kampschreur, M.J., Temmink H., Kleerebezem, R., Jetten, M.S.M., and van Loosdrecht M.C.M. Nitrous oxide emission during wastewater treatment. Water Res. 2009. С. 4093–4103.
9. Методические рекомендации по расчету количества загрязняющих веществ, выделяющихся в атмосферный воздух, от неорганизованных источников загрязнения станций аэрации сточных вод. СПб.: ОАО «НИИ Атмосфера», 2011. 24 с.
10. Главный государственный санитарный врач российской федерации ГН 2.1.6.3492-17. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений. М.: Минздрав России, 2017. С. 13–17.

УДК 628

ЭКСПЛУАТАЦИЯ УСТАНОВКИ КОМПЛЕКСНОЙ БИОМЕМБРАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ФИЛЬТРАТОВ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

П.А. Ермаченко

ООО «Новые трубные технологии», г. Москва, Россия

Е.С. Гогина, Е.А. Соколова

Московский государственный строительный университет,
г. Москва, Россия

В статье описывается процесс апробации новой биомембранной технологии очистки фильтрата полигонов твердых коммунальных отходов (ТКО).

В результате складирования твердых коммунальных отходов на мусорных полигонах и свалках происходят биогеохимические процессы, в результате которых атмосферные осадки, пройдя сквозь тело полигона, превращаются в фильтрат. Существующие методы очистки фильтратов не оптимальны. Отсутствие эффективной системы по сбору и очистке фильтрата на многих полигонах усугубляет проблему. Поэтому перед научным сообществом стоит цель разработать универсальную, гибкую технологию очистки фильтратов полигонов ТКО, применение которой возможно в различных климатических зонах.

Существует несколько базовых технологий очистки: механическая, физико-химическая, биологическая и т.д. К механическому методу относят отстаивание, фильтрация, сепарация. Биологический метод очистки основан на способности микроорганизмов потреблять растворенные органические и некоторые минеральные соединения. К физико-химическим методам очистки относят: коагуляцию, флокуляцию, флотацию, сорбцию, ионный обмен и т.д. [7]

На базе Инжинирингового центра ООО «Новые Трубные Технологии» (ООО «НТТ») была разработана комплексная технология биомембранной очистки фильтратов ТКО.

Схема очистки фильтрата ТКО основана на использовании различных методов, включающих в себя следующие технологические операции:

- предварительную физико-химическую очистку в резервуаре-усреднителе;
- осветление сточных вод в тонкослойном отстойнике;
- удаление органических загрязнений в биореакторе;
- доочистку с использованием обратного осмоса;
- удаление образующихся осадков.

В результате очистки сточных вод образуются: очищенная вода (пермеат) обратного осмоса, концентрат обратного осмоса, избыточный активный ил из мембранного биореактора, уплотненный осадок из конических бункеров резервуара-усреднителя и тонкослойного отстойника.

Для апробации технологии была изготовлена опытно-промышленная установка (ОПУ) из стеклокомпозита номинальной производительностью (по фильтрату) 1 м³/сут. (рис. 1).



Рисунок 1. Опытно-промышленная установка

Апробация технологии производилась на привозном фильтрате ТКО с действующего комплекса по переработке отходов «Солопово», расположенного в Московской области (г.о. Зарайск, вблизи д. Солопово).

Мощность комплекса по переработке отходов «Солопово» составляет 350 тыс. т ТКО в год, площадь земельного участка 12 га.

Технологическая схема очистки сточных вод фильтрата ТКО состоит из трех основных блоков (рис. 2):

- реагентно-осадительной предочистки (Б1);
- биологической очистки (Б2);
- обратноосмотической доочистки (Б3).

Данное технологическое решение обеспечивает удаление из сточных вод тяжелых металлов, взвешенных веществ и биогенных элементов до нормативных требований к сбросу в рыбохозяйственные водоемы.

Первая часть процесса очистки фильтрата ТКО включает обработку щелочным реагентом, отстаивание, тонкослойное осаждение и нейтрализацию. Первичная реагентная обработка осаждает основную часть взвешенных веществ, коллоидных частиц, а также некоторые минеральные

вещества. Данный этап имеет большую значимость в эффективности дальнейших процессов очистки, так как именно здесь снижается концентрация тяжелых металлов.

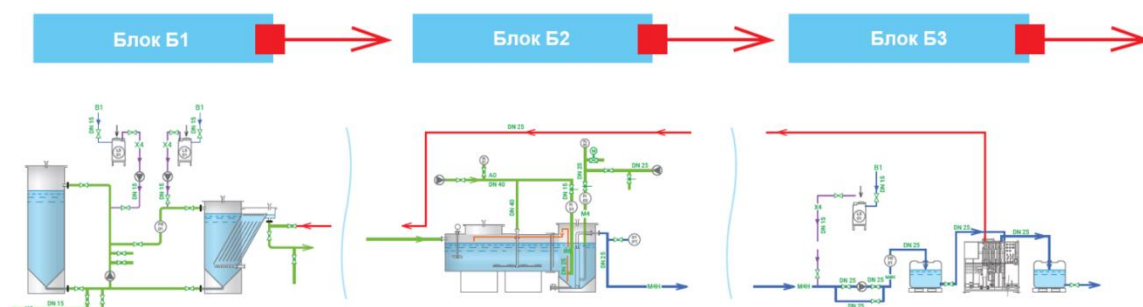


Рисунок 2. Технологическая схема очистки

Вторая часть – включает биологическую очистку, которая происходит в мембранном биореакторе, в корпусе которого последовательно размещены секции денитрификации, нитрификации и мембранного разделения. Для окисления органических веществ и нитрификации поддерживается концентрация растворенного кислорода в пределах 2 – 5 мг/л. В биореакторе поддерживается доза активного ила в диапазоне 8 – 10 г/л. Процесс отделения активного ила от очищенной сточной воды происходит посредством погружных ультрафильтрационных мембранных модулей. Для увеличения срока службы мембранного блока, конструкцией биореактора предусмотрена система аэрации с постоянной подачей воздуха в зону установки модулей. Данный этап определяет значимую степень очистки по вредным растворенным веществам всей установки.

Третья часть обработки фильтрата ТКО включает сооружения доочистки. Данный этап происходит с помощью двухступенчатой обратноосмотической установки. Применение данного оборудования позволяет поддерживать концентрации загрязняющих веществ требуемых для сброса в рыбохозяйственные водоемы.

Анализ результатов апробации технологии показывает, что использование реагентного осаждения в резервуаре-усреднителе обеспечивает многократное снижение значений показателей: Cr, Zn, Fe, K, Ca, Mn, гидрокарбонатов, кремния, фосфора, фторидов и прочих загрязнений. Также в блоке Б1 существенно улучшаются показатели взвешенных веществ, БПК, ХПК.

Блок биологической утилизации органических загрязнений фильтратов ТКО с применением мембранных биореакторов (Б2) показал высокую эффективность окисления органических загрязнений, нитрификации и денитрификации.

На установке обратного осмоса (БЗ) существует значительный потенциал эффективности доочистки. Во многом блок БЗ выполняет «барьерную» функцию, гарантирующую неизменно высокое качество очищенного фильтрата. Мембраны обратного осмоса в данной схеме промываются раз в 3 – 6 месяцев и практически не зарастают, и не забиваются.

