ГК «АУРАТ», Россия

ООО НПП «ЭКОФЕС», г. Новочеркасск

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

ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ВОДЫ «ТЕХНОВОД-2024»

Материалы XV Международной научно-практической конференции
23 – 26 апреля 2024 года
г. Кисловодск

Новочеркасск
Лик
2024

УДК 628.16(082)
ББК 38.761.1я43
Т 38

Редакционная коллегия:

Л.Н. Фесенко, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой ВЗИСЗОС 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;
С.И. Игнатенко, канд. техн. наук, доцент, зам. директора по науке ООО НПП «ЭКОФЕС»;
Н.В. Енгибарьянц, ведущий инженер кафедры ВХИСЗОС ЮРГПУ(НПИ) имени М.И. Платова, ответственный секретарь.

Т 38 **Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2023»:** материалы XV Межд. науч.-практ. конф.; г. Кисловодск, 23–26 апреля 2024 г. / Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т. (НПИ) имени М.И. Платова – Новочеркасск: Лик, 2024. – 341 с.
ISBN 978-5-907708-67-9

В настоящем сборнике представлены материалы докладов XV Международной научно-практической конференции «Технологии очистки воды» – ТЕХНОВОД-2024 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(082)
ББК 38.761.1я43

ISBN 978-5-907708-67-9

© Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, 2024
© Авторы, 2024

С О Д Е Р Ж А Н И Е

ПРЕДИСЛОВИЕ……7
I. КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ, ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ. ТЕХНОЛОГИИ, МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ……10
Фесенко Л.Н., Черкесов А.Ю., Щукин С.А., Игнатенко С.И. Кафедра «ВХИСЗОС» ЮРГПУ(НПИ) и ООО НПП «ЭКОФЕС» – творческий тандем учебно-педагогической и научно-производственной деятельности……10
***Волосухин В.А., Фесенко Л.Н., Рожков В.С.*.** Водохозяйственные проблемы новых субъектов Российской Федерации……17
Продоус О.А., Якубчик П.П., Терехов Л.Д. О влиянии значений параметров шероховатости труб из полимерных материалов на величину фактических потерь напора……22
Иванкова Т.В., Фесенко Л.Н. Мониторинг и предложения по улучшению состояния бассейнов малых рек юга России (на примере Кавминвод)……27
Черкесов А.Ю., Щукин С.А., Каберская Д.В., Тан-Бин Д.В., Черкесова Ю.В., Щукина Ю.С. Очистка дивневых сточных вод от нефтепродуктов с применением активированного угля из каменноугольного сырья «Донаквасорб»……36
Продоус О.А., Шлычков Д.И. Гидравлические и вероятностные характеристики изношенных канализационных труб……46
Кашарин Д.В., Гаврилина Ю.А. Мероприятия по эклологическому оздоровлению озера Абрау Краснодарского края……50
Пурусова И.Ю. Функционирование насосных станций систем водоснабжения и водоотведения……61
Волосухин В.А., Казаков А.М. Многофакторные обследования и анализ комплекса гидротехнических сооружений Эшкаконского гидроузла……66
Шипилов А.А., Иевлева Н.Е., Ярошенко И.Н. Выбор схемного решения системы водоснабжения при проектировании морского порта……68
Продоус О.А., Якубчик П.П., Шестаков А.А. Предельно-допустимая толщина слоя внутренних отложений в металлических сетях водоснабжения и теплоснабжения……75
***Волосухин В.А., Фесенко Л.Н., Рожков В.С.*.** Водохозяйственные проблемы новых субъектов РФ в северном Приазовском гидрографическом районе……79
Рахал Закариа, Чекима Хамза, Смоляниченко А.С. Использование растительных материалов в производстве сорбентов……82
Степанова Т.В., Крысоватая А.В., Проскурина С.А., Карандаева Е.Е. Экономика замкнутого цикла на автомойках…… 85

Алякин Ю.Б., Булыжев Е.М. Моделирование эффективности комплекса централизованных систем применения синтетических и полусинтетических смазочно-охлаждающих жидкостей в металлообрабатывающем производстве…….88
Продоус О.А., Якубчик П.П., Половец И.В. Сравнение нормативной и эмпирической зависимостей для гидравлического расчета сетей водоснабжения из полимерных труб……...93
Волосухин Я.В. Технологии увеличения водоотдачи водохранилищ на малых горных реках Кавказа……...98
Кашарин Д.В., Щуцкая Е.Е. Обоснование систем водо-энергоснабжения железнодорожных узлов……..102
Пурусова И.Ю., Кон Брахима Состояние системы водоотведения муниципалитета Йопугон Кот-д'Ивуара……...108
Лопатин С.А.. Кириленко В.И., Бокарев М.А. К вопросу о значении образа жизни человека и факторов среды обитания для сохранения здоровья населения (военнослужащих)……112
II. ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ И ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СООРУЖЕНИЙ ВОДОПОДГОТОВКИ……..……118
Гетманцев С.В. Новый композиционный реагент «УНИКО» – гарантия чистой воды…….118
Фесенко Л.Н., Пчельников И.В., Онкаев А.В., Гулиев Э.Ш. Высококонцентрированный гипохлорит натрия – станция хранения и дозирования……..122
Черкесов А***.Ю., Щукин С.А., Игнатенко С.И., Каберская Д.В., Князева Н.И., Тронь И.А., Поповьян Г.В.*** Результаты лабораторных исследований реагентной обработки концентрата установки нанофильтрации ……..133
Чайка В.Ю. Водоподготовка для промышленных предприятий: технология механической очистки воды с помощью сетчатых фильтров с вакуумным сканированием……139
Шипилов А.А., Иевлева Н.Е., Кириленко В.И. **К**онцентрированный гипохлорит натрия: новый метод получения, достоинства и перспективы использования……...144
Каберская Д.В., Федотов Р.В., Фесенко Л.Н., Игнатенко С.И., Кулаков А.С. Физико-химические основы удаления соединений бора из природных вод……...148
Бутко Д.А., Шишова О.П. Исследование реагентной обработки воды на очистных сооружениях водопровода г. Таганрога……155
Щербаков В.И., Степанова Т.В., Крысоватая А.В. Экономия водоснабжения в машиностроении ……160
Сухоносов Н.А. Эффективно подобранный коагулянт – гарантия чистой воды……..163

Фесенко Л.Н., Черкесов А.Ю., Щукин С.А., Денисова И.А. Результаты производственных исследований очистки природных сероводородных вод железо-каталитическим методом……...169
Фесенко Л.Н., Пчельников И.В., Пчельникова А.С., Бубнов В.М. Влияние концентрации сульфатов на технологические параметры производства низкоконцентрированного гипохлорита натрия……..176
Долмат А.С., Федотов Р.В. К выбору метода удаления фтора из природных вод для хозяйственно-питьевых целей.....184
Черкесов А.Ю., Щукин С.А., Федотов Р.В., Игнатенко С.И., Каберская Д.В., Тронь И.А., Поповьян Г.В. Результаты исследований умягчения и обессоливания донской воды безреагентным методом с применением технологии нанофильтрации……...192
Черкесов А.Ю., Щукин С.А., Каберская Д.В., Шепелев О.С., Баринов М.К., Щуровская О.В., Стаценко Г.В. Анализ сезонного изменения общей жёсткости и минерализации источников водоснабжения города Таганрог……...201
Турчина Г.С., Гостева Ю.В. Существующее программное обеспечение для расчета, анализа и прогнозирования работы систем водоснабжения……208
Алешко Д.С. Автоматизация технологических процессов на очистных сооружениях водопровода МУП города Хабаровска «Водоканал»……213
Фесенко Л.Н., Черкесов А.Ю., Щукин С.А., Манюшкин Д.К. Предотвращение сероводородной коррозии при использовании геотермальных вод……..218
Вурдова Н.Г. Научное обоснование технологий повышения экологической безопасности водного хозяйства крупнотоннажных предприятий……...228
Черкесов А.Ю., Щукин С.А., Князева Н.И., Игнатенко С.И., Каберская Д.В., Тронь И.А., Поповьян Г.В. Результаты лабораторных исследований реагентного умягчения донской воды…….232
Домнин К.В., Архипова Е.Е., Бессонов В.М., Алешко Д.С., Дунаевская Е.В. Внедрение передовых технологий очистки воды на очистных сооружениях МУП города Хабаровска «Водоканал»…...……243
Фесенко Л.Н., Черкесов А.Ю., Антонян А.В., Черкесова Ю.В. Способ получения порошка активированного угля из антрацита…….246
Найманов А.Я., Мартыненко Г.Д., Найманова А.А. Оценка утилизации рассола обратноосмотической установки сбросом в оборотную систему обогатительной фабрики рудника…….252
Федотов Р.В., Исраилов Р.В., Заичко Д.А., Снопок В.Н., Демченко П.Н. Технологические решения по реконструкции водопроводных очистных сооружений г. Анапа Краснодарского края……...259

III. ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ И ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ……269
Белоусова В.Ю. Анализ элементов экономики замкнутого цикла на примере утилизации избыточного активного ила и пивной дробины……269
Костюков В.П., Угроватова Е.Г. Влияние состава сточных вод на фауну аэротенков……273
Асатрян А.А., Хецуриани Е.Д., Угроватова Е.Г. Использование сточных вод после биологической очистки для полива парковой растительности……278
Нездойминов В.И., Могукало А.В., Ручка В.В. Влияние пероксида водорода на разрушение клеточного вещества активного ила……..285
Рученин А.А., Осокина Е.С. Условия перехода с проточной очистки стоков на очистку стоков партиями на предприятиях молочной промышленности и маслоэкстрактных заводах…….290
Кириленко В.И., Тучков В.К. Очистка нефтесодержащих стоков котельных…….295
Москвичева Е.В., Радченко О.П., Клочков Д.П., Юрьев Ю.Ю. Сточные воды автотранспорта……...300
Асатрян А.А., Хецуриани Е.Д. Очистка сточных вод гипохлоритом натрия для организации системы полива парковой растительности……306
Рожков В.С., Нездойминов В.И., Васильева Ю.В. Модель активного ила ASM3P-2SND для описания биологических процессов симультанной нитри-денитрификации……..310
Бутко Д.А., Сажина О.В. Капитальный ремонт сетей водоотведения в современных условиях……...316
Щербаков В.И., Степанова Т.В., Крысоватая А.В. Оптимизация технологии очистки транспортно-моечных вод сахарного завода…….318
Костюков В.П., Антонян Д.В., Заплохова Т.Р., Костюков П.В. Использование программного обеспечения для математического моделирования очистки сточных вод на примере ОСК г. Новороссийск……...326
Алякин Ю.Б., Булыжев Е.М. Образование стоков технологических комплексов систем применения синтетических и полусинтетических смазочно-охлаждающих жидкостей…..……331
Информационно-рекламные материалы……...336

ПРЕДИСЛОВИЕ

Международная научно-практическая конференция «Технологии очистки воды», сокращенно «ТЕХНОВОД», пятнадцатая по счету, «ТЕХНОВОД-2024» проводится в г. Кисловодске 23 – 26 апреля. 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»;
г. Сочи, Красная Поляна, «ТЕХНОВОД-2021»;
г. Кисловодск, «ТЕХНОВОД-2023».

«ТЕХНОВОД-2024» четвертый раз собирает участников конференции в г. Кисловодске. Теплые воспоминания о прошлогодней встрече – это не только интересные научные сообщения, азартные дискуссии, новые творческие знакомства, но и возможность продолжения общения с жемчужиной Северного Кавказа – Кавказскими Минеральными Водами.

В прошлом году нас постигла невосполнимая утрата – ушел из жизни наш коллега, друг, мудрый человек – профессор, доктор технических наук ***Смирнов Александр Дмитриевич,*** активный участник наших конференций. Мы всегда будем помнить его.

Наступивший 2024 год для нас юбилейный – «ТЕХНОВОДУ» исполнилось 20 лет. После первой конференции, которая состоялась в 2004 г. в г. Новочеркасске, нынешняя – пятнадцатая по счету. За этот период на страницах сборника было опубликовано более 700 научных статей, часть которых были опубликованы в отраслевом научно-техническом журнале «Водоснабжение и санитарная техника».

«ТЕХНОВОД» продолжает подтверждать роль авторитетного форума, призванного объединять ученых и практиков для обсуждения текущих проблем в области ВиВ, обмену опытом, знакомству с новыми идеями и технологическими решениями эксплуатации водохозяйственных объектов.

Сегодня наша страна продолжает жить в период специальной военной операции, которая сопровождается беспрецедентными

экономическими санкциями. Против нас ведутся военные действия. В этой ситуации нам необходимо консолидировать научное и инженерное сообщества для преодоления вызова Запада. Следует активно продолжать производство и внедрение отечественных изделий, материалов, дефицит которых остро ощущается. В стране для этого есть все ресурсы, требуется только их запустить.

Одновременно, нужно вновь создать разрушенные в нулевые годы признанные научные и инженерные центры – ВНИИВОДГЕО, НИИКВОВ, ЦНИЭП и многие другие. К этому активно подталкивают необходимость широкомасштабного восстановления и одновременно модернизации ЖКХ не только в РФ, но и на освобожденных территориях Донбасса.

Важным этапом решения этих задач является проведение очередной конференции «ТЕХНОВОД-2024». Главная ее миссия – объединение, в сложившейся в стране ситуации объединение компетенций российских специалистов, работающих в научных и прикладных сферах водохозяйственных комплексов.

На конференции будут освещены следующие наиболее важные проблемы:

– водохозяйственные системы, проблемы и пути решения комплексного использования водных объектов;

– проблемы и направления повышения эффективности технического регулирования, проектирования, строительства и эксплуатации систем водоснабжения и канализации;

– повышение технологической и эколого-экономической эффективности сооружений водоподготовки;

– повышение технологической и эколого-экономической эффективности канализационных очистных сооружений;

– новые технологии, материалы и оборудование.

В канун конференции «ТЕХНОВОД-20243» будет выпущен очередной сборник научных трудов, отражающих основные направления научных школ РФ. Это работы ученых из городов: Новочеркасск, Санкт-Петербург, Ростов-на-Дону, Воронеж, Москва, Ульяновск, Макеевка, Хабаровск, Казань, Волгоград, Таганрог, Анапа, Краснодар, а также зарубежных авторов государств – Кот-д’Ивуар, Алжир, Азербайджан.

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.

Опубликованные в сборнике «ТЕХНОВОД-2024» материалы носят аналитический, научно-исследовательский, опытно-производственный и реферативный характер и могут представлять интерес для специалистов

(ученых, производственников, руководителей и организаторов водохозяйственных производств, проектных организаций), работающих в области ВК, а также для инженерно-технических работников предприятий, выпускающих установки, аппараты и химреагенты для водных комплексов.

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

Особая благодарность членам редакционной коллегии: Гетманцеву С.В. – к.т.н., генеральному директору ОАО «АУРАТ»; Швецову В.Н. – д.т.н., профессору, главному редактору журнала «ВСТ»; Скрябину А.Ю. – к.т.н., Заместителю Губернатора Ростовской области; 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 неизменное активное участие в редактировании научных статей 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 участвующих в проведении конференций «ТЕХНОВОД»!

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

В период работы Международной научно-практической конференции «ТЕХНОВОД-2024» 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-2024» благодарит всех докладчиков и гостей за участие в конференции, желает интересной творческой и полезной работы, крепкого здоровья и благополучия.

ОРГКОМИТЕТ.

КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ, ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ. ТЕХНОЛОГИИ, МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

УДК 628.166

КАФЕДРА «ВХИСЗОС» ЮРГПУ (НПИ) И ООО НПП «ЭКОФЕС» – ТВОРЧЕСКИЙ ТАНДЕМ УЧЕБНО-ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ И НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Л.Н. Фесенко, А.Ю. Черкесов, С.А. Щукин
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия
ООО НПП «ЭКОФЕС», г. Новочеркасск, Россия
С.И. Игнатенко
ООО НПП «ЭКОФЕС», г. Новочеркасск, Россия

Рассмотрены основные направления и результаты совместной производственной, проектной, научно-исследовательской, инновационной и педагогической деятельности в области разработки технологических и конструктивных решений по улучшению качества очистки и обеззараживания воды научно-производственного предприятия «ЭКОФЕС» и кафедры «Водное хозяйство, инженерные сети и защита окружающей среды» ЮРГПУ(НПИ) имени М.И. Платова.

Кафедра «Водное хозяйство, инженерные сети и защита окружающей среды» (ВХИСЗОС) сегодня – это современная образовательная структура Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) имени М.И. Платова, базисной основой которой являются масштабно поставленные фундаментальные и прикладные научные исследования, мощный коллектив признанных в науке ученых, высококвалифицированных педагогов, которые, наряду с профессиональными знаниями, формируют у выпускников бакалавриата, магистратуры и аспирантуры навыки успешного их применения в профессиональной производственной, научно-исследовательской, проектной, инновационной и педагогической деятельности. Эта кафедра является центром группы ученых, участвующих в реализации научно-проектно-производственных инновационных образцов техники и технологии на основе интеграции и кооперации с образовательным

учреждением. Для решения этих задач необходимо знание целого комплекса специальных дисциплин в области физической и аналитической химии, микро- и гидробиологии, экологии, гидравлики, комплексного и рационального использования водных ресурсов, технологии очистки природных и сточных вод, теплогазоснабжения, вентиляции и др.

В начале 1990-х годов, которые, как известно, характеризовались застоем экономического развития, обусловленного развалом СССР, переходом к рыночным отношениям и слабостью власти, ряд ученых и инженеров г. Новочеркасска, осознавая необходимость решения ряда особо востребованных задач в области водоочистных технологий, объединились в инициативную группу, создав научно-производственное предприятие «ЭКОФЕС». Ядром такой творческой группы стали преподаватели кафедры «Водоснабжение и канализация» одного из старейших и известнейших вузов СССР – Новочеркасского политехнического института, ныне Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова.



В первые годы становления новой России проявилась четко выраженная тенденция экспансии зарубежных фирм на отечественном рынке товаров и услуг, в том числе в области очистки воды. При этом предлагаемые технологии, зачастую не подтвержденные научными и практическими проработками, имели широкую рекламу и, соответственно, сбыт. В итоге это вело к подрыву национальной безопасности страны в части здоровья и занятости населения, и образование «ЭКОФЕС» было велением времени.

Этому также способствовало практически полное отсутствие государственного заказа на водоочистную науку вузам, академическим и отраслевым институтам. Как следствие, произошел массовый отток высококлассных специалистов из отрасли, многие из которых уехали за рубеж.

Образованное в 1990 году предприятие «ЭКОФЕС» определило свою производственную направленность – предложение рынку водоочистных технологий нового для него продукта, реализация которого обеспечит стабильную экономическую выгоду. В области обеззараживающей обработки воды, обязательного этапа при подготовке воды для питьевых и хозяйственных целей, таким продуктом мог стать новый вид окисляющего реагента, сочетающего положительные качества хлорирования с отсутствием присущих ему недостатков. Очевидность этого положения вытекала из следующих обстоятельств: сложность доставки, использования и хранения многотонных запасов хлора, расположенных зачастую в городской черте, а также возможность террористических атак в нынешней неспокойной ситуации в стране, особенно сегодня, связанной с украинским конфликтом, становится крайне необходимым создание новых и совершенствование существующих методов, технологий и оборудования для производства окислителя на месте потребления.



С точки зрения обеспечения эпидемиологической безопасности централизованного водоснабжения все хлорсодержащие реагенты одинаково надежны и эффективны. На основании сравнительного анализа методов и технологий обеззараживания воды, с позиций безопасности и экономической целесообразности на тот период времени было принято решение, что наиболее реальной альтернативой применению газообразного хлора является хлорсодержащий продукт, полученный на месте потребления путем электролиза искусственно приготовленных хлоридных растворов. Вырабатываемый в объеме электролизера продукт – низкоконцентрированный гипохлорит натрия, вещество четвертого класса опасности, которое может безопасно храниться в накопительных емкостях в объеме, обеспечивающем требуемый санитарными правилами суточный запас реагента на случай плановой или внезапной остановки электролизной станции.



Накопленный опыт по совершенствованию технологии производства и модернизации конструкции составляющих элементов электролизных установок под торговой маркой «Хлорэфс» дали обоснование привлечь специалистов предприятия «ЭКОФЕС», кандидатов наук С.И. Игнатенко и А.Ю. Черкесова к разработке федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности производства хлора и хлорсодержащих сред», в частности, XIII раздела «Требования безопасности при производстве электрохимического гипохлорита натрия», действующих с 2014 г.

Особое внимание в период становления НПП «ЭКОФЕС» было уделено технологии производства анодов из различных материалов. Как известно, химическая и механическая устойчивость анодов при их длительной эксплуатации во многом определяется составом покрытия электрода, которое включает в себя в основном смесь оксидов металлов платиновой группы: рутения, иридия, палладия, что на 85 – 90 % и определяет стоимость электролизного аппарата. В результате многолетних исследований научной группе предприятия удалось установить оптимальное по показателю цена-качество соотношение смеси окисно-иридиево-рутениево-титанового покрытия малоизнашиваемых анодов.

Имея более чем 30-летний практический опыт в области разработки технологических и конструктивных решений, направленных на интенсификацию и улучшение качества процессов очистки и обеззараживания воды, модернизацию отдельных элементов очистных сооружений и повышение эффективности их работы, «ЭКОФЕС» постоянно совершенствуется, создавая и внедряя современные и перспективные технологии, выполняет широкий круг проектных работ по всем основным проблемам водоснабжения и водоотведения, прежде всего по проектированию станций и установок получения гипохлорита натрия с электролизными аппаратами серии «Хлорэфс».



В основу деятельности проектного отдела предприятия положен многолетний практический опыт сотрудников кафедры «ВХИСЗОС» ЮРГПУ (НПИ) имени М.И. Платова и ряда проектных организаций в области выполнения и внедрения научно-исследовательских и конструкторских работ, а также инженерных расчетов и индивидуальных проектов систем, сооружений и объектов, связанных с очисткой, обеззараживанием, транспортированием как природных, питьевых, так бытовых и производственных сточных вод.

Накопленный многолетний опыт в техническом перевооружении хлораторных, строительстве новых сооружений для электролизных станций и монтаже оборудования, а также большое количество реализованных «под ключ» и успешно функционирующих объектов позволили предприятию выйти на передовые позиции и занять ведущее место на отечественном рынке производителей и наладчиков электрохлорного оборудования. При монтаже электролизного оборудования специалисты предприятия также выполняют весь комплекс работ по прокладке и подключению электросиловых и иных кабельных линий; систем дистанционного управления, автоматики, связи и сигнализации; внутренние водопровод и канализацию; отопление, вентиляцию и кондиционирование воздуха; прокладку реагентопроводов и иных технологических трубопроводов, обслуживающих весь комплекс производства и дозирования гипохлорита натрия.

ООО НПП «ЭКОФЕС» обладает правом генерального подрядчика на выполнение проектных, строительных и монтажных работ в областях подготовки питьевой и технической воды. Монтаж оборудования, как правило, производится специалистами предприятия на основе комплектования станций уже готовыми блоками и модулями, изготовленными и собранными в производственных цехах предприятия, что позволяет обеспечить высокую скорость развертывания и монтажа отдельных технологических узлов в полностью готовые к эксплуатации комплексы.



Высокий профессионализм, отличное качество изготавливаемого оборудования, оригинальность технических и технологических решений, а также безусловная обязательность соблюдения сроков строительных работ, графиков поставок, монтажных и пусконаладочных работ, высокий уровень сервиса положительно отличают ООО НПП «ЭКОФЕС» как надежного и проверенного временем партнера.

ООО НПП «ЭКОФЕС» располагает собственной производственной базой, проектно-конструкторской группой, химическо-аналитической лабораторией и испытательным полигоном. Сегодня производственные возможности «ЭКОФЕС» – это комплекс зданий со специализированной инфраструктурой, позволяющих обеспечить полный цикл изготовления всего необходимого оборудования. Складские запасы комплектующих материалов обеспечивают кратчайшие сроки изготовления оборудования. Цеха по сварке нержавеющего и черного металла, токарно-фрезеровочный цех позволяют выполнять уникальные изделия качественно и быстро без привлечения сторонних организаций. Наличие цеха по сборке компонентов АСУ ТП, шкафов управления и блоков питания электролизеров позволяют обеспечить электролизным установкам высокий уровень автоматизации, не уступающий иностранным аналогам.

Предприятие располагает собственным производством по изготовлению и контролю качества анодных пластин с покрытием из оксидов металлов платиновой группы для электролизеров любой сложности и производительности. Наличие собственного производства дает предприятию возможность значительно снизить себестоимость комплектующего оборудования и сократить временные затраты без потери качества – одного из ключевых составляющих успеха современного предприятия.

Помимо установок прямого электролиза для получения обеззараживающего реагента на предприятии изготавливаются два вида

блочно-модульных станций: станция водоподготовки «Криница», предназначенная для очистки природных вод из поверхностных и подземных водоисточников для снабжения питьевой водой малых населенных пунктов, таких как коттеджные и дачные поселения, вахтовые поселки, туристические и гостиничные комплексы и т.д. и станция углевания «БМС-СОРБЕНТ» для удаления из воды органолептических примесей, обуславливающих запахи и привкусы воды.

В НПП «ЭКОФЕС» постоянно ведется подготовка научных кадров высшей квалификации. По научным темам предприятия были подготовлены семь кандидатов и один доктор технических наук, которые сейчас совмещают свою производственную деятельность с учебно-педагогической в качестве профессора, заведующего кафедрой ВХИСЗОС ЮРГПУ (НПИ) имени М.И. Платова Фесенко Л.Н. и ее ведущих доцентов: Черкесова А.Ю., Федотова Р.В., Пчельникова И.В., старшего преподавателя Щукина С.А.

Начиная с 2004 г., НПП «ЭКОФЕС» совместно с кафедрой ВХИСЗОС активно включилось в организацию и проведение первой и последующих четырнадцати конференций «ТЕХНОВОД», который стал основным форумом в Российской Федерации, где проходят дискуссии, обсуждения текущих проблем и перспектив развития водных технологий с участием ведущих специалистов нашей страны.





ООО НПП «ЭКОФЕС» – это финансово устойчивое и стабильное предприятие, уверенно работающее на водоочистном рынке, являющееся центром группы научно-проектно-производственных компаний, где присутствует принцип интеграции и кооперации с научно-образовательными учреждениями, где производство и вуз активно взаимодействуют для повышения качества образования студентов, молодых специалистов и ученых, закладывая высокий кадровый потенциал

в науку и производство, как единое учебно-педагогическое и научно-производственное сообщество.

УДК 626/627

ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ НОВЫХ СУБЪЕКТОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

В.А. Волосухин
Институт безопасности гидротехнических сооружений,
НИМИ им. А.К. Кортунова ДонГАУ, г. Новочеркасск, Россия
Л.Н. Фесенко
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия
В.С. Рожков
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, г. Макеевка, Россия

Выполнен анализ текущего положения водообеспеченности новых субъектов Российской Федерации. Установлено, что наиболее дефицитными в части водных ресурсов являются Донецкая и Луганская народные республики, что объясняется скудностью местных водных ресурсов и выводом из строя построенных в 60-е годы прошлого столетия крупных инженерных коммуникаций. Намечены основные направления исправления сложившейся ситуации.

На поверхность суши планета Земля выпадает в среднем 119 тыс. км^3 атмосферных осадков. Они обусловлены поступлением испарения с океана (W = 44,2 тыс. км^3) и испарения с поверхности суши (W = 75,0 тыс. км^3). В среднем за многолетний период в океан в виде материкового стока ежегодно возвращается 44,2 тыс. км3 [1–3].

Суммарный сток рек мира в период с 1900 по 2000 гг. изменялся в интервале от 44,0 тыс. км^3/год до 49,0 тыс. км^3/год [1–3].

В озерах, водохранилищах и болотах мира находится соответственно 176,0; 6,70 и 11,47 тыс. км^3 воды.

Водообеспеченность речным стоком на 1 чел. в мире, по данным международных баз данных на 22.03.2024 (Всемирный день водных ресурсов) для среднегодового объема речного стока (p = 50 %) (W_p = 44,2 тыс. км^3/год, при численности населения N = 80 млрд 170,087 млн. чел. составляет **5,41 тыс. м^3/(год·чел.)**, в Европе (W_p = 2,85 тыс. км^3/год, N = 752,203 млн. чел.) – **3,79 тыс. м^3/(год·чел.)**, в Азии (W_p = 13,56 км^3/год, N = 4млрд 835,680 млн. чел.) – **2,80 тыс. м^3/(год·чел.)**, в Северной Америке (W_p = 7,84 тыс. км^3/год, N = 614,261 млн. чел.) – **12,76 тыс. м^3/(год·чел.)**, в Южной Америке (W_p = 11,70 км^3/год, N = 448,317 млн. чел.) – **26,10 тыс. м^3/(год·чел.)**, в Африке (W_p = 4,11 тыс. м^3/год, N = 1 млрд. 474,361 млн. чел.) – **2,788 тыс. м^3/(год·чел.)**.

Согласно Конституции Российской Федерации, Донецкая Народная Республика (ДНР), Луганская Народная Республика (ЛНР), Запорожская и Херсонская области включены в перечень регионов страны (федеральные конституционные законы о принятии в состав России ДНР, ЛНР, Запорожской и Херсонской областей и образовании в составе РФ четырех новых субъектов (Федеральный конституционный закон от 4 октября 2022 г. № 5-ФКЗ, Федеральный конституционный закон от 4 октября 2022 г. № 6-ФКЗ, Федеральный конституционный закон от 4 октября 2022 г. № 7-ФКЗ, Федеральный конституционный закон от 4 октября 2022 г. № 8-ФКЗ). 3 октября проекты законов были одобрены Госдумой, 4 октября – на заседании Совета Федерации РФ.

Местные водные ресурсы новых субъектов РФ в среднем за период 1985 – 1990 годы составляли по ЛНР – 0,512 тыс. м^3/(год·чел.), ДНР – 0,233 тыс. м^3/(год·чел.), Запорожская область – 0,300 тыс. м^3/(год·чел.), Херсонская область – 0,114 тыс. м^3/(год·чел.). Ресурсы местного стока по данным на 2014 год Национальной академии аграрных наук Украины (НААН) составляли для трех субъектов (ДНР, Запорожская и Херсонская области) менее 0,300 тыс. м^3/(год·чел.), а для ЛНР находились в интервале от 0,45 до 1,00 тыс. м^3/(год·чел.) в зависимости от водности года. По данным ООН (2020 г.) минимально необходимое водопотребление для населения и отраслей экономики и сохранения равновесия окружающей среды научно обосновано равным **1,70 тыс. м^3 воды/(год·чел.)**. Вышеприведенное свидетельствует о низкой водообеспеченности новых субъектов РФ местными водными ресурсами и при водообеспеченности их территорий необходимо использовать сток бассейна Днепра и бассейна Дона, в том числе, ее правого притока Северского Донца.

Река Днепр берет начало возле села Бочарово Смоленской области (РФ). Длина реки Днепр составляет 2201 км из них 810 км (36,8 %) протекает по территории РФ (485 км в верховье реки и 325 км в низовье до впадения ее в Черное море), 516 км (23,4 %) по территории Республики Беларусь и 875 км (39,8 %) по территории Украины. Бассейн реки Днепр составляет около 504 тыс. км^2. По длине реки выделяют верхнее течение L = 1321 км (от истока до города Киева, с площадью бассейна F = 328,0 тыс. км^2). В верховье реки Днепр 99,8 тыс. км^2 (19,8 % от бассейна реки) проходит по территории РФ, 115,4 тыс. км^2 (22,9 % от бассейна реки) по территории Республики Беларусь и 112,8 тыс. км^2 (22,4 % от бассейна реки) по территории Украины. *До 80 % стока реки Днепр формируется в ее верховье*. Среднегодовой сток р. Днепр в занимающем створе (г. Киев) верховья реки F = 328,0 тыс. км^2 составляет W = 43,5 км^3/год.

Среднее течение реки Днепр расположено между створами г. Киева и г. Запорожье ($L_{ср}$ = 555 км).

Нижнее течение реки Днепр расположено на территории РФ между створами от города Запорожье до устья ($L_{нижн}$ = 325 км).

В бассейне Днепра сооружено 564 водохранилищ (W > 1,0 млн. м^3) площадью зеркала F = 7,75 тыс. км^2 и объемом $W_{НПУ}$ = 46,2 км^3.

Среднегодовой сток реки Днепр ниже разрушенного Украиной в ночь с 5 на 6 июня 2023 года Каховского водохранилища составлял на 1991 год W = 43,3 км^3/год (Q = 1375 м^3/с), что ниже естественного стока реки на 18 %. Из Днепра вода подавалась в период СССР по каналам Днепр-Донбасс (Q = 120 м^3/с) Северо-Крымский канал (Q = 295 м^3/с), Каховский (Q = 530 м^3/с), Днепр-Кривой Рог (Q = 35 м^3/с) и др.

Последние три обводнительно-оросительных канала забирали воду из разрушенного в 2023 г. Каховского водохранилища (W = 18,2 км^3, $H_{пл}$= 16,0 м, $F_{НПУ}$ = 2155 км^2, $H_{ср}$ = 8,5 м), расположенного на территории Запорожской и Херсонской областей.

Общий забор пресной воды из р. Днепр на 2000 г. составлял W = 10,7 км^3/год. *По р. Днепр должно быть разработано в 2024/2025 годах межбассейновое соглашение по водозабору между тремя государствами Россия–Белоруссия–Украина по величине среднегодового стока, формирующегося в бассейнах этих государств.*

Из общего объема забора воды в бассейне р. Днепр на 2020 г. 1 % приходится на РФ, 8 % на Беларусь и 91 % на Украину.