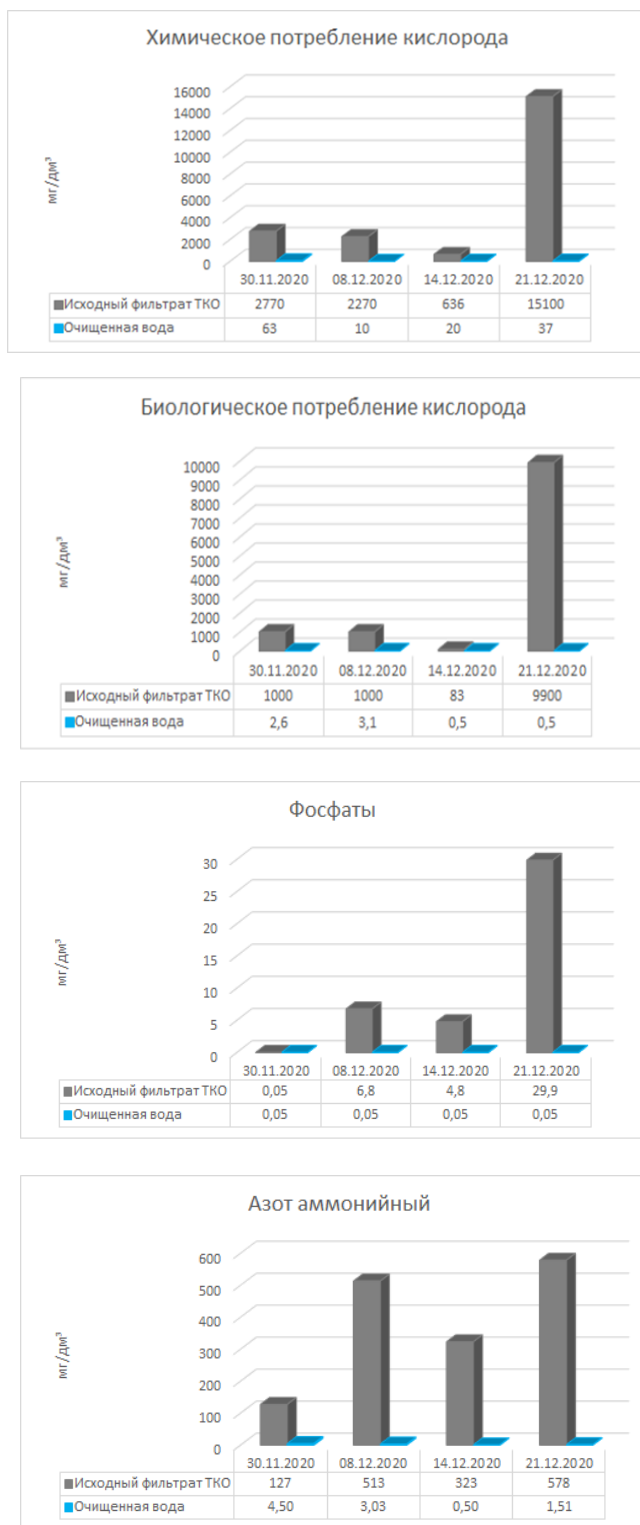


Рисунок 3. Результат очистки от биогенных элементов

В результате апробации технологии была подтверждена эффективность работы установки, доказано отсутствие токсичного воздействия на гидробионтов в ходе биотестирования, выявлен потенциал возможностей дальнейшего развития технологии очистки. Также технология показала свою универсальность для широкого диапазона исходных концентраций загрязняющих веществ различного происхождения.

Собранные в результате апробации данные позволят в дальнейшем развивать и оптимизировать уже существующие технологии очистки фильтратов ТКО.

ЛИТЕРАТУРА

1. Поваров А.А., Селиванов Н.В., Трифонова Т.А., Павлова В.Ф., Селиванов О.Г., Ильина М.Е., Шаркин Л.А. и Торшин В.Б. Очистка фильтрационных вод полигонов твердых бытовых отходов // Природопользование и мониторинг, 2014. № 1. С. 661.
2. Коньгин А.А. Комплексная технология очистки фильтрата полигона захоронения твердых бытовых отходов // Строительная наука.. 2011. № 4. С. 105.
3. Милютина Н.О., Полетаева Н.П., Зеленковский П.С., Подлипский Н.И. Анализ методов очистки фильтрата полигонов твердых коммунальных отходов // Вестник Евразийской науки. 2020. № 3.
4. Поворов А.А., Павлова В.Ф., Шиненкова Н.А. Очистка дренажных вод полигонов твердых бытовых отходов (ТБО) // Всероссийский экологический форум. 2017.
5. Ермаченко П.А., Зверева Н.А., Буханцов Ю.В., Булыжев Е.М., Середин Д.С., Соколова Е.А. Комплексная биомембранная технология очистки фильтратов твердых коммунальных отходов // Наилучшие Доступные Технологии водоснабжения и водоотведения – М.: № 3, 2021. С. 60–68.
6. Милютина Н.О., Политаева Н.А., Зеленковский П.С., Подлипский И.И., Великосельская Е.С. Анализ методов очистки фильтрата полигонов твердых коммунальных отходов // Вестник Евразийской науки, 2020 № 3. DOI: 10.15862/03NZVN320.
7. Гуман О.М., Долинина И.А. Гидрохимическая модель полигона ТБО // Известия УГГУ. 2003. № 18. С. 262–273.
8. Глушанкова И.С., Рудакова Л.В., Воронкова Л.В., Володина А.С. Опыт применения метода рециркуляции фильтрационных вод полигона захоронения ТБО на примере захоронения ТБО г. Краснокамск // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2015. № 7. С. 46–50.
9. Серeda Т.Г. Актуальные проблемы обеззараживания сточных вод полигонов твердых бытовых отходов с применением гидробиологической очистки // Современные наукоемкие технологии. 2017. № 3. С. 50–54.

УДК 628.144.2

ТОРФЯНАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА ДЛЯ СНИЖЕНИЯ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ

А.В. Михайлов

ООО «Эпицентр», г. Санкт-Петербург, Россия

О.А. Продоус

ООО «ИНКО-эксперт», г. Санкт-Петербург, Россия

А.А. Шипилов

ООО «СпецСтройПроект», г. Санкт-Петербург, Россия

Приведены сведения по технологии фильтрования поверхностных сточных вод, содержащие нефтепродукты и тяжелые металлы. Показаны преимущества использования кассетных модульных устройств, устанавливаемых непосредственно в смотровых колодцах на сетях водоотведения. Рекомендовано подвергать очистке на торфяных модульных фильтрах сточные воды, содержащие нефтепродукты, перед их сбросом в водоемы.

Фильтрование поверхностного стока через торфяную загрузку фильтров было подробно описано в монографии [1]. Однако существуют ситуации, когда поверхностный сток, например, с территории склада или автомобильной магистрали, расположенной вдоль водоема направляется без предварительной очистки сразу в водный источник. На рисунке 1 показана такая ситуация.

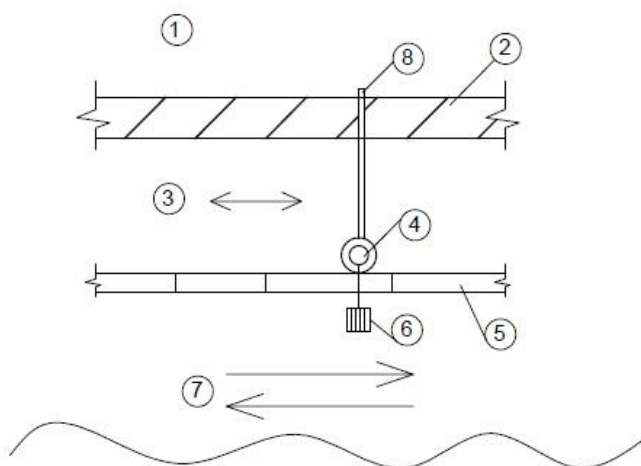


Рисунок 1. Дождевой выпуск в водоем:

- 1 – открытый водоем; 2 – береговая подпорная стенка; 3 – пешеходная дорожка;
- 4 – смотровой колодец дождевой канализации с торфяным фильтрующим устройством;
- 5 – бордюр; 6 – приемная решетка на передней части; 7 – проезжая часть автодороги;
- 8 – открытый выпуск в водоем

Такая ситуация нарушает действующее Водное законодательство РФ, потому что сбрасывать в водные объекты неочищенные до установленных пределов дождевые, талые и поливомоечные воды – категорически запрещено.

Авторами разработано устройство модульного типа, в корпусе из полимерных материалов, устанавливаемое в последнем колодце перед водоемом, в котором оно монтируется [2].

Устройство работает следующим образом. Стоки, в которых содержатся нефтепродукты и тяжелые металлы, поступают в приемную решетку на проезжей части 7. Далее, сточная жидкость поступает в мусоросборник фильтрующего устройства (корзину), рисунок 2, где задерживается крупный мусор и песок. Мусоросборная корзина периодически опорожняется от мусора и песка. Через боковые отверстия в корзине дождевая вода переливается в зазор между корпусом модуля и кассетой.

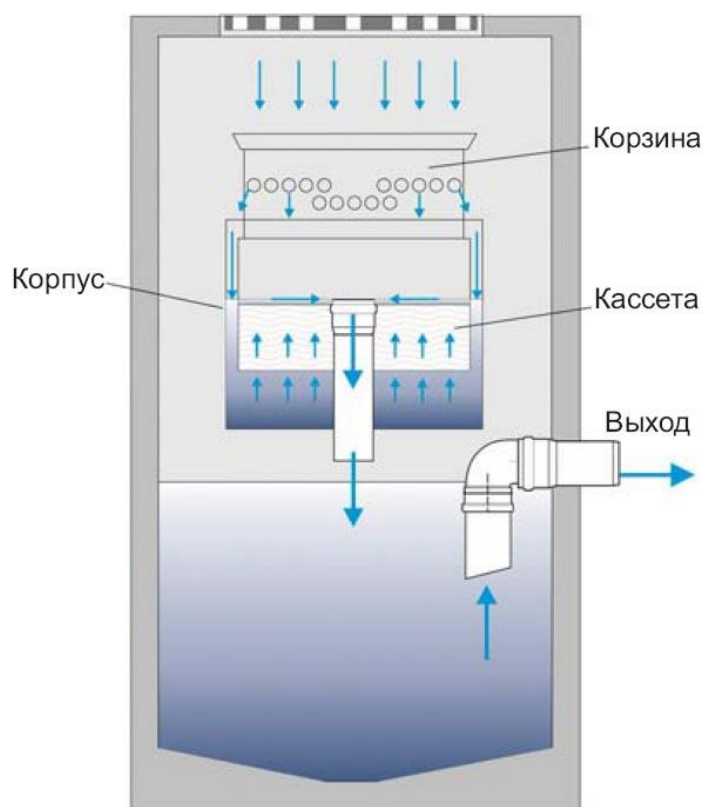


Рисунок 2. Торфяной фильтрующий модуль, устанавливаемый в дождеприемном колодце

Крупнодисперсные взвешенные вещества оседают на дне корпуса модуля – отстойной части, откуда удаляются при обслуживании модуля. Поверхностный сток фильтруется снизу вверх через торфяную загрузку, размещенную в кассете с плитами из торфа. При прохождении сточной жидкости через торфяную фильтрующую загрузку на ней задерживаются

мелкодисперсные взвешенные вещества и нефтепродукты. В перерывах между циклами фильтрации взвешенные вещества с нижней поверхности фильтрующей загрузки оседают под действием сил гравитации на дно корпуса модуля. Очищенный поверхностный сток сливается по переливной центральной трубе на дно смотрового колодца в его лотковую часть и отводится в открытый водоем.

Для одновременной очистки поверхностного стока от нефтепродуктов и тяжелых металлов разработано фильтрующее устройство комбинированного типа, содержащее торфяную загрузку в кассете, один слой которой содержит специальный сорбент для задержания тяжелых металлов [3]. Локальная очистка поверхностного стока от нефтепродуктов перед его сбросом в водоем гарантировано обеспечивает задержание на торфяной загрузке:

- взвешенных веществ – до 93 %;
- нефтепродуктов – до 92 %.

Торфяная загрузка подлежит замене один раз в 3 – 6 месяцев. Достоинством модульных фильтров с торфяной загрузкой является их простота в изготовлении и последующее обслуживание, а также возможность утилизации или сжигание в котлах на твердом топливе [4].

Таким образом, технология торфяной фильтрации поверхностного стока, сбрасываемого в водоемы, обеспечивает существенное снижение негативного воздействия на водные объекты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Михайлов А.В., Ким А.Н., Продоус О.А., Графова Е.О., Рублевская О.Н. Водоотведение и очистка поверхностного стока на торфяных фильтрах / Монография // Издательство «Сборка», Санкт-Петербург. 2014. 134 с.
2. Продоус О.А., Михайлов А.В. Устройство для очистки сточных вод, монтируемое в канализационном колодце. Патент РФ на полезную модель № 139389 РФ // МПК E03F5/04 (2006.01). Опубликовано 20.04.2014, бюл. № 11. Зарегистрировано в Госреестре изобретений РФ 17.03.2014 г.
3. Продоус О.А., Амеличкин С.Г., Медведев А.Н. Устройство для очистки сточных вод от нефтепродуктов и тяжелых металлов, предназначенное для установки в канализационном колодце. Патент РФ на полезную модель № 153716 // МПК E03F5/14 // B01D 36/02. Опубликовано 27.07.2015, бюл. № 21. Зарегистрировано в Госреестре изобретений РФ 03.07.2019.
4. Продоус О.А., Дронов А.А., Чернышов Л.Н. Эффективное использование отработанных торфяных фильтров // Экология производства, № 9. 2016. С. 48–51.

УДК 628.16.08

**ВНЕДРЕНИЕ КОАГУЛЯНТОВ ПРОИЗВОДСТВА АО «АУРАТ»
В ТЕХНОЛОГИЮ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД
НА ОС ОЭЗ «АЛАБУГА»**

А.А. Рученин, Е.С. Осокина
ООО «Аурат-ВВ», г. Казань, Россия

Представлены проекты расширения действующих очистных сооружений путем внедрения новых схем доочистки сточных вод на ОС ОЭЗ «АЛАБУГА», приведены результаты лабораторных и промышленных испытаний

С 1 октября 2018 г. была запущена федеральная программа «Оздоровление реки Волга», целью которой стало снижение объема отводимых в реку Волга загрязненных сточных вод. На основании данной программы в различных регионах страны были разработаны свои региональные программы, в частности в республике Татарстан вышла «Региональная программа по строительству и реконструкции (модернизации) очистных сооружений централизованных систем водоотведения в Республике Татарстан на 2019 – 2024 годы». Под данную программу попало значительное число как городских, так и районных канализационных очистных сооружений. Однако освоение выделенных, порой не малых средств, осуществляется в силу своего понимания поставленных задач. Так часть организаций, получившие средства на реализацию программы, просто отремонтировали металлические и бетонные конструкции своих очистных сооружений. В этом случае практически у них всех вопрос снижения сбросов загрязнений решен не был. Другие организации пошли дальше – разработали и внедрили проекты расширения сооружений, внедрение новых схем доочистки. В этом случае произошло некоторое улучшение качества очистки, однако достижение НДС по сбросу, например, фосфатов достигнуто не было. Примерно 2 – 3 организации из 10 решили внедрить реагентную очистку. С результатами, достигнутыми на одном из таких предприятий – Елабужскими очистными сооружениями особой экономической зоны Алабуга (ОС ОЭЗ «Алабуга») вы можете познакомиться в данной статье.

Лабораторные испытания. Сразу следует сказать, что на ОС ОЭЗ «Алабуга», сточные воды поступают как от города Елабуга, так и от предприятий ОЭЗ, в целом до 40 000 м³/сут. Проектом модернизации был предусмотрен ввод реагентов только перед первичными отстойниками. Однако, проведенные уже после проведения модернизации лабораторные исследования показали, что гораздо лучших результатов можно достичь, если реагенты подавать перед вторичными отстойниками. В течение мая-июня 2021 г. были проведены лабораторные исследования, в которых были

«обкатаны» практически все типы реагентов: низко-, средне-, высокоосновные полиоксихлориды алюминия, а также жидкий сульфат алюминия. В конечном итоге, круг исследования сузился до применения следующих реагентов:

АА-190 – полиоксихлорид алюминия «АКВА-АУРАТ™190» марка 2 (водный раствор) содержание Al_2O_3 – 7,8 % ТУ 2163-069-00205067-2007;

АА-18 – полиоксихлорид алюминия марки «АКВА-АУРАТ™18» (водный раствор) содержание Al_2O_3 – 17,1 % ТУ 2163-069-00205067-2007;

АА-14 – полиоксихлорид алюминия марки «АКВА-АУРАТ™14» (водный раствор) содержание Al_2O_3 – 11,0 % ТУ 2163-069-00205067-2007;

Водалс – сульфат алюминия Водалс марка 2 (водный раствор) содержание Al_2O_3 – 7,8 % ТУ 2141-064-00205067-2010;

ОХА-18 – оксихлорид алюминия марки ОХА-18 (водный раствор) содержание Al_2O_3 – 18,2 % ТУ 2152-010-47091990-2016.

Результаты лабораторных испытаний представлены в таблице 1, визуальные результаты – на фото 1–3. Дозы коагулянта указаны по оксиду алюминия.

Подача коагулянта перед первичными отстойниками, доза 15 мг/л

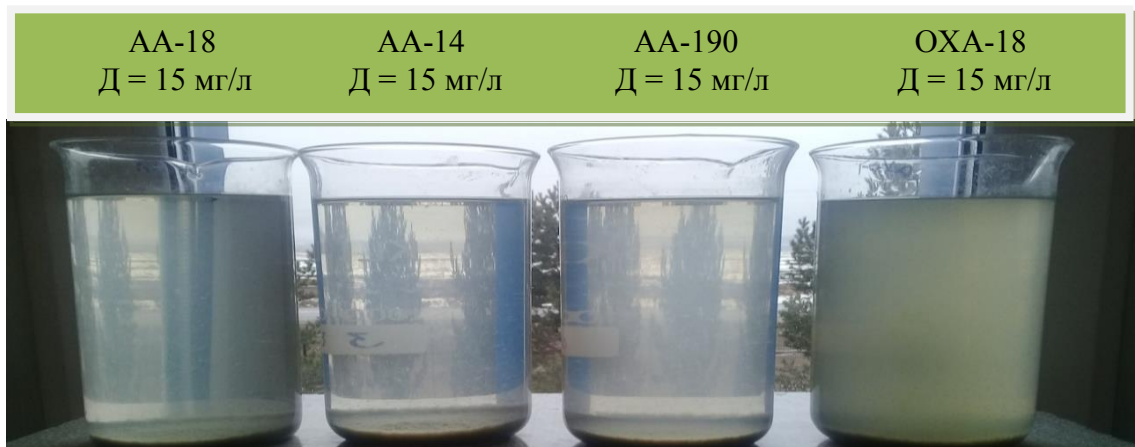


Фото 1. Через 30 минут после введения коагулянта

Подача коагулянта перед первичными отстойник, доза 30 мг/л

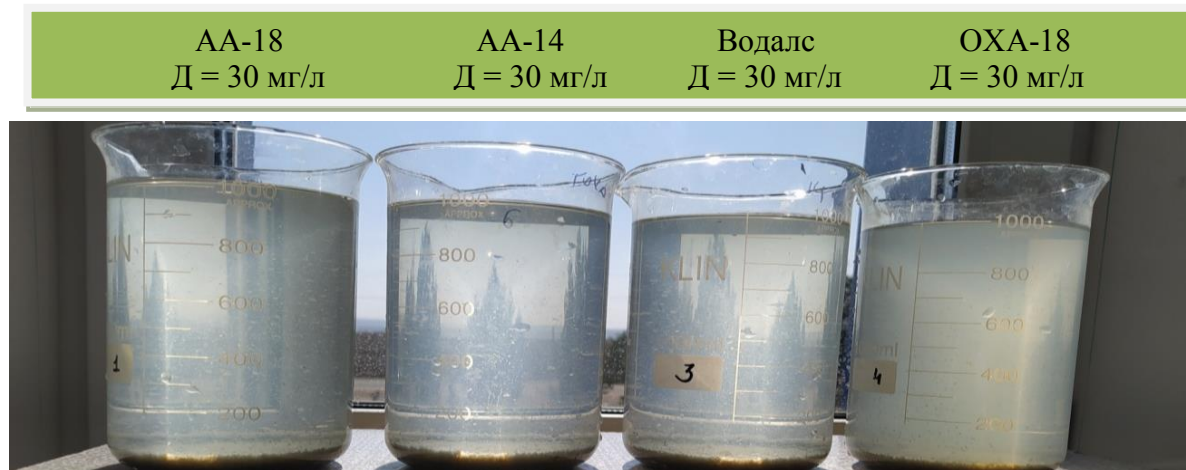


Фото 2. Через 30 минут после введения коагулянта

Подача коагулянта перед вторичными отстойниками, доза 5 мг/л

АА-18 Д = 5 мг/л	АА-14 Д = 5 мг/л	АА-190 Д = 5 мг/л	ОХА-18 Д = 5 мг/л
---------------------	---------------------	----------------------	----------------------