Численность постоянно проживающего населения в ЛНР, ДНР, Херсонской и Запорожской областях составляла в период распада СССР (1991 год) – 11,512 млн. чел, а на 01.01.2024 г. в связи с СВО в них постоянно проживает 7,060 млн. чел.

На период завершения СВО суточная минимальная водоподача в четыре новых субъекта РФ должна составить не менее $W_{сут}$ = 1,7268 млн. м^3/сутки для питьевых и хозяйственно-бытовых нужд, а годовая $W_{год}$ = 630,3 млн. м^3/год.

Речной сток рек, протекающих по ЛНР, ДНР, Херсонской и Запорожской обл. между р. Днепр и Дон (Кальмиус, Крынки, Миус, Мокрый Еланчик, Молочная и др.) составляет суммарно всего $W_{р=50\%}$ = 840 млн. м^3/год и его недостаточно для водообеспеченности населения и отраслей экономики пресной водой. Необходимо использовать водные ресурсы бассейнов р. Днепр и р. Дон.

Совещание Президента РФ В.В. Путина 06.03.2024 г. в г. Сочи по вопросам развития юга России и Приазовья требует решения водохозяйственных проблем в бассейне Азовского моря [4].

Водный фонд Донецкой Народной Республики (ДНР), на территории которой проживает 2,244 млн. чел., включает в себя все водные объекты, которые находятся на территории ДНР и складывается из поверхностных и подземных вод. Водный фонд ДНР включает в себя 1695 поверхностных водных объектов, в том числе:

– 4 средние реки общей протяженностью в границах Республики 410 км;

– 851 малых рек и ручьев общей протяженностью 5433 км;

– 840 прудов и водохранилищ;

– Азовское море, протяженность береговой линии которого составляет 50 км;

– а также подземные воды.

Несмотря на это, водообеспеченность Донецкой Народной Республики остается одной из самых низких. Воды р. Кальмиуса, р. Крынки и других немногочисленных рек, а также небольшие озера и малочисленные запасы подземных вод не могут в полной мере удовлетворить имеющиеся потребности.

Сток рек ДНР высоко зарегулирован водохранилищами и прудами, построенными в 50 – 70 годы прошлого века и используется для питьевого, сельскохозяйственного водоснабжения, промышленного, рыборазведения и развития орошаемого земледелия.

Общая площадь водного зеркала 799 водных объектов, расположенных на территории ДНР, составляет 11097,68 га. Объем водных ресурсов 525,142 млн. м^3, в том числе имеется 46 водохранилищ с общей площадью водного зеркала 7491,7 га, объемом 464,417 млн. м^3.

Частично реализован план подачи воды из каскада водохранилищ: Ханженковское, Ольховское, Зуевское. Данные водохранилища имеют полезную водоотдачу в объеме:

- Ханженковское – 28,8 млн. м^3 воды;
- Ольховское – 15 млн. м^3 воды (отбирается 3,7 млн. м^3 для Ольховской фильтровальной станции);
- Зуевское – 0,8 млн. м^3 воды.

ГУП ДНР «Компания «Вода Донбасса» является основным водоснабжающим предприятием на территории Донецкой Народной Республики, которое осуществляет добычу, очистку и транспортировку воды более 90 % потребителям Донецкой Народной Республики, а также занимается сбором и очисткой сточных вод.

Основным источником водоснабжения территории ДНР в настоящее время является трубопровод Дон-Донбасс, построенный в 2023-м году, производительностью 300 тыс. м^3/сут. Водовод снабжает Горловский промрайон, Донецкий промрайон (города: Донецк, Макеевка, Харцызск), Енакиевский промрайон (города: Шахтерск, Кировское и Торез). Существовавший до 2022-го года канал Северский Донец-Донбасс имеет критические повреждения и возможность восстановления его работы будет оцениваться после завершения СВО. Максимальный водозабор водовода Дон-Донбасс составляет W = 0,1095 км^3/год, т.е. 0,54 % от среднего стока р. Дон в створе станицы Раздорской за последние 70 лет (1952 – 2022 гг.) после строительства Цимлянского водохранилища на р. Дон (1952 г.),

0,29 % для самого многоводного года (1979 г.) и 1,15 % для самого маловодного года (2020 г.) этого периода.

Из самостоятельных источников снабжаются г. Снежное, Новоазовский, Тельмановский и Старобешевский районы.

Показатель водообеспеченности по Луганской Народной Республике (ЛНР), где проживает 2,181 млн. чел., составляет 0,56 тыс. м^3 воды на одного жителя в год и относит регион к территории, недостаточно обеспеченной водными ресурсами. Для сравнения: в Донецкой Народной Республике (ДНР) этот показатель составляет 2,23 тыс. м^3 воды на одного жителя в год.

Объем внутренних вод ЛНР составляет 123,8 млн. м^3. Все реки ЛНР маловодны, поэтому городам, селам, промышленным предприятия воды не хватает. Большинство рек равнинные, у них широкие долины и спокойное медленное течение. Озер немного, почти все они невелики, пресноводны и мелки. Всего насчитывается около 60 озер.

Главным источником централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения населения и предприятий на территории ЛНР, а также г. Луганска являются подземные воды. Из общего объема используемой воды на долю подземных источников приходится около 80 процентов.

По данным ГУП ЛНР «Луганскводa», Республика в настоящее время самостоятельно обеспечивает себя водой на 84 % (280 тыс. м^3). По словам специалистов, сегодня ГУП ЛНР «Луганскводa» не может обеспечить всех потребителей круглосуточным водоснабжением.

Водоснабжение новых субъектов федерации остается одной из актуальных проблем в сфере жилищно-коммунального хозяйства ДНР, ЛНР, Херсонской и Запорожской областей, решение лежит в более эффективном и рациональном управлении водными ресурсами, рациональном использовании имеющихся водных ресурсов, во внедрении водосберегающих технологий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лурье П.М., Панов В.Д. Реки бассейна Азовского моря / П.М. Лурье. – Ростов-на-Дону: Донской издательский дом, 2021. 670 с.
2. Волосухин В.А. Мельников В.В. Азово-Каспийский водный путь: история, проблемы, перспективы – Ростов-н/Дону, Изд-во ЮФУ, 2008. 242 с.
3. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации – М. МПР России, МГУ им. М.В. Ломоносова, 2023. 686 с.
4. Стенограмма совещания по вопросам развития юга России и Приазовья. 6 марта 2024 г., Сочи, РФ на 14 стр. http://www.kremlin.ru/events/ president/news/73616

УДК 628.14/-08

О ВЛИЯНИИ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ ТРУБ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ВЕЛИЧИНУ ФАКТИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ НАПОРА

О.А. Продоус
Независимый эксперт по «Водоснабжению и канализации», г. Санкт-Петербург, Россия
П.П. Якубчик, Л.Д. Терехов
ПГУПС Императора Александра I», г. Санкт-Петербург, Россия

Проведенными исследованиями труб из полимерных материалов доказано, что напорные трубопроводы систем водоснабжения и канализации работают в квадратичной области гидравлических сопротивлений, когда шероховатость их внутренних стенок оказывает доминирующее влияние на величину фактических потерь напора в трубопроводах [1–3].

Величина фактических потерь напора $H_ф$ в трубопроводах из полимерных материалов определяется по формуле:

$$H_ф = i_ф \cdot i \text{, м} \quad (1)$$

где $H_ф$ – фактические потери напора в трубопроводе без учета влияния местных сопротивлений (задвижек, тройников, отводов и других видов сопротивлений по длине), м; $i_ф$ – фактический гидравлический уклон труб – энергетическая характеристика, зависящая от скоростного режима движения в трубах (напорный или самотечный), шероховатости внутренней (рабочей) поверхности, температуры воды и влияния технологических допусков на геометрические размеры труб, предусмотренные в ГОСТ 18599-2018 на наружный диаметр $d_н$ и толщину стенки e (рис. 1).

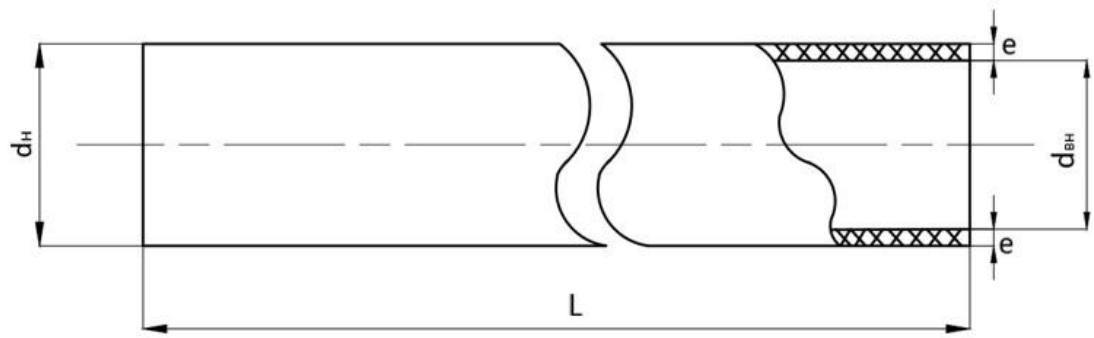


Рисунок 1. **Геометрические характеристики труб из полимерных материалов:**
L – длина труб, м

Фактический гидравлический уклон труб $i_ф$ или фактические потери напора $H_ф$ на единицу длины трубопровода при его длине в 1 п.м равна по величине значению $H_ф$:

$$H_{\text{ф}} = i_{\text{ф}}, \text{ м при } l = 1 \text{ п.м}$$

Нормативными требованиями [4] на трубы из полимерных материалов предусмотрены в процессе производства труб технологические допуски на величину их наружного диаметра $d_{\text{н}}$ и толщину стенки трубы e. Эти допуски, как следствие [5]:

- изменяют величину фактического внутреннего диаметра $d_{\text{вн}}^{\text{ф}}$,
- фактическую скорость движения воды $V_{\text{ф}}$;
- фактические потери напора на сопротивление по длине $H_{\text{ф}}$.

С учетом того, что трубы из полимерных материалов работают в квадратичной области гидравлических сопротивлений, то их важнейшей характеристикой является шероховатость внутренних стенок, характеризуемая значениями высотного параметра шероховатости – *Ra*, мкм и шагового параметра – *Sm*, мкм (рис. 2) [1–2, 6]:

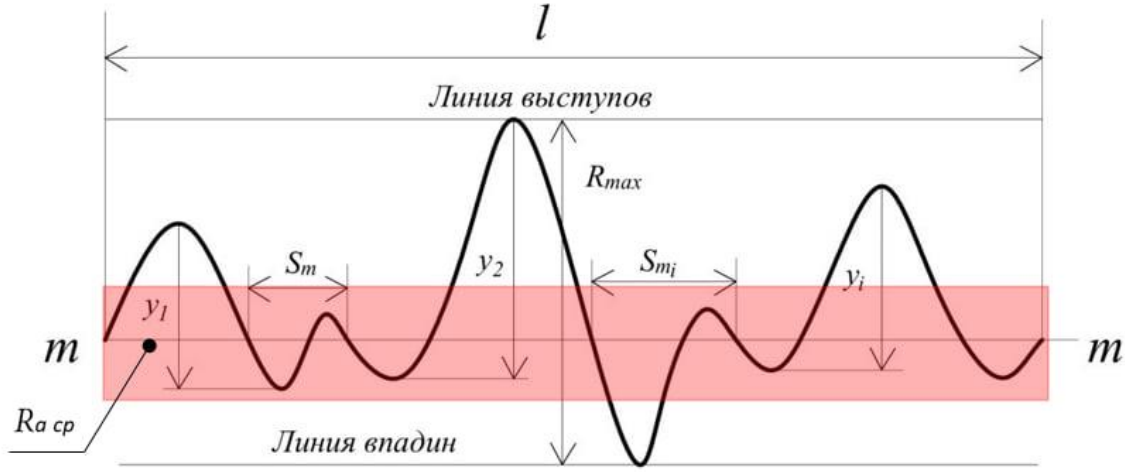


Рисунок 2. **Характеристики шероховатости труб из полимерных материалов:**
$Ra_{ср}$ – среднеарифметическое отклонение профиля от его средней линии, мкм;
Sm – средний шаг между выступами неровностей на базовый длине профиля, мкм

В результате исследований характеристик шероховатости образцов полиэтиленовых труб на семи заводах СССР в разных регионах страны в 70-е годы прошлого века на кафедре «Водоснабжение и канализация» ЛИИЖТа Продоусом О.А. и Якубчиком П.П. была выведена эмпирическая зависимость, позволяющая по измеренным в заводских условиях при производстве труб величинам их параметров шероховатости *Ra* и *Sm* вычислять значение коэффициента гидравлического сопротивления труб λ, входящего в формулу Дарси-Вейсбаха:

$$i_{\phi} = \lambda \frac{V_{\text{ф}}^2}{2q \cdot d_{\text{вн}}^{\text{ф}}}, \text{ мм/м} \qquad (3)$$

для последующего расчета по формуле (3) величины фактического гидравлического уклона труб $i_{\text{ф}}$.

Формула Продоуса-Якубчика имеет вид [6]:

$$\lambda = \frac{0.3162}{\mathrm{Re}_{\text{ф}}^{0,25}} \cdot \left(\frac{10Ra_{\text{ср}} \cdot 10^2}{Sm_{\text{ср}}} + 1 \right)^{0,172} \cdot \left(\frac{2Ra_{\text{ср}} \cdot 10^2}{d_{\text{вн}}^{\text{ф}}} + 1 \right)^{0,172} \quad (4)$$

где $Re_{\text{ф}}$ – фактическое число Рейнольдса, определяемое по формуле:

$$\mathrm{Re}_{\text{ф}} = \frac{V_{\phi} \cdot d_{\text{вн}}^{\text{ф}}}{\upsilon} \quad (5)$$

$d_{\text{вн}}^{\text{ф}}$ – фактический внутренний диаметр трубы, с учетом технологических допусков, м; $V_{\text{ф}}$ – фактическая скорость движения воды, м/с; υ – коэффициент кинематической вязкости воды, зависящий от ее температуры, м^2/с принимается по специальным таблицам.

Подставив рассчитанное по формуле (4) значение λ вычисляют значение по формуле (1) фактического гидравлического уклона труб $i_{\text{ф}}$. Формула (4) справедлива в диапазоне средних значений параметров шероховатости труб:

$$0{,}2 \text{ мкм} \leq Ra_{\text{ср}} \leq 1{,}0 \text{ мм};$$

$$2000 \text{ мкм} \leq Sm_{\text{ср}} \leq 10\,000 \text{ мкм}.$$

Подстановка выражения (2) в формулу Дарси-Вейсбаха (3) дает вид фактической расчетной зависимости $i_{\text{ф}}$ для гидравлического расчета любых полимерных труб по измеренным значениям их параметров шероховатости.

Таким образом, возникает возможность, не проводя гидравлических экспериментов по измеренным с помощью переносного профилометра значений параметров шероховатости труб *Ra* и *Sm*, рассчитывать по формуле (4) величину значения λ для конкретного трубопровода и последующего вычисления фактического гидравлического уклона $i_{\text{ф}}$ по формуле (3), то есть прогнозировать в процессе производства труб значения $i_{\text{ф}}$ по измеренным значениям их параметров шероховатости *Ra* и *Sm* [4, 6].

Такой новый подход к гидравлическому расчету трубопроводов из любых видов полимерных материалов существенно упрощает гидравлический расчет труб и сокращает стоимость затрат на проектирование трубопроводов [7].

Для подтверждения этого покажем на конкретном примере расхождение значений расчетных $H_{\text{р}}$ и фактических $H_{\text{ф}}$ потерь напора в трубопроводе с учетом измеренных фактических значений характеристик шероховатости труб *Ra* и *Sm*.

Условия задачи.

По трубопроводу длиной 1000 п.м. из напорных полиэтиленовых труб диаметром $d_{\text{н}}$ = 315 мм, *SDR* 17, *PN* 10, имеющего значения

характеристик шероховатости *Ra* = 40.0 мкм, *Sm* = 6000 мкм перемещают заданный расход воды *q* = 50 л/с (0,05 м^3/с).

Сравнить расчетные и фактические потери напора в трубопроводах $H_{р(ф)}$, если изменятся значения характеристик их шероховатости: *Ra* = 36 мкм, *Sm* = 8100 мкм.

Решение.

1. Вычисляют по формуле (4) для заданных условий задачи значение коэффициента гидравлического сопротивления λ при разном значении характеристик шероховатости *Ra* и *Sm*.
2. Вычисляют по формуле (3) значение фактического гидравлического уклона труб $i_ф$ при разных значениях характеристик шероховатости *Ra* и *Sm*.
3. Определяют по формуле (1) величину фактических потерь напора $H_ф$ на сопротивление по длине трубопровода длиной *L* = 1000 м.
4. Производят анализ энергопотребления насосного агрегата $N_{дв}$ для оценки возможности поддержания необходимого фактического напора $H_ф$ в трубопроводе с разной шероховатостью внутренней поверхности труб:

$$N_{дв}^{р(ф)} = 10^6 \cdot i_{р(ф)} \cdot \left(d_{вн}^{р(ф)}\right)^2 \cdot V_{р(ф)} \cdot \frac{0{,}00808}{\eta}, \text{ кВт/ч} \qquad (6)$$

где $N_{дв}^{р(ф)}$ – расчетное (фактическое) энергопотребление насосного агрегата с разным значением характеристик шероховатости внутренней поверхности труб *Ra* и *Sm*, кВт/ч; $i_{р(ф)}$ – расчетный (фактический) гидравлический уклон труб с разной шероховатостью, мм/м; $d_{вн}^{р(ф)}$ – расчетный (фактический) внутренний диаметр труб с учетом технологических допусков, м; $V_{р(ф)}$ – расчетная (фактическая) скорость движения воды в трубах, м/с; η – кпд насосного агрегата. Для расчетов принимают η = 0,7.

Для сравнения результаты расчета характеристик сведены в таблицу 1.

Анализ значений гидравлических характеристик труб для приведенного примера показывает, что шероховатость внутренней поверхности сравниваемых труб влияет на значение коэффициента их гидравлического сопротивления λ и, как следствие, на значение фактического гидравлического уклона труб $i_ф$ и фактических потерь напора $H_ф$ на сопротивление по длине.

Подтверждением этого является повышенное энергопотребление на 11,75 % (табл. 1) насосного агрегата $N_{дв}^{ф}$, перекачивающего воду потребителям по трубам с большей шероховатостью их внутренней поверхности.

Таблица 1. **Значения гидравлических характеристик труб в примере**

Характеристики шероховатости труб, мкм *Ra/Sm*	Гидравлические характеристики сравниваемых труб						
	$d_{\text{вн}}^{\text{р(ф)}}$	$V_{\text{р(ф)}}$	$(\text{Re}_{ф}^{*})^{0,25}$	λ	1000 $i_{\text{р(ф)}}$, мм/м	$H_{\text{р(ф)}}$	$N_{\text{дв}}^{\text{р(ф)}}$, кВт/ч
40/6000	0,2446	1,06	21.114	0,02143	5,47	5,47	4,00
36/8200	0,2446	1,06	21.114	0,02060	4,82	4,82	3,53
Процент расхождения значений гидравлических характеристик труб, %							
–	–	–	3,87	11,88	11,88	11,75	

Примечание: *– рассчитано при значении υ = 1,31·10-6 м^2/с (10° С).

Таким образом, на приведенном примере показано влияние значений параметров шероховатости труб *Ra* и *Sm* из полимерных материалов на величину их фактических потерь напора $H_{\text{ф}}$.

Поэтому требуется:

- нормировать значение параметров шероховатости *Ra* и *Sm* из разных видов полимерных материалов и установить их предельно-допустимое значение с гидравлической точки зрения;
- обязать производителей труб из полимерных материалов нормативно в паспортах на партии труб разного диаметра указывать значения параметров $Ra_{\text{ср}}$ и $Sm_{\text{ср}}$ для возможности оценки фактических потерь напора по длине $H_{\text{ф}}$ с помощью формул (1), (3–4);
- проведение специальных НиР, результатом которых будут нормы шероховатости труб из полимерных материалов, обеспечивающие выполнение ФЗ от 23.11.20009, № 261 «Об энергосбережении».

ЛИТЕРАТУРА

1. Добромыслов А.Я., Продоус О.А. Об учете шероховатости пластмассовых труб // Энергетическое строительство. 1985. № 6. С. 72-74.
2. Добромыслов А.Я., Продоус О.А., Шашкова И.Л. О качестве внутренней поверхности пластмассовых труб // Водоснабжение и санитарная техника. 1987. № 5, С. 6–8.
3. Продоус О.А. Об энергопотреблении насосов в трубопроводах из полимерных материалов // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2017. № 12 (120), С. 36–38.
4. Продоус О.А. Прогнозирование потерь напора в трубопроводах из разных полимерных материалов. // Водоснабжение и санитарная техника. 2018. № 11, С. 60–64.

5. Продоус О.А., Терехов Л.Д. Оценка влияния технологических допусков на трубы из полимерных материалов на энергозатраты насосных агрегатов. // Водоснабжение и санитарная техника. 2020. № 2. С. 61–64.
6. Продоус О.А., Якубчик П.П. Гидравлический расчет трубопроводов из полимерных материалов с учетом параметров шероховатости внутренней поверхности труб // Водоснабжение и санитарная техника. 2020. № 11. С. 55–60.
7. Продоус О.А., Якубчик П.П. Новый подход к гидравлическому расчету сетей водоснабжения из полимерных материалов. // Сборник докладов участников XVII Межд. науч.-техн. конф., посвященной памяти академика РАН С.В. Яковлева, г. Москва: НИУ МГСУ, 17–18 марта 2022. С. 143–147.
8. Дикаревский В.С., Якубчик П.П., Продоус О.А. Гидравлические сопротивления железобетонных напорных труб с полимерной облицовкой внутренней поверхности. // Известия вузов. Строительство и архитектура. 1981. № 11, С. 111–114.

УДК 556.5.504.064

МОНИТОРИНГ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО УЛУЧШЕНИЮ СОСТОЯНИЯ БАССЕЙНОВ МАЛЫХ РЕК ЮГА РОССИИ (НА ПРИМЕРЕ КАВМИНВОД)

Т.В. Иванкова, Л.Н. Фесенко
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», Новочеркасск, Россия

Статья посвящена актуальным проблемам природоохранного обустройства прибрежных зон малых рек на Северном Кавказе и Юге России. Приводятся характерные для многих средних и малых рек результаты исследований природно-хозяйственных условий и современного состояния бассейнов и притоков. Описаны материалы натурных исследований р. Подкумок, территорий урбанизированных участков реки и ее притоков с анализом результатов. Сделано обоснование необходимости развития экологического мониторинга во всех прибрежных урбанизированных зонах малых рек. В заключении приведены основные выводы по результатам аналитических и экспериментальных исследований по характерным участкам малых рек Северного Кавказа и Юга России.

Понятие «малые реки» нередко применяется ко всем рекам, имеющим только местное значение в масштабе страны или крупного региона. Однако, таких рек большинство. Реки длиной менее 100 км составляют около 99 % общего числа рек России и 92 – 93 % их общей протяженности [1]. В книге «Ресурсы поверхностных вод СССР» [2] «малыми» являются реки, имеющие длину не более 100 км независимо от площади их бассейнов. Наряду с количественными характеристиками

малых рек указывается, что «малой следует считать такую реку, бассейн которой располагается в одной географической зоне, и гидрологический режим ее под влиянием местных факторов может быть не свойственен рекам этой зоны». Авторами «малая река» понимается как природный комплекс, состоящий из русла и береговой зоны, включающий пойму и береговые террасы. Значительная часть населения проживает на малых реках, которые формируют средние и большие реки. Неудовлетворительное состояние бассейнов малых рек, захламленность и заиленность русел вызывает растущую тревогу.

В России насчитывается 2,5 млн. малых рек и ручьев, 127 тыс. из них длиной от 10 до 200 км и общей протяженностью 3004 тыс. км наиболее интенсивно используются в сельском хозяйстве. В средний по водности год их сток составляет более 1000 км^3, водозабор 5 % их стока, в том числе безвозвратный – около 4 км^3. В европейской части водозабор из рек превышает 12 %, а в Центрально-Черноземном районе, на Северном Кавказе и в Поволжье составляет от 20 до 60 % их стока [3]. На Юге России в бассейнах средних рек: Терек, Сулак, Самур, Кубань, Дон и других насчитываются более 10 тыс. малых рек [4].

Согласно данных оценки определения маловодных регионов Всемирного института ресурсов (проект Aqueduct) – по территории юга России значение индикатора меняется от «extremely high» (чрезвычайно высокий) до «low medium» (низкий). Эти данные подтверждаются «Водной стратегией Российской Федерации на период до 2020 года» «к регионам с дефицитом водных ресурсов относятся: Республика Калмыкия, Белгородская и Курская области, Ставропольский край, Северный Кавказ, отдельные районы Южного Урала и юга Сибири, низовье Волги».

В 2024 г., в рамках национального проекта «Экология», продолжают реализовываться три федеральных проекта: «Сохранение уникальных водных объектов» (охватывает 56 территорий), «Оздоровление Волги» (охватывает 16 регионов) и «Сохранение озера Байкал» (охватывает три региона). Каждый из них включает свои отдельные программы и дорожные карты по сохранению Волги, Иртыша, Дона и других средних и малых рек и озер. По поручению Президента РФ на 2025 г. запланировано начало реализации нового федерального проекта по экологическому оздоровлению водных объектов, данная инициатива предусматривает комплексный подход к оздоровлению водных объектов на весь бассейн рек Волга, Дон, Урал, Иртыш, Терек, Амур, Лена, Обь, Волхов и Нева, озера Ильмень, средние и малые реки. Новая программа продлится до 2030 г. и «позволит улучшить качество жизни не менее 80 млн. россиян». Проблемами, которые требуют решения в рамках данного Проекта, являются: высокий уровень загрязнения сточных вод, высокая степень износа гидротехнических сооружений, водопропускных сооружений,

мелиоративных систем, а также снижение рыбохозяйственного потенциала водных объектов.

В таблице ниже приведены основные проблемы бассейнов как средних, так и малых рек, а также предлагаемые меры для их разрешения.

Таблица. **Выявление региональной проблематики для бассейнов малых рек**

Проблематика	Предлагаемые меры (решение)
Загрязнение сточными водами: предприятия ЖКХ, ливневые канализации; промышленные предприятия; предприятия агропромышленного комплекса; объекты накопленного вреда окружающей среде.	Строительство очистных сооружений ЖКХ (Минстрой России); модернизация очистных промышленных предприятий (Минпромторг России, Росприроднадзор); формирование мер по снижению поступления агрохимикатов и биогенных соединений (Минсельхоз России); контрольно-надзорные мероприятия (Росприроднадзор); ликвидация ОНВОС (Минприроды России).
Деградация водных объектов: заиливание дна; водная растительность и древесный мусор; мусор на берегах водных объектов; снижение эффективности мониторинга за состоянием водных объектов.	Расчистка русел рек, озер, водохранилищ (Росводресурсы), каналов-рыбоходов (Росрыболовство); очистка акваторий (Росводресурсы); поднятие и утилизация затонувшего имущества (Минтранс России); очистка от мусора берегов (Минприроды России); развитие и модернизация наблюдательной сети (Росгидромет).
Аварийное состояние и износ ГТС, водопропускных сооружений, мелиоративных систем	Строительство, ремонт гидротехнических сооружений, восстановление мелиоративных систем для улучшения водности (Росводресурсы, Минсельхоз России)
Снижение рыбохозяйственного потенциала	Строительство и реконструкция рыбоводных заводов (Росрыболовство); обустройство рыбопропускных сооружений, в том числе строительство рыбоходных каналов (Росрыболовство).

Хозяйственная деятельность на малых водосборах является одной из главных проблем, в частности, на Кавказе [5]. Состояние небольших водотоков в максимальной степени зависит от антропогенных нагрузок на водосбор и бассейн в целом. В качестве примера рассмотрим бассейн р. Подкумок и его притоки. Бассейн расположен в южной части Ставропольского края (СК) и на восточной окраине Республики Карачаево-Черкессия (КЧР). Длина Подкумка составляет 155 км, площадь бассейна – 2200 км^2, средний уклон – 12 % [6]. В Подкумок впадает 153 притока, семь из которых имеют длину более 10 км. Около половины

водосбросной площади находится на высоте более 1000 м; на высоте 500 – 1000 м – 35 %, ниже 500 м – 15 %. Водосборная площадь реки в пределах КЧР составляет 877 км^2 и включает Малокарачаевский, Карачаевский и Усть-Джегутинский районы, водосборная площадь в пределах СК – 1343 км^2 и охватывает Предгорный и Георгиевский районы [7]. Численность постоянно проживающего населения в пределах бассейна р. Подкумок составляет 618,3 тыс. чел., в том числе в КЧР – 32,8 тыс. чел. и в СК – 585,5 тыс. чел. На берегах р. Подкумок расположены города Кисловодск (127 521 чел.), Ессентуки (119 658 чел.), Пятигорск (146 473 чел.), Георгиевск (63 221 чел.), входящие в особо охраняемый эколого-курортный регион Российской Федерации – Кавказские Минеральные Воды. Плотность постоянно проживающего населения в бассейне р. Подкумок составляет 281 чел./км^2, что в 6,4 раза больше чем в среднем по Ставропольскому краю. На Кавказские Минеральные Воды ежегодно приезжают более 2 млн. отдыхающих. Вся водоохранная зона вдоль берегов реки и притоков застроена жилыми и хозяйственными постройками, способствующими загрязнению реки и прилегающих территорий бытовыми стоками и мусором. Аналогичное состояние урбанизированных участков малых и средних рек наблюдается в районах десятков городов и сельских поселений СК и Юга России.

Авторы на протяжении нескольких лет вели полевые натурные наблюдения за бассейном реки и ее притоками. В наши задачи входило определение ландшафтной границы водоохранной зоны, в соответствии с чем было:

- исследовано современное состояние бассейна реки и ее притоков;
- проведена оценка уровня антропогенного воздействия на экосистему бассейна;
- проанализированы территориальные и социальные ограничения, установленные правовыми нормами российского законодательства;
- обоснованы водоохранные функции береговых ландшафтов в зависимости от структуры природных комплексов и уклонов поверхности, которые определяют самоочищение воды перед ее попаданием в реку;
- рассмотрено зонирование урбанизированных и рекреационных территорий рек и соблюдение водоохранных зон.

Наиболее уязвимыми оказались урбанизированные зоны притоков малых рек, где активная хозяйственная деятельность превратила их в техногенные зоны с нарушенными гидрологическими режимами. К такому виду урбанизации подверглось большинство участков рек, протекающих через крупные населенные пункты (рис. 1–3).



Рисунки 1–3. **Состояние русла р. Бугунта, г. Ессентуки**

Результаты работ подробно описаны в статьях [8–10]. Нами были выявлены многочисленные нарушения водного законодательства, несоблюдение зон санитарной защиты и крайняя степень пастбищной дигрессии. В пределах водоохранной зоны обнаружены отходы крупного рогатого скота, зафиксированы многочисленные свалки ТБО на территории второго пояса зоны санитарной охраны. Установлены нарушения водоохранных зон на р. Подкумок и ее притоках, свалки, локальные сбросы сточных вод и незаконная застройка поймы. Полученные результаты позволили сделать вывод о необходимости снижения уровня антропогенных нагрузок и потребности узаконить статус санитарных зон для малых рек. Улучшение качества вод малых водотоков требует также повышения экологической грамотности населения, проживающего на территории водосбора, и соблюдения научно обоснованных норм антропогенных нагрузок по различным видам природопользования. Антропогенное воздействие нарушает жизненный цикл речных систем, снижает аккумулирующую способность водосборных и пойменных площадей, провоцирует плановую и вертикальную деформацию русел, приводит к интенсивному смыву почвенного слоя (рис.4–6).

Один из примеров – долина р. Бугунта в пределах г. Ессентуки. В ряде мест речка течет между стенками сплошных заборов (рис. 1–3), на других участках под застройкой оказалась пойма. Все эти нарушения привели к печальным последствиям во время паводка в июне 2002 г.: многие сооружения были разрушены, в том числе размыта часть железнодорожной насыпи дороги Минводы-Кисловодск, жилые дома затоплены.

При разработке генеральных планов развития и застройки городов и населенных пунктов, проектов детальной планировки необходимо

выделять селитебные зоны, подверженные затоплению паводковыми водами. В ходе полевых исследований нами было выявлено нарушение зон водоохранных границ р. Подкумок в черте г. Ессентуки. Согласно ВК РФ ст. 65 п. 3 «водоохранные зоны и прибрежные защитные полосы, ширина водоохранной зоны рек или ручьев устанавливается от их истока для рек или ручьев протяженностью от 50 км и более – в размере 200 метров» [11]. Ближайший корпус находится в 12,1 м от р. Подкумок, расстояние остальных корпусов от 36 до 110 м (рис. 7).





Рисунки 4–6. **Состояние русла р. Подкумок, г. Ессентуки**

При разработке генеральных планов развития и застройки городов и населенных пунктов, проектов детальной планировки необходимо выделять селитебные зоны, подверженные затоплению паводковыми водами. В ходе полевых исследований нами было выявлено нарушение зон водоохранных границ р. Подкумок в черте г. Ессентуки. Согласно ВК РФ ст. 65 п. 3 «водоохранные зоны и прибрежные защитные полосы, ширина водоохранной зоны рек или ручьев устанавливается от их истока для рек или ручьев протяженностью от 50 км и более – в размере 200 метров» [11]. Ближайший корпус находится в 12,1 м от р. Подкумок, расстояние остальных корпусов от 36 до 110 м (рис. 7).