Фото 3. Через 30 минут после введения коагулянта

Таблица 1. Результаты лабораторных испытаний и экономический расчет на ОС ОЭЗ «Алабуга»

Результаты лабораторных испытаний и экономический расчет на ОС ОЭЗ «Алабуга»

Таблица 1 Приложение 1

Дата и Время, реагент	Показатели исходных стоков					Показатели очищенных стоков					Содержание Al_2O_3 в реагенте, %	Доза коагулянта по Al_2O_3 , мг/л (г/м ³)	Доза коагулянта по товарному продукту, мг/л (г/м ³)	Экономические показатели		
	Фосфаты, мг/л	ХПК, мг/л	Аммоний, мг/л	Взвешенные вещества, мг/л	РН	Фосфаты, мг/л	ХПК, мг/л	Аммоний, мг/л	Взвешенные вещества, мг/л	РН				Расход коагулянта на 1000 м ³ воды, тонн	Цена коа- нта, руб/тн с НДС и достав- кой*	Затраты коагу- лянта на очист- ку 1000м ³ воды, рублей с НДС и доставкой
Опыт 1																
АА-190	12,5	785		174	6,89					6,71	7,8	10	128,2051	0,1282051	7500	961,54
АА-18	12,5	785		174	6,89					6,82	17,1	10	58,4795	0,0584795	18000	1052,31
АА-14	12,5	785		174	6,89					6,73	11,0	10	90,9090	0,0909090	10800	981,81
Эпокавс	12,5	785		174	6,89					6,82	24,4	10	40,9836	0,0409836	30000	1229,51
Водалс	12,5	785		174	6,89					6,74	7,8	10	128,2051	0,1282051	7250	929,48
ОХА-18	12,5	785		174	6,89					6,89	18,2	10	54,9450	0,0549450	18000	989,01
Опыт 2																
АА-18	12,5	785		174	6,89	1,25	579		18	6,70	17,1	15	87,7192	0,0877192	18000	1578,95
АА-14	12,5	785		174	6,89	1,03	585		26	6,61	11,0	15	136,3635	0,1363635	10800	1472,72
АА-190	12,5	785		174	6,89	1,72	630		27	6,85	7,8	15	192,3076	0,1923076	7500	1442,31
ОХА-18	12,5	785		174	6,89	10,4	655		76	6,63	18,2	15	82,4175	0,0824175	18000	1483,52
Опыт 3																
АА-18					7,42	6,59			16	7,24	17,1	10	58,4795	0,0584795	18000	1052,31
АА-14					7,42	4,24			24	7,16	11,0	10	90,9090	0,0909090	10800	981,81
АА-190					7,42	6,86			30	7,24	7,8	10	128,2051	0,1282051	7500	961,54
ОХА-18					7,42	9,76			9	7,32	18,2	10	54,9450	0,0549450	18000	989,01
Опыт 4																
ОХА-18												10	128,2051	0,1282051		
ОХА-18+ф												10+0,3	54,9450+0,3	0,0549450+0,0003	18000 + 320000	989,01 + 96= 1085,01
Опыт 5																
АА-18	11,3	765	37,5	100	7,41	0,57	387	56,7	32	6,20	17,1	30	175,44	0,175	18000	3150,00
АА-14	11,3	765	37,5	100	7,41	0,38	366	57,1	20	6,12	11,0	30	272,72	0,272	10800	2937,60
Водалс	11,3	765	37,5	100	7,41	0,41	375	92,7	34	6,20	7,8	30	384,61	0,384	7250	2718,75
ОХА-18	11,3	765	37,5	100	7,41	1,60	417	37,5	40	6,14	18,2	30	164,84	0,164	18000	2952,00
АА190м	11,3	765	37,5	100	7,41	0,47	393	36,0	54	6,12	7,2	30	416,66	0,416		
Опыт 6																
АА-18	1,9	80,9	0,228	96	7,78	1,4	57,8	0,089	44	7,74	17,1	2	11,69	0,012	18000	216,00
АА-14	1,9	80,9	0,228	96	7,78	2,1	61,8	0,147	26	7,58	11,0	2	18,18	0,018	10800	194,40
Водалс	1,9	80,9	0,228	96	7,78	2,0	44,1	0,125	39	7,45	7,8	2	25,64	0,025	7250	181,25
ОХА-18	1,9	80,9	0,228	96	7,78	1,4	61,6	0,095	32	7,74	18,2	2	10,98	0,011	18000	198,00
Норматив	12	500	50	300	6,0-9,0	0,761		1,094	26,5-55	6,5-9,5						
Дополнительно																
Опыт 6	Остаточный Al исходный <0,04мг/л															
АА-18	0,182 мг/л															
АА-14	0,096 мг/л															
Водалс	0,238 мг/л															
ОХА-18	0,232 мг/л															

Таким образом, в ходе лабораторных испытаний установлено, что оптимальная доза коагулянта, в зависимости от качества поступающих стоков, составят:

- при вводе реагента перед первичными отстойниками – 15 – 30 мг/л по Al_2O_3 ,
- при вводе реагента перед первичными отстойниками – 5 – 10 мг/л по Al_2O_3 .

Опытно-промышленные испытания. По результатам лабораторных испытаний были оперативно приобретены и установлены емкостные баки для реагентов с насосами-дозаторами для подачи реагентов перед вторичными отстойниками (фото 4–7).



Фото 4. Емкость с коагулянтом и насосом дозатором



Фото 5. Ввод коагулянта перед коробом перетока стока из аэротенка во вторичный отстойник



Фото 6. Горизонтальный вторичный отстойник с передвижным илососом



Фото 7. Всплытие хлопьев перед сливной гребенкой

Всплывшие перед сливной гребенкой хлопья устраняются в последующем каскаде очистки – на барабанных фильтрах, хотя очищенные во вторичных отстойниках стоки по основным параметрам – взвешенные вещества, нитриты, нитраты, фосфаты, БПК₅ уже соответствуют требованиям НДС (результаты ОПИ табл. 2).

Таблица 2. Результаты производственных испытаний

Показатель	Точка отбора	НДС	Время отбора	13.07	14.07	15.07	16.07	22.07
Взвешенные (лаг 2 суток)	Вход (пром)	26,555	8.00/17.00	202/142	488/96	492/300	88/2850	180/104
	Вход (город)			814/382	356/452	638/612	452/670	308/496
	Песколовки (пром)			188/156	254/70	166/526	118/2521	342/122
	Песколовки (город)			-/470	396/588	842/578	378/896	332/490
	Первич. (пром)			62/52	105/53	68/120	57/164	53/22
	Первич. (город)			92/37	108/56	66/135	288/792	142/58
	Вторич. БОС1			8,2/53,6	7/7,2	42/42,6	26/12	7/7,4
	Вторич. БОС2.1			подпитка	подпитка	подпитка	подпитка	подпитка
	Вторич. БОС2.2			подпитка	подпитка	подпитка	подпитка	подпитка
	Вторич. БОС3			9,8/34,2	7,6/8	25,9/26,5	19/5,8	7,8/3,4
	Вторич. БОС4			3,7/18,3	17,2/9	16,6/25,4	11,2/14,2	9,8/8,4
	Выход			7,2/9,4	4,6/8,2	14/26,8	11,8/18,4	13,4/5,2
Аммоний	Вход (пром)	1,094	8.00/17.00	31/16,32	8,1/19,2	18,3/13	6/31	2,2/11,8
	Вход (город)			78,7/65,9/66,7/37,52/79,12	43,1/48,1/53/44,6/43	67,9/78,3/55,5/56/46	51,4/31,1/39,52/38/70,72	48,4/60,1/68/40,8/56,7
				Вход (общ)	3,1			
	Вторич. БОС1			3,1/2,78	1,06/1,4	0,696/1,6	0,796/0,91	0,038/0,81/1,2
	Вторич. БОС2.1			—	—	—	—	—
	Вторич. БОС2.2			—	—	—	—	—
	Вторич. БОС3			3,3/1,06	1,2/2,1	0,7/1,4	2,5/0,73	0,072/0,21/0,28
	Вторич. БОС4			3,99/0,75	1,2/1,4/1,3	1,3/1,58	1,7/0,81/0,74	0,68/0,78/0,43
	Выход			3,3/0,512	0,896/1,8	0,86/1,4	0,68/1,005	0,022/0,37