В новом Генплане развития города Ессентуки до 2037 г. [12] обозначена стратегическая цель развития города-курорта мирового уровня, где, к нашему удивлению, водоохранных зон у р. Подкумок нет.

Помимо паводков в горных и предгорных районах, в летний период высока вероятность прохождения по руслам основных рек селеподобных паводков. В большинстве случаев они являются следствием проливных дождей и таянья снега и сопровождаются стремительным подъемом уровня воды в достаточно узких речных долинах. Так, в конце июня 2002 г. прошел редкой силы паводок, вызванный атмосферными осадками. В районе Кавминвод интенсивный дождь шел в течении 26 ч, выпало более

150 мм осадков. Уровень Подкумка в 2002 г. поднялся за 2 часа на 5 м.





Рисунки 7–8. **Строительство многокорпусового дома в санитарной зоне р. Подкумок**

Аномальный паводок на реках Кума, Подкумок и Бугунта вызвал катастрофическое затопление жилых районов в городах Минеральные Воды, Пятигорск, Ессентуки и Кисловодск, что привело к значительному ущербу и гибели людей. В Пятигорске было затоплено более 1500 домов. На рисунке 9 приведен фрагмент затопления русла р. Подкумок, именно в том месте, где сегодня располагается «замороженная» стройка многокорпусового дома.

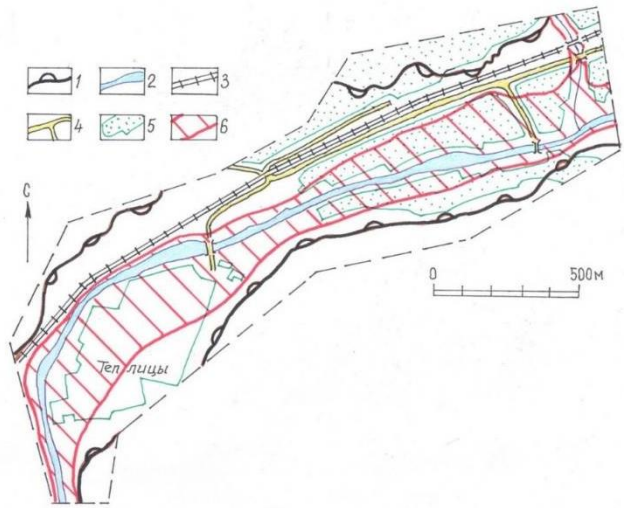


Рисунок 9. **Фрагмент карты участков затопления в долине р. Подкумок при паводках интенсивности 2002 года:**
1 – линия сочленения склона и террасированного днища долины; 2 – русло; 3 – железная дорога; 4 – автомобильные дороги с асфальтовым покрытием; 5 – населенные пункты; 6 – участки затопления

Государственная политика по защите населения, территорий и объектов народного хозяйства от наводнений должна строиться на следующих основных принципах:

1. территориально-бассейновый экосистемный подход;
2. комплексность осуществления мер и мероприятий;
3. объединение усилий органов законодательной, исполнительной власти, министерств, ведомств и заинтересованных организаций в реализации противопаводковых мероприятий.

Комплексная программа защиты от наводнений решает основные принципиальные вопросы:

- повышение стокорегулирующей роли водосборных территорий;
- обустройство русел и поймы рек;
- регламентирование хозяйственной деятельности на паводкоопасных территориях;
- разработка и принятие нормативных актов страхования физических и юридических лиц на паводкоопасных территориях;
- реализация комплекса инженерно-технических мероприятий.

Эффективное выполнение вышеперечисленных задач диктует необходимость решения проблемы наводнений программными методами.

ВЫВОДЫ

В целях рационального использования водных объектов, предотвращения их истощения, загрязнения и деградации необходимо повышение уровня научного сопровождения водопользования, разработка мер поддержки научно-исследовательских работ по использованию водных ресурсов, обеспечивающих, в том числе, надёжные прогнозы ожидаемой гидрологической ситуации.

С целью комплексного управления водными ресурсами, а также повышения качества выполняемых работ в рамках мероприятий по реабилитации водных объектов необходимо:

– при разработке Проектов по оздоровлению, восстановлению и реабилитации водных объектов руководствоваться бассейновым принципом управления;

– создать систему автоматизированного информационно открытого мониторинга водных объектов, затронутых водохозяйственной деятельностью;

– внедрить цифровые технологий, включая системы удаленного мониторинга и управления, что позволит эффективно реагировать на изменения в окружающей среде;

– обеспечить становление и развитие системы государственного комплексного мониторинга водных объектов, включая мониторинг донных отложений и водоохраной зоны;

– содействовать созданию и развитию охраняемых природных территорий вдоль малых рек, что способствует сохранению и наращиванию биоразнообразия;

– внедрить меры по очистке и реабилитации загрязненных водоемов через системы биологических очистных сооружений;

– проводить образовательную работу с населением по сохранению и улучшению состояния малых рек, в том числе через проведение экологических акций и мероприятий по благоустройству прибрежных зон.

внедрять экологически чистые технологии в производство и в бытовом хозяйстве;

– расчищать территории поймы и прибрежных участков реки от мусора и элементов разрушенных строительных конструкций;

– установить вдоль прибрежных зон и рекреационных площадок равномерно распределенные по территории мусорные баки;

благоустраивать прибрежные зоны, с элементами ландшафтного планирования;

– установить водоохранные знаки и плакаты с экологическими лозунгами и требованиями к отдыхающим.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ткачев Б.П., Булатов В.И. Малые реки: современное состояние и экологические проблемы. Аналит. обзор / ГПНТБ СО РАН. Новосибирск, 2002. 114 с.
2. Ресурсы поверхностных вод СССР. – Л.: Гидрометеоиздат, 1973. Т. 15. Вып.3. 423 с.
3. Алексеевский Н.И., Фролова Н.Л., Христофоров А.В. Мониторинг гидрологических процессов и повышение безопасности водопользования: монография. М.: МГУ. 2011. 367 с.
4. Курбанов С.О. Проблемы инженерной защиты и природоохранного обустройства прибрежных урбанизированных зон малых рек на юге России // Научный журнал КубГАУ, № 118(04). 2016.
5. Флоринский О.С., Носов А.К. Уникальным национальным природным богатствам КМВ необходима действенная государственная защита. Международное научное издание: «Современные фундаментальные и прикладные исследования», № 4 (7). 2012. – Кисловодск: Изд–во УЦ «МАГИСТР», 2012. С. 74–78.
6. Волосухин Я.В. Современное использование водных ресурсов в бассейне реки Подкумок // Изв. высш. учеб. заведений. Сев.–Кав. регион. Техн. науки. 2006. С. 86–89.
7. Волосухин Я.В. Исследование реки Подкумок с использованием бассейново-ландшафтной концепции // Материалы Междунар. науч.–практ. конф., т. 2. г. Новочеркасск, 2–3 февр. 2006 г. – Новочеркасск: ООО НПО «Темп», 2006. С. 21–25.
8. Иванкова Т.В., Фесенко Л.Н. Мониторинг и прогнозирование состояния сооружений в бассейнах малых рек юга России // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. № 4. С. 595–606.
9. Иванкова Т.В., Кочуров Б.И. Исследование водоохранных зон реки Подкумок города-курорта Ессентуки // В сборнике: Устойчивое развитие территорий. Сборник докладов V Международной научно-практической конференции. Москва, 2023. С. 239–246.
10. Иванкова Т.В., Фесенко Л.Н., Бандурин М.А. Обеспечение

экологической безопасности строительных объектов в бассейне малых рек // Строительство и техногенная безопасность. 2022. № 24 (76). С. 115–125.
11. Постановление Правительства РФ от 29 апреля 2016 г. № 377 «Об утверждении Правил определения местоположения береговой линии (границы водного объекта), случаев и периодичности ее определения и о внесении изменений в Правила установления на местности границ водоохранных зон и границ прибрежных защитных полос водных объектов» [электронный ресурс] (дата обращения: 27.02.2027 г.).
12. Генеральный план развития города Ессентуков до 2037 года. URL: http://adm-essentuki.ru/content/documents/osnovnoy_chertej_1532673834.jpg.

УДК 628.316.12

ОЧИСТКА ЛИВНЕВЫХ СТОЧНЫХ ВОД ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ АКТИВИРОВАННОГО УГЛЯ ИЗ КАМЕННОУГОЛЬНОГО СЫРЬЯ «ДОНАКВАСОРБ»

А.Ю. Черкесов, С.А. Щукин, Д.В. Каберская
ООО НПП «ЭКОФЕС», г. Новочеркасск, Россия
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени. М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия
Д.В. Тан-Бин
ООО «Аквамарин», г. Новочеркасск, Россия
Ю.В. Черкесова, Ю.С. Щукина
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия

В статье представлены результаты экспериментальных исследований по изучению сорбционных свойств активированного угля из каменноугольного сырья «ДонАкваСорб» по отношению к растворённым нефтепродуктам. Приведены результаты определения сорбционной ёмкости «ДонАкваСорб» по нефтепродуктам в статическом и динамическом режимах. Полученные результаты экспериментальных исследований показали, что не дефицитность исходного сырья – низкозольного антрацита и производство на его основе активированного угля марки «ДонАкваСорб» делает весьма перспективным применение технологий сорбционной обработки ливневых сточных вод селитебных территорий как с практической, так и с экономической точек зрения.

Поверхностный сток с селитебных территорий и площадок предприятий является одним из интенсивных источников загрязнения окружающей среды различными примесями природного и техногенного происхождения. Водным законодательством РФ запрещается сбрасывать в водные объекты неочищенные до установленных нормативов дождевые, талые и поливомоечные воды, образующиеся на селитебных территориях и

площадках предприятий [1].

Учитывая многообразие факторов, влияющих на формирование поверхностных сточных вод, характер и степень их загрязнения минеральными и органическими компонентами различного происхождения, в качестве приоритетных показателей, на которые следует ориентироваться при выборе технологической схемы очистки поверхностного стока с селитебных территорий, необходимыми и достаточными являются такие обобщённые показатели качества воды, как: содержание взвешенных веществ, нефтепродуктов и значение показателя ХПК, суммарно характеризующего присутствие легко- и трудноокисляемых органических соединений.

Снижение приведённых параметров в ливневом стоке на сегодняшний день может быть достигнуто с применением колодезных фильтров, специальных фильтрующих установок или локальных очистных сооружений, монтируемых на территории водосбора.

Одним из современных, эргономичных решений, позволяющих эффективно очищать ливневые сточные воды селитебных территорий являются фильтрационные установки ливневого стока (ФУЛС) компании ООО «ВТК» [2].

Очистка ливневых сточных вод на ФУЛС производится в самотёчном режиме без применения насосов, а сама установка выполнена в едином корпусе – колодце (рис. 1). Фильтрационное устройство ливневого стока, включает в себя корпус с сорозадерживающим устройством (1), закреплённым на подводящей трубе, камеру накопления осадка (отстойник) (2), расположенную в нижней части и соединённую с распределительной камерой (3), в которой установлены фильтрующие элементы (4). В верхней части расположена отводящая камера (5) с горловинами (7), переливным патрубком (6) и отводной трубой [2].

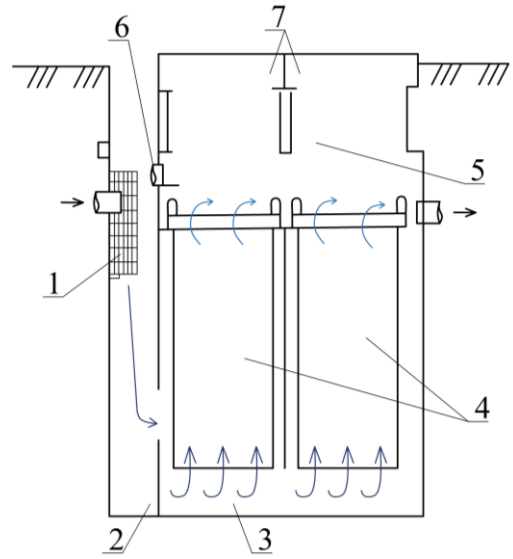


Рисунок 1. **Фильтрационная установка ливневого стока** (ФУЛС)

Для достижения наилучшего эффекта очистки ливневого стока селитебных территорий по показателям нефтепродуктов и ХПК в ФУЛС могут использоваться фильтрующие элементы с применением сорбентов природного происхождения, например, антрацит, древесные активированные угли, диатомитовые породы, торф, различные цеолиты [3], либо сорбенты искусственного происхождения, такие как ионообменные смолы, оксиды, сульфиды, ферроцианиды, синтетические алюмосиликаты и многие другие [4]. Сегодня, наибольшее распространение среди всех сорбентов, применяемых для очистки или доочистки ливневого стока, получили активированные угли на древесной основе, имеющие высокие сорбционные характеристики в отношении органических загрязнений различного рода [5].

Очистка ливневого стока с применением древесных активированных углей сопровождается с их периодической заменой или глубокой регенерацией, что влечёт за собой достаточно высокие экономические издержки, а использование других более дешёвых природных или синтетических сорбентов, как правило, не даёт того же результата.

Одним из возможных решений, позволяющих снизить стоимость применения сорбента при очистке ливневых сточных вод, является применение активированных углей на каменной основе [3, 6–7].

Наличие месторождений низкозольного антрацитового угля на территории России и в частности Ростовской области, а также экономическая целесообразность производства на его основе сорбента, делает весьма перспективной разработку технологий сорбционной обработки питьевых и сточных вод [6].

Так, в 2017 году применение активированного угля, полученного из антрацита, легло в основу решения дезодорации донской воды в летне-осенний период, когда в отдельные годы наблюдается земляной, затхлый запах воды. Проведённые исследования дезодорации воды [7] показали, что активированные угли, полученные из антрацита, обладают высокой сорбционной способностью к веществам, обуславливающим неприятный запах природной воды.

На основе многолетних исследований научно-производственного предприятия «ЭКОФЕС» был разработан и сертифицирован производственной компанией ООО «ЭКОФЕС-инжиниринг» активированный уголь из каменноугольного сырья «ДонАкваСорб» (далее ДАС), а также способ его получения, нашедший на сегодняшний день широкое применение в области дезодорации воды [8].

Выпускаемый сорбент ДАС имеет фракцию 1,0 – 3,0 мм и может использоваться как для приготовления порошкообразного реагента (сорбента), так и в качестве фильтрующего материала.

Для изучения возможности применения ДАС в фильтрационных установках ливневого стока (ФУЛС) по техническому заданию

ООО «Аквамарин» компанией ООО НПП «ЭКОФЕС» была выполнена научно-исследовательская работа, целью которой являлось определение технологических параметров эксплуатации фильтрующего материала «ДонАкваСорб» при очистке ливневых сточных вод в режиме одноступенного фильтрования.

Одним из ключевых показателей ливневых сточных вод, требующих доведение их до нормативных значений ПДК, является содержание нефтепродуктов.

Для определения сорбционной способности ДАС в отношении растворённых нефтепродуктов были проведены экспериментальные исследования в статическом и динамическом режимах сорбции.

Исследования сорбционной ёмкости в статических условиях выполняли в лабораторных условиях в химическом стакане с механическим перемешиванием исходной воды и навески ДАС. Для определения сорбционной ёмкости по нефтепродуктам в динамическом режиме была собрана лабораторная установка одноступенного фильтрования. Схема и фотография установки представлены на рисунке 2.

Лабораторная установка состоит из фильтровальной колонны (3), в нижней части корпуса которой установлена распределительная система в виде перфорированного дна и штуцер для подачи исходной воды, и воды, идущей на отмывку зернистого слоя. Корпус фильтровальной колонны был выполнен из прозрачной ПВХ трубы с внутренним диаметром 36 мм. Диаметр отверстий нижней дренажной распределительной системы в основании колонны (ложное днище) составлял 1 мм. Высоту слоя фильтрующей загрузки (4) в экспериментальных установках, соответственно в рассматриваемой задаче исследований, изменяли в интервале 0,8 – 1,4 м. По высоте загрузки в стенке колонны с шагом 100 мм предусмотрены пробоотборники (10). В верхней части фильтра установлен штуцер, предназначенный для отведения фильтрата и промывной воды. Подачу исходной воды на фильтр из ёмкости объёмом 60 $дм^3$ (1) осуществляли перильстатическим насосом марки ETATRON Type B 10-1 Sant с регулируемой подачей (2). Расход воды, идущей на очистку, контролировали объёмным методом. Полученный фильтрат отводили в бак-накопитель (5). Для постоянного гидровзмучивания исходной воды предусмотрен циркуляционный насос Pumpman TRS 25/4 (7) с подачей 50 $дм^3$/мин. Промывку фильтра осуществляли обратным током водопроводной водой (8). Расход воды на промывку контролировали ротаметром (9). Сбор и отвод промывочной воды выполняли через верхний переливной штуцер.

В качестве объекта исследований в лабораторных условиях использовали модельную воду. Моделирование ливневых сточных вод выполняли с учётом рекомендаций [1] и предварительной механической очисткой в зависимости от рассматриваемых задач.

В связи с разнообразием продуктов нефтехимии, широким диапазоном их физико-химических свойств (состав, плотность и др.) в качестве модельных систем, характеризующих совокупность больших групп индивидуальных углеводородов, были использованы товарные нефтепродукты – дизельное топливо и моторное масло.

В результате введения нефтепродуктов в воду образуется многокомпонентная система. Определить изменение концентрации каждого компонента водонефтяной системы неизвестного состава крайне сложно, возможна лишь оценка суммарного содержания углеводородов в воде [9].

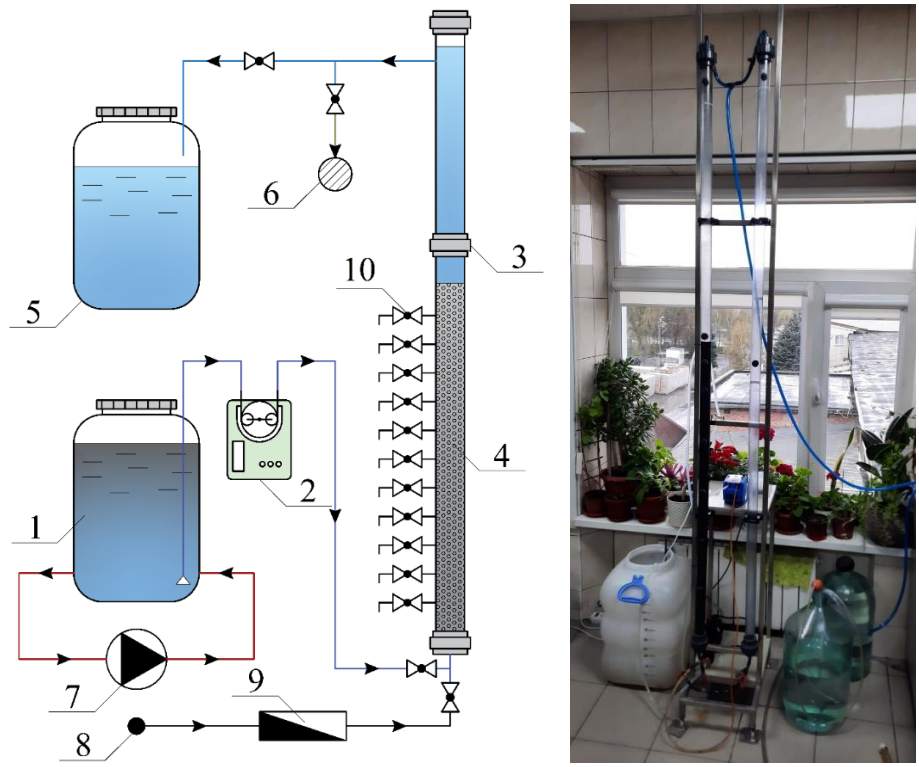


Рисунок 2. **Схема лабораторной установки одноступенного фильтрования:**
1 – бак исходной воды; 2 – насос подачи исходной воды; 3 – фильтровальная колонка; 4 – фильтрующий материал (сорбент ДАС); 5 – бак фильтрованной воды; 6 – сброс в канализацию; 7 – циркуляционный насос для гидровзмучивания; 8 – точка подключения к водопроводной сети; 9 – расходомер (ротаметр); 10 – пробоотборник

Водонефтяные эмульсии (дизельное топливо или моторное масло) готовили перемешиванием воды и нефтепродуктов с помощью высокооборотной механической мешалки, после чего всплывшие нефтепродукты отделяли. Модельные водные растворы с растворенными нефтепродуктами получали перемешиванием дизельного топлива с дистиллированной водой, с последующим отстаиванием и разделением водной и органической фаз [9].

Определение сорбционной ёмкости ДАС выполняли для растворенных в воде нефтепродуктов. Сорбция эмульгированных нефтепродуктов в данной серии экспериментов не изучалась.

Все исследования проводили с использованием только известных материалов и реагентов, допущенных к применению в практике кондиционирования природных и сточных вод и имеющих соответствующие сертификаты соответствия и санитарно-эпидемиологические заключения, на стандартно выпускаемой аппаратуре с применением известных государственных методик и стандартов.

Определение концентрации нефтепродуктов в растворах выполняли на анализаторе жидкости «Флюорат-02-5М» в соответствии с методикой ПНД Ф 14.1:2.4.128-98 (издание 2002 г) «Методика выполнения измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах природной, питьевой и сточной воды флуориметрическим методом на анализаторе жидкости «Флюорат-02-5М».

Одним из основных критериев оценки адсорбционных свойств загрузки является изотерма сорбции, определяющая зависимость сорбционной ёмкости сорбента от концентрации сорбируемого вещества в условиях равновесия.

Как известно, процесс сорбции может осуществляться в статических условиях, при которых частица жидкости не перемещается относительно сорбента. В соответствии с этим различают статическую и динамическую активность сорбента. Статическая активность сорбента характеризуется максимальным количеством вещества, поглощенного единицей объёма или массы сорбента к моменту достижения равновесия.

Для оценки свойств сорбента «ДонАкваСорб» в отношении нефтепродуктов были выполнены экспериментальные исследования в статических условиях.

Из концентрированного по нефтепродуктам раствора, путём разбавления готовили пробы с концентрацией по нефтепродуктам (НП) 50,0 (± 1,0) мг/дм^3 объёмом 500 мл каждая. После взвешивали и подготавливали к работе одинаковые навески предварительно отмытого в дистиллированной воде активного угля марки «ДонАкваСорб» массой 1 г, после чего к модельной воде добавляли навеску сорбента и ставили на перемешивание. Время контакта в эксперименте принимали 8 часов. После контакта отделяли очищенную воду от угля путём её фильтрования через бумажный фильтр «синяя лента».

Ёмкость сорбента (Γ) для всех проб рассчитывали по формуле:

$$\Gamma = \frac{\left(C_0 - C_{\text{равн.}}\right)\cdot V}{P}, \text{ мг/г}$$

где C_0 – начальная концентрация нефтепродуктов, мг/дм^3; $C_{\text{равн}}$– равновесная концентрация нефтепродуктов, мг/дм^3; V – объём раствора,

дм^3; P – навеска сорбента, г.

Результаты экспериментальных исследований в статических условиях представлены в таблице 1.

Таблица 1. **Изменение ёмкости сорбента во времени контакта**

№ п/п	Равновесная концентрация нефтепродуктов ($C_{равн.}$), мг/дм^3	Ёмкость сорбента (Г), мг/г		
		1 опыт	2 опыт	3 опыт
1	0	0	0	0
2	5	2,45	2,55	2,55
3	10	5,05	5,15	5,10
4	15	8,03	7,64	7,96
5	20	9,29	9,38	9,11
6	25	9,60	9,60	9,70

По полученным значениям ёмкости сорбента, при различных равновесных концентрациях нефтепродуктов была построена изотерма сорбции нефтепродуктов в воде для сорбента «ДонАкваСорб», представленная в виде графика на рисунке 3.

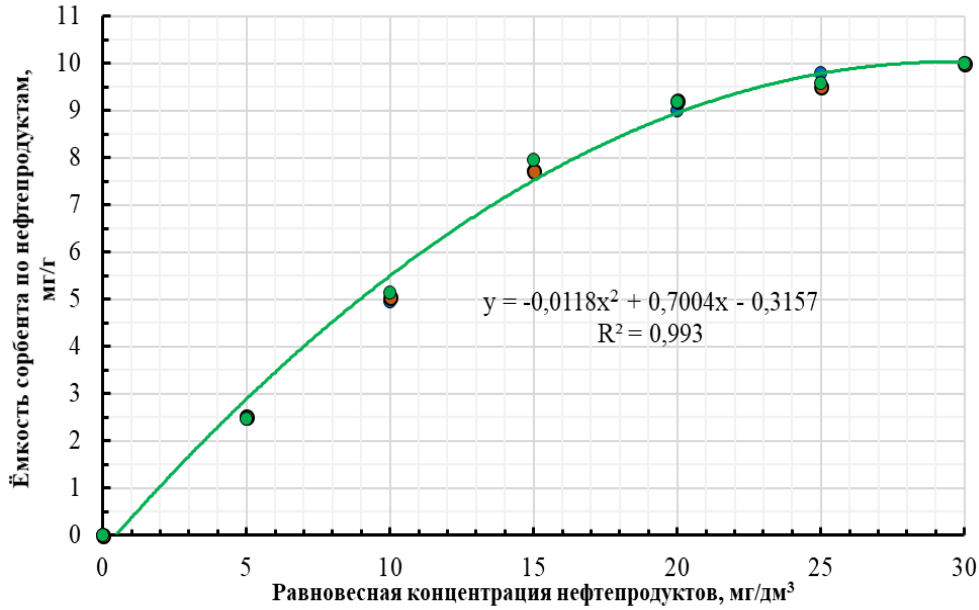


Рисунок 3. **Изотерма сорбции нефтепродуктов на активированном угле марки «ДонАкваСорб»**

Представленная на рисунке 3 изотерма сорбции растворенных нефтепродуктов на активном каменноугольном сорбенте «ДонАваСорб» может быть отнесена к I типу изотерм по классификации Брунауэра. Начальный выпуклый участок изотермы указывает на микропористую структуру сорбента и имеет форму изотермы Лэнгмюра [5].

Из полученных данных следует, что оптимальное время сорбции для

нефтепродуктов составляет от 300 минут. Максимальная сорбционная ёмкость «ДонАкваСорб» по отношению к нефтепродуктам составляет 20,1 мг/г при исходной концентрации нефтепродуктов 50,0 (±1,0) мг/дм^3.

Полученные данные при исследовании процесса сорбции растворённых нефтепродуктов активным углем марки «ДонАкваСорб» в статических условиях позволяют сделать вывод о возможности использования данного сорбента для доочистки ливневых сточных вод от нефтепродуктов.

На следующем этапе исследований была изучена сорбционная ёмкость ДАС в динамических условиях. В данном случае, важным показателем, влияющими на степень очистки воды от нефтепродуктов является скорость фильтрования. Скорость фильтрования в работах разных авторов сильно варьируется и зависит, как правило, от концентрации нефтепродуктов в очищаемой воде и от вида сорбента. Алюмосиликатные сорбенты, активированные угли, графит, шунгит, цеолит применяются при скоростях фильтрации до 5 м/ч, исходя из чего, при проведении лабораторных исследований рабочая скорость фильтрования была принята 5 м/ч. Концентрация нефтепродуктов в модельной воде составляла 25,0 (± 1,0) мг/дм^3.

Для получения информативных данных по механизму сорбции был использован метод сорбции нефтепродуктов в динамических условиях. Динамическую сорбционную ёмкость (ДОЕ*)* определяли по формуле:

$$\text{ДОЕ} = \frac{V_\text{г} \cdot C}{m}$$

где $V_\text{г}$ – объем чистого растворителя, вышедший из колонки от начала опыта до появления растворенного вещества, дм^3; C – равновесная концентрация раствора, мг/дм^3; m – навеска сорбента, г.

Высота сорбента в исследованиях была принята 1,4 м. Динамическая обменная ёмкость (ДОЕ) адсорбента определялась по «проскоку» адсорбируемого вещества на выходе раствора из колонки.

Результаты экспериментальных исследований по определению сорбционной ёмкости «ДонАкваСорб» по отношению к нефтепродуктам в динамических условиях представлены на рисунке 3.

По полученным данным было составлено уравнение полиномиальной регрессии следующего вида:

$$Z = a_0 + a_1 \cdot X + a_2 \cdot X^2 + a_3 \cdot X^3$$

Коэффициенты полиномиальной регрессии a_i вычисляли регрессионным анализом данных, полученных при проведении экспериментов.

Полученные уравнения регрессии представляют собой функцию, описывающую изменение остаточной концентрации нефтепродуктов в воде в течение фильтроцикла при заданной скорости фильтрования. После

интегрирования полученной полиномиальной функции, описывающей изменение концентрации нефтепродуктов в фильтрате, находили значение ёмкости сорбента при заданных условиях.

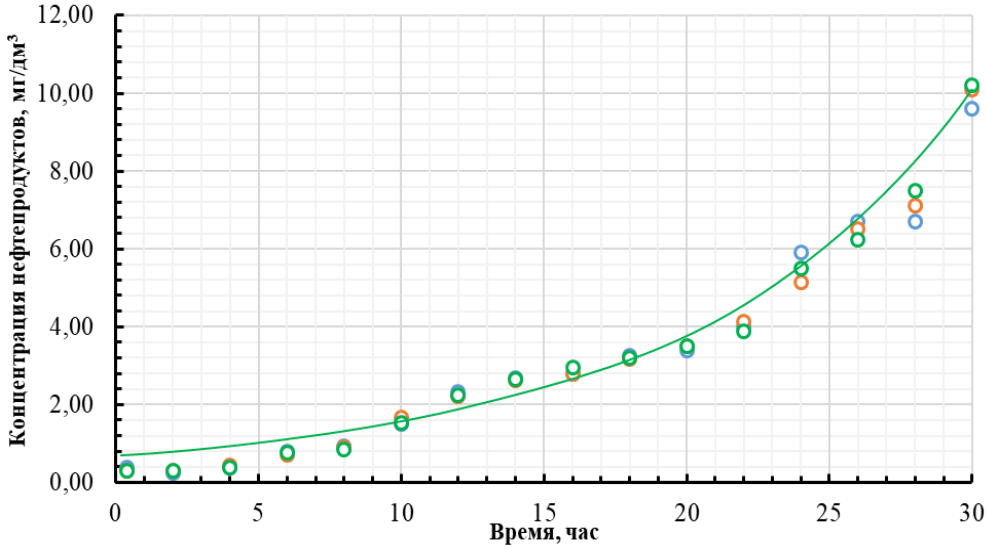


Рисунок 3. **Изменение остаточной концентрации нефтепродуктов в фильтрате в течение фильтроцикла**

Вычисления проводили с использованием компьютерной программы «Advanced Grapher». В результате проведённого регрессионного анализа были получены коэффициенты уравнений полиномиальной регрессии, приведённые в таблице 2.

Таблица 2. **Коэффициенты уравнений полиномиальной регрессии, характеризующих влияние скорости фильтрования раствора на продолжительность фильтроцикла**

Скорость фильтрования исходной воды, м/ч	Коэффициенты уравнений полиномиальной регрессии			
	a_0	a_1	a_2	a_3
5,0	3,704	-0,002	0,593	1,164

На основании полученных коэффициентов уравнений, описывающих изменение концентрации нефтепродуктов в фильтрате, были выполнены расчёты материального баланса системы: исходная вода–фильтрат–фильтрующий материал, и определены значения сорбционной ёмкости активированного угля по нефтепродуктам.

При этом значения баланса системы составили: $G_{вход}$ = 3750 мг; $G_{вых}$ = 491,71 мг; $G_{сорб}$ = 3258,29 мг.

Из полученных данных следует, что длительность фильтроцикла, позволяющая снижать нефтепродукты до норм приёма стока в хозяйственно-бытовую канализацию (10,0 мг/дм^3), составляет 30 часов. Таким образом рабочая ёмкость сорбента «ДонАкваСорб» составила E = 2,54 мг/г, в то время как объём пропущенного фильтрата равен 150 дм^3.

Результаты проведённых исследований по расчёту ёмкости сорбента являются прямым доказательством возможности применения угля марки «ДонАкваСорб» при очистке ливневых стоков от нефтепродуктов, в том числе в фильтрационных установках ливневого стока (ФУЛС) компании ООО «ВТК».

ВЫВОДЫ

Проведённые исследования по определению сорбционной ёмкости активированного угля из каменноугольного сырья «ДонАкваСорб» показали возможность его применения для очистки ливневых стоков от нефтепродуктов. Рабочая ёмкость сорбента «ДонАкваСорб» по растворённым нефтепродуктам составила $E = 2{,}54$ мг/г, что является высоким показателем, не уступающим активированным углям на древесной основе, имеющих ёмкость по растворённым нефтепродуктам лежащую в пределах 1,5 – 3,0 мг/г.

Таким образом, доступность исходного сырья – низкозольного антрацита, и производство на его основе активированного угля «ДонАкваСорб» делает весьма перспективным применение технологий сорбционной обработки ливневых сточных вод селитебных территорий как с практической, так и экономической точек зрения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рекомендации по расчёту систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты – Москва: ОАО «НИИ ВОДГЕО», 2014. 88 с.
2. Патент на полезную модель № 211187 U1 Российская Федерация, МПК E03F 5/14. фильтрационное устройство ливневого стока: № 2022104864: заявл. 24.02.2022: опубл. 25.05.2022 / И.В. Шкуренко, Д.В. Тан-Бин; заявитель общество с ограниченной ответственностью «ВТК».
3. Природные сорбенты и комплексоны в очистке сточных вод / Е.С. Климов, М.В. Бузаева. – Ульяновск: УлГТУ, 2011. 201 с.
4. Bayburdov, T. Shipovskaya, A.. (2018). Polymeric Sorbents for the Collection of Oil and Oil Products from the Surface of Reservoirs: a 2000–2017 Review of the Russian-language Literature (Part 3). Izvestiya of Saratov University. New Series. Series: Chemistry. Biology. Ecology. 18. 285-298. 10.18500/1816-9775-2018-18-3-285-298.
5. Смирнов А.Д. Сорбционная очистка воды. – Ленинград: Химия: Ленингр. отд-ние, 1982. 168 с.
6. Беспылевая технология приготовления угольной пульпы из активных антрацитов донбасского месторождения для дезодорации питьевой воды / С.Б. Сидаш, Л.Н. Фесенко, И.В. Пчельников [и др.] // Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2018»: материалы XI Межд. науч.-практ.

конф.; Красная Поляна, г. Сочи, 11–14 декабря 2018 г./Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т. (НПИ) имени М.И. Платова – Новочеркасск: «Лик», 2018. С. 100–106.
7. Фесенко Л.Н., Бессарабов С.Ю., Щукин С.А., Игнатенко С.И. Экспериментальные исследования дезодорации донской воды углеванием с применением активных антрацитов донбасского угольного бассейна // Технологии очистки воды: «Техновод-2017»: материалы X-юбилейной Межд. науч.-практ. конф., г. Астрахань, 5–6 октября 2017 г. / Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т. (НПИ) имени М.И. Платова – Новочеркасск: Лик, 2017. С. 54–61.
8. Патент № 2769520 C1 Российская Федерация, МПК C01B 32/312, B01J 20/30, C02F 1/28. Способ получения порошка активированного угля: № 2021105097: заявл. 25.02.2021: опубл. 01.04.2022 / И.Ю. Бринк, В.В. Горчаков, С.И. Игнатенко [и др.]; заявитель Общество с ограниченной ответственностью научно-производственное предприятие «ИНТОР», Общество с ограниченной ответственностью научно-производственное предприятие «ЭКОФЕС».
9. Дремичева Е.С. Механизм адсорбционной очистки сточных вод от эмульгированных нефтепродуктов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология, №. 3. 2022. С. 73–88.

УДК 628.2.332.659

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ И ВЕРОЯТНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗНОШЕННЫХ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ТРУБ

О.А. Продоус
Независимый эксперт по водоснабжению и канализации,
г. Санкт-Петербург, Россия
Д.И. Шлычков
НИУ МГСУ, г. Москва, Россия

До настоящего времени не решен вопрос влияния гидравлических характеристик изношенных самотечных канализационных сетей с отложениями в их лотковой части на показатели надежности и бесперебойности отведения бытовых сточных вод на очистные сооружения. Не установлена зависимость показателей надежности от значений фактической толщины слоя осадка в трубах, изменяющей степень их наполнения, фактическую скорость потока сточной жидкости и, как следствие, надежности и бесперебойности водоотведения.

Для достижения обозначенных целей необходимо ввести следующие понятия:

- *показатель надежности канализационной сети* – это удельное количество аварий и засоров в расчете на протяженность канализационной сети в год [12];
- *приведенный диаметр труб* канализационной сети с осадком в лотковой части. Характеризует диаметр фактического пространства между поверхностью слоя осадка $h_ф$ и верхней кромкой поверхности уровня сточной жидкости $H_ф$ движущейся над слоем осадка $h_ф$. Определяется по формуле (1) [3]:

$$d_{пр} = \sqrt{d_{вн}^2 - \left(d_{вн} - h\right)^2}\ , м \qquad (1)$$

где: $d_{пр}$ – приведенный диаметр труб с осадком в лотковой части, м; $d_{вн}$ – внутренний диаметр трубы по ГОСТ, м; h – толщина слоя осадка, м.

Характеристики самотечного потока сточной жидкости представлены на рисунке.

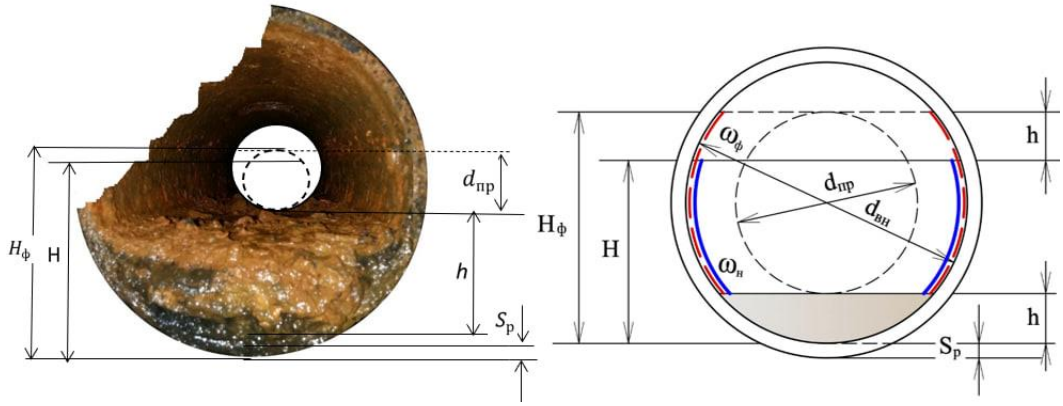


Рисунок. **Характеристики самотечного потока сточной жидкости:**
H – нормативный уровень наполнения новых труб по СП 32.13330-2018, м;
$H_ф$ – фактический уровень наполнения труб с осадком в лотковой части, м;
$\omega_н$ – площадь смоченного периметра внутренней поверхности труб с нормативным уровнем наполнения H, м^2; $\omega_ф$ – фактическая площадь смоченного периметра труб с осадком при наполнении $H_ф$, м^2;
$S_р$ – толщина стенки трубы по ГОСТ для конкретного вида материала, м

- *приведенная скорость потока* сточной жидкости $V_{пр}$, зависящая от значения приведенного диаметра труб $d_{пр}$. Определяется по формуле (2) [3]:

$$V_{пр} = \frac{4 \cdot q}{\pi \cdot d_{пр}^2}\ , м/с \qquad (2)$$

где q – транспортируемый расход сточной жидкости, м^3/с; $d_{пр}$ – приведенный диаметр труб с осадком, определяемый по формуле (1), м.

- *приведенный гидравлический уклон труб с осадком в лотковой части, мм/м.* Определяется по формуле А. Шези (1769 г.), уточненной Продоусом О.А. и Шлычковым Д.И. в 2020 году [3, 7], имеющей вид:

$$i_{\text{пр}} = \frac{4 \cdot V_{\text{пр}}^2}{C_{\text{пр}}^2 \cdot d_{\text{пр}}} \quad (3)$$

где $V_{\text{пр}}$ – приведенная скорость в трубе с осадком потока сточной жидкости, м/с (формула (2)); $d_{\text{пр}}$ – приведенный диаметр трубы с осадком в лотковой части, м (формула (1)), м; $C_{\text{пр}}$ – приведенный коэффициент А. Шези для труб с наполнением $H_{\text{ф}}$ определяется по формуле [3]:

$$C_{np} = \frac{R_{np}^{1/6}}{n} \quad (4)$$

где $R_{np} = \frac{d_{np}}{4}$ – приведенный гидравлический радиус трубы, м; n – коэффициент шероховатости труб.

Для практических расчетов принимают значения n в диапазоне [4, 7]:

$$n = 0{,}012 \div 0{,}014.$$

Результаты:

В процессе эксплуатации самотечных канализационных сетей с внутренними отложениями имеет место влияние на поток ряда случайных факторов, дестабилизирующих его надежность – плавающие загрязнения (бумага, ветки деревьев, механические взвеси и др.), когда сети становятся на подпор до уровня их полного наполнения, работающих полным сечением, при котором сети не способны выполнять свою основную функцию – отведение сточных вод на очистные сооружения. Надежность работы сети в таких условиях резко падает за счет наличия слоя осадка (засора) в трубах, характеризуемого *отказом самотечной сети канализации*. Под отказом следует понимать ситуацию, возникающую при наличии слоя отложений в самотечных трубах, приводящую к изливу неочищенных сточных вод на поверхность.

В работе [2] предложено время t между двумя последующими отказами (засорами), характеризовать *плотностью распределения вероятности функции f(t),* который при статистической обработке данных об отказах, определяется интенсивностью отказов (засоров) λ, зависящей от времени, то есть $\lambda = f(t)$:

$$\int_t^{\infty} f(t)\,dt = exp\int - \int_0^t \lambda(t)\,dt \quad (5)$$

где λ – интенсивность отказов (засоров) – 1 р/год, мм; t – среднее время работы сети между отказами (засорами) – наработка на отказ, год.

Для вычисления значения интенсивности отказов λ используется зависимость:

$$\lambda(t) = \frac{\sum n_t(t)}{\sum l \cdot t}, \quad (6)$$

где λ – интенсивность отказов (засоров) – 1 р/год, мм; n_i – количество отказов (засоров) в сети определенного диаметра за период наблюдения t,

шт.; l – длина участка сети, м.

С учетом изложенного, функция надежности участка сети с внутренними отложениями определяется из выражения:

$$p(t) = \int_t^{\infty} f(\mathrm{t})\,dt \qquad (7)$$

Представляет практический интерес взаимосвязь функции (7) надежности сети $p(t)$ с гидравлическими характеристиками сети с отложениями: $d_{\text{пр}}$, $V_{\text{пр}}$, $i_{\text{пр}}$ (формулы 1–4), т.е. зависит ли функция надежности сети с осадком в лотковой части $p(t)$ от значений гидравлических характеристик сети $d_{\text{пр}}$, $V_{\text{пр}}$, $i_{\text{пр}}$

$$p(t) = f\left(\mathrm{d}_{\text{пр}}, V_{\text{пр}}, i_{\text{пр}}\right) \qquad (8)$$

Ответ на этот вопрос можно получить только на основании проведения специальных научных исследований на самотечных канализационных сетях разного диаметра и с разной толщиной фактического слоя осадка в трубах $h_{\text{ф}}$.

В результате проведения таких исследований будет выведен вид формулы (8) и подтверждено (или отвергнуто) экспертное мнение специалистов о продолжительности периода остаточной эксплуатации канализационных сетей с внутренними отложениями [5–6].

ЛИТЕРАТУРА

1. Дикаревский В.С., Продоус О.А. О надежности работы канализационных сетей // Сборник «Наука и техника» в городском хозяйстве», вып. XXXV. Киев: Изд-во «Будівельник», 1977. С. 98–100.
2. Примин О.Г. Надежность систем водоснабжения и водоотведения. Учебное пособие. Изд-во МИСИ-МГСУ, 2021. 68 с.
3. Продоус О.А., Шлычков Д.И. Гидравлический расчет сетей водоотведения с внутренними отложениями. Монография: Изд-во НИУ МГСУ. 2022. 120 с.
4. Чупин Р.В. Оптимизация развивающихся систем водоотведения. Монография. Изд-во Иркутского государственного технического университета. 2015. 418 с.
5. Продоус О.А., Шлычков Д.И. Прогнозирование возможности эксплуатации самотечных сетей водоотведения с отложениями в лотковой части труб // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. Иркутск. 2021. Т.11. Вып. 4. С. 64–653.
6. Продоус О.А. Терехов Л.Д. Якубчик П.П. Черных А.С. Техническое регулирование значений гидравлических параметров неновых металлических труб для продления периода их использования // Известия Петербургского университета путей сообщения. СПб.: ПГУПС, 2021. Т.18. Вып. 3. С. 421–427.
7. Продоус О.А., Малышева А.А., Абросимова И.А., Челоненко А.Г. Особенности гидравлического расчета самотечных сетей водоотведения

с внутренними отложениями // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного института. 2022. Т. 24, № 3. С. 173–179.

УДК 504.062.4

МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЭКОЛОГИЧЕСКОМУ ОЗДОРОВЛЕНИЮ ОЗЕРА АБРАУ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ

Д.В. Кашарин, Ю.А. Гаврилина
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия

Произведен анализ причин негативного воздействия на озеро Абрау, рассматриваются мероприятия по экологическому оздоровлению озера, рассмотрены проектные решения по расчистке от донных отложений, предложены мероприятия по уменьшению воздействий.

Озеро Абрау, являющееся памятником природы регионального значения, нуждается в экологическом оздоровлении, что связано с ухудшением состояния водного объекта под влиянием антропогенного воздействия на территории водосбора и гидрографической сети [1–2]. Оно относится к типу конечных (устьевых) пресных бессточных озер с площадью водосбора 20,83 км^2 сейсмо-гравитационного происхождения, связанным с перекрытием долины р. Абрау. Распределение водосборной площади, с которой озеро получает поверхностное и подземное питание, представлено на рисунке 1.

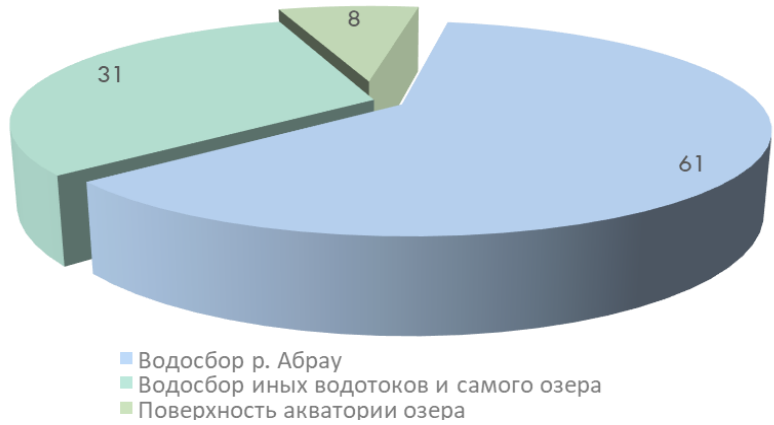


Рисунок 1. **Распределение в процентах водосборной площади реки и озера Абрау**

Ихтиофауна озера изменена и насчитывает 15 видов: западнозакавказский пескарь, обыкновенный пескарь, южная быстрянка, тарань, краснопёрка, обыкновенная уклея, верховка, карп (Cyprinus carpio), серебряный карась, обыкновенный ёрш, трехиглая колюшка, абрауская тюлька, белый амур, белый и пёстрый толстолобики. Из них только 3 вида

– красноперка, карп и абраусская тюлька (являющаяся эндемичным видом, внесенным в Красную книгу) относятся к местным видам (рис. 1) [1–3].

На территории водосбора озера расположены с. Абрау-Дюрсо, виноградники и производство ПАО «Абрау-Дюрсо (рис. 2).



Рисунок 2. **Территория водосбора озера Абрау**

Озеро служит единственным источником промышленного, сельскохозяйственного и хозяйственно - питьевого водоснабжения поселка, а его прибрежная зона используется в рекреационных целях.

Антропогенная деятельность в бассейне озера Абрау связана с сельскохозяйственным использованием территории водосбора, поступлением загрязненного стока и наносов с территории водосбора.

Если в естественных условиях по исследованиям Ефремова Ю.В. аккумуляция донных отложений была незначительна 1 – 3 мм в год, то начавшееся с 1872 года разведение виноградников на территории водосбора озера, привело к усилению эрозии прибрежных склонов гор, увеличению твёрдого стока, а также увеличило скорость накопления донных отложений. В прошлом веке данная проблема усугубилась поступлением загрязняющих веществ при использовании удобрений и пестицидов на сельскохозяйственных угодьях.

Одновременно при расширении поселка Абрау-Дюрсо и других населённых пунктов по руслам речек, впадающих в озеро, производились вырубки леса, значительные площади которого заменялись террасными посадками сосны крымской. Начиная с 50-60 годов, в озере происходила интенсивная аккумуляция загрязненных донных отложений, что повлияло на уменьшение популяция раков – главного индикатора экологического состояния водоема.

Первым мероприятием, проведенным совхозом «Абрау-Дюрсо», было покрытие бетонной облицовкой откосов восточной части озера в местах образования эрозии и интенсивного поступления наносов в акваторию озера и возведение дамбы с водопропускным сооружением, которая, с одной стороны, сократила поступление наносов, но с другой – уменьшила пропускную способность русла, что вызвало образование

барового выноса в устьевой части. Баровый вынос со временем преобразовался в остров, который препятствует водообмену реки и озера Абрау в меженный период (рис. 3).

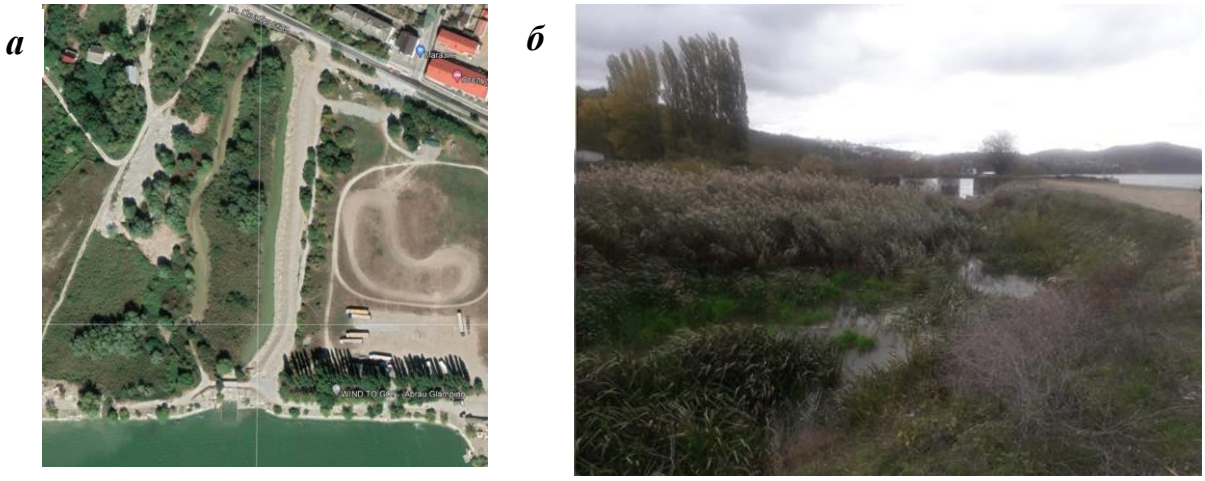


Рисунок 3. **Остров в устьевой части р. Абрау**:
а – вид сверху; *б* – со стороны устьевой части реки на озеро Абрау

Вторым мероприятием являлось сокращение площади виноградников совхоза Абрау-Дюрсо непосредственно на склоновых участках с высадкой древесных насаждений, что уменьшило поступление загрязненных сбросов. В настоящее время общая площадь виноградников составляет около 200 га.

В 1979 году озеро Абрау стало памятником природы комплексного профиля научно-рекреационного значения по решению Новороссийского городского исполнительного комитета от 26.06.1979 г. № 328 и затем Краснодарского краевого исполнительного комитета № 326 от 14.07.1988 г.. Создание особо охраняемых природных территорий (ООПТ) значительно ограничивало хозяйственную деятельность, как в самой акватории, так и вокруг водоема, что привело в 80-х годах к улучшение качественного состава озера.

Однако, в настоящее время за счет интенсивной застройки и хозяйственной деятельности на территории водосбора обстановка снова ухудшилась. Это проявилось в поступлении неочищенных сточных вод, а также загрязненного ливневого стока от населенных мест, интенсивно развивающихся объектов инфраструктуры, сельскохозяйственных угодий, что подтверждалось анализом проб, которые брались в местах сброса ливневых вод с прилегающих территорий и завода шампанских вин ПАО «Абрау-Дюрсо» и сброса технологического дренажа с тоннелей завода шампанских вин, а также – в районе прибрежных территорий, где ведется частное строительство и на территории водосбора р. Абрау [3].

В середине прошлого века производилась расчистка северной части акватории озера от донных отложений, но в конце прошлого века данные

работы не финансировались и были прекращены.

В 2022 году в соответствии с государственным контрактом № 47 от 19.10.2022 с министерством Краснодарского Края и ООО «Проектный институт территориального развития» на разработку проектной документации по мероприятию: «Расчистка устьевой части реки Абрау и северной части озера Абрау» при нашем непосредственном участии были проведены 4 вида инженерно-изыскательских и проектных работ, в ходе которых были определены характеристики грунтов, необходимые к изъятию, а также объемы донных отложений и технологии производства работ [6]. Изыскательские работы проводились в устьевой части р. Абрау и северной части озера (рис. 4).

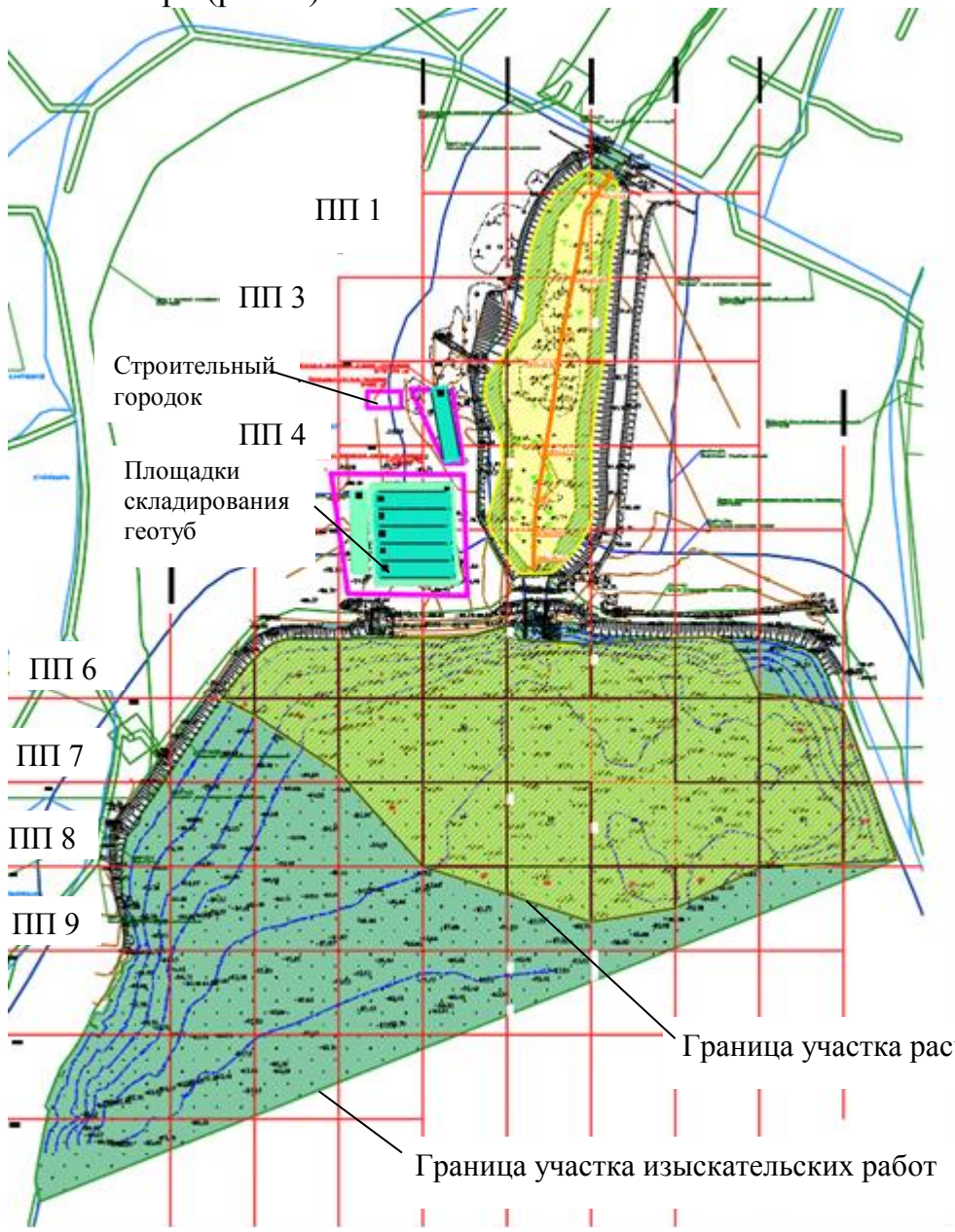


Рисунок 4. **План участка работ и зон расчистки Северной части озера Абрау**

По результатам инженерно-геологических изысканий в устьевой части р. Абрау и озере грунты представлены 4 комплексами: техногенными образованиями (tQIV), голоценовыми аллювиальными (aQIV) отложениями, голоценовыми делювиально-пролювиальными (dpQIV) отложениями. Современные техногенные образования (tQIV) – насыпные грунты, суглинки (слой 1) – твердые, влажные, неоднородные, бурые, темно-бурые, с корешками растений, в кровле задернованные, с включением дресвы, щебня и мергеля. Техногенными грунтами сформированы берега озера, а также дамба с водопропускным сооружением

Голоценовые аллювиальные (aQIV) отложения представлены (ИГЭ-3): суглинками черно-синими, иловатыми, текучепластичными с корешками растений, мощностью 0,4 – 0,7 м, залегающими в акватории озера Абрау и русле реки Абрау на грунтах ИГЭ-3.

Голоценовые делювиально-пролювиальные (dpQIV) отложения распространены повсеместно и представлены: суглинками (ИГЭ-2) – бурыми, коричневато-бурыми, твердыми, водонасыщенными, дресвяными, с единичными включениями щебня и мергеля. Мощность отложений составляет 1,0 ÷ 2,0 м. Грунты с поверхности перекрыты техногенными грунтами; суглинками (ИГЭ-3) бурыми, коричневато-бурыми, тугопластичными, водонасыщенными, дресвяными, с единичными включениями щебня и мергеля. Вскрытая мощность отложений составляет 2,3 ÷ 3,0 м. Эти грунты залегают под грунтами ИГЭ-1, 2. Под водой в кровле до глубины 0,4 м суглинки иловатые от текучепластичного в кровле слоя до мягкопластичной консистенции в подошве слоя.

Разрезы по репрезентативным поперечным профилям представлены на рисунках 4–5.

В соответствии с результатами изыскательских работ, в том числе инженерно-метеорологических, было проведено расчетное обоснование необходимого для пропуска рекультивационного расхода 10 % обеспеченности равного 9,5 $м^3/с$ поперечное сечение русла р. Абрау (табл. 1).

В соответствии с параметрами поперечного сечения и отметками дна коренного русла, определены необходимые объемы расчистки от донных отложений в устьевой части р. Абрау в объеме 8000 $м^3$ с помощью средств механизации.

Таблица 1. **Расходы воды р. Абрау для периода летних паводков**

Площадь водосбора ($км^2$)	Параметры стока			Характеристика стока	Годовой сток обеспеченностью, Р %					
	Qo, $м^3/с$	Cv	Cs		0,5	1	3	5	10	50
51,9	3,75	1,27	2,57	Q($м^3/с$)	26,0	22,1	16,3	13,3	9,50	3,75

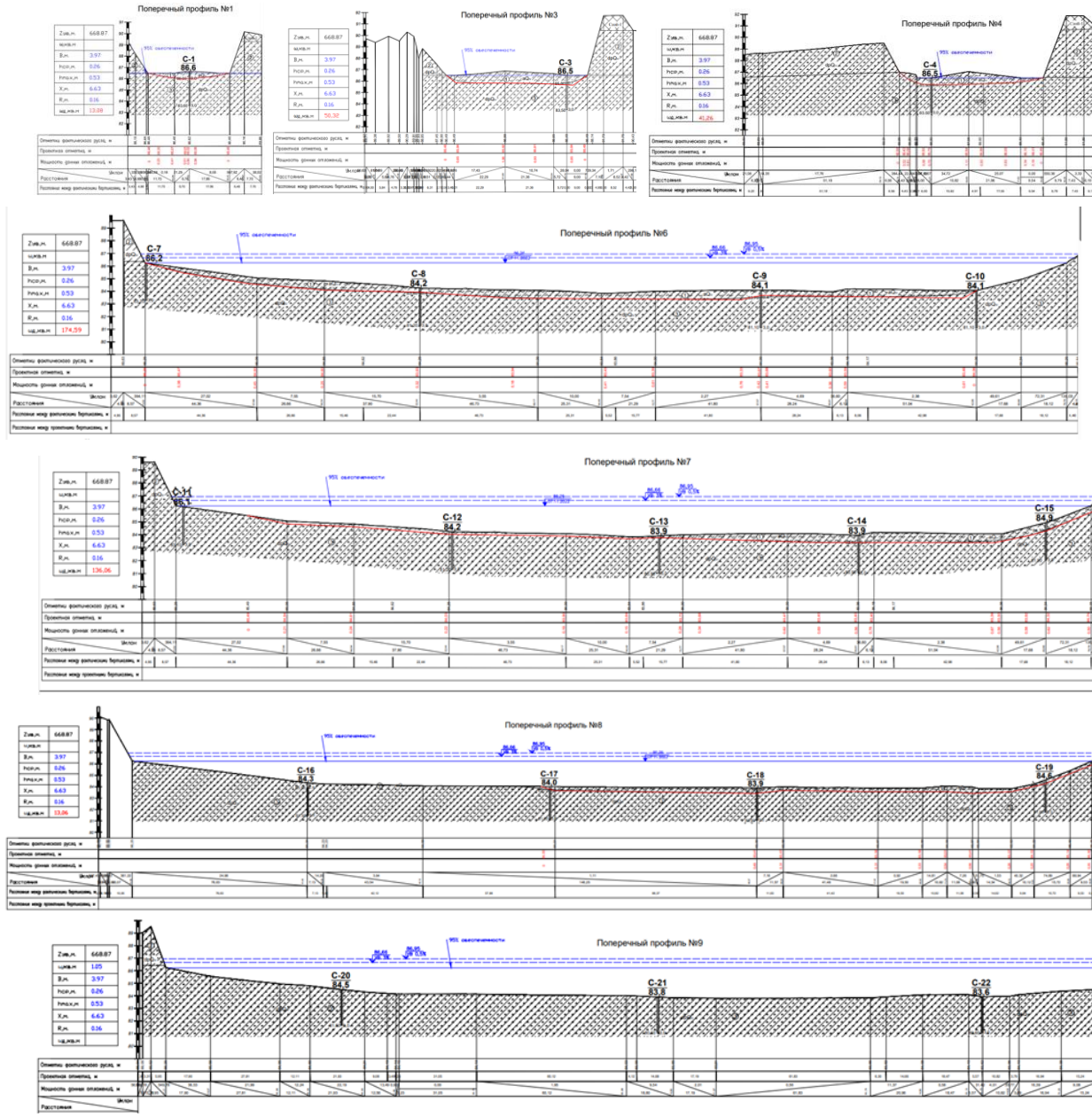


Рисунок 5. **Поперечные профили по устьевой части р. Абрау и северной части озера Абрау**

Предусмотрен вывоз донных отложений на расстояние до 8 км с последующим складированием на постоянной площадке. Для расчистки акватории озера Абрау от донных отложений в объеме 13 073,4943 м^3 наиболее оптимальным является гидромеханический способ – с помощью землесосного земснаряда.

Проведенные мероприятия обеспечивают увеличение водности озера Абрау, снижение объема донных отложений и интенсификацию поступления подземного стока. Дальнейшим улучшением должны стать мероприятия по оздоровлению экологического состояния самой р. Абрау с учетом предусмотренного мониторинга ее экологического состояния.

В соответствии с предоставленными площадками складирования донных отложений, рассматривались варианты складирования в карты намыва и геотубы. В связи со стесненностью площади складирования и необходимостью проведения работ до 2 лет (рис. 6) принято решение складирования донных отложений с применением геотуб. Предусматривается подготовка и планирование площадок с двухслойной раскладкой геотуб и параметрами обваловки, представленными на рисунках 4, 6.