Нитриты	Вход (пром)	0,12	8.00/17.00	не делать	не делать	не делать	не делать	не делать
	Вход (город)			не делать	не делать	не делать	не делать	не делать
	Вход (общ)							
	Вторич. БОС1			0,0409/0,028	0,0069/0,02	0,015/0,025	0,014/0,016	0,028/0,099/0,11
	Вторич. БОС2.1			–	–	–	–	–
	Вторич. БОС2.2			–	–	–	–	–
	Вторич. БОС3			0,015/0,044	0,00580/0,028	0,0011/0,037	0,018/0,011	0,013/0,008/0,016
	Вторич. БОС4			2,5/2,43	0,011/0,034/0,005	0,023/0,076	0,064/0,13/0,017	0,075/0,14
	Выход			0,93/0,85	0,88/0,78	0,043/0,061	0,05/0,053	0,088/0,12
Нитраты	Вход (пром)	94,22	8.00/17.00	–	0,61	–	0	11
	Вход (город)			–	0,89	–	0	1,2
	Вход (общ)			–		–		
	Вторич. БОС1			–	72	–	24,6	22,6
	Вторич. БОС2.1			–	-	–	–	
	Вторич. БОС2.2			–	-	–	–	
	Вторич. БОС3			–	40,5	–	23,9	22,5
	Вторич. БОС4			–	36,5	–	24,2	22,4
	Выход			–	51	–	24,8	22,6
Фосфаты (по Р)	Вход (пром)	0,761	8.00/17.00	2,08/1,35	0,91/1,4	2/1,08	1,2/3,3	1,6/1,4
	Вход (город)			7,2/7,05	3,7/7,3	4,7/3,6	5,2/11,8	7,06/4,69
	Вход (общ)							
	Вторич. БОС1			1,01/0,78	0,55/0,59	0,32/0,3	0,17/0,2	0,52/0,59/0,71
	Вторич. БОС2.1			–	–	–	–	–
	Вторич. БОС2.2			–	–	–	–	–
	Вторич. БОС3			0,42/0,78	0,27/0,88	0,15/0,55	0,202/0,31	0,078/0,163/0,18
	Вторич. БОС4			0,35/0,42	0,079/0,09/0,06	0,052/0,04	0,059/0,079/0,15	0,045/0,166/0,15
	Выход			0,54/0,77	0,85/0,88	0,16/0,33	0,14/0,21	0,25/0,42

ХПК (не регламентируется)	Вход (пром)	~20	8.00/17.00	106/154	186/143	150/144	102/115	1,6/1,4
	Вход (город)			950/1135	1265/772	558/798	838/611	
	Вход (общ)							
	Вторич. БОС1			34/37	45/42	45/39	36/29	
	Вторич. БОС2.1			—	—	—	—	
	Вторич. БОС2.2			—	—	—	—	
	Вторич. БОС3			26,7/28,2	27,9/28,7	30,5/29,4	25,7/24,6	
	Вторич. БОС4			27,3/30,1	29,7/30,5	32,2/28,1	24,4/23,1	
	Выход			28,7/33,3	34/32,4	17,5/25,7	24,6/25,6	
БПК ₅ (лаг 5 дней)	Вход (пром)	4,245	8.00/17.00	66/86	102/78	55,1/	36,2/69	
	Вход (город)			509/748	713/321	300	470/380	
	Вход (общ)							
	Вторич. БОС1			6,8/7,41	9,1/8,4	9,1/	7,2/5,92	
	Вторич. БОС2.1			—	—	—	—	
	Вторич. БОС2.2			—	—	—	—	
	Вторич. БОС3			5,34/5,64	5,58/5,74	6,1/	5,14/5,03	
	Вторич. БОС4			5,46/6,02	5,94/6,1	6,44/	4,9/4,7	
	Выход			5,74/6,66	6,8/6,48	4,4/	4,9/5,16	С 14.09.21 соответствует НДС

ВЫВОДЫ

1. При применении коагулянтов существенно улучшились и вошли в норму результаты по показателям: фосфаты, нитриты, нитраты, взвешенные вещества, аммоний, БПК₅, значительно снижается ХПК. Причем в отдельные периоды значения по аммонию, фосфатам и нитритам стремятся или к нулю или ниже зоны определения приборами.
2. Наилучшие результаты достигаются при использовании самых дешевых коагулянтов — низкоосновного полиоксихлорида алюминия или сульфата алюминия.
3. Использование коагулянта незначительно увеличивает себестоимость очистки на 1 – 2,5 %. Отмечено пролонгирующее действие хлопьев даже после прекращения подачи коагулянта как минимум в течение

16 – 20 часов. Данный факт, при правильном использовании позволит существенно снизить потребление коагулянта и улучшить результаты.

4. Коагулянты могут быть внедрены практически на любых очистных сооружениях канализации без серьезных капитальных затрат.

УДК 628.237.2:628.521

К ВОПРОСУ ОЧИСТКИ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ ГАЗОВОЗДУШНЫХ ВЫБРОСОВ ОТ СЕРОВОДОРОДА

Л.Н. Фесенко, А.Ю. Черкесов, Д.В. Паукова

ООО НПП «ЭКОФЕС», г. Новочеркасск, Россия

Р.В. Исраилов, С.А. Щукин, Ю.В. Черкесова

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия

Рассмотрен вопрос очистки вентиляционных выбросов сетей и сооружений городской канализации. Представлены результаты исследований абсорбционной очистки вентиляционных и канализационных газовоздушных выбросов от сероводорода на электропроводящей каталитической загрузке.

Аварии на канализационных коллекторах в Российской Федерации, происшедшие в 2021 г.:

17 декабря, г. Волгодонск, обрушение коллектора на ул. Энтузиастов;

11 марта, г. Тюмень, обрушение коллектора в районе Гилёвской рощи;

17 марта, г. Азов, обрушение коллектора по улице Севастопольской;

25 марта, г. Узловой Тульской области, обрушение верхней части магистрального коллектора;

3 апреля, г. Дзержинск, обрушение коллектора на пересечении улицы Петрищева и Свято-Тихоновского проезда;

4 апреля, п. Рыбный Рязанской области, обвал железобетонного коллектора на перекрестке улиц Школьной и переулка Свободы;

5 апреля, г. Энгельс, обрушение коллектора по улице Тельмана;

7 апреля, г. Тамбов, обрушение коллектора по Моршанскому шоссе;

7 апреля, г. Киров, обрушение коллектора по улице Дзержинского;

7 апреля, г. Казань, обрушение коллектора по улице Братьев Касимовых;

18 апреля, г. Челябинск, обрушение коллектора по шоссе Metallургов;

27 апреля, г. Ростов-на-Дону, обрушение перекрытия коллектора на Парамоновских складах;

15 июня, г. Воронеж, обрушение коллектора по улице Циолковского;
25 июня, г. Таганрог, обрушение 150 м коллектора в районе взлетной полосы аэродрома Бериева;
4 июля, г. Батайск, обрушение коллектора на улице Северной;
9 июля, г. Сургут, обрушение коллектора на пересечении улиц Крылова и Билецкого;
28 июля, г. Новочеркасск, обрушение коллектора на перекрестке улиц Мацоты и Свободы;
конец августа, г. Россошь, обрушение коллектора, вследствие чего был отключён водозабор и прекращена подача воды для более чем 300 многоквартирных домов и 19 социальных объектов;
26 октября, г. Ростов-на-Дону, обрушение коллектора по ул. Страна Советов;
15 ноября, г. Курган, в пятом микрорайоне обрушился верхний свод одного из участков 15-го коллектора.

Этот перечень аварий убедительно свидетельствует о нарастающей проблеме разрушения сооружений на канализационных сетях. Причиной такой высокой аварийности является износ, отсутствие должного мониторинга и прочее. Во всех представленных случаях происшествия были следствием потери несущей способности свода канализационного железобетонного трубопровода. Но что является причиной утраты несущей способности? Ответ очевиден, это газовая коррозия бетона, вызванная воздействием сероводорода – газа, токсичного вещества, имеющего ПДК в воздухе рабочей зоны 10 мг/м^3 , а в воздухе населенных мест – $0,008 \text{ мг/м}^3$. Но не только бетон и сталь становятся жертвами невидимого разрушителя, не менее опасен сероводород (H_2S) и для человека. В городской черте H_2S – зловонный спутник незакрытых люков, канализационных насосных станций и магистральных коллекторов, ухудшает качество жизни населения и безусловно влияет на его здоровье.

Задача защиты канализационных сооружений и здоровья человека от негативного воздействия дурно-пахнущих газов является востребованной, а её актуальность не вызывает сомнений.

Настоящее сообщение является продолжением результатов исследований, представленных в статье [1]. Ранее была теоретически обоснована возможность хемосорбции (абсорбции, сопровождаемой химическими реакциями) сероводорода в абсорбере и был рассмотрен метод мокрой газоочистки воздуха вентиляционных выбросов с использованием циркулирующего поглотительного раствора, содержащего окислитель – гипохлорит натрия, полученный электрохимическим путем [2]. Установлены фактическая доза гипохлорита натрия, необходимая для окисления 1 мг сероводорода в пересчете на активный хлор, которая составляет $26,07 \text{ мг/мг H}_2\text{S}$, удельные затраты электроэнергии для окисления $1 \text{ кг H}_2\text{S}$, содержащегося в воздухе, равные $51,515 \text{ кВт}\cdot\text{ч/кг H}_2\text{S}$,

затраты на очистку 1 м³ воздуха при концентрации сероводорода 150 мг/м³ – 0,0075 кВт·ч и дана рекомендация по использованию метода очистки газоздушных смесей от сероводорода электролитическим гипохлоритом натрия для газовых смесей с содержанием H₂S до 170 мг/м³. Для газовых смесей с концентрацией сероводорода до 1,55 мг/м³ был рекомендован метод окисления сероводорода на зернистом электропроводящем катализаторе [3].