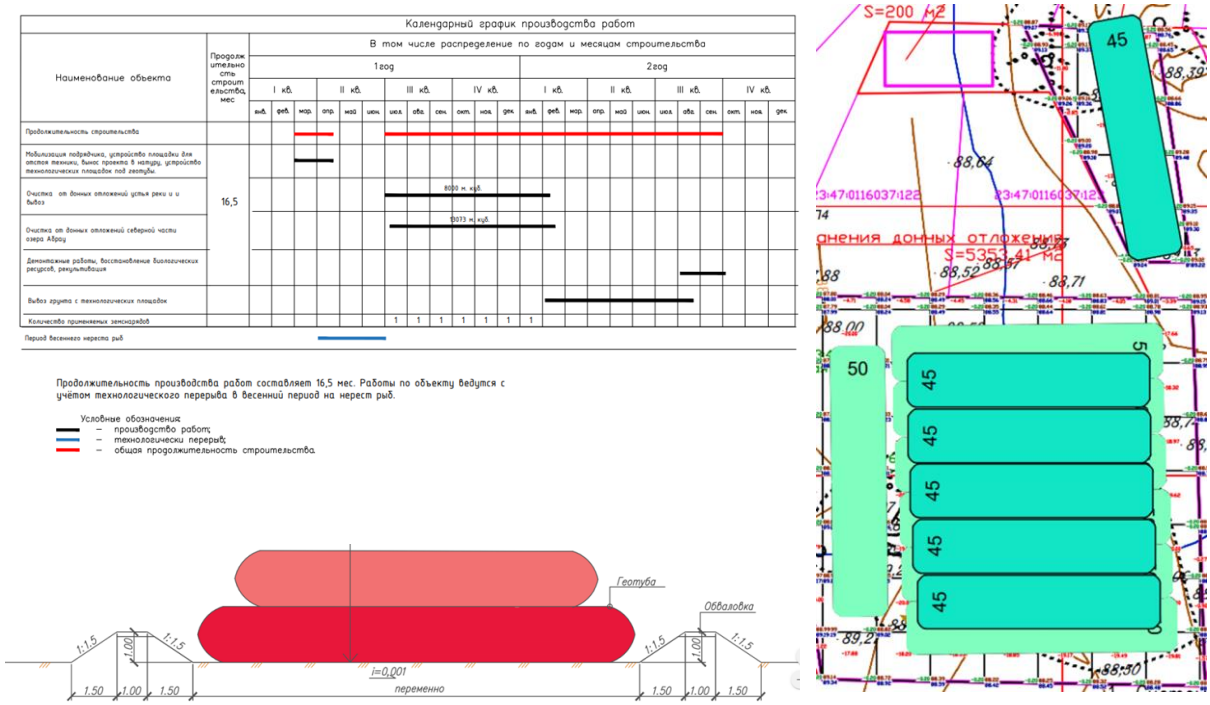


Рисунок 6. **Площадки размещения геотуб и календарный график проведения работ**

Площадки складирования имеют обвалование, представленное на рисунке 6, которое обеспечивает организованное поступление осветленного стока в р. Абрау. Характеристика и количество геотуб представлена в таблице 2.

Таблица 2. **Раскладка, характеристика и количество геотуб**

№ пл.	Площадь, м^2	Периметр, м	Миатуба®ОВ-105ПП		Объём хранения, м^3
			L50000/P24000-4ВЦ1000/250-24ПЛ	L45000/P24000-4ВЦ1000/250-24ПЛ	
1	5344,11	293,44	7	5	1219
2	763,49	127,27	–	1	950
Итого		6107,6	305,71	1196	13080

Для достижения максимальной эффективности производства средствами гидромеханизации, работа по расчистке участков реки осуществляется траншейным способом сериями сверху вниз.

По проведенным инженерно-экологическим изысканиям и в соответствии с гл. 4 приказа МПР РФ № 536 от 04.12. 2014 г. «Критерии отнесения отходов к I–V классам опасности по степени негативного воздействия на окружающую среду», складируемые донные отложения надо отнести к V классу опасности для окружающей природной среды и использовать их в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 24.09.2020 № 1543. Донные отложения будут использованы для муниципальных нужд и на сельхозугодьях.

К заключительным работам относятся работы по: демонтажу вспомогательных сооружений; разравнивание территории площадки при проведении технической рекультивации (восстановление почвенно-растительного слоя) земель на месте строительного городка и площадок геотуб; биологическая рекультивация, связанная с посевом трав. В производстве данных видов работ участвуют бульдозер и экскаватор-погрузчик.

Данные проектные решения получили положительное решение государственной экспертизы и заключение Азово-Черноморского территориального управления с учетом компенсации вреда биологическим ресурсам.

Проблема озера должна решаться комплексно. Наряду с расчисткой от донных отложений необходимо обеспечить регулирование и очистку стока поступающего в водный объект в рамках нового федерального проекта по экологическому оздоровлению водных объектов России на перспективу 2025 – 2030 года.

Необходимо отметить, что на нескольких заседаниях по видеоконференцсвязи (ВКС) при участии автора статьи, администрации завода ПАО «Абрау-Дюрсо» и заместителя директора по науке Института исследований континентальных водных объектов РГГМУ – доктора географических наук РФ Позднякова и профессора доктора технических наук Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого - Н.А. Политаевой обсуждались пути оздоровления озера Абрау.

Ранее под руководством ученых из г. Санкт Петербурга в 2023 году был проведен мониторинг северной, южной и центральной частей озера и отобраны пробы в поверхностном и придонном слоях донных отложений, проведен их анализ. При анализе этих данных был сделан вывод о том, что наиболее значительный вклад привносит р. Абрау. Одной из альтернатив было предложено создание биоплато, в том числе в устьевой части озера Абрау, способствующего повышению самоочищающей способности водного объекта.

Однако данное мероприятие может носить только вспомогательный

характер, так как антропогенная нагрузка на территории водосбора озера и р. Абрау будет увеличиваться, на биоплато будут образовываться вторичные загрязнения, справиться с которыми оно будет не в состоянии. Кроме того наличие биоплато в устьевой части р. Абрау приводит к ухудшению водообмена между рекой и озером Абрау в меженный период.

С 5 сентября 2023 года, на Восточном экономическом форуме между АО «Корпорация Туризм.РФ» и ПАО «Абрау-Дюрсо» был заключен корпоративный договор и предусмотрена реализация инвестиционного проекта «Туристический кластер Абрау-Дюрсо» в Краснодарском крае. Проект будет включать в себя комплексное развитие Абрау-Дюрсо и близлежащих территорий, обеспечивающее увеличение туристического потока до 1 млн. человек к 2029 году.

Так как до настоящего времени территория водосбора р. Абрау находится в неудовлетворительном состоянии, в большинстве своем сооружения по очистке ливневых и сточных вод берега подвержены воздействию эрозионных процессов, предлагается решить следующие задачи:

I. Проведение мониторинга водных объектов, включающего:

- мониторинг озера Абрау и р. Абрау;
- мониторинг территории водосбора водных объектов;
- оперативный мониторинг сточных вод.

II. Анализ результатов мониторинга, содержащего:

- выявление основных факторов, влияющих на водный баланс озера и качественный состав воды;
- определение основных источников поступления твердого стока и загрязняющих веществ с территории водосбора в озеро Абрау;
- разработку рекомендации для систем водоотведения и очистным сооружениям на территории водосбора р. Абрау и озера Абрау.

III. Разработка ТЭО вариантов и проектно-сметной документации:

- ТЭО проведения работ по экологической реабилитации территории озера, водного объекта и площади водосбора;
- ТЭО создание противоэрозионных и берегоукрепительных сооружений на территории водосбора и р. Абрау;
- ТЭО реконструкция сооружений по регулированию поверхностного и подземного стока, в том числе очистных сооружений;
- проведение проектно-изыскательских работ по вариантам, выбранным при разработке ТЭО.
- IV. Осуществление мероприятий по экологическому оздоровлению озера Абрау:

- мероприятия по оздоровлению акватории озера и р. Абрау;
- мероприятия по снижению поступления загрязнённого поверхностного и подземного стока с территории водосбора;
- строительство и реконструкция регулирующих и очистных сооружений ливневого стока и хозяйственно-бытовой канализации

ВЫВОДЫ

1. К основным причинам ухудшения экологического состояния озера Абрау относятся:
   - снижение уровней озера воды в меженный период, вызванное ограничением территории водосбора и уменьшением приточности р. Абрау; увеличение площади водонепроницаемых покрытий и сокращение инфильтрации ведет к кратковременному; увеличению поверхностного стока и уменьшению подземного стока;
   - заиление озера Абрау, вызванное увеличением интенсивности поступления твердого стока за счет интенсивности эрозионных процессов, в том числе на территории водосбора р. Абрау, отсутствием достаточного количества систем водоотведения, берегоукрепительных сооружений на водотоках;
   - зарастание и загрязнение озера Абрау, вызванное поступлением хозяйственно-бытовых сточных вод и загрязненного ливневого стока в озеро Абрау, аккумулированием загрязненных веществ в озере;
   - увеличение температуры воды за счет зон мелководий; возникновением начальных стадий эвтрофикации в мелководных зонах.
2. Необходимо осуществить следующие мероприятия по оздоровлению озера Абрау:
   - увеличение водности озера Абрауза счет обеспечения перевода поверхностного стока на территории водосбора в подземный путем применения направляющих, поглощающих, накопительных сооружений; применение водопоглощающих покрытий на территории водосбора: дождевые сады, биодренажные канавы, проницаемые дорожные покрытия, водопроницаемые газоны.
   - снижение поступления твёрдого стока за счет противоэрозионных и берегоукрепительных работ в русле р. Абрау и временных водотоках с применением габионных и грунтоармированных конструкций; устройство и эксплуатация наносоперехватывающих сооружений в виде донных порогов;
   - создание систем отвода поверхностного стока с разделением на условно чистый и загрязненный сток.
3 Снижение уровня загрязнения озера Абрау:

- строительство водоотводящих систем с локальными очистными сооружениями, обеспечивающими очистку ливневых и хозяйственно-бытовых сточных вод.
- мероприятия на селитебных территориях и сельскохозяйственных угодьях, препятствующих поступлению твердого стока с территории водосбора;
- ликвидация зон мелководий при проведении расчистки обваловки мелководных участков водопроницаемыми фильтрующими конструкциями с применением габионов и каменной наброски;
- удаление и уборка избыточной водной растительности

ЛИТЕРАТУРА

1. Ефремов, Ю.В. Горные озера Западного Кавказа. – Л.: Гидрометеоиздат, 1984.
2. Паспорт национального проекта «Экология» утвержденный протоколом президиума Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам от 24.12.2018 № 16.
3. Звянец, А.О. Анализ санитарно-гигиенического состояния озера Абрау Краснодарского края с целью негативного влияния на водную экосистему [Текст] // А.О. Звянец, О.В. Горбунов, Е.Н. Конышева // Международный научный журнал «Символ науки» №7(2016)/.
4. Отчёт «Комплексное экологическое обследование особо охраняемых природных территорий регионального значения в целях снятия с них статуса особо охраняемой природной территории в связи с утратой ими своей ценности, как природных объектов или вхождением в границы более крупной особо охраняемой природной территории».
5. Постановление главы администрации (губернатора) Краснодарского края от 17.12.2019 г. № 871 «Об изменении границ и режимов особой охраны особо охраняемых природных территорий памятников природы регионального значения «Озеро Лиманчик», «Озеро Абрау», «Озеро Романтики», расположенных в муниципальном образовании город Новороссийск».
6. Приказ Росводресурсов от 14.10.2021 № 268 «Об утверждении регламента формирования бюджетных проектировок Федерального агентства водных ресурсов на 2022 год и на плановый период 2023 и 2024 годов в части мероприятий, реализация которых предполагается за счет субвенций, предоставляемых из федерального бюджета бюджетам субъектов Российской Федерации на осуществление отдельных полномочий Российской Федерации в области водных отношений, на реализацию федеральных проектов «Защита от негативного воздействия вод и обеспечения безопасности гидротехнических сооружений на территории Российской Федерации», «Оздоровление Волги» и

«Сохранение уникальных водных объектов», а также за счет субвенций, предоставляемых бюджетам Республики Крым и города федерального значения Севастополя на осуществление части полномочий Российской Федерации в области водных отношений».
7. 040-2022-ПЗ Раздел 1. «Пояснительная записка» «Расчистка устьевой части реки Абрау и северной части озера Абрау», 2022 г. – г. Краснодар.
8. 40-2022-ИГМИ. Технический отчет по результатам инженерно-гидрометеорологических изысканий для подготовки проектной документации «Расчистка устьевой части реки Абрау и северной части озера Абрау», 2022 г. – г. Краснодар.

УДК 628.12:628.292

ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ

И.Ю. Пурусова
Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия

Подверженный изменениям режим работы насосных станций систем водоснабжения и водоотведения затрудняет управление работой каждого насоса, что влечёт за собой перерасход электроэнергии. В статье приведены существующие способы включения электродвигателя насосного агрегата. Предлагается алгоритм мероприятий по сокращению затрат энергоресурсов на насосных станциях.

Большая часть энергоёмких технологических процессов по водоснабжению, водоотведению, очистке природных и сточных вод являются нестационарными. Определяющие параметры таких процессов – это производительность и напор, создаваемые насосными агрегатами.

За последние десятилетия сделаны значимые наработки в плане улучшения работы насосных агрегатов [1-4, 6-8]. Современное функционирование насосных станций и насосного оборудования изложено в трудах российских и зарубежных учёных: Б.С. Лезнов, В.Н. Фисенко, В.И. Баженов, М.С. Али, В.О. Ломакин, а также зарубежных учёных: А.Д. Гуринович, В.Л. Еловик, Tolvanen J., Noll P.

На сегодняшний день методы подбора насосного оборудования были заложены в большинство реализованных проектных решений насосных станций, разработанных при плановой экономике эксплуатирующего предприятия. Нормативно-техническая литература рекомендует устанавливать насосные агрегаты, рассчитанные для работы при максимальных нагрузках. Ограниченность номенклатуры выпускаемого насосного оборудования не позволяет подбирать насосы с параметрами, близкими к расчетным.

Насосная станция для подачи воды, либо отвода сточных вод

включает в себя гидравлически взаимосвязанные элементы инженерной системы (рис. 1).



Рисунок 1. **Насосная станция с центробежными насосными агрегатами**

Накопленный практический опыт и данные последних публикаций по функционированию насосных станций показали, что потребляемая электроэнергия не соответствует заявленной производителем в паспорте насоса [5, 9–12]. Подверженный существенным изменениям режим работы насосной станции затрудняет управление работой каждого насоса, что влечёт за собой существенный перерасход электроэнергии. На действующих насосных станциях для удобства эксплуатации установлены насосы одной марки, так как в таких агрегатах взаимозаменяемы электродвигатели и узлы. Насосы работают без учёта изменений требуемой производительности, часто с завышенными характеристиками.

Причинами нерентабельной работы насосной станции являются:

- неправильно подобранные способы регулирования установленных насосов;
- резкое изменение параметров работы во времени;
- увеличение гидравлического сопротивления трубопроводов;
- сложность ручного управления режимом работы насосной станции.

Многочисленные включения и отключения насосных агрегатов в течение суток приводят к возникновению гидравлических ударов, что отрицательно сказывается на работе запорно-регулирующей арматуры и трубопроводов.

На насосной станции агрегаты подключают к электросети напряжением 0,4 кВт. Включение в работу производят в ручном или автоматическом режиме. В момент включения насоса электродвигатель подвергается пиковой нагрузке, пусковой ток может увеличивать

номинальное значение на 5 – 10 %, а фактически превышение при пуске достигает 50 – 60 %. При понижении напряжения в электрической сети снижается скорость вращения электродвигателя вала насоса, снижается напор и производительность насоса.

Способ включения электродвигателя насосного агрегата подбирается для каждой насосной станции отдельно. Насосные агрегаты запускают в работу следующими способами, представленными на рисунке 2:



Рисунок 2. **Пуск в работу электродвигателя насоса на насосной станции**

Включение способом «звезда-треугольник» снижает пусковой ток, однако возможен перегрев электродвигателя при большом сроке эксплуатации. При пуске электродвигателя с помощью преобразователя частоты обеспечиваются благоприятные условия работы электродвигателя насосного агрегата.

Выбор способов пуска электродвигателей насосных агрегатов обусловлен режимом работы насосной станции в течение суток, а также мощностью и маркой установленных насосов. Оптимальный способ пуска электродвигателей позволяет предотвратить гидравлические удары и возможные повреждения насосного оборудования.

Неуклонный рост тарифов на электроэнергию, заставляет всё больше внимания уделять вопросам снижения потребления электроэнергии в системах водоснабжения и водоотведения. При этом необходима оптимальная производительность совместно работающих насосов.

Актуальность решения этой задачи подтверждается Федеральным законом Российской Федерации № 261 «Об энергосбережении».

Разработка функциональной диагностики насосных станций и внедрение мероприятий по сокращению затрат энергоресурсов ведёт к повышению эффективности работы насосов. Ожидаемый эффект, от проведения организационных мероприятий по сокращению затрат энергоресурсов, рассчитывается в количественных-стоимостных показателях работы насосных станций с учётом потребляемой электроэнергии насосными агрегатами.

Мероприятия по сокращению затрат энергетических ресурсов на насосной станции показаны в виде алгоритма, на рисунке 3.

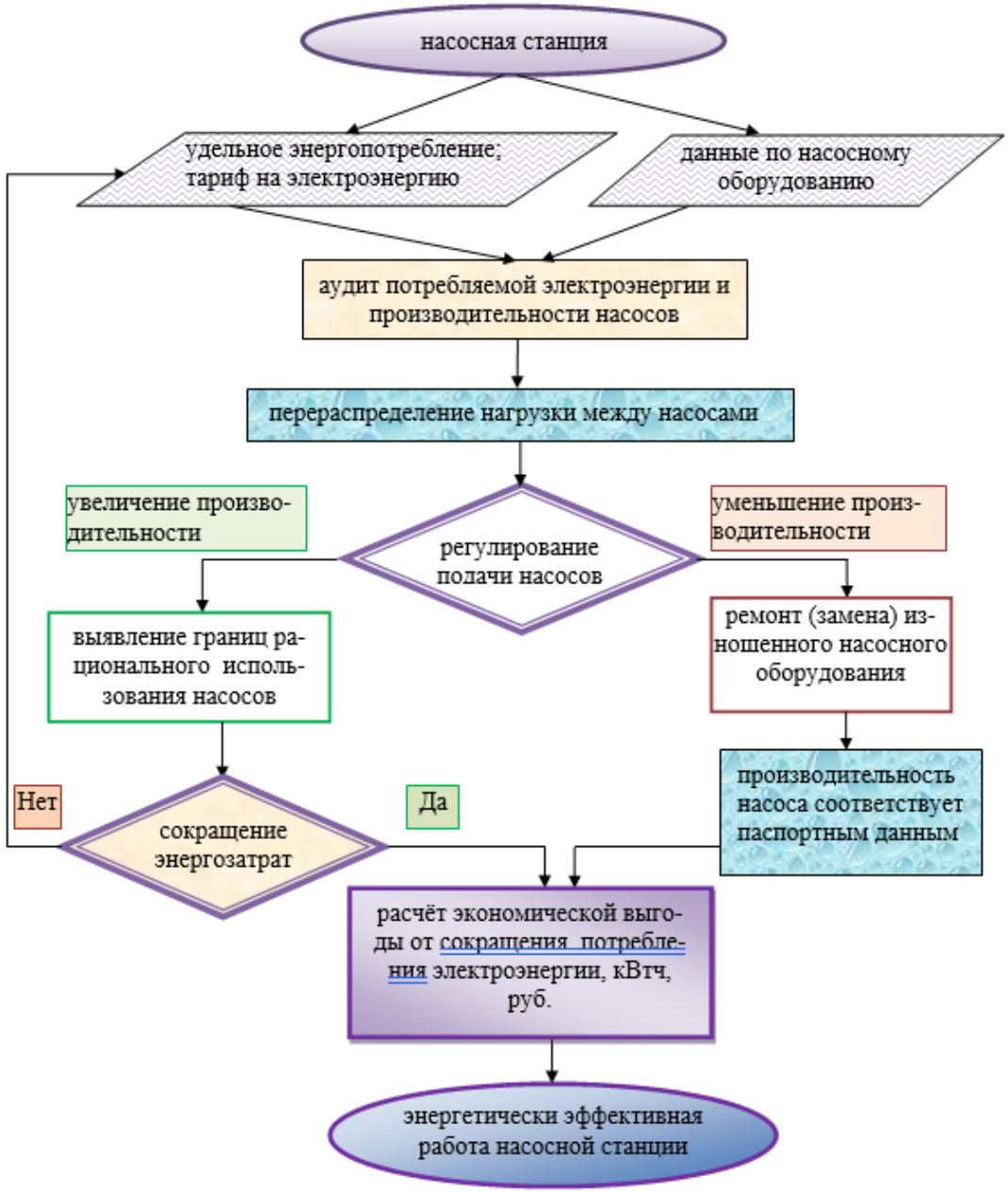


Рисунок 3. **Алгоритм мероприятий по сокращению энергозатрат насосных станций**

В условиях необходимости экономии энергетических ресурсов, проблемы оптимальной эксплуатации насосных агрегатов приобретают особое значение.

Важным фактором надёжной и оптимальной эксплуатации насосных агрегатов является их согласованная совместная работа на насосной станции. Агрегаты могут работать параллельно, либо поочерёдно, для равномерного распределения времени наработки, либо совместно для достижения требуемых параметров. Перераспределение нагрузки между работающими насосными агрегатами и своевременное выявление изменения производительности – способствует снижению суммарных энергозатрат и уменьшению затрат на электроэнергию в себестоимости водоснабжения и водоотведения.

Экономия энергоресурсов насосными агрегатами зависит от напорной характеристики, установленной насосным агрегатам, а также возможности регулирования их производительности. Определяющие параметры насосных станций – подача и напор, подвержены существенным изменениям, что требует правильного подбора насосного оборудования. Сокращение потерь энергетических ресурсов ведёт к повышению энергоэффективности работы насосных станций систем водоснабжения и водоотведения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лезнов Б.С. Энергосбережение и регулируемый электропривод в насосных и воздуходувных установках. Москва: Энергопромиздат.– 2006. – 360 с.
2. Фисенко В.Н. Энергетическая эффективность насосов в системах водоснабжения и водоотведения // Водоснабжение и санитарная техника. – 2018. – № 6. – С. 52–63.
3. Али М.С. Особенности расчета переходных процессов в водоводах насосных станций в условиях образования разрывов сплошности потока / М.С. Али, Д.С. Бегляров, Э.Е. Назаркин // Природообустройство. 2020. – № 4. – С. 122–128.
4. Али М.С. Насосные станции / М.С. Али, Д.С. Бегляров, П.А. Михеев // Учебник для студентов учреждений высшего профессионального образования. – Новочеркасск. 2022.
5. Али М.С., Пурусова И.Ю. Особенности компоновки польдерных насосных станций в составе поверхностных водотоков / М.С. Али, И.Ю. Пурусова // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2023. – № 3 (26). – С. 69–78.
6. Ali M. Research of transition processes in the operation of reclamation pumping stations / M. Ali, D. Beglyarov, E. Nazarkin, Yu. Korchevskaya, I. Trotsenko // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Сер. "Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of

Agriculture in the Far East, AFE 2021 - Papers". – 2021. – С. 032–054.
7. Баженов В.И. Методика расчета стоимости жизненного цикла для оборудования, систем и сооружений водоснабжения и водоотведения / В.И. Баженов, С.Е. Березин, Г.А. Самбурский // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. – 2017 .– № 4. – С. 34–41.
8. 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».
9. 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.
10. Пурусова И.Ю. Фактическая производительность погружных насосов // Энергосбережение и водоподготовка. – 2019. – № 4 (120). – С. 26-28.
11. Пурусова И.Ю. Сокращение затрат потребляемой электроэнергии на водозаборных сооружениях из подземных источников // 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. С. 43–48.
12. Пурусова И.Ю. Организация мероприятий по сокращению энергозатрат на водозаборных сооружениях / В сборнике: Актуальные проблемы строительной отрасли и образования – 2022. Сборник докладов Третьей Национальной научной конференции. Москва. – 2023. – С. 888–892.

УДК 626/627

МНОГОФАКТОРНЫЕ ОБСЛЕДОВАНИЯ И АНАЛИЗ КОМПЛЕКСА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ЭШКАКОНСКОГО ГИДРОУЗЛА

В.А. Волосухин
Институт безопасности гидротехнических сооружений, г. Новочеркасск, Россия
НИМИ имени А.К. Кортунова ФГБОУ ВО ДонГАУ, г. Новочеркасск, Россия
А.М. Казаков
Управление по строительству и эксплуатации сооружений природоохранного назначения, г. Ставрополь, Россия

Водохранилище на малой горной реке Эшкакон эксплуатируется 40 лет, используется для водоснабжения городов и поселков Кавказских Минеральных Вод. Годовой объем водозабора из Эшкаконского водохранилища объемом менее 10 млн. м^3 составляет до 30 млн. м^3/год. Проведенные многофакторные исследования комплекса

ГТС Эшкаконского водохранилища позволили обосновать мероприятия по повышению надежности и безопасности сооружений водохранилища.

На территории России находится в эксплуатации 2650 водохранилищ, созданных для энергетики, промышленности и водохозяйственного комплекса полезным объемом более 1 млн. м^3.

В Северо-Кавказском федеральном округе (СКФО), где остро ощущается дефицит водных ресурсов, особенно в весенне-летний период регулирование речного стока имеет очень большое значение. Главными водными источниками в СКФО являются реки бассейнов Кубани, Терека, Самура, Кумы и др. В Северо-Кавказском экономическом районе эксплуатируется более 500 водохранилищ (с объемом при НПУ более 1 млн. м^3) с суммарной полезной емкостью W = 19,2 млрд. м^3.

Комплексы ГТС водохранилищ России, суммарный объем которых составляет W = 342 млрд. м^3, являются наиболее опасными из всех ГТС по масштабам катастрофических последствий.

В 1989 г. сдано в эксплуатацию регулирующее водохранилище на малой горной реке Эшкакон (L = 42 км, F = 316 км^2, i = 30 ‰. Площадь водосбора в створе плотины F = 240 км^2. Годовой сток реки Эшкакон $W_{p=50\,\%}$ = 55,2 млн. м^3, $W_{p=75\,\%}$ = 44,5 млн. м^3, $W_{p=95\,\%}$ = 30,9 млн. м^3).

Водохранилище на малой горной реке Эшкакон создано каменно-земляной плотиной с ядром из суглинка максимальной строительной высотой H = 91,5 м с напором H = 64,0 и длиной плотины по гребню L = 220,0 м. Заложение верхового и низового откоса m = 1,8.

Потребителями воды из Эшкаконского водохранилища являются г. Кисловодск и населенные пункты Карачаево-Черкесской Республики с годовым водопотреблением до W = 30,0 млн. м^3 и суточной водоподачей от 60 до 100 тыс. м^3/сутки. Экологический сток (обязательный санитарный попуск) р. Эшкакон обоснован гидропроект им. С.Я. Жука для года p = 95 % и равен Q = 0,127 м^3/с ($W_{год}$ = 4,00 млн. м^3/год). Мертвый объем Эшкаконского водохранилища по проекту равен $W_{УМО}$ = 1,0 млн. м^3, $W_{НПУ}$ = 10,0 млн. м^3. Фактически после 33 лет эксплуатации объем заиления превысил 2,0 млн. м^3, а полезный объем снизился до 8,0 млн. м^3. В среднем за период эксплуатации Эшкаконского водохранилища заносимость чаши водохранилища составила W = 60,6 тыс. м^3/год. Проведенные исследования показали, что сток наносов в первые годы эксплуатации составил W = 78,2 тыс. т/год, в том числе, взвешенных W = 57,1 тыс. т/год и влекомых W = 21,1 тыс. т/год.

Для обеспечения эффективной эксплуатации Эшкаконского водохранилища на малой горной реке необходимо реализовать комплекс мероприятий по уменьшению антропогенной нагрузки в бассейне реки, удалении накопившихся отложений средствами гидромеханизации в верхней части водохранилища (W = 2,0 млн. м^3 = 39 млн. т), строительстве

в бассейне реки гибких быстровозводимых сооружений для задержания продуктов эрозии перехватом наносов с помощью барража в верхней части водохранилища с последующей реализацией осадка.

Проведенные многофакторные исследования и обследование комплекса ГТС Эшкаконского водохранилища сотрудниками Института безопасности ГТС, с участием ГБУСК «Управление по строительству и эксплуатации сооружений природоохранного назначения» позволили обосновать мероприятия по повышению надежности и безопасности ГТС на ближайшие 5 лет и повышению водоотдачи Эшкаконского водохранилища на малой горной реке Эшкакон.

ЛИТЕРАТУРА

1. Доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2020 году». – М: Росводресурсы, НИА Природы, 2012. 510 с.
2. Сборник нормативно-методических документов, применяемых при декларировании безопасности ГТС / Под ред. В.А. Волосухина. Т. I, II, III, IV. Новочеркасск, ЮРГПУ (НПИ), 2022 г. 1034 с.
3. Приказ Минприроды России от 26.01.2011 № 17 «Об утверждении методических указаний по разработке правил использования водохранилищ».

УДК 628.144.23

ВЫБОР СХЕМНОГО РЕШЕНИЯ СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МОРСКОГО ПОРТА

А.А. Шипилов, Н.Е. Иевлева
ООО «СпецСтройПроект», г. Санкт-Петербург, Россия
И.Н. Ярошенко
Петербургский государственный университет путей сообщения императора Александра I, г. Санкт-Петербург, Россия

В статье представлен анализ требований нормативных документов, предъявляемых к проектированию систем водоснабжения морского порта. Приведены принципиальные схемы системы водоснабжения существующая и предлагаемая с учетом разделения на сектора обслуживания всей территории порта. Рассматриваются схемные решения без использования забора морской воды на технические и противопожарные нужды.

В морских и речных портах должно быть предусмотрено сооружение водопровода, конструкция, набор сооружений и условия эксплуатации которых обеспечивали бы полное удовлетворение всех видов хозяйственно-питьевого водопотребления как объектов, находящихся на территории порта, так и судов, базирующихся в порту.

При выборе источника водоснабжения порта (автономного, или ввод из централизованного хозяйственно-питьевого водопровода, или смешанный) следует руководствоваться требованиями действующего ГОСТ 2761 [1]. Предпочтение отдается снабжению порта водой из централизованного городского или поселкового водопровода. Независимо от вида водоисточника качество воды, используемой для хозяйственно-питьевых нужд на объектах порта, а также подаваемой на суда, должно отвечать требованиям действующего ГОСТ Р 51232 [2].

Проектирование и строительство портового водопровода должно осуществляться в соответствии с требованиями действующих СП 30.13330 [3], СП 31.13330 [4], СП 112.13330 [5] с учётом особенностей водораспределения и водоиспользования, присущих морским портам, описанных в действующем СП 350.1326000 [6].

Система водоснабжения морского порта должна обеспечивать:

а). бесперебойное снабжение водой питьевого качества объектов порта и судов, посещающих порт;

б). потребности производственных объектов порта в воде для технологических нужд, не обладающей питьевыми качествами (мойка машин, охлаждение агрегатов и т.п.);

в). потребность пожаротушения, исправность и постоянную готовность к действию противопожарных водопроводных устройств на территории порта;

г). качество воды, требуемое санитарными нормами и технологическими процессами;

д). сохранность и долговечность сетей и сооружений;

е). оперативное устранение повреждения и аварий.

Принципиальная схема системы водоснабжения порта приведена на рисунке 1. Снабжение водой объединенного хозяйственно-питьевого и противопожарного водопровода осуществляется по двум магистральным вводам *1* от городской водопроводной сети. Для обеспечения требуемого напора в сети и необходимого расхода воды предусматривается установка резервуаров запаса воды *3* и повысительной насосной станции *4*, учет потребляемой воды осуществляется в узле учета *2*.

Для уменьшения диаметров водопроводной сети 5 при наличии в составе портовых сооружений зданий, оборудованных автоматическими установками пожаротушения (АУПТ) *7*, предусматривается дополнительная емкость запаса воды *8* и местная повысительная насосная станция *9*.

Для подачи воды на бункеровку предусматривается устройство кольцевого водопровода с бункеровочными колодцами *11*.

Вода питьевого качества, как правило, поступает в порт из городской водопроводной сети. В случаях, когда порт получает питьевую воду из находящихся в его ведении самостоятельных источников водоснабжения,

эксплуатация сооружений для забора воды и очистных сооружений должна осуществляться в полном соответствии с действующим МДК 3-02 [7].

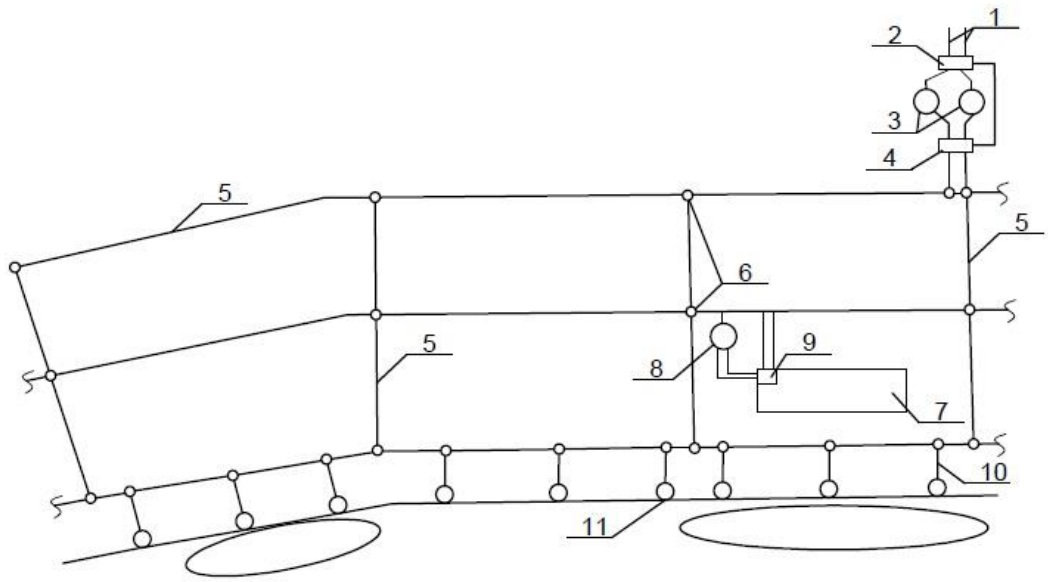


Рисунок 1. **Схема водоснабжения морского порта:**
1 – вводы от городского водопровода; 2 – узел учета воды; 3 – резервуары запаса воды; 4 – повысительная насосная станция; 5 – внутрипортовая водопроводная сеть объединенного хозяйственно-питьевого и противопожарного водопровода; 6 – водопроводные колодцы; 7 – здание, оборудованное установкой АУПТ; 8 – резервуар противопожарного запаса воды для установки АУПТ и ВПВ; 9 – насосная станция установки АУПТ и ВПВ; 10 – подключение бункеровочных колодцев; 11 – бункеровочные колодцы

Для снабжения водой судов и береговых потребителей в портах устраивают централизованный водопровод. В исключительных случаях допускается использование привозной питьевой воды. В этих случаях при тушении пожаров используют морскую воду, для забора и подачи которой должны быть предусмотрены все необходимые устройства и оборудование. Если в порту имеются отдельные участки, удаленные от основной части порта на значительное расстояние, допускается создание местного водопровода.