Установлена эффективность очистки воздуха от сероводорода в зависимости от высоты слоя электропроводящей каталитической загрузки, результаты представлены на рисунке 1.

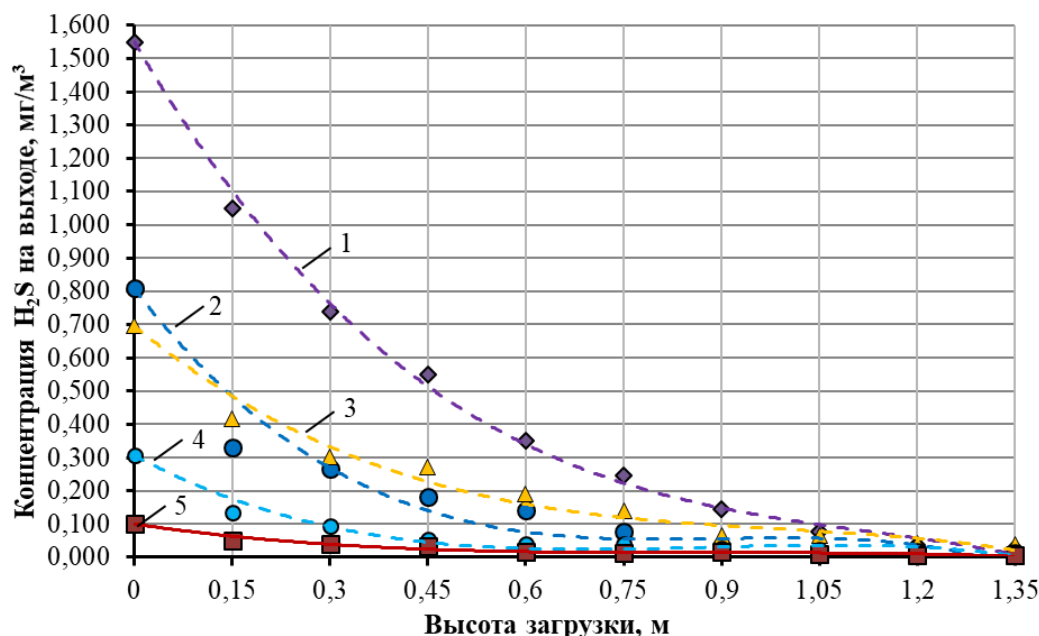


Рисунок 1. Зависимость изменения концентрации H₂S в очищенном воздухе от высоты слоя загрузки при разных исходных концентрациях сероводорода: 1 – 1,55 мг/м³; 2 – 0,80 мг/м³; 3 – 0,70 мг/м³; 4 – 0,30 мг/м³; 5 – 0,10 мг/м³

Исходя из полученных результатов следует вывод о минимально необходимой высоте слоя каталитической загрузки в абсорбере для достижения снижения концентрации сероводорода в воздухе менее 0,008 мг/м³. Высота слоя во всех изучаемых случаях исходной концентрации H₂S в интервале значений от 0,1 до 1,55 мг/м³ составляла 1,2 м.

Проскок остаточного сероводорода при его начальном содержании 1,55 мг/м³ наблюдался при достижении скорости потока воздуха в сечении абсорбера более 0,1 мм/с.

На основании полученных данных можно рекомендовать следующую технологическую схему очистки вентиляционных выбросов от сероводорода на сооружениях канализации (рис. 2): кратность воздухообмена внутреннего пространства сооружения (коллектора,

камеры, приемного отделения насосной станции и др.) должна приниматься исходя из условия разбавления H_2S и достижения его концентрации в газовой смеси менее $1,5 \text{ мг/м}^3$. Очищаемый воздух перед подачей на установку должен обязательно пройти обеспыливание с целью предотвращения засорения загрузки абсорбера. Для обеспечения протекания на поверхности катализатора электрохимической реакции окисления необходимо поддерживать его во влажном состоянии, для чего следует установить ороситель над его поверхностью и периодически подавать воду, в качестве которой может быть использована сама транспортируемая сточная вода канализационного сооружения, прошедшая осветление на грубом механическом фильтре. Направление движения воздуха в абсорбере при этом не имеет значения и может осуществляться как снизу-вверх, так и наоборот.

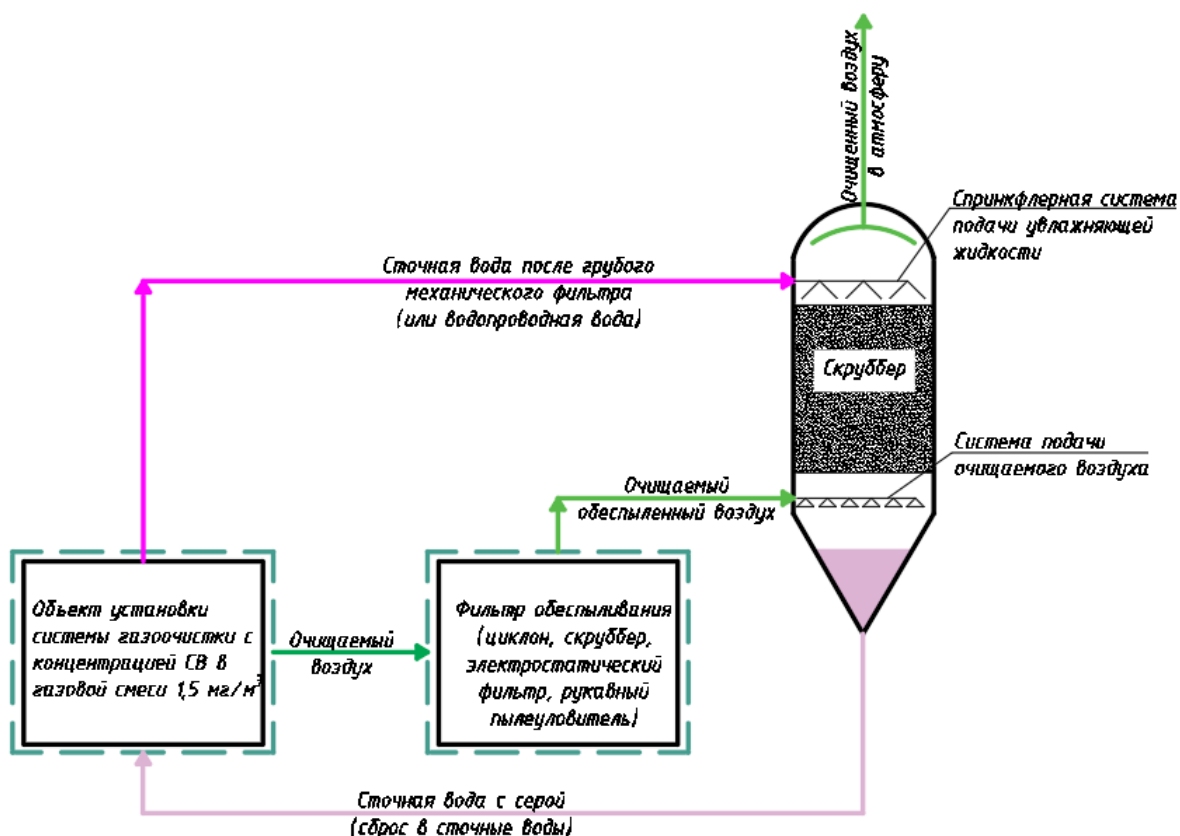


Рисунок 2. Технологическая схема очистки вентиляционных выбросов от сероводорода на сооружениях канализации в абсорбере с электропроводящей каталитической загрузкой

ВЫВОДЫ

1. Для достижения снижения концентрации сероводорода в воздухе менее $0,008 \text{ мг/м}^3$ минимальная необходимая высота каталитической загрузки в абсорбере составляет 1,2 м.

2. Скорость потока воздуха в сечении абсорбера должна быть не более 0,1 мм/с, направление движение воздуха при этом не влияет на эффект очистки и может быть реализовано как снизу вверх, так и наоборот.

3. Очистка вентиляционных и канализационных газоздушных выбросов от сероводорода в абсорбере с электропроводящей каталитической загрузкой может быть рекомендовано при концентрации H_2S до 1,55 мг/м³.

ЛИТЕРАТУРА

1. Экспериментальные исследования абсорбции и окисления сероводорода электрохимическим активным хлором при очистке вентиляционных выбросов [Текст] / Л.Н. Фесенко [и др.] // Технология очистки воды «ТЕХНОВОД-2019»: материалы XII Межд. науч.-практ. конф, г. Москва, 22–23 окт. 2019 г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ) имени М.И. Платова. – Новочеркасск: «Лик», 2019. С. 311–318.
2. Промышленные системы вентиляции канализационных сооружений и насосных станций – новые подходы и решения [Текст] / Л. Н. Фесенко [и др.] // Технология очистки воды «ТЕХНОВОД-2018»: материалы XI Межд. науч.-практ. конф, г. Сочи, Красная Поляна, 11–14 дек. 2018 г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск: «Лик», 2018. С. 289–295.
3. Исследование электрохимического окисления сероводородсодержащих газовых смесей летучих углеводородов [Текст] / Л.Н. Фесенко, А.Ю. Черкесов, Р.В. Исраилов // Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона», № 8 (2021) ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2021/7150.

УДК 628.35

ОПЫТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДВУХСТУПЕНЧАТЫХ СООРУЖЕНИЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ХОЗЯЙСТВЕННО-БЫТОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД

В.П. Костюков, П.В. Костюков, Т.Р. Заплогова

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия

В работе представлена технологическая схема сооружений биологической очистки г. Аксай. Отмечены основные этапы реализации проекта. Показана возможность значительного повышения эффективности работы существующих сооружений биологической очистки.

В настоящее время разумной альтернативы сооружения биологической очистки хозяйственно-бытовых сточных вод не существует. Огромный потенциал биоценоза активного ила определяет развитие технологических процессов и технологических схем, позволяющих минимизировать поступление загрязняющих веществ в окружающую среду.

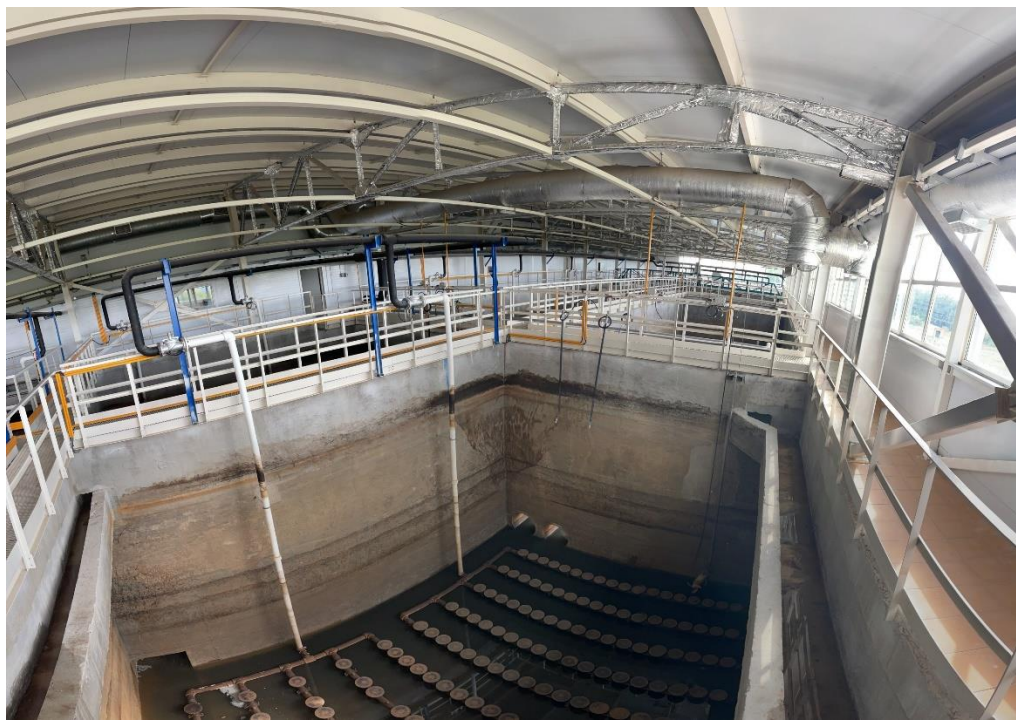
В настоящее время наиболее востребованными технологическими схемами при разработке проектов реконструкции и нового строительства очистных станций являются технологические схемы биологической очистки хозяйственно-бытовых сточных вод с процессами нитрификации и биолого-химическим удалением фосфора. Данные схемы представлены в справочнике ИТС 10-2019 Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов технологическими схемами НДТ 7д-НДТ 7е. При реализации указанных схем разработчиками справочника отмечается наименьший уровень поступления загрязняющих веществ в водоемы и водотоки.

Однако, в одноиловой схеме одновременная реализация процессов окисления органических веществ гетеротрофными микроорганизмами, культивирование фосфораккумулирующих микроорганизмов, требующих активный ил с низким возрастом составляющим 3 – 5 сут., и биологической нитрификации аммонийного азота автотрофами, предполагающей применение культуры активного ила возрастом 9 – 18 сут., крайне затруднена.

В рамках реализации муниципального контракта на проектные работы реконструкции очистных сооружений г. Аксай Ростовской области специалистами Проектного научно-исследовательского института водоснабжения и водоотведения г. Ростова-на-Дону и сотрудникам кафедры «Водное хозяйство, инженерные сети и защита окружающей среды» ЮРГПУ (НПИ) имени М.И. Платова разработана проектная документация, предполагающая реализацию двухступенчатой схемы биологической очистки.

На первой ступени предусмотрена биологическая дефосфотация, на второй ступени – нитрификация с последующей денитрификацией.

Основные сооружения реализованы в виде двух технологических линий в здании размерами в плане 42×90 м. Между технологическими линиями, представленными железобетонными реакторами, первичными и вторичными отстойниками, имеется вставка шириной 12 м. в которой расположены сооружения части механической очистки, доочистки, обеззараживания, коммуникации, насосные агрегаты.



Сооружения выполнены перекрытыми с целью сокращения выбросов в окружающую среду и, как следствие, сокращения санитарно-защитной зоны очистных сооружений.

В настоящее время завершены строительно-монтажные работы и начата стадия пусконаладочных работ.

АУРАТ

**НОВЫЕ РЕАГЕНТЫ ДЛЯ ОЧИСТКИ
ПИТЬЕВЫХ И СТОЧНЫХ ВОД**

- Унико
- ВОДАЛС
- ГРАЛС
- ГранПАКС
- Эфлок

- ЭРЧВ
- Унико
- ВОДАЛС
- ГРАЛС
- ГранПАКС
- Эфлок

ГК «Аурат»
WWW.AURAN.RU

125438, Москва,
4-ый Лихачёвский пер., 6

+7499 1539772
+74991547091

+7495 5891910
office@aurat.ru



ШИРОКИЙ СПЕКТР РЕАГЕНТОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДЫ

ПРОИЗВОДСТВО И ПРОДАЖА

КОАГУЛЯНТЫ

- алюминия сульфат (кристаллический, водный)
- полиоксихлорид алюминия (кристаллический, водный)
- хлорное железо (водный раствор)

ФЛОКУЛЯНТЫ

- полиакриламид (ЭФЛОК)
- полиДАДМАХ

ОБЕЗЗАРАЖИВАЮЩИЕ СРЕДСТВА

- гипохлорит натрия
- дезапрайм

ЧИСТЯЩИЕ И МОЮЩИЕ СРЕДСТВА

- тринатрийфосфат
- динатрийфосфат
- кальцинированная сода
- каустическая сода (едкий натр)

КИСЛОТЫ

- соляная
- серная
- азотная
- ортофосфорная



www.aurat.ru

E-mail: aurat_vv@mail.ru

Тел.: +7 (499) 553-91-67



ШИРОКИЙ СПЕКТР РЕАГЕНТОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДЫ

ПРОИЗВОДСТВО И ПРОДАЖА



КОАГУЛЯНТЫ

- алюминия сульфат (кристаллический, водный)
- полиоксихлорид алюминия (кристаллический, водный)
- хлорное железо (водный раствор)

ФЛОКУЛЯНТЫ

- полиакриламид (ЭФЛОК)
- полиДАДМАХ

ОБЕЗЗАРАЖИВАЮЩИЕ СРЕДСТВА

- гипохлорит натрия
- дезапрайм

ЧИСТЯЩИЕ И МОЮЩИЕ СРЕДСТВА

- тринатрийфосфат
- динатрийфосфат
- кальцинированная сода
- каустическая сода (едкий натр)

КИСЛОТЫ

- соляная
- серная
- азотная
- ортофосфорная



Контакты:

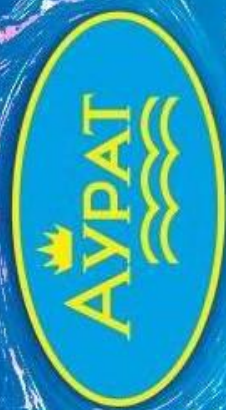
www.aurat.ru

E-mail: aurat_vv@mail.ru

Тел.: +7 (499) 553-91-67

НОВЫЕ РЕАГЕНТЫ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПИТЬЕВЫХ И СТОЧНЫХ ВОД

- ФЕРАКВА - АУРАТ
- ПАКС
- ГРАН ЭКО
- АЛЮМОХЛОРИД
- ЭПОХА
- ЭРЧВ
- УНИКО
- ВОДАЛС
- ГРАЛС
- ГРАНПАКС
- ЭФЛОК



ГК «АУРАТ» WWW.AURAT.RU



Научно–производственное предприятие

Экологически безопасные технологии обеззараживания питьевых, технических и сточных вод низкоконцентрированным гипохлоритом натрия

С 1991 года наши электролизные установки «Хлорэфс» успешно эксплуатируются на водных объектах России и в странах СНГ



Производительность электролизных установок «Хлорэфс» от 0,5 до 1000 кг эквивалента хлора в сутки



Проектирование и согласование проектов



Полная автоматизация технологического процесса



Поставка и монтаж установок «под ключ», пусконаладочные работы и обучение персонала



Экономичная, надежная и безопасная работа оборудования



Гарантийное и послегарантийное обслуживание, поставка расходных материалов

В качестве исходного сырья для электролизных установок могут быть использованы водные растворы пищевой поваренной соли, подземные минерализованные хлоридно–натриевые воды, морская вода

346421, Россия, Ростовская область,
город Новочеркасск, пр–т Баклановский, 200 В
Тел: +7(8635) 26–05–46, 26–02–17, 26–56–13

+7(8635)26–05–07
65613@mail.ru
ecofes.ru



Электролизная станция
производительностью 500 кг/сут.
по эквиваленту активного хлора
«ХЛОРЕФС» УГ-25МК-250

(с. Приятное свидание, Бахчисарайский район,
Республика Крым)

Наименование объекта: Реконструкция систем
обеззараживания на Партизанских ВОС,
г. Симферополь

Адрес объекта: Площадка на территории Партизанских
ВОС, ул. Насосная, 5, с. Приятное свидание,
Бахчисарайский район, Республика Крым

Сроки выполнения СМР: 27.06.2018г. – 30.09.2019г.