Расход воды для снабжения судов в порту определяют для каждого района, участка или причала, исходя из расчетного судооборота, типа судов и нормы отпуска воды на каждый тип судна.

Бункеровку судов водой осуществляют круглосуточно. На каждое судно обычно подают расход воды, чтобы обеспечить его бункеровку водой за время стоянки под погрузочно-разгрузочными работами у причала.

Нормы расхода воды различными хозяйствами, расположенными на территории порта, на хозяйственно-питьевые, а также производственные

нужды принимаются в соответствии с общестроительными нормами, а также по данным специальных расчетов.

При проектировании водопровода порта предусматривают одновременную подачу воды на пожаротушение в береговых зданиях, расход которой определяется по общестроительным нормам, и на одном из стоящих у причала судов. Внутренний пожарный водопровод в складах и портовых зданиях проектируют с учетом категории хранимых грузов: несгораемые, смешанные, сгораемые и ценные сгораемые, согласно требованиям СП 10.13130 [8]. Такой водопровод не следует устраивать в складах для несгораемых грузов, в складах, где применение воды может вызвать взрыв, пожар и распространение огня, в складах для всех остальных видов грузов при объеме склада или его части между противопожарными стенами, меньшем 5 000 $м^3$. В складах для ценных грузов обычно применяют спринклерную (дождевальную) систему.

Норму расхода воды на пожаротушение на судне принимают из расчета подачи двух пожарных струй производительностью по 0,0075 $м^3/с$ каждая. Эта норма не относится к нефтяным причалам, где расход воды, необходимой для тушения пожара и охлаждения, определяется расчетом в зависимости от интенсивности расчетного пожара и может достигать 0,025 – 0,05 $м^3/с$ и даже более. Для тушения пожаров на танкере возможно использование химической или воздушно-химической пены, а также распыленной мелкодисперсной воды. Тушение пожаров на танкерах ведут с берега, пирса и т.п., а также с противопожарных судов.

При необходимости повышения давления в водопроводной сети порта и покрытия суточной неравномерности расхода воды приходится строить портовые насосные станции и емкости для запаса воды. Для обеспечения нормальной бункеровки минимальное давление в наружной сети водопровода у причала должно быть не менее 200 кПа [6]. Создание потребного для пожаротушения на судне давления, равного 1,05 МПа, обеспечивают с помощью пожарных машин.

Для пожаротушения на судах и прикордонных складах используют гидранты тыловой водопроводной линии и специальные противопожарные колодцы, соединенные с акваторией самотечной трубой диаметром не менее 300 мм. Колодцы обычно размещают вдоль причалов через каждые 250 – 300 м. На прикордонной водопроводной линии пожарные гидранты, как правило, не устраивают.

Для снабжения питьевой водой судов, стоящих у причалов порта, последние оборудуют водопроводной сетью и водоразборными устройствами. Раздаточные колодцы размещают вдоль причалов через каждые 50 – 100 м. Для снабжения судов на рейде или у причалов, не оборудованных водопроводом, в состав портового флота включают специальные суда – водолеи.

Диаметр подводящей водопроводной линии к раздаточному колодцу

на грузовых причалах рекомендуется принимать равным 75 – 80 мм; на пассажирских причалах и причалах для бункеровки водолейных судов он должен быть определен применительно к конкретным условиям их работы.

Наиболее простой, экономически обоснованной и надежной в процессе эксплуатации является схема хозяйственно-питьевого или объединенного хозяйственно-противопожарного водопровода морского порта в случае получения от коммунального городского магистрального водопровода гарантировано расчетного количества воды с требуемым напором, при таком случае требуется устройство только внутриплощадочных водопроводных сетей.

Однако не всегда морской порт расположен вблизи населенных пунктов с развитой инженерной инфраструктурой в части городских сетей коммунального водопровода. Если не гарантируется бесперебойное обеспечение расчетного количества воды или необходимого требуемого напора в точке присоединения объекта к городским сетям, то возникает необходимость в устройстве дополнительных водопроводных сооружений (напорно-регулирующих устройств, станций водоподготовки или насосных станций повышения давления).

Как правило, противопожарный водопровод морского порта принято объединять либо с хозяйственно-питьевым, либо с производственным трубопроводом. Главным фактором для принятия одного из вариантов в качестве основного являются требования к качеству воды, подаваемой на производственные нужды.

Для экономии водных ресурсов необходимо для используемой в технологических целях воды устанавливать системы оборотного водоснабжения. На территории портов применяют преимущественно объединенные системы хозяйственно-противопожарного водопровода. Однако в некоторых случаях эти системы строят раздельными, например, в нефтегаванях. Для производственных нужд, в случаях, когда не требуется вода питьевого качества, допускаются производственные водопроводы с забором воды (без очистки) из акватории или из какого-либо другого источника водоснабжения.

Систему водоснабжения морского порта следует рассматривать совместно с системой водоотведения, и предусматривать, где это возможно, использование очищенных стоков для нужд производственного или противопожарного водоснабжения.

Существует множество комбинаций схемных решений внутриплощадочных сетей промышленных предприятий от полных раздельных сетей до полностью объединенных. Выбор наиболее выгодного решения осуществляется путем разработки ряда вариантов с последующим их технико-экономическим сравнением, наиболее экономичным признается тот вариант, для которого величина приведенных затрат является минимальной [9].

Проанализировав ряд схемных решений по устройству водопровода в пассажирских морских портах, предлагается более энергоэффективная схема обустройства водопровода. Принципиальная схема приведена на рисунке 2.

Данное схемное решение позволяет организовать подачу воды на хозяйственно-питьевые и противопожарные нужды, а также на бункеровку судов. Устройство самостоятельных отдельных водопроводных колец со своими резервуарами запаса воды и насосными станциями позволяет выполнять бункеровку судов независимо от различных ситуаций, включая и аварийные, а также сократить капитальные и эксплуатационные расходы.

Вопрос выбора наиболее экономически обоснованного с гидравлической точки зрения схемного решения рассматривался ранее в статье «Выбор схемного решения системы водоснабжения промышленного предприятия» [10].

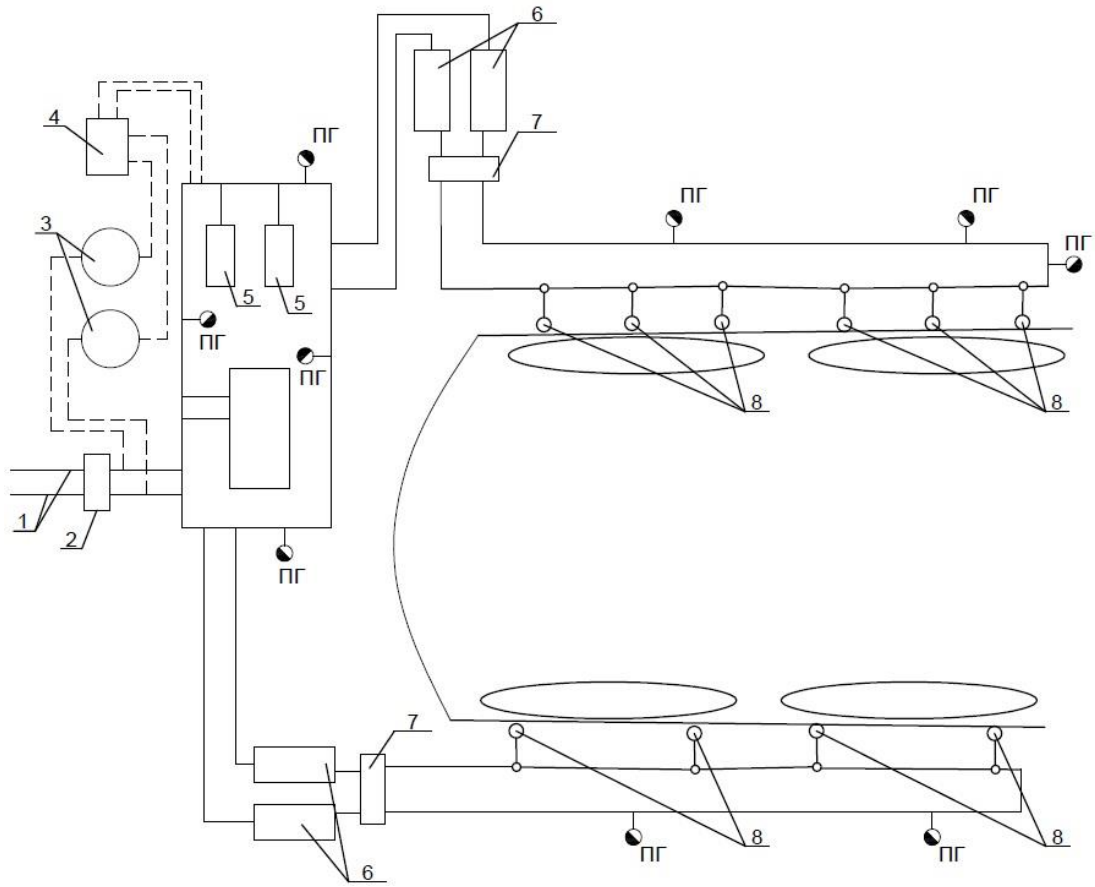


Рисунок 2. **Схема обустройства водопровода:**
1 – вводы от городского водопровода; 2 – узел учета воды; 3 – резервуары запаса воды (при необходимости); 4 – повысительная насосная станция (при необходимости); 5 – портовые сооружения и здания; 6 – резервуары запаса бункеровочной воды; 7 – насосная станция подачи бункеровочной воды; 8 – бункеровочные колодцы; ПГ – пожарные гидранты

ВЫВОДЫ

1. Выбор схемного решения по обустройству системы водоснабжения зависит от полученных исходных данных о наличии и возможности использования требуемых ресурсов.

2. Рассмотрение гидравлических режимов работы водопроводной сети, а также правильный подбор отдельных элементов системы водоснабжения позволяет существенно сократить как капитальные затраты на ее возведение, так и эксплуатационные затраты в процессе работы всей системы водоснабжения.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 2761-84. Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Гигиенические, технические требования и правила выбора. – Дата введения 1986-01-01. Контроль качества воды: Сб. ГОСТов. – М.: ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 2010 г.
2. ГОСТ Р 51232-98. Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля качества. – Дата введения 1999-07-01. Контроль качества воды: Сб. ГОСТов. – М.: ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 2010 г.
3. Свод правил СП 30.13330.2020 Внутренний водопровод и канализация зданий. – Москва, 2020.
4. Свод правил СП 31.13330.2021 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84*. – Москва, 2021. 159 с.
5. Свод правил СП 112.13330.2011 Пожарная безопасность зданий и сооружений.
6. Свод правил СП 350.1326000.2018 Нормы технологического проектирования морских портов.–- Москва, 2018.
7. МДК 3-02.2001 Правила технической эксплуатации систем и сооружений коммунального водоснабжения и канализации.
8. Свод правил СП 10.13130.2020 Системы противопожарной защиты. Внутренний противопожарный водопровод. Нормы и правила проектирования.
9. Дикаревский В.С. Водоводы. Монография. Труды РААСН. Строительные науки. Т. 3. – М.: РААСН, 1997. – 200 с.
10. Шипилов А.А., Иевлева Н.Е., Латыпова Р.А. Выбор схемного решения системы водоснабжения промышленного предприятия // Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2023»: материалы XIV Межд. науч.-практ. конф.; г. Кисловодск, 18–21 апреля 2023 г. / Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т. (НПИ) имени М.И. Платова – Новочеркасск: «Лик», 2023, С. 45–50.

УДК 628.27.19

ПРЕДЕЛЬНО-ДОПУСТИМАЯ ТОЛЩИНА СЛОЯ ВНУТРЕННИХ ОТЛОЖЕНИЙ В МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СЕТЯХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

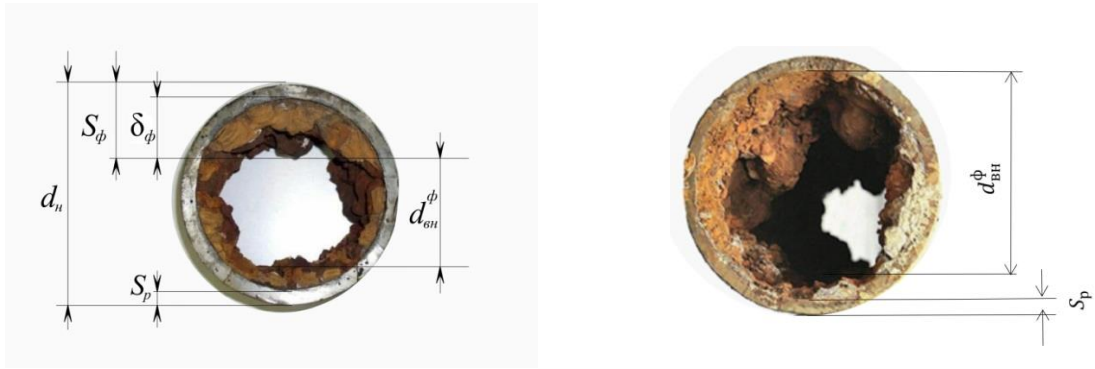
О.А. Продоус
Независимый эксперт по водоснабжению и канализации, г. Санкт-Петербург, Россия
П.П. Якубчик
«ПГУПС» Императора Александра I», г. Санкт-Петербург, Россия
А.А. Шестаков
НИУ МГСУ, г. Москва, Россия

Дана информация о влиянии фактической толщины слоя внутренних отложений в металлических водопроводах на величину потерь напора на сопротивление по длине и энергопотребление насосного оборудования. Представлены таблицы допустимой, с гидравлической точки зрения, величины значений толщины слоя отложений на внутренней поверхности труб. Доказано на практике, что металлические водопроводные сети из стали и серого чугуна в процессе их эксплуатации подвергаются образованию слоя отложений на их внутренней поверхности труб.

Анализ научных работ по данной тематике показал, что существует ряд неизученных вопросов, решение которых позволит повысить точность гидравлического расчета и эффективность эксплуатации трубопроводов из металлических труб [1–3].

Установлено на практике, что в процессе эксплуатации сетей водоснабжения и теплоснабжения из стали и серого чугуна годовой прирост фактической толщины слоя внутренних отложений $\delta_ф$ составляет 2÷3 мм/год и зависит, прежде всего, от качественных характеристик транспортируемой по трубопроводам питьевой воды и температуры теплоносителя в тепловых сетях. В соответствии с этим, а также в связи с непрерывным электромагнитным процессом образования слоя отложений на внутренних стенках труб, фактическая толщина слоя отложений $\delta_ф$ не является константой и может изменяться вплоть до полного зарастания слоем отложений всего внутреннего сечения труб [4–5] (рис. 1).

Из рисунка 1 следует, что в процессе эксплуатации металлических водопроводов с внутренними отложениями за счет наличия слоя $\delta_ф$ уменьшается расчетный внутренний диаметр труб $d_{вн}^{р}$, увеличивается фактическая скорость транспортирования воды $V_ф$ и, как следствие, возрастает фактическое гидравлическое сопротивление труб $i_ф$, а также растет энергопотребление насосных агрегатов, подающих воду потребителям.



а) б)

Рисунок 1. **Внутренние отложения на стенках стальных водопроводных** (а) **и тепловых сетей (б)**

Поэтому актуальным является следующая гидравлическая задача: нахождение допустимой (предельной) с гидравлической точки зрения толщины фактического слоя внутренних отложений $\delta_ф$, при которой существует некоторое равновесие между допустимыми и фактическими потерями напора на сопротивление по длине труб (гидравлическим уклоном $i_ф$) и фактическим энергопотреблением насосного агрегата $N_{дв}^{ф}$, то есть:

$$i_ф \le i_{доп}, \text{ мм/м};$$

$$i_ф \le 0{,}00107 \cdot \frac{V_ф^2}{\left[d_{вн}^{р} - 2\delta_ф\right]^{1{,}3}}, \text{ мм/м} \qquad (1)$$

$$N_{дв}^{ф} \le N_{дв}^{доп}, \text{ кВт/ч},$$

где $N_{дв}^{ф}$ – энергопотребление насоса определяемое по формуле (2) [4]:

$$N_{дв}^{ф} = 10^6 \cdot i_{р(ф)} \cdot \left(d_{вн}^{р(ф)}\right)^2 \cdot V_{р(ф)} \cdot \frac{0{,}00808}{\eta}, \text{ кВт/ч}, \qquad (2)$$

где $i_{р(ф)}$ – гидравлический уклон новой расчетной трубы, мм/м.

Расчетный гидравлический уклон новых труб $i_р$ определяется по известной формуле профессора Ф.А. Шевелева, имеющей вид [5]:

$$i_{р(ф)} = 0{,}00107 \frac{V_ф^2}{\left(d_{вн}^{р}\right)^{1{,}3}}, \text{ мм/м} \qquad (3)$$

Фактический гидравлический уклон труб $i_ф$, со слоем отложений не более $\delta_ф \le 30$ мм, определяется по уточненной формуле [6]:

$$i_{р(ф)} = 0{,}00107 \frac{V_ф^2}{\left(d_{вн}^{р} - 2\delta_ф\right)^{1{,}3}}, \text{ мм/м}, \qquad (4)$$

где $\delta_ф$ – фактическая (измеренная) толщина слоя внутренних отложений в трубах, м.

Формула (4) уточняет гидравлический расчет труб за счет учета значений фактической толщины слоя внутренних отложений в трубах $\delta_ф$, измеряемой с помощью ультразвуковых расходомеров, в комплект которых входит толщиномер слоя внутренних отложений в трубах; $V_{р(ф)}$ – расчетная (фактическая) скорость движения воды, м/с; $d_{вн}^{р(ф)}$– расчетный внутренний диаметр новой трубы по ГОСТ (фактический диаметр изношенной трубы со слоем отложений $\delta_ф$), м; η – кпд насосного агрегата. Для расчетов принимают $\eta = 0,7$.

Допустимое значение $d_ф^{доп}$ заявлено на основе экспертного мнения специалистов (эксплуатационщиков) из разных регионов страны и соответствует условию:

$$d_ф^{доп} \le 0,95 \cdot d_{вн}^{р}, \text{ м.}$$

То есть значение фактического внутреннего диаметра трубы $d_{вн}^{ф}$ со слоем внутренних отложений $\delta_ф$ не должно быть менее 5 % от величины значения расчетного внутреннего диаметра новой трубы по ГОСТ $d_{вн}^{р}$.

С учетом вышеизложенного, в таблицах 1 и 2 приведены характеристики всего сортамента труб по ГОСТ 3262-75 и ГОСТ 10.704-91, в которых впервые приводятся значения допустимой с гидравлической точки зрения фактической толщины слоя внутренних отложений в трубах $\delta_ф$ конкретного диаметра и разного способа их производства.

Таблица 1. **Характеристики стальных водогазопроводных труб по ГОСТ 3262-75**

Наружный диаметр труб, $d_н$, мм	Толщина стенки $S_р$, мм	Внутренний расчетный диаметр $d_р$, мм	Допустимая толщина слоя отложений $\delta_{доп}$, мм	Фактический внутренний диаметр труб с отложениями $d_ф$, мм
10,2	4,0	6,2	0,31	5,58
13,5	4,4	9,1	0,46	8,18
17,0	4,4	12,6	0,63	11,34
21,3	5,6	15,7	0,79	14,10
26,8	5,6	21,2	1,10	19,0
33,5	6,4	27,1	1,36	24,4
42,3	6,4	35,9	1,80	32,3
48,0	7,0	41,0	2,10	36,8
60,0	7,0	53,0	2,70	47,6
75,5	8,0	67,5	3,40	60,7
88,5	8,0	80,5	4,00	72,5
101,3	8,0	93,3	4,70	83,9
114,0	9,0	105,0	5,25	94,5
140,0	9,0	131,0	6,60	117,8
165,0	9,0	156,0	7,80	140,4

Таблица 2. **Характеристики стальных электросварных труб по ГОСТ 10704-91**

Наружный диаметр труб, $d_н$, мм	Толщина стенки $S_р$, мм	Внутренний расчетный диаметр $d_р$, мм	Допустимая толщина слоя отложений $\delta_{доп}$,, мм	Фактический внутренний диаметр труб с отложениями $d_ф$, мм
70	2,5	65	3,3	58,4
76	2,5	71	3,6	63,8
89	2,5	74	3,7	81,6
102	3,0	96	4,8	92,4
121	3,0	115	5,8	109,4
140	3,0	134	6,7	120,6
159	4,5	150	7,5	135,0
168	4,5	159	8,0	143,0
180	4,5	171	8,6	153,8
219	4,5	210	10,5	189,0
273	6,0	261	13,1	234,8
325	7,0	311	15,6	279,8
377	7,0	363	18,1	344,9
426	7,0	412	20,6	370,8
480	7,0	466	23,3	442,7
530	7,0	516	25,8	490,2
630	7,0	616	30,8	585,2
720	7,0	706	35,3	670,7
820	8,0	804	40,2	763,8
920	8,0	904	45,2	585,8
1020	8,0	1004	50,2	953,8
1220	9,0	1202	60,1	1141,9
1420	10,0	1400	70,0	1330,0

Анализ приведенных значений $\delta_{доп}$, в таблицах 1 и 2 позволяет проектировщику при выполнении гидравлического расчета труб (водопроводов) на этапе определения фактических потерь напора (величины фактического гидравлического уклона $i_ф$), зная допустимую величину толщины фактического слоя допустимых отложений $\delta_{доп}$, останавливать расчет или продолжать его дальше.

Таким образом, знание значений предельно-допустимой толщины слоя $\delta_{доп}$ отложений в трубах из стали и серого чугуна, позволяет:

- уточнять гидравлический расчет труб за счет количественного сравнения расчетных и фактических значений характеристик гидравлического потенциала труб $d_{вн}^{р(ф)}$, $V_{р(ф)}$, $i_{р(ф)}$;
- сокращать время проведения гидравлических расчетов металлических водопроводных труб;
- на этапе подбора типа и марки насосных агрегатов не использовать энергозатратные насосы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Продоус О.А. Зависимость продолжительности использования металлических трубопроводов систем водоснабжения от толщины слоя отложений на внутренней поверхности труб // Сборник докладов XV Межд. науч.-техн. конф. «Яковлевские чтения» 19 марта 2020. М.: МИСИ–МГСУ, 2020. С. 113–117.
2. Продоус О.А., Шипилов А.А. Гидравлический критерий обоснования необходимости разработки проектов реконструкции водопроводных сетей из металлических труб // Водные системы и технологии. 2021. № 1, С. 26–31.
3. Продоус О.А., Якубчик П.П. Новый подход к гидравлическому расчету металлических трубопроводов водоснабжения с отложениями на их внутренних стенках // Инженерные системы АВОК Северо-Запад., 2022. № 1, С. 28–30.
4. Продоус О.А., Якубчик П.П., Шлычков Д.И. Особенности гидравлического расчета водопроводов из металлических, полимерных и металлополимерных труб. Терминологический словарь по наружным сетям водоснабжения и канализации. Научное издание. //Перо, Санкт-Петербург, Москва. 2023. 288 с.
5. Шевелев Ф.А., Шевелев А.Ф. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб. Справочное пособие. // Издательский Дом «Бастет». М.: 2020.428 с.
6. Продоус О.А., Шипилов А.А., Якубчик П.П. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб из стали и серого чугуна с внутренними отложениями. Справочное пособие. 1-е издание. //Перо. Санкт-Петербург–Москва. 2021. 238 с.

УДК 626/627

ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ НОВЫХ СУБЪЕКТОВ РФ В СЕВЕРНОМ ПРИАЗОВСКОМ ГИДРОГРАФИЧЕСКОМ РАЙОНЕ

В.А. Волосухин
Институт безопасности гидротехнических сооружений, г. Новочеркасск, Россия
Л.Н. Фесенко
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия
В.С. Рожков
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, г. Макеевка, Россия

Выполнен анализ текущего положения водообеспеченности новых субъектов Российской Федерации. Установлено, что наиболее дефицитными в части водных ресурсов являются Донецкая и Луганская народные республики, что объясняется скудностью местных водных ресурсов и выводом из строя построенных в 60-е годы

прошлого столетия крупных инженерных коммуникаций. Намечены основные направления исправления сложившейся ситуации

Вода – основа жизни на нашей планете. Вода покрывает две трети поверхности земли и влияет практически на все процессы, которые происходят на планете. Быстро растет мировое потребление воды, так как при неизменном речном стоке на земле растет дефицит пресной воды.

Согласно Конституции Российской Федерации, Донецкая Народная Республика (ДНР), Луганская Народная Республика (ЛНР), Запорожская и Херсонская области включены в перечень регионов страны.

В настоящее время обеспеченность водой в расчете на одного человека в сутки в различных странах мира разная. Ресурсы местного стока в ДНР, ЛНР, Запорожской и Херсонской областях составляют менее 0,30 тыс. $м^3$/год на 1 жителя. По данным ООН (2020 г.) минимально необходимое водопотребление для населения и отраслей экономики и сохранения равновесия окружающей среды принимается равным 1,70 тыс. $м^3$ воды год/чел.

Водный фонд Донецкой Народной Республики (ДНР), на территории которой проживает 2 244 млн. чел., включает в себя все водные объекты, которые находятся на территории ДНР, и складывается из поверхностных и подземных вод. Водный фонд ДНР включает в себя 1695 поверхностных водных объектов, в том числе:

– 4 средние реки общей протяженностью в границах Республики 410 км;

– 851 малых рек и ручьев общей протяженностью 5433 км;

– 840 прудов и водохранилищ;

– Азовское море, протяженность береговой линии которого составляет 50 км;

– а также подземные воды.

Несмотря на это, водообеспеченность Донецкой Народной Республики остается одной из самых низких. Воды р. Кальмиуса, р. Крынки и других немногочисленных рек, а также небольшие озера и малочисленные запасы подземных вод не могут в полной мере удовлетворить имеющиеся потребности.

Сток рек ДНР высоко зарегулирован водохранилищами и прудами, построенными в 50 – 70 годы прошлого века и используется для питьевого, сельскохозяйственного водоснабжения, промышленного, рыборазведения и развития орошаемого земледелия.

Общая площадь водного зеркала 799 водных объектов, расположенных на территории ДНР, составляет 11097,68 га. Объем водных ресурсов 525,142 млн. $м^3$, в том числе имеется 46 водохранилищ с общей площадью водного зеркала 7491,7 га, объемом 464,417 млн. $м^3$.

Частично реализован план подачи воды из каскада водохранилищ: Ханженковское, Ольховское, Зуевское. Данные водохранилища имеют полезную водоотдачу в объеме:

- Ханженковское – 28,8 млн. м^3 воды;
- Ольховское – 15 млн. м^3 воды (отбирается 3,7 млн. м^3 для Ольховской фильтровальной станции);
- Зуевское – 0,8 млн. м^3 воды.

КП «Компания «Вода Донбасса» является основным водоснабжающим предприятием на территории Донецкой Народной Республики, которое осуществляет добычу, очистку и транспортировку воды более 90 % потребителям Донецкой Народной Республики, а также занимается сбором и очисткой сточных вод.

Основным источником водоснабжения территории ДНР в настоящее время является трубопровод Дон-Донбасс, построенный в 2023-м году, производительностью 300 тыс. м^3/сут. Водовод снабжает Горловский промрайон, Донецкий промрайон (города: Донецк, Макеевка, Харцызск), Енакиевский промрайон (города: Шахтерск, Кировское и Торез). Существовавший до 2022-го года канал Северский Донец-Донбасс имеет критические повреждения, и возможность восстановления его работы будет оцениваться после завершения СВО. Максимальный водозабор водовода Дон-Донбасс составляет $W = 0{,}1095$ км^3/год, т.е. 0,54 % от среднего стока р. Дон в створе станицы Раздорской за последние 70 лет (1952 – 2022 гг.) после строительства Цимлянского водохранилища на р. Дон (1952 г.), 0,29 % для самого многоводного года (1979 г.) и 1,15 % для самого маловодного года (2020 г.) этого периода.

Из самостоятельных источников снабжаются: г. Снежное, Новоазовский, Тельмановский и Старобешевский районы.

Показатель водообеспеченности по Луганской Народной Республике (ЛНР), где проживает 2 181 млн. чел., составляет 0,56 тыс. м^3 воды на одного жителя в год и относит регион к территории, недостаточно обеспеченной водными ресурсами. Для сравнения: в Донецкой Народной Республике (ДНР) этот показатель составляет 2,23 тыс. м^3 воды на одного жителя в год.

Объем внутренних вод ЛНР составляет 123,8 млн. м^3. Все реки ЛНР маловодны, поэтому городам, селам, промышленным предприятиям воды не хватает. Большинство рек равнинные, у них широкие долины и спокойное медленное течение. Озер немного, почти все они невелики, пресноводны и мелки. Всего насчитывается около 60 озер.

Главным источником централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения населения и предприятий на территории ЛНР, а также г. Луганска являются подземные воды. Из общего объема используемой воды на долю подземных источников приходится около 80 процентов.

По данным ГУП ЛНР «Луганскводa», Республика в настоящее

время самостоятельно обеспечивает себя водой на 84 % (280 тыс. м^3). По словам специалистов, сегодня ГУП ЛНР «Луганскводa» не может обеспечить всех потребителей круглосуточным водоснабжением.

Водоснабжение новых субъектов федерации остается одной из актуальных проблем в сфере жилищно-коммунального хозяйства ДНР, ЛНР, Херсонской и Запорожской областей, решение лежит в более эффективном и рациональном управлении водными ресурсами, рациональном использовании имеющихся водных ресурсов, во внедрении водосберегающих технологий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лурье П.М., Панов В.Д. Реки бассейна Азовского моря / П.М. Лурье. – Ростов-на-Дону: Донской издательский дом, 2021, 670 с.
2. Волосухин В.А. Комплексное использование водных ресурсов Нижнего Дона с учетом строительства Багаевского гидроузла. / 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. – Новочеркааск: Лик, 2016. С. 52–58.

УДК 628.32

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ СОРБЕНТОВ

Рахал Закариа, Чекима Хамза
Алжирская Народно-Демократическая Республика
Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Россия
А.С. Смоляниченко
Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Россия

Приведены сведения о возможности использования растительных материалов для получения сорбентов, обладающих высокой эффективность по отношению к различным загрязнителям водных сред. Показано, что целлюлозосодержащие растительные отходы, подвергшиеся различным модификациям – кислотной, термической обработке – являются перспективными сорбционными материалами для извлечения ионов тяжелых металлов. Результаты исследований также свидетельствуют об эффективности растительного сырья, что открывает широкие возможности производства на его основе экологически безопасных, дешевых сорбентов.

Сельскохозяйственные отходы часто привлекают внимание исследователей как потенциальное сырьё для производства сорбентов.

По некоторым данным, в мире производится 68 миллионов тонн апельсинов, объемы производства отходов их переработки оцениваются в диапазоне от 15 до 25 миллионов тонн [1].

Рисовая шелуха является основным побочным продуктом рисовой

мукомольной промышленности, на ее долю приходится почти 20 % производства риса. Поскольку рисовое растение является основной зерновой культурой в Малайзии с годовым объемом производства более 180 миллионов тонн, производство рисовой шелухи составляет более 36 миллионов тонн [2].

Как правило, фермеры и переработчики риса часто сжигают рисовую шелуху, что приводит к попаданию в атмосферу углекислого газа [6].

В Индии национальное производство грецкого ореха колеблется от 40 000 до 45 000 тонн в год, а процесс получения неочищенных грецких орехов дает более 25 000 тонн скорлупы и примерно 11 000 тонн отходов миндальной скорлупы ежегодно [3].

Оливковое масло почти полностью производится в Средиземноморском регионе. Поскольку спрос на оливковое масло во всем мире быстро растет, загрязнение окружающей среды, создаваемое отходами оливкового завода, является растущей проблемой. Оливковые мельницы производят огромное количество отходов, сообщалось, что из 1000 кг оливковых фруктов можно получить около 350 кг оливкового жмыха [9].

В последние годы для удаления примесей, содержащихся в воде, успешно применяются сорбционные материалы на основе растительных отходов: скорлупы кокосового и кедрового орехов, шелуха риса, гречихи, древесная щепа, солома и многое другое [1–4].

Себестоимость таких сорбентов намного меньше, чем известных промышленных образцов, что в свою очередь значительно улучшит экологическое состояние водных экосистем за счет широкого применения доступного и недорогого материала [5–8].

Термическая модификация растительных отходов ожидаемо позволяет получить достаточно высокие показатели эффективности очистки модельных вод экспериментальными материалами, так, например, были проведены исследования по карбонизации рисовой шелухи [10], отходов манго [7].

Известно, что стенки клеток высших растений содержат примерно 90 % углеводов, основным представителем которых является природный полимер – целлюлоза. Кроме нее в растениях также содержатся: гемицеллюлоза, пектин, лигнин, смолистые вещества и др. [9].

Под влиянием теплового воздействия в молекуле целлюлозы происходят структурные превращения, многочисленные параллельно и последовательно протекающие реакции, приводящие к образованию разнообразных промежуточных и конечных продуктов [8].

Применение подсолнечной лузги в качестве сорбента для очистки природных вод от ионов тяжелых металлов. Исследована адсорбционная способность данных растительных сорбентов. Показано, что наибольшей эффективностью обладает материал из лузги подсолнечника,

последовательно обработанный концентрированной соляной кислотой и 33 %-ным раствором едкого натра [7].

Исследования сорбционной способности материалов, полученных на основе растительных отходов, показали, что наибольшей эффективностью обладают материалы из лузги подсолнечника, последовательно обработанные концентрированной соляной кислотой и 33 %-ным раствором едкого натра. При этом эффективность сорбции по отношению к ионам железа, марганца, меди составляет соответственно – 90,8 %, 91,5 и 93,5 %. Данный образец обладает сорбционной емкостью по иоду и метиленовому голубому, превосходящей таковую для активированного угля на 10 % в обоих случаях. Он может быть рекомендован в качестве сорбционного материала при производстве фильтров для очистки питьевой воды.

Результаты исследований свидетельствуют об эффективности растительного сырья, что открывает широкие возможности производства на его основе экологически безопасных, дешевых сорбентов [7].

ЛИТЕРАТУРА

1. Sivakumar, D. Treating dairy industry effluent using orange peel powder / D. Sivakumar, D. Shankar, J.S. Sundaram // JCPS. – 2016. – Vol. 9, Is. 3. – P. 1550–1552.
2. N.T. Hoai, Oil spill cleanup using stearic-acid-modified natural cotton / N.T. Hoai, N.N. Sang, T.D. Hoang, J. Mater // Environ. Sci. – 2016. – N 7. – P. 2498–2504.
3. Осокин, В.М. Исследования по получению новых сорбентов из растительного сырья для очистки воды / В.М. Осокин, В.А. Сомин // Ползуновский вестник. – 2013. – № 1. – С. 280–282.
4. Дудник, А.Н. Изучение процесса карбонизации лузги подсолнечника / А.Н. Дудник, П.Е. Стрижак, И.С. Соколовская, А.И. Трипольский, Е.Ю. Калишин, В.В. Донец // Современная наука:3 сборник научных статей. –2011. – № 3 (8). – С. 74–78.
5. Ямансарова, Э.Т. Исследование сорбционных свойств материалов на основе растительного сырья по отношению к органическим и неорганическим примесям / Э.Т. Ямансарова, Н.В. Громык, М.И. Абдуллин, О.С. Куковинец, О.Б. Зворыгина // Вестник Башкирского университета. – 2016. – Т. 21. № 2 – С. 314–318.
6. Громыко, Н.В. Применение подсолнечной лузги в качестве сорбента для очистки природных вод от ионов тяжелых металлов / Н.В. Громыко // Международный научный журнал «Инновационная наука». – №1. – 2016. – С. 41–42.
7. Luis C. Romero, Peanut Shell Activated Carbon: Adsorption Capacities for Copper(II), Zinc(II), Nickel(II) and Chromium(VI) Ions from Aqueous Solutions / Luis C. Romero, Antonio Bonomo, Elio E. Gonzo //Adsorption

Science & Technology. - Vol. 22 No. 3. – 2004. – 10 p.
8. Mohammad Ilyas , Removal of Cr (VI) from Aqueous Solutions Using Peanut shell as Adsorbent / Mohammad Ilyas, Aziz Ahmad, Muhammad Saeed // J.Chem.Soc.Pak. – Vol. 35, No.3. – 2013. – P. 760–768.
9. Тертышный, О.А. Получение сорбентов карбонизацией рисовой шелухи для очистки воды от нефтепродуктов / О.А. Тертышный, Е.В. Тертышная, Д.В. Гура // Праці Одеського політехнічного університету. – 2013. – № 3(42). – С. 306–309.

УДК 628.32

ЭКОНОМИКА ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА НА АВТОМОЙКАХ

Т.В. Степанова, А.В. Крысоватая, С.А. Проскурина, Е.Е. Карандаева
Воронежский государственный технический университет,
г. Воронеж, Россия

Предлагается замкнутая система водоснабжения на автомойках. Рассматривается полученная экономическая и экологическая выгода.

На данный момент экология находится в критическом состоянии от работы промышленных предприятий. Также один из факторов загрязнения окружающей среды – автомойки. В 2010 г. в Воронеже было около 90, а в 2023 г. – 240 автомоек. С мытьем авто связаны технологические процессы, которым необходимо большое количество воды и стоки имеют примесь химических средств, нефтепродуктов, масло и взвешенные частицы. Количество выбросов с автомоек с 2010 г. увеличилось в 2,7 раза, что негативно сказалось на окружающей среде [4].

Мы провели статистику по Воронежу и составили график, в котором отразили увеличение моек машин с 2010 г по настоящее время (рис. 1).



Рисунок 1. **График увеличения моек авто с 2010 г**.

Чтобы снизить опасное воздействие на окружающую среду, мы предлагает использовать на автомойках оборотную систему (рис. 2). Оборотная система является полностью замкнутой, что исключает выброс загрязненной воды в природную среду [1–2].

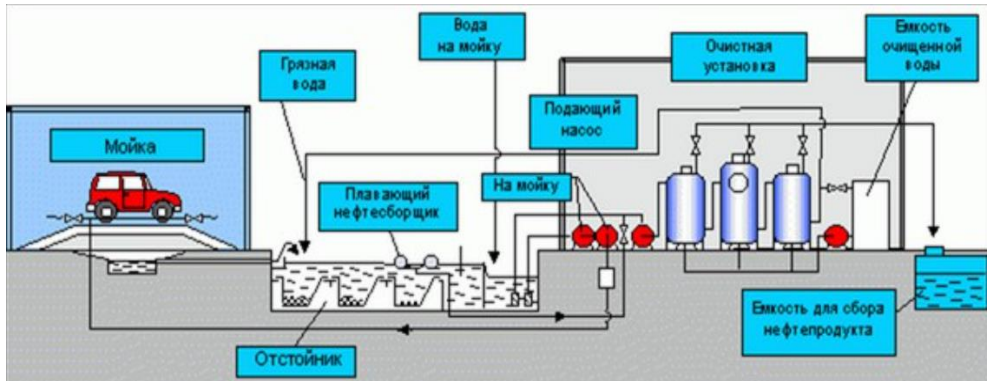


Рисунок 2. **Оборотная система автомойки**

При замкнутой системе использованная вода с моющим средством выбрасывается в окружающую среду в полном объеме, внедрение оборотной системы водоснабжения позволяет экономить до 90 % воды и 50 % моющего средства. Для достижения экономии технические стоки проходят некоторую очистку:

1. Стоки попадают в отстойник. Механическая фильтрация удаляет крупные частицы из смеси.

2. С помощью насоса жидкость перемещается во флотатор. Происходит насыщение стоков пузырями через керамические мембраны и образуется пена. Пена абсорбирует нефтепродукты и моющее средство.

3. После флотатора жидкость пропускают через фильтры для удаления остатков частиц.

В результате очистки образуется осадок, который необходимо утилизировать. Для устранения подходит термический способ или запуск специальных бактерий, которые окисляют осадок. Так же можно использовать осадок для изготовления сухого цемента, что поможет снизить себестоимость продукта [3].

Оборотная система для автомоек должна обязательно включать:

1) накопительную емкость;
2) насос для подачи вод;
3) двухсекционный реактор (насос-дозатор и компрессор);
4) флотатор с мембраной для фильтрации;
5) сборник шлака;
6) емкость с фильтром грубой очистки и насосом;
7) бак для очищенной воды [2].

Все фильтры промываются обратным током, поэтому система используется многократно. Производительность таких установок составляет до 40 $м^3$/час. На распространенные автомойки подойдут

установки малой производительности [5].

На рисунке 3 показано, что 1 м^3 воды можно вымыть 50 машин при оборотной системе, при тупиковой – только 10. Также происходит весомая экономия моющего средства и воды.



Рисунок 3. **Диаграмма выгоды оборотной системы**

Эта система позволяет сократить потребление чистой воды и исключить вредные выбросы, что поможет избежать штрафа за превышение нормы выбросов вредных веществ в окружающую среду. Но образуется осадок, который необходимо утилизировать.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воронов Ю.В., Яковлев С.В. Водоотведение и очистка сточных вод. – Москва, 2006. С. 588–591.
2. Гудков А.Г. Механическая очистка сточных вод. Вологда, 2003. С. 3–4.
3. Особенности утилизации сточных вод автомоек. Режим доступа: https://panor.ru/articles/osobennosti-protsessa-utilizatsii-stochnykh-vod-avtomoek/ 77271.html# (дата обращения 24.10.2023)
4. Автомойки Воронежа. Режим доступа: https://yandex.ru/maps/org/moy_ka_ds/228975060338/?display-text=%D0%90%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%BE%D0%B9%D0%BA%D0%B8&filter=best_rating%3A1&ll=39.444715%2C51.678579&mode=search&sll=39.181043%2C51.678379&text=category_id%3A%28184105244%29&z=10(дата обращения 24.10.2023)
5. Характеристика загрязнений производственных сточных вод от мойки автомобилей. Режим доступа: https://sudact.ru/law/ontp-01-91-rd-31079380176-91-obshchesoiuznye-normy-tekhnologicheskogo-proektirovaniia/prilozhenie-5/ot-zagriaznenii-stochnymi-vodami/tablitsa-1_4/ (дата обращения 24.10.2023)

УДК:621.9.079

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПЛЕКСА ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ СИСТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ СИНТЕТИЧЕСКИХ И ПОЛУСИНТЕТИЧЕСКИХ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ ЖИДКОСТЕЙ В МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩЕМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Ю.Б. Алякин
Ульяновский государственный университет, г. Ульяновск, Россия
Е.М. Булыжев
Ульяновский государственный технический университет, г. Ульяновск, Россия

Описаны результаты моделирования эффективности комплекса централизованных систем применения смазочно-охлаждающих жидкостей.

Показаны пути и средства предотвращения образования водных стоков синтетических и полусинтетических смазочно-охлаждающих жидкостей. Представлены стратегии решения проблемы многократного превышения объёмов водных стоков смазочно-охлаждающих жидкостей.

Подавляющее большинство технологических процессов металлообработки осуществляется с применением водных смазочно-охлаждающих жидкостей [1–2]. В настоящее время получили широкое распространение синтетические смазочно-охлаждающие жидкости [3]. При достаточно высокой технологической эффективности им присуща высокая физико-химическая стойкость, что позволило прогнозировать многократное повышение их срока службы[1] по сравнению с водоэмульсионными СОЖ [4].

Как уже было сказано выше, наблюдали на практике увеличение срока службы до 4 – 6 месяцев, однако это намного меньше ожидаемых 2 – 3 лет. Две трети объёмов приготавливаемых синтетических СОЖ расходуется в технологической структуре производства, а одна треть синтетических СОЖ подвергается разложению [3].

Ниже представлены результаты многофакторного математического моделирования эксплуатационной эффективности комплекса централизованных систем применения водных СОЖ, в том числе синтетических.

На основе данных обследования комплекса из 29 централизованных систем применения СиПС СОЖ на заводе двигателей [4] была сформирована расчётная матрица, представленная в таблице 1. Методом корреляционно-регрессионного анализа была получена математическая модель, описывающая взаимосвязь между расчётным значением функции

[1] Оценивается периодом стойкости между залповыми сбросами

– доля распределенных потерь в добавляемой СОЖ Ψ_P (2) от четырех аргументов: заправочный объём ёмкости V_O м^3, производительность Q, м^3/ч, концентрация СОЖ α и число замен СОЖ в год «$n_З$».

Анализировалось два варианта модели:

1. Уравнение со свободным членом:

$$\Psi_P = 3{,}24 \cdot 10^{-3}\, V_O - 0{,}53 \cdot 10^{-3}\, Q + 0{,}48\alpha + 0{,}103\, n_З + 0{,}323. \qquad (1)$$

Множественный коэффициент корреляции $R^2 = 0{,}162$.

Стандартная ошибка 0,1221.

Таблица 1. **Расчётная матрица моделирования**

№ п/п	ЦСП №	Производительность	Объем бака	Концентрация	Число замен	$V_{РПГ}/V_{РГ}$
		Q	V_O	α	$n_З$	$\psi_{РУ}$*
		м³/ч	м³	–	раз	(м³/ч)/год
1	2	3	4	5	6	7
1	**24**	180	34	0,09	3	0,673
2	**71**	180	38	0,04	3	0,606
3	**66**	360	75	0,03	3	0,540
4	**3**	720	130	0,04	2	0,412
5	**4**	1080	180	0,04	2	0,654
6	**59**	720	130	0,04	2	0,433
7	**73**	720	114	0,06	3	0,400
8	**61**	360	75	0,03	3	0,626
9	**55**	720	150	0,04	2	0,510
10	**58**	720	150	0,04	2	0,510
11	**63**	720	150	0,04	2	0,510
12	**67**	360	105	0,04	2	0,662
13	**70**	360	95	0,04	2	0,710
14	**2**	720	165	0,04	2	0,794
15	**10**	360	75	0,03	3	0,745
16	**13**	360	75	0,03	3	0,745
17	**14**	360	75	0,03	3	0,745
18	**15**	1080	167	0,066	2	0,569
19	**56**	360	75	0,03	3	0,745
20	**8**	360	66	0,03	3	0,773
21	**69**	360	66	0,03	3	0,773
22	**72**	360	66	0,03	3	0,773
23	**12**	1080	180	0,08	2	0,661
24	**65**	720	165	0,04	2	0,666
25	**76**	720	130	0,07	3	0,619
26	**23**	720	130	0,09	3	0,637
27	**25**	1080	165	0,08	3	0,651
28	**9**	720	130	0,07	2	0,737
29	**1**	720	167	0,04	2	0,846
Σ		**17280**	**3323**	1,35	73	18,7
Ср		595,9	114,6	0,05	2,52	0,65

2. Уравнение без свободного члена:

$$\Psi_P = 5{,}06 \cdot 10^{-3}\, V_O - 0{,}709 \cdot 10^{-3}\, Q + 0{,}66\alpha + 0{,}187\, n_З. \quad (2)$$

Множественные коэффициент корреляции $R^2 = 0{,}161$. Стандартная ошибка уравнения регрессии 0,1228.

Меньшая величина R2 позволила предпочесть уравнение (2).

Объём СОЖ в ЦСП N можно определить из уравнения, полученного путём преобразования уравнения (3):

$$V_O' = 197{,}6\, (\Psi_P + 0{,}709 \cdot 10^{-3}\, Q + 0{,}66\alpha + 0{,}187\, n_З). \quad (3)$$

Вычисленные значения Ψ_P представлены в таблице 2.

Величина N_O', получаемая по уравнению (4), соответствует увеличению числа циклов оборота СиПС СОЖ через ЦСП и технологическую систему станка:

$$N_O' = Q / V_O' \quad (4)$$

Увеличение числа циклов в час в свою очередь соответствует увеличению частоты и длительности контакта СОЖ с объектами: технологические системы станков, инфраструктура механического производства, а также увеличению относительной скорости потери объемов СиПС СОЖ и интенсификации процесса их потерь. Следовательно, N_O' приводит к необходимости повышения частоты коррекции состава и свойств СиПС СОЖ, например, до одного-двух раз в сутки. В этом случае СОЖ будет утрачиваться «естественно», а не сбрасываться принудительно залпом, т.е. залповые сбросы не будут производиться. В результате на 1/3 уменьшится её годовой расход.

При анализе модели эффективности комплекса просматриваются две стратегии решения проблемы многократного уменьшения сбросов СОЖ на разложение.

Первая стратегия заключается в учащении событий компенсации распределенных потерь объемов синтетических СОЖ. При этом средний состав СОЖ в течение длительного времени поддерживается более близким к технологическим требованиям. Учащение событий сброса обеспечивается добавкой СОЖ в заправочные емкости за счет управляемого ввода через лотки стока от станков. В этом случае через 20 – 25 минут добавляемая порция СОЖ перемешивается с основным её объемом. Управление введением свежих порций СОЖ целесообразно проводить в режиме «on-line» с использованием управляющего сигнала об уровне СОЖ в емкости после прекращения её оборота. Лучшее время – перерывы в работе на обед или ночью перед запуском ЦСП. Период времени t выбирается из ряда: час, смена и сутки.

Достоинство такой стратегии в простоте конструктивно-технологического решения. По сигналу о прекращении работы двигателя насоса или достижении заданного времени начинается подача свежей СОЖ, по сигналу датчика уровня подача жидкости прекращается.

Таблица 2. **Расчётные результаты моделирования**

№ п/п	ЦСП №	Технологическая ситуация			Производительность	Объем бака	Концентрация	Число замен	Уравнение (2)	Уравнение (3)
		Состав СОЖ	Материал заготовки	Вид обработки	Q	V_O	α	$n_З$	$\psi_Р$	V'_O
					м³/ч	м³		раз		м³
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	**24**	205/46	АЛ	Л	180	34	0,09	3	0,666	27
2	**71**	205	Ст	Ш	180	38	0,04	3	0,653	30
3	**66**	205	Ст	Ш	360	75	0,03	3	0,707	60
4	**3**	205	Ч	Л	720	130	0,04	2	0,551	104
5	**4**	205	Ч	Л	1080	180	0,04	2	0,550	144
6	**59**	205	Ст	Л	720	130	0,04	2	0,551	104
7	**73**	46/205	АЛ	Л	720	114	0,06	3	0,670	91
8	**61**	205	Ст	Ш	360	75	0,03	3	0,707	60
9	**55**	205	Ч	Л	720	150	0,04	2	0,652	120
10	**58**	205	Ч	Л	720	150	0,04	2	0,652	120
11	**63**	205	Ст	Л	720	150	0,04	2	0,652	120
12	**67**	205	Ст	Л	360	105	0,04	2	0,678	84
13	**70**	205	Ст	Л	360	95	0,04	2	0,627	76
14	**2**	205	Ч	Л	720	165	0,04	2	0,728	132
15	**10**	205	Ст	Ш	360	75	0,03	3	0,707	60
16	**13**	205	Ст	Л	360	75	0,03	3	0,707	60
17	**14**	205	СТ	Ш	360	75	0,03	3	0,707	60
18	**15**	46	Ст	Л	1080	167	0,066	2	0,501	134
19	**56**	205	Ч	Ш	360	75	0,03	3	0,707	60
20	**8**	205	Ч	Ш	360	66	0,03	3	0,661	53
21	**69**	205	Ст	Ш	360	66	0,03	3	0,661	53
22	**72**	205	Ст	Ш	360	66	0,03	3	0,661	53
23	**12**	205/46	Ст	Л	1080	180	0,08	2	0,576	144
24	**65**	205	Ст	Л	720	165	0,04	2	0,728	132
25	**76**	205/46	АЛ	Л	720	130	0,07	3	0,757	104
26	**23**	205/46	АЛ	Л	720	130	0,09	3	0,767	104
27	**25**	205/46	АЛ	Л	1080	165	0,08	3	0,687	132
28	**9**	205/46	Ст	Л	720	130	0,07	2	0,570	104
29	**1**	205	Ч	Л	720	167	0,04	2	0,738	134
Σ					**17280**	**3323**	1,35	73	19,2	2659
Ср					595,9	114,6	0,05	2,52	0,66	91,7

Основной недостаток – необходимость подвода отводов магистральных трубопроводов для подачи СОЖ ко всем ЦСП, что потребует дополнительных инвестиций.

Кроме того необходимо в нерабочее время:

а) проводить очистку СОЖ от тонких механических примесей

(металлические частицы и частицы графита от чугунов) с помощью тонких фильтров или центрифуг с относительно малой производительностью порядка 3 – 20 $м^3$/час, что позволит поддерживать значение механических примесей на среднем, но допустимом уровне;

б) удалять с помощью скиммеров (трубчатого или ленточного типа) масляную пленку с поверхности СОЖ во время ее успокоения.

Вторая стратегия заключается в организации приготовления СОЖ непосредственно в процессе ее оборота за счет раздельного введения концентрата и воды в оборотную емкость в зону забора насоса для подачи СОЖ. Это обеспечивает хорошее и быстрое перемешивание. Эту процедуру можно проводить в специальных павильонах при каждой ЦСП (с площадью 2 – 4 $м^2$ и высотой не более 2,5 м) с помощью емкости для концентрата, туда же подводятся ответвления магистрального трубопровода для подачи воды. Кроме того в павильон поставляется не только концентрат (объем не более 1 т), но и компоненты концентрата: ингибиторы коррозии, раствор для поддержания на заданном уровне параметра pH, бактерицид для обеспечения параметра «биопораженность» на заданном уровне (баллов).

Предлагается организовать специальную мобильную станцию мониторинга состава СОЖ для всех ЦСП. Для этого на какое-то время мобильная станция мониторинга СОЖ подключается к павильону или трубопроводам ЦСП. Затем проводится приборный контроль качества по заданным параметрам и выдается сигнал на срабатывание дозаторов мобильной станции. В сток станка вводятся дозы компонентов концентрата. Мобильная станция после оценки качества коррекции СОЖ (0,5 – 1 час) отключается и переезжает к следующему павильону ЦСП. Это обеспечит минимизацию затрат на автоматизацию системы управления эксплуатацией СОЖ.

Вопросы очистки СОЖ от мехпримесей и посторонних масел решаются и при втором варианте, т.е. независимо от стратегии.

Для анализируемого комплекса ЦСП при стоимости мобильной станции в 4 – 5 млн. рублей затраты на одну ЦСП не превысят 90 –150 тыс. рублей.

Достоинство второй стратегии в относительной дешевизне конструктивно-технологических решений и повышении надежности качества оборотных СиПС СОЖ.

ВЫВОДЫ

1. Получены многофакторные уравнения зависимости относительного расхода СиПС СОЖ на основе значений факторов: заправочный объём СОЖ, производительность, концентрация СОЖ и число расходов в год. С помощью выбранного варианта уравнения возможен расчёт скорректированного заправочного объёма СОЖ, обеспечивающего

минимизацию потерь СОЖ.
2. Разработаны две стратегии предотвращения потерь СОЖ на залповые сбросы на разложение и многократного уменьшения годового расхода СиПС СОЖ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Смазочно-охлаждающие технологические средства: Справочник / Под общей ред. Л.В. Худобина – М.: Машиностроение, 2006. 543 с.
2. Мане С., Кумар С. Смазочно-охлаждающие жидкости и методы их применения при обработке: обзор // Международный журнал научных и инженерных исследований. 2018. Т. 9.№ 3. С.60–63.
3. Керимов П.М., Ахмедова А.А., Агаев Б.К., Алекперова С.Б., Зейналов Б.К. Смазочно-охлаждающая жидкость на основе синтетических нафтеновых кислот для наружной и внутренней шлифовки чугунных деталей компрессора / Вопросы нефтехимии, 1991, № 17. С. 91–93.
4. Булыжев Е.М., Худобин Л.В., Алякин Ю.Б. Предотвращение залповых стоков синтетических смазочно-охлаждающих жидкостей на разложение и утилизацию путем оптимизации условий эксплуатации / Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2023»: материалы XIV Межд. науч.-практ. конф.; г. Кисловодск, 18-21 апреля 2023 г. / Юж.–Рос. политехн. ун–т. (НПИ) имени М.И. Платова – Новочеркасск: Лик, 2023. С. 358–363.

УДК 628.14.659

СРАВНЕНИЕ НОРМАТИВНОЙ И ЭМПИРИЧЕСКОЙ ЗАВИСИМОСТЕЙ ДЛЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА СЕТЕЙ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ ТРУБ

О.А. Продоус
Независимый эксперт по водоснабжению и канализации, г. Санкт-Петербург, Россия
П.П. Якубчик, Н.В. Половец
«ПГУПС» Императора Александра I», г. Санкт-Петербург, Россия

Установлено, как использование различных формул для гидравлического расчета водопроводных сетей из полимерных материалов, влияет на прочность определения фактических потерь напора в трубах. Рекомендовано учитывать при гидравлическом расчете этих трех величин значения высотного и шагового параметров шероховатости их внутренней поверхности.

Потери напора в водопроводах из полимерных материалов определяются по известной формуле:

$$H_{\text{ф}} = i_{\phi} \cdot l \text{, м} \qquad (1)$$

где $H_ф$ – фактические потери напора в сети водоснабжения без учета влияния местных сопротивлений (задвижек, тройников, отводов и т.п.), м, то есть только за счет влияния шероховатости внутренних стенок труб; $i_ф$ – фактический коэффициент гидравлического сопротивления труб, определяемый по нормативной зависимости СП 399.13.25800–2018, с учетом технологических допусков, мм/м; l – длина трубопровода, м.

При определении $H_ф$ для каждого конкретного случая – представляется сложной задачей определения значения $i_ф$, величина которой главным образом влияет на точность расчета фактических потерь напора в трубах $H_ф$ из полимерных материалов [1–2].

Экспериментально установлено, что потери напора в трубах из любых видов полимерных материалов зависят также от величины значений параметров шероховатости их внутренней поверхности, которые до настоящего времени нормативно не регламентированы. Шероховатость рабочей поверхности труб существенно влияет на величину фактических потерь напора $H_ф$, так как трубы из полимерных материалов работают в квадратичной области гидравлических сопротивлений [4].

Для подтверждения вышеизложенного, рассмотрим конкретный пример, подтверждающий это заключение.

Условие задачи/

Рассчитать фактические потери $H_ф$ в полиэтиленовом водопроводе диаметром $d_{вн}$ = 200 мм, PN 10, SDR 17, подающим потребителю расход воды q = 25 л/с (0,025 м^3/с), если известны значения параметров шероховатости труб *Ra* = 40,1 мкм (0,0401 м), *Sm* = 6200 мкм (6,2 м). Расчет произвести по нормативной зависимости (2) и по формуле Продоуса-Якубчика (3).

Решение/

- Уточненный вид нормативной зависимости для гидравлического расчета труб из полимерных материалов имеет вид [6]:

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

где $b = 1 + \frac{\lg Re_ф}{\lg Re_{кв}}$ – число подобия режимов движения жидкости. При условии $b > 2$, значение b принимается равным 2 [5]; $Re_ф = \frac{V \cdot d}{\upsilon}$ – фактическое число Рейнольдса; υ – коэффициент кинематической вязкости воды, зависящий от ее температуры, м^2/с. Для водопроводных расчетов

обычно принимают значение $\upsilon = 1{,}31 \cdot 10^{-6}$ м^2/с, соответствующее температуре воды:
t = +10° C;

$Re_{кв} = \dfrac{500 \cdot d}{K_э}$ – число Рейнольдса, соответствующее началу квадратичной области гидравлических сопротивлений; $К_э$– гидравлическая шероховатость стенок труб или коэффициент эквивалентной равномернозернистой шероховатости внутренней поверхности труб, м; $m = \lg \dfrac{3{,}7 \cdot d}{K_э}$ – число параметров трубопровода, отражающее изменение расчетного внутреннего диаметра и значения величины параметров шероховатости внутренней поверхности труб *Ra* и *Sm*; *Ra* – среднеарифметическое отклонение профиля от его средней линии в пределах базовой длины, мкм, – высотная характеристика шероховатости; *Sm* – средний шаг между неровностями в пределах базовой длины, мкм, – шаговая характеристика шероховатости; $n = \lg Re_ф - 1$ – фактор, характеризующий изменение расхода q транспортируемой жидкости, в зависимости от ее физических свойств.

- Так как $К_э$ – физически неосязаемая величина, то в 70-е годы 20 века авторами статьи предложена эмпирическая зависимость, устанавливающая связь между $К_э$ и физически измеренным значением *Ra*:

$$К_э = 2Ra^{1.33}, м \qquad (3)$$

Нормативное значение принимается равным $К_э \geq 0{,}00001$ м, что соответствует значению *Ra*:

$$Ra = \sqrt[1{,}33]{\frac{К_э}{2}} = 3{,}35, \text{ мкм}$$

- Гидравлический расчет труб из полимерных материалов даже по этой упрощенной формуле (2) является весьма трудоемким. Поэтому на основании проведенных в ЛИИЖТе крупномасштабных гидравлических экспериментов Продоусом О.А. и Якубчиком П.П. была предложена экспериментальная зависимость, имеющая вид [4]:

$$\lambda = \frac{0{,}3162}{Re_ф^{0{,}25}} \cdot \left(\frac{10Ra_{ср} \cdot 10^2}{Sm_{ср}} \right) \cdot \left(\frac{2Ra_{ср} \cdot 10^2}{d_{вн}^ф} + 1 \right)^{0{,}175}, \qquad (4)$$

где $d_{вн}^ф$ – фактический внутренний диаметр труб из полимерных материалов, с учетом влияния технологических допусков на их наружный диаметр $d_н$ и толщину стенки *e*, м.

Формула (4) справедлива в интервале средних значений параметров шероховатости труб:

$$0{,}2 \text{ мкм} \le Ra_{ср} \le 1{,}0 \text{ мкм}$$

и средних шагов между неровностями:

$$2000 \text{ мкм} \le Sm_{ср} \le 10\,000 \text{ мкм};$$

$$0{,}2 \text{ мм} \le Sm_{ср} \le 2{,}0 \text{ мм}.$$

Вид формулы (4) проще, чем вид нормативной зависимости (2) и без трудностей в расчете.

- Рекомендуется вычислять значение λ по измеренным в производственных условиях средним значениям параметров шероховатости труб $Ra_{ср}$ и $Sm_{ср}$ и далее, подставив значение λ в формулу Дарси-Вейсбаха получим:

$$i_{ср}^{ф} = \lambda \frac{V_{ср}^2}{d_{вн}^{ф} \cdot 2q}, \text{ мм/м} \qquad (5)$$

то есть можно вычислять среднее (фактическое) значение гидравлического уклона $i_ф$ без проведения трудоемких гидравлических исследований.

На рисунке по данным таблиц 2 и 3 построены графики зависимостей:

$i_р = \int\left(Ra_р\right)$ (по формулам (2) и (5));

$i_ф = \int\left(Ra_ф\right)$ (по формулам (4) и (5)).

Анализ значений сравниваемых характеристик труб в таблице 1 показывает, что имеет место большое расхождение значений $К_э^ф$ (по формуле (3)) в сравнении со значением $К_э^р$ (по формуле (2)), которое составляет 99,99 %, что означает – **не правильно** (занижено) установленное значение $К_э$ в СП 399.

Таблица 1. **Сравнение значений гидравлических характеристик труб, подсчитанных по разным формулам**

Значения гидравлических характеристик труб											
по формуле (2)						по формуле (4)					
$К_э^р$	$d_{вн}^р$	$V_р$	$i_р$	$\lambda_р$	$H_р$	$К_э^ф$	$d_{вн}^ф$	$V_ф$	$i_ф$	$\lambda_ф$	$H_ф$
0,00005	0,201	0,79	0,00548	0,03461	0,006	1,42	0,200	0,80	0,00453	0,00168	0,005
Процент расхождения расчетных и фактических характеристик, сравниваемых труб, %											
–	–	–	–	–	–	99,99	0,50	1,25	23,30	17,34	16,67

Для расчетов характеристик труб по формуле (2) устанавливаем диапазон изменения скоростей $V_р$ = 0,80; 0,85; 0,90; 095; 1,0 м/с.

Для расчетов по формуле (3) принимаем значения Ra = 36, 37, 38, 39, 40 мкм.

Представленные на рисунке графики зависимости $i_{р(ф)} = \int\left(Ra_{р(ф)}\right)$, построенные по данным таблиц 2 и 3, подтверждают необходимость обязательного учета величины значений параметров шероховатости

внутренней поверхности труб *Ra* и *Sm*, влияющих при гидравлическом расчете на величину фактических потерь напора $H_ф$ в трубах, так как при $H_ф = i_ф \cdot l$, м, если $l = 1$ п.м, то $H_ф = i_ф$.