Заказчик: ГУП РК «Вода Крыма» г. Симферополь

Генпроектировщик: ООО НПП «ЭКОФЕС»

Генподрядчик: ООО «ЭКОФЕС-инжиниринг»

Перечень выполненных СМР:

- устройство фундаментов
- монтаж металлоконструкций
- прокладка внутренних и внешних инженерных сетей
- монтаж сэндвич-панелей
- внутриотделочные работы
- монтаж систем отопления и вентиляции
- монтаж блочной трансформаторной подстанции
- поставка комплекта оборудования электролизной установки «ХЛОРЕФС» УГ-25МК-250
- монтаж внутренних и внешних систем электроснабжения
- монтаж технологического оборудования
- благоустройство территории застройки
- ликвидация опасного производственного объекта
- проведение пусконаладочных работ



346421, Россия, Ростовская область, город Новочеркасск,
проспект Баклановский, 200 В, 3 этаж, комната 10
Тел: +7(8635)26-05-46, 26-02-17, 26-56-13

+7(8635)26-05-07
65613@mail.ru
ecofes.ru



Блочно-модульная станция водоподготовки
"КРИНИЦА-100" производительностью 100 м³/сут."

(пос. Чемдальск, Красноярский кр.)



Блок фильтров



Реагентное хозяйство



Электролизный модуль



Общий вид

346421, Россия, Ростовская область, город Новочеркасск,
проспект Баклановский, 200 В, 3 этаж, комната 10
Тел: +7(8635)26-05-46, 26-02-17, 26-56-13

+7(8635)26-05-07
65613@mail.ru
ecofes.ru



Блочно-модульная электролизная станция производительностью 10 кг/сут. по эквиваленту активного хлора "ХЛОРЕФС" УГ-7МК-10

(ст. Кагальницкая, Ростовская обл.)



Водно-солевое хозяйство



Узел декарбонизации



Электролизный модуль



Общий вид

346421, Россия, Ростовская область, город Новочеркасск,
проспект Баклановский, 200 В, 3 этаж, комната 10
Тел: +7(8635)26-05-46, 26-02-17, 26-56-13

+7(8635)26-05-07
65613@mail.ru
ecofes.ru

**Проектный научно-исследовательский институт водоснабжения и водоотведения
Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) имени М.И. Платова**

действует в рамках научной школы «Технологии очистки природных и сточных вод» и кафедры «Водное хозяйство, инженерные сети и защита окружающей среды».

Специалисты ПНИИВиВ выполняли проектную документацию для объектов:
ОАО «Башкирия сода», ОАО «Газпром», ОАО «Норильский никель», ОАО «Новотэк».
Научный потенциал и лабораторная база ПНИИВиВ и кафедры ВХИСЗОС позволяют
решать особо сложные задачи коммунального и производственного
водоснабжения и водоотведения.

Контакты: 346428. Россия. Ростовская область, г. Новочеркасск, ул. Просвещения 132,
ПНИИВиВ ЮРГПУ(НПИ) им. М.И. Платова

Тел./факс 88635255171

E-mail: vhiszos@yandex.ru

КАФЕДРА ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО, ИНЖЕНЕРНЫЕ СЕТИ И ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

приглашает в

*Южно-Российский государственный политехнический университет
(НПИ) имени М.И. Платова*

*Забота о чистой воде – это первостепенная проблема
наступившего века!*

НАПРАВЛЕНИЯ ПОДГОТОВКИ БАКАЛАВРИАТ

08.03.01 «Строительство»

НАПРАВЛЕННОСТЬ: «Теплогазоснабжение, вентиляция, водоснабжение и водоотведение зданий, сооружений и населенных пунктов»

вступительные испытания: русский язык, математика, физика.

Бакалавры по направленности «Теплогазоснабжение, вентиляция, водоснабжение и водоотведение зданий, сооружений и населенных пунктов» работают на современных предприятиях, занимающихся газоснабжением, отоплением, вентиляцией, водоподготовкой и очисткой сточных вод. Выпускники востребованы в организациях, занимающихся проектированием, строительством, монтажом, пуском, наладкой и эксплуатацией инженерных систем и сооружений.

МАГИСТРАТУРА

08.04.01 «Строительство»

НАПРАВЛЕННОСТЬ: «Водоснабжение и водоотведение городов и промышленных предприятий»

Виды профессиональной деятельности:

- инновационная, изыскательская и проектно-расчетная;
- производственно-технологическая;
- научно-исследовательская и педагогическая;
- по управлению проектами;
- профессиональная экспертиза и нормативно-методическая.

✿ *Всем желающим предоставляется общежитие.*

✿ *Военный факультет предоставляет студентам возможность получить военную специальность и воинское звание.*

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Абросимова И.А.	59
Авдеенков П.П.	228
Ананьев О.Г.	57
Аль-Амри Заед Садик Абрахим	156
Беляева О.В.	185
Беляков А.В.	228
Белоусова В.Ю.	253
Богданов Н.И.	87
Бондаренко Н.Б.	202
Бочкова Е.В.	213
Бочков А.Г.	213
Булыжев Е.М.	242
Бутко Д.А.	208
Вильсон Е.В.	216
Волосникова Е.А.	48
Волосухин В.А.	13
Гаврилина Ю.А.	253
Гетманцев С.В.	9, 57
Гогина Е.С.	237, 258
Голованов В.Н.	242
Гора Н.В.	185
Гулиев Б.Э.	105
Гулиев Э.Ш.	105
Гульшин И.А.	237
Долженко Л.А.	208
Дрововозова Т.И.	13
Ермаченко П.А.	258
Заплова Т.Р.	278
Иванкова Т.В.	19
Иващенко В.В.	118
Игнатенко С.И.	105, 122, 166
Иевлева Н.Е.	180
Исраилов Р.В.	274
Каберская Д.В.	122, 166
Кадревич А.А.	233
Кашарин Д.В.	24
Кондакова Н.В.	253
Костюков В.П.	278
Костюков П.В.	278
Краснова Т.А.,	185
Курочкина В.А.	187
Ламзин Е.М.	242
Михайлов А.В.	263
Морозов С.А.	222

Морозова К.М.	228
Мохов А.И.	59
Мурлин А.А.	118
Найманов А.Я.	130
Найманова А.А.	130
Нгуен Тхи Туан Зъеп	69
Онкаев В.А.	166
Орлов М.Е.	242
Осокина Е.С.	266
Паукова Д.В.	122, 274
Первов А.Г.	187
Подскребалин А.С.	66
Пономаренко О.С.	228
Поповьян Г.В.	174
Продоус О.А.	95, 101, 118, 180, 263
Пурусова И.Ю.	43
Пчельников И.В.	69, 135
Пчельникова А.С.	135
Ракчеев П.Ю.	48
Рученин А.А.	266
Серпокрылов Н.С.	202, 213, 222, 253
Скрябин А.Ю.	34
Спасибо Е.В.	237
Спицов Д.В.	187
Соколова Е.А.	258
Степанов С.В.	228
Субботин А.И.	66
Субботин И.А.	66
Субботин В.А.	66
Сухоносов Н.А.	9, 105
Терехов Л.Д.	145
Тронь И.А.	174
Турчина Г.С.	130
Тхай Тхи Ким Тъи	39
Федотов Р.В.	122, 166
Фесенко Л.Н.	13, 19, 69, 105, 122, 135, 166, 274
Федорчук А.В.	145
Черкесов А.Ю.	122, 135, 274
Черкесова Ю.В.	274
Хецуриани Е.Д.	87
Хецуриани Т.Е.	87
Шипилов А.А.	180, 263
Шлычков Д.И.	101
Щербакова Ю.А.	248
Щербаков В.И.	156
Щукин С.А.	105, 122, 166, 274

Научное издание

Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2021»

*Материалы XIII Международной научно-практической
конференции*

Издается в авторской редакции

Подписано в печать 03.12.2021.

Формат 60х84 1/16. Бумага офсетная. Печать оперативная.

Усл. печ.л. 17,1. Уч.-изд. л. 17,5. Тираж 100 экз. Заказ № 47-9635

Издательство Лик

346430, г. Новочеркасск, пр. Платовский, 82 Е,

тел: 8(8635)226-442. 8-952-603-0-609

Отпечатано в Издательско-полиграфическом комплексе «Колорит»

346430, г. Новочеркасск, пр. Платовский, 82Е,

тел. 8(8635)226-442, 8-952-603-0-609, e-mail: center-op@mail.ru