Таблица 2. **Расчетные значения $\lambda_р$ (по формуле (4)) при разных скоростях движения воды $V_р$**

Расчетные скорости движения воды, $V_р$, м/с				
0,8	0,85	0,90	0,95	1,0
Расчетный по формуле (4) коэффициент гидравлического сопротивления труб $\lambda_р$, мм/м				
0,00274	0,00317	0,00337	0,00371	0,00405

Таблица 3. **Фактические значения гидравлического уклона труб $i_ф$ при разном значении их параметра шероховатости *Ra***

Величина значения параметра шероховатости *Ra*, мкм				
36,0	37,0	38,0	39,0	40,0
Фактический по формуле (5) гидравлический уклон труб $i_ф$, мм/м				
0,01691	0,01661	0,01642	0,01620	0,015996

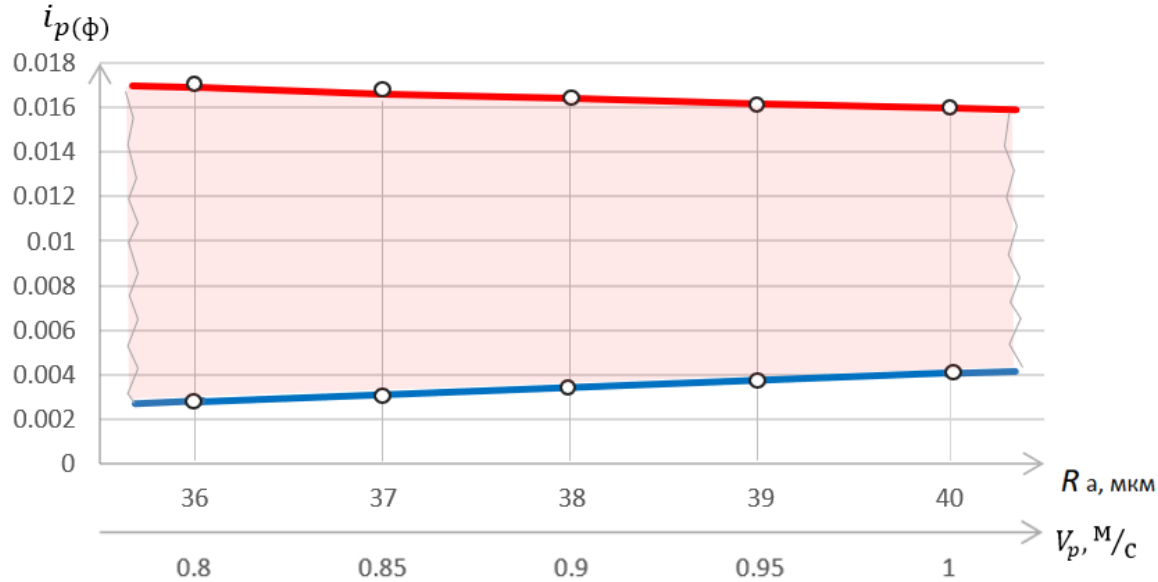


Рисунок. **Графики зависимости** $i_{р(ф)} = \int\left(Ra_{р(ф)}\right)$

Таким образом, представленные расчеты показывают, что:

1. Нормативная расчетная зависимость (2) для гидравлического расчета труб из полимерных материалов, является неточной, так как не учитывает величины фактических значений параметров шероховатости внутренней поверхности труб *Ra* и *Sm*, изменяющихся в связи с технологическими особенностями их производства, зависящими от

качества полиэтиленового сырья (крошки), (производителя) и фактической температуры охлаждения труб на их выходе из экструдера на охлаждение и других технологических факторов.
2. Рекомендуемая для использования расчетная формула (4) учитывает фактическую структуру шероховатости труб и позволяет повысить точность их гидравлического расчета.

ЛИТЕРАТУРА

1. Продоус О.А., Терехов Л.Д., Смолин Е.С. Анализ зарубежных и отечественных расчетных зависимостей для определения потерь напора в трубопроводах из полимерных материалов // Водоснабжение и санитарная техника. 2019. № 1, С. 56–60.
2. Продоус О.А. Влияние колебаний значений параметров, входящих в нормативную зависимость СП 40-102-2000, на величину потерь напора в трубах из разных полимерных материалов // Инженерные системы. АВОК– Северо-Запад. 2019. № 4, С. 50–53.
3. Продоус О.А., Якубчик П.П. Сравнительная оценка нормативных и расчетных значений величины коэффициента гидравлического сопротивления труб из полимерных материалов. // Инженерные системы АВОК– Северо-Запад, декабрь 2020. С. 44–46.
4. Продоус О.А., Якубчик П.П. Гидравлический расчет трубопроводов из полимерных материалов с учетом параметров шероховатости внутренней поверхности труб. // Водоснабжение и санитарная техника. 2020. № 11. С. 55–60.
5. Продоус О.А. Таблицы для гидравлического расчета труб напорных из полиэтилена. Справочное пособие. Издание 3-е – дополненное. // СПб.: ООО «Свое издательство», 2017. 240 с.
6. Межгосударственный стандарт ГОСТ 18599-2018 Трубы напорные из полиэтилена. Технические условия. Издание официальное. // https://docs.cntd.ru/document/1200029492?ysclid=lrdyq7prco483611840

УДК 626/627

ТЕХНОЛОГИИ УВЕЛИЧЕНИЯ ВОДООТДАЧИ ВОДОХРАНИЛИЩ НА МАЛЫХ ГОРНЫХ РЕКАХ КАВКАЗА

Я.В. Волосухин
Институт безопасности гидротехнических сооружений, г. Новочеркасск, Россия

Водохранилища Северного Кавказа на реках: Кубань, Терек, Кума и другие, и их притоки широко используются для водоснабжения городов и населенных пунктов. Актуальнейшей проблемой водохранилищ Кавказа является их интенсивное заиление. Наиболее сложно решается эта проблема для водохранилищ объемом до 10 млн. м^3 на

малых горных реках. Совершенствование технологий водоотдачи водохранилищ позволяет продлить их жизненный цикл.

Заиление водохранилища обусловлено осаждением в его чаше наносов, поступающих с водосбора вместе с жидким стоком рек и ручьев, питающих водохранилище, а также твердого материала, попадающего в водоем в результате размыва его берегов или ветрового (эолового) переноса пыли с прилегающих участков суши. Отложения, сформировавшиеся в водохранилище в процессе его заиления, образуют так называемое тело заиления.

В связи с неготовностью сооружений инженерной защиты Нижней Кубани к пропуску проектных расходов в нижний бьеф водохранилища в объеме 1500 м^3/с по согласованию с органами исполнительной власти Краснодарского края, Республики Адыгея и Минсельхозом России с 1993 года эксплуатация Краснодарского водохранилища осуществляется в непроектном режиме – со сниженным НПУ до отметки 32,75 м, что на 0,9 м ниже проектного НПУ (33,65 м).

В результате такого решения объем полезной емкости водохранилища снизился более чем на 350 млн. м^3, а также произошло ухудшение его санитарного состояния (увеличение площади мелководных участков, снижение средних глубин, ухудшение качественных показателей водных ресурсов, развитие процессов эвтрофикации и зарастания акватории водохранилища).

Приведенные факты подтверждены выводами выполненной в 2017 году научно-исследовательской работы «Исследование влияния режима регулирования Краснодарского водохранилища при сниженной отметке НПУ (32,75 м абс.) на эксплуатационные и экологические характеристики водохранилища. Разработка научно обоснованных рекомендаций и мероприятий по улучшению эксплуатационных и экологических характеристик Краснодарского водохранилища», согласно которым объем заиления чаши Краснодарского водохранилища за период эксплуатации составил около 450 млн. м^3, при этом до 70 % от объема наносов оказалась не в призме уровня мертвого объема, а в призме полезного объема, что также не соответствует проектным эксплуатационным параметрам.

Таким образом, следствием такой непроектной эксплуатации водохранилища стала потеря около 550 млн. м^3 полезной емкости.

Однако, даже в существующих условиях эксплуатации, водоотдача Краснодарского водохранилища обеспечивается Росводресурсами на уровне проектных значений. Так, для обеспечения потребности в водных ресурсах орошаемого земледелия Нижней Кубани в течение периода вегетации с 20.04.2020 г. по 24.07.2020 г. в нижний бьеф Краснодарского водохранилища обеспечен сброс в объеме 4041 млн. м^3. Указанный объем

сброса обеспечивает проектный в объеме 3258,6 млн. м^3, необходимый для гарантированного водообеспечения орошаемых земель (266,9 тыс. га, в том числе 212,6 тыс. га рисового севооборота), и в целом превышает нормативный объем сброса для года 75 % обеспеченности в условиях пониженной водоотдачи водохранилища, установленный Правилами эксплуатации Краснодарского водохранилища (3988 млн. м^3).

Принимая во внимание объемы ежегодного поступления наносов (около 8 – 9 млн. м^3), а также проблему отсутствия мест их складирования и утилизации, проведение работ по расчистке чаши Краснодарского водохранилища в целях увеличения его водоотдачи оценивается как малоэффективное и экономически нецелесообразно.

В качестве экономически оправданного варианта решения задачи восстановления полезной емкости и обеспечению гарантированной водоотдачи Краснодарского водохранилища представляется целесообразным вернуться к проектному режиму работы Краснодарского водохранилища на отметке НПУ (33,65 м).

Реализация этого решения позволит не только восстановить более 350 млн. м^3 полезной емкости водохранилища, но и предотвратить его дальнейшую деградацию, снизив площади мелководий и увеличив скорости водообмена.

Выполнение мероприятий, направленных на сокращение объемов привноса твердого стока в водохранилище и создание условий для его транспортировки в призму мертвого объема. Необходимо обеспечить адаптацию мелиоративного и рыбохозяйственного комплексов Краснодарского края к условиям режима ограниченной водоотдачи водохранилища для условий маловодья, а также обеспечить улучшение технического уровня мелиоративного фонда: привести в надлежащее состояние запорную арматуру, насосное оборудование и транспортирующие сооружений мелиоративных систем.

Предложенные меры позволят продлить период эксплуатации Краснодарского водохранилища с существующим уровнем водоотдачи еще на 55 – 60 лет.

Необходимо отметить, что состояние и условия функционирования мелиоративных систем являются характерными лимитирующими факторами для проектного диапазона работы водохранилищ не только в бассейне Кубани, но и Волги, Дона и малых рек, например, на реке Эшкакон – Эшкаконское водохранилище.

Эшкаконское водохранилище расположено на реке Эшкакон в Малокарачаевском районе Карачаево-Черкесской Республики. Водоем был введен в эксплуатацию в 1989 году. Эшкаконский гидроузел представляет собой регулирующее водохранилище и гидротехнические сооружения водохранилища, совмещенные с комплексом очистных сооружений у населенного пункта Водовод.

Основные параметры водохранилища: площадь водосбора – 240 кв. км, средний многолетний объем годового стока – 53,3 млн. куб.м. Длина водохранилища – 2,6 км, ширина – 435 м, средняя глубина – 21 м. Объем водохранилища: общий – 8,27 млн. куб.м, регулирующий – 8,075 млн. куб.м.

Эшкаконское водохранилище является основным источником водоснабжения г. Кисловодска. Водохранилище расположено на 12 км выше устья р. Эшкакон, которая берет начало у г. Бичисын и протекает по территории Карачаево-Черкесской Республики, впадая в р. Подкумок у села Учкекен.

Забранные водные ресурсы из Эшкаконского водохранилища за период 2016 – 2022 г.г. представлены в таблице.

Таблица. **Забранные водные ресурсы из Эшкаконского водохранилища в 2016 – 2022 г.г**.

Месяц	Водозабор из Эшкаконского водохранилища, млн. $м^3$, по годам						
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Январь	2,300	2,227	2,068	2,069	2,131	2,100	2,329
Февраль	2,022	2,098	1,849	1,805	2,040	1,770	2,127
Март	2,217	2,209	1,973	2,097	2,224	2,223	2,336
Апрель	2,123	2,077	1,895	2,104	2,116	2,067	2,287
Май	2,110	2,037	2,006	2,068	2,238	2,200	2,339
Июнь	2,008	1,951	1,960	2,109	2,205	1,909	2,372
Июль	2,193	1,842	2,173	2,245	2,308	2,269	2,497
Август	2,319	2,323	2,123	2,321	2,307	2,528	2,671
Сентябрь	2,017	2,099	2,016	2,242	2,343	2,277	2,457
Октябрь	2,070	2,085	2,073	2,289	2,346	2,353	2,415
Ноябрь	2,009	1,925	2,012	2,086	2,114	2,211	2,246
Декабрь	2,093	2,055	2,048	2,018	2,118	2,294	2,271
Итого	**25,482**	**24,930**	**24,194**	**25,453**	**26,491**	**26,203**	**28,347**

ЛИТЕРАТУРА

1. Волосухин Я.В. Река Кума. Комплексная характеристика бассейна: монография: 5-е изд. испр. и доп. Новочеркасск: Лик, 2013. 440 с.

УДК 504.062.4

ОБОСНОВАНИЕ СИСТЕМ ВОДО-ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ УЗЛОВ

Д.В. Кашарин
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия
Е.Е. Щуцкая
Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Россия

Приведено обоснование использования технологических схем водо-энергоснабжения железнодорожных узлов в системе водо и энерглснабжения для повышения коэффициента полезного действия и энергоэффективности за счет рекуперации энергии обратноосмотических установок.

Долгосрочная программа развития ОАО «РЖД» до 2025 года включает формирование единого транспортного пространства России на базе сбалансированного опережающего развития эффективной транспортной инфраструктуры. Создание данной инфраструктуры включает рациональное использование топливно-энергетических ресурсов и является одной из важнейших задач, стоящих перед Правительством РФ. Федеральный закон «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», и стратегия развития России на период до 2030 года, определяют эффективность экономики одним из главных ориентиров долгосрочной государственной политики. По итогам реализации мероприятий структурной реформы железнодорожной отрасли выявлено:

1. системный дефицит инвестиций на обновление инфраструктуры и реализацию проектов расширения сети. По этой причине нагрузка на железнодорожную инфраструктуру продолжала возрастать при отсутствии существенного улучшения уровня ее развития и технической вооруженности:
2. низкая плотность железнодорожной сети в России, что обуславливает значительную протяжённость линий электропередач;
3. проведенные работы по электрификации отдельных линий, строительству дополнительных путей, реконструкции и восстановлению станций и разъездов не позволили снизить протяженность «узких мест» на сети в соответствии с долгосрочной программой развития ОАО «РЖД» до 2025 года.

Одним из перспективных направлений является использование системы водоснабжения в качестве дополнительного источника энергии.

Более 45 % всей используемой воды на железнодорожном транспорте приходится на хозяйственно-питьевое водоснабжение пристанционных поселков. В железнодорожных водопроводах обычно применяют объединенную систему водоснабжения с подачей из нее воды всем потребителям. При этом водопроводные сооружения должны пропускать одновременно расход воды для удовлетворения хозяйственно-питьевых, производственных и противопожарных нужд. При объединенном водопроводе расход воды на пожаротушение должен быть обеспечен с учетом наибольшего потребления на другие нужды железнодорожной станции для других потребителей, таких как дома отдыха, санаторно-туристические комплексы, детские лагеря, школы-интернаты, которые часто подключают к железнодорожным водопроводам.

Актуальным является разработка совместных схем водо-энергоснабжения инфраструктуры железнодорожных вокзалов (табл. 1) [1].

Таблица 1. **Рекомендуемые требования по категориям надежности электроснабжения электроприемников железнодорожных вокзалов**

Наименование электроприемников	В зависимости от вместимости		
	Малые	Средние	Большие и крупные
Шины главного распределительного щита и вводно-распределительного устройства пассажирского здания			
Устройства пожаротушения, дымоудаления, пожарной и охранной сигнализации и устройства автоматизации этих систем			
Вводные устройства электропитания систем оповещения и связи	3*	1*	1*
Вводные устройства электропитания пункта централизованного управления системами инженерного оборудования пас. здания (диспетчерская)	–		1**
Вводные устройства автоматических камер хранения ручной клади			1**
Вводные устройства электропитания центральных систем автоматического бронирования продажи билетов			
Электропитание АРМ кассира			
Вводные устройства электропитания аварийного эвакуационного освещения	–		
Системы теплоснабжения, водоснабжения и канализации			
ВРУ КДО и КМиР	–		

Примечание: *– при наличии технологической аккумуляторной батареи – 2 категория; **– если допустимы перерывы электроснабжения на время переключения на резервный источник оперативным персоналом или средствами централизованного управления – 2 категория.

В качестве источников железнодорожного водоснабжения используются открытые водоемы (рис. 1) или подземные грунтовые и артезианские воды (рис. 2) [2]. В состав системы водоснабжения входят следующие основные водопроводные сооружения:

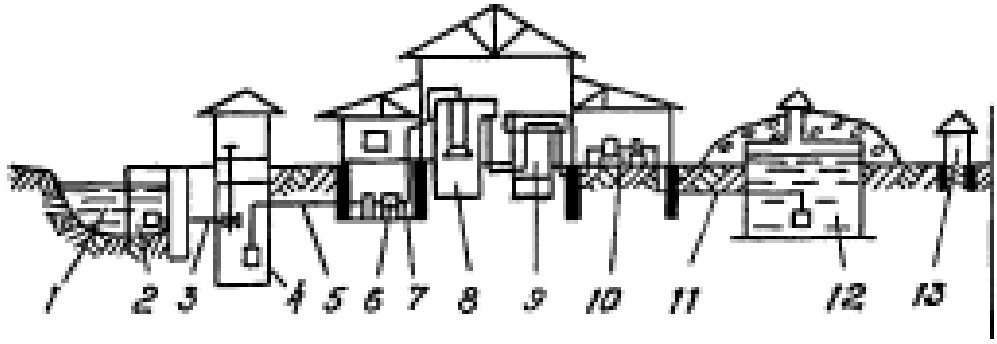


Рисунок 1. **Схема водоснабжения с забором воды из поверхностного источника**: 1 – поверхностный источник; 2 – водозабор с самотечными трубами; 3 – береговой колодец 4; 5 – всасывающие трубопроводы; 6 – наносы станции первого подъема: 7 – напорный трубопровод; 8 – отстойник; 9 – фильтры; 10 – реагентное хозяйство; 12 – резервуар чистой воды; 13 – насосная станция второго подъема

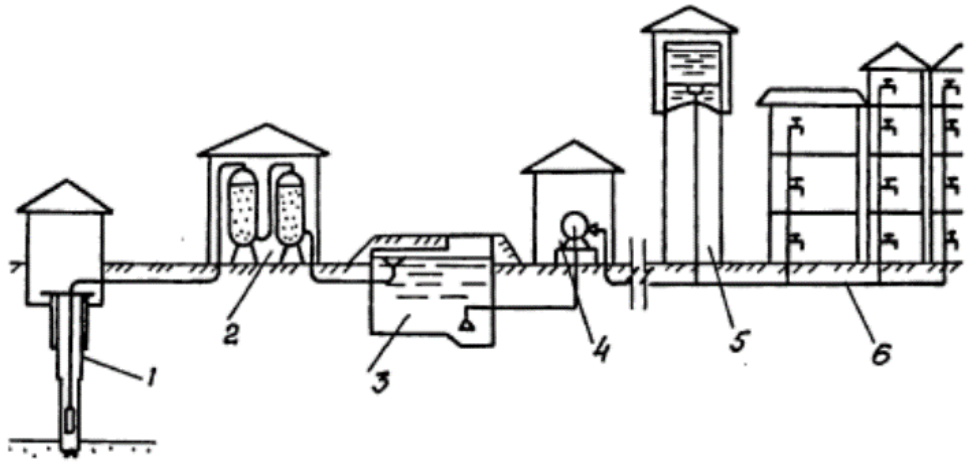


Рисунок 2. **Схема водоснабжения с забором воды из подземного источника**: 1 – артезианская скважина с насосом; 2 – водоочистная станция; 3 – резервуар чистой воды; 4 – насосная станция второго подъема; 5 – водонапорная башня; 6 – водопроводная сеть

Предлагаемые нами пути повышения энергоэффективности водо-энергоснабжения железнодорожных вокзалов:

1. Водо-энергоснабжение с применением деривационных и гидроаккумулирующих схем автономного и резервного энергоснабжения железнодорожных вокзалов из поверхностных источников;
2. Обратноосмотические установки водоподготовки подземных вод с рекуперацией энергии концентрата;

3. Адаптация и установка турбин на внутренние системы водоснабжения и водоотведения зданий вокзальных комплексов.

Для водоэнергоснабжения в условиях сложного рельефа местности предлагается использование мобильных деривационных водоводов наземной прокладки, выполненных из современных композитных материалов рисунок 3 [3–4].

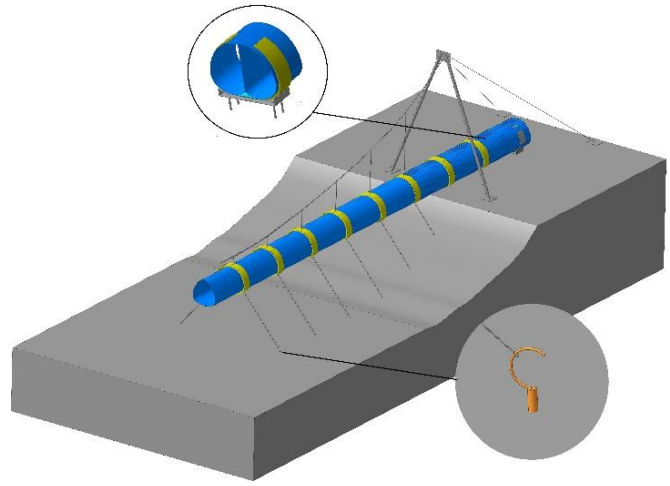


Рисунок 3. **Наземная прокладка деривационного водовода из композитных материалов в условиях сложного рельефа местности**

За счет применения мембранных технологий возможно использование минерализованных подземных и морских источников для водоснабжения железнодорожных узлов. Технологические схемы с применением рекуперации энергии представлены на рисунках 4, 5 [5–8].

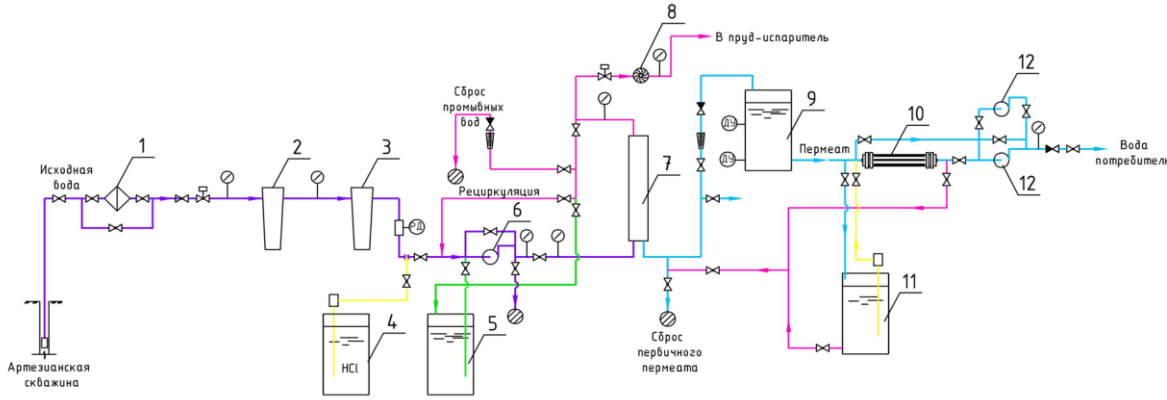


Рисунок 4. **Технологическая схема очистки подземных вод с применением мембранных технологий с рекуперацией энергии:**
(способ снижения энергоснабжения мембранно-модульной установки водоподготовки при опреснении исходной морской воды)
1 – самопромывной сетчатый фильтр; 2 – фильтр грубой очистки; 3 – фильтр тонкой очистки; 4 – ёмкость соляной кислоты; 5 – бак регенерационного раствора; 6 – насос повышения давления; 7 – мембранный модуль; 8 – турбина; 9 – бак накопитель; 10 – блок ультрафиолетового обеззараживания; 11 – ёмкость с щавелевой кислотой; 12 – насосы подачи воды

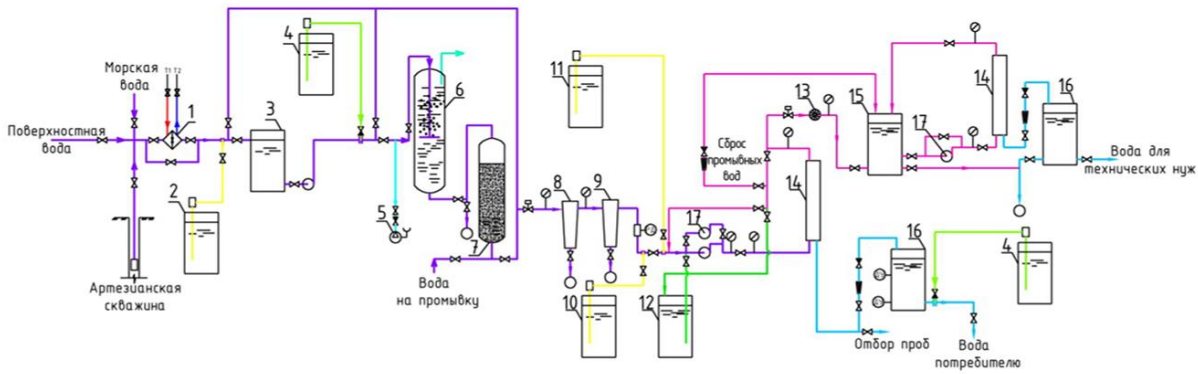


Рисунок 5. **Технологическая схема очистки морских вод с применением мембранных технологий с рекуперацией энергии:**
1 – самопромывной сетчатый фильтр; 2 – емкость с коагулянтом; контактная емкость; 4 – емкость с гипохлоритом натрия; 5 – воздуходувка; 6-аэрационная колонна; 7 – скорый фильтр; 8 – механический фильтр; 9 – предварительный засыпной фильтр; 10 – емкость соляной кислоты; 11 – емкость ингибиторов; 12 – емкость регенерационного раствора; 13 – гидротурбина; 14 – мембранный модуль; 15 – емкость с концентратором; 16 – бак накопитель; 17 – насосы повышенного давления

Для оценки экономической эффективности обратноосмотических установок с рекуперацией энергии для малых и средних железнодорожных узлов было проведено сравнение зависимости стоимости капиталовложений и эксплуатации установок 1 – без и 2 – с рекуперацией энергии концентрата (солесодержание 5,6 г/л и расходе пермеата 30,5 м^3/ч) с учетом диапазона температур от 7 до 15 °С (рис. 7) [9].

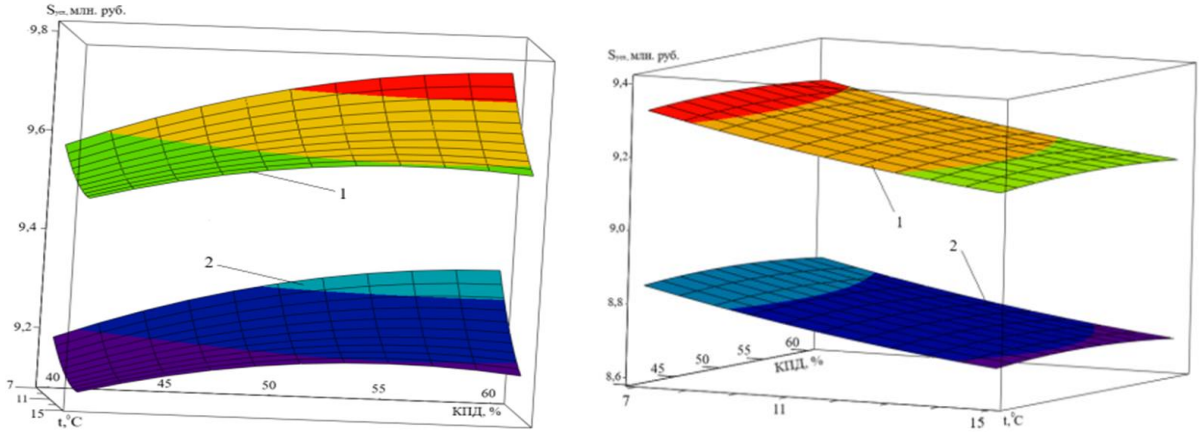


Рисунок 7. **Зависимости стоимости капиталовложений и эксплуатации установок**
1 – без и 2 – с рекуперацией энергии концентрата
(солесодержание 5,6 г/л и расходе пермеата 30,5 м3/ч):
а – обратного осмоса; б – нанофильтрации

В соответствии с приведенными зависимостями на рисунке 7 применение рекуперации энергии позволяет снизить энергопотребление в диапазоне от 5 до 10 %, что в условиях локального водо-энергоснабжения является существенным преимуществом.

ВЫВОДЫ

1. Применение локальных систем водо- и энергоснабжения железнодорожных узлов позволяет повысить надежность и устойчивость функционирования железнодорожных узлов.

2. Рекомендуется увеличить использование мембранных методов водоподготовки с рекуперацией энергии, что позволит повысить энергоэффективность водо-энергоснабжения железнодорожных узлов.

ЛИТЕРАТУРА

1. СП 417.1325800.2020 Железнодорожные вокзальные комплексы. Правила проектирования. Дата введения 2021-07-01.
2. Кунц К.Л., Ким И.Л. О состоянии систем железнодорожного водоснабжения // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2016. № 3. С 25–29.
3. Патент РФ №2607650. 10.01.2017 Бюл. № 1. Составной мобильный деривационный водовод и способ его возведения. Кашарин Д.В., Годин П.А., Годин М.А., Кашарина Т.П.,
4. Патент РФ № 2667080; 14.09.2018 Бюл. № 26. Устройство составного мобильного деривационного водовода и способ его возведения. Кашарин Д.В., Кашарина Т.П., Валуйский К.П., Калмыков С.А., Плотникова В.А.
5. Первов А.Г. Современные высокоэффективные технологии очистки питьевой и технической воды с применением мембран: обратный осмос, нанофильтрация, ультрафильтрация / Монография: – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2009. 232 с.
6. Kasharin, D.V., Bessarabov, S.Y-., Borisova, V.Y. Technical Solutions and Technological Schemes for the Engineering Protection of the Water and Energy Supply of Small Recreational Facilities on the Black Sea Coast of the Krasnodar Region [Tehnička rješenja i tehnološke sheme struktura za očuvanje opskrbe vode i energije u malim prostorima za rekreaciju na obali Crnog mora u Krasnodarskom kraju] 2018. Nase More.
7. Kasharin D.V. Designing Decentralized Water and Electricity Supply System for Small Recreational Facilities in the South of Russia IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 262.
8. Патент РФ №2607650. 10.01.2017 Бюл. № 5. Способ снижения энергоснабжения мембранно-модульной установки водоподготовки при опреснении исходной морской воды Кашарин Д.В, Плотникова В.А.
9. Отчет о НИР № 13.1236.2017/4.6 «Разработка энергоэффективных и экологически безопасных систем децентрализованного водо- и энергоснабжения малых рекреационных объектов в условиях Южного региона Российской Федерации» (2017 г.–2019 г.).

УДК 628.25

СОСТОЯНИЕ СИСТЕМЫ ВОДООТВЕДЕНИЯ МУНИЦИПАЛИТЕТА ЙОПУГОН КОТ-Д'ИВУАРА

И.Ю. Пурусова
Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия
Кон Брахима
г. Абиджан, Республика Кот-д'Ивуар
Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия

В развивающихся странах недостаток систем водоотведения и отсутствие подключения большинства населения к канализации приводят к выбросам неочищенных сточных вод в окружающую среду. Система водоотведения изношенная, часто не приспособленная к местным условиям жизни населения, постепенно разрушается.

В развивающихся странах увеличение численности населения, урбанизация, недостаток систем водоотведения и отсутствие подключения большинства потребителей к канализации приводят к выбросам неочищенных сточных вод в окружающую среду. Такая практика вызывает постоянное загрязнение окружающей среды и эпидемиологические риски.

Район Абиджан является экономической столицей Кот-д'Ивуара, расположенной на атлантическом побережье. В коммуне Йопугон проживает более 1 571 тыс. жителей из 10 коммун Абиджана и только 30 % населения подключено к канализационной сети. В коммуне Йопугон расположены крупные промышленные предприятия. Все сточные воды бытовые и промпредприятий сбрасываются без очистки в лагуну Эбрие по коллекторам водоотведения.

В самом большом водосборном бассейне Йопугона (бассейн Uniwax) естественный канал с очень крутыми склонами обеспечивает сбор и отвод сточных и дождевых вод. В непосредственной близости канала расположены многочисленные районы: Дукуре, Яосэхи, Мами Файтай, Ямуссукро, Гбинта и Ньянгон Контину. Отсутствие базовой санитарной инфраструктуры в этих районах отрицательно влияет на здоровье населения и общую эпидемиологическую обстановку.

В коммуне Йопугон Кот д'Ивуара организацией, обеспечивающей водоснабжение и водоотведение, является – Компания по распределению воды «SODECI», входящая в состав Компании городского и сельского развития «SAUR».

Можно отметить, что более 53 % опрошенных жителей Йопугона обращаются в «SODECI» при проблеме отвода сточных вод. В то же время 42 % обращаются к частным лицам или небольшим фирмам, а 5 %

бездействуют в случае возникших трудностей в системе канализации, не обращаются ни к одной структуре, рисунок 1.

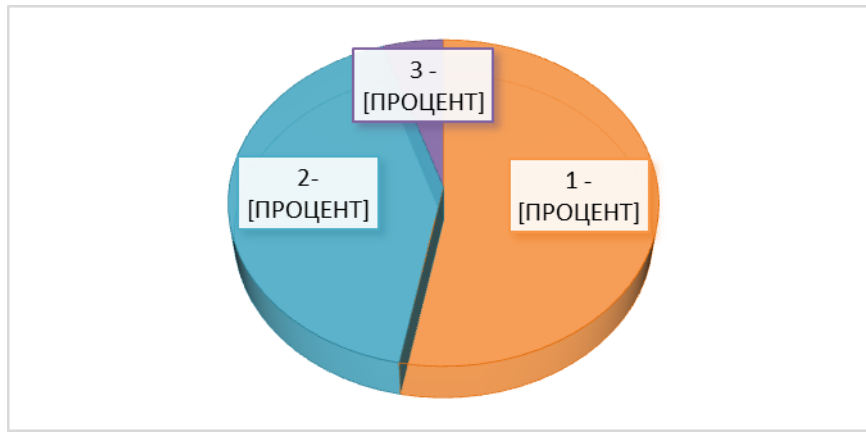


Рисунок 1. **Процент людей обращающихся или не обращающихся к структурам в случае проблем с водоотведением:**
1 – обращаются в «SODECI», 2 – обращаются в частные фирмы;
3 – не обращаются ни к одной структуре

Сеть трубопроводов и каналов для удаления сточных вод в Нианго не сильно изношена и не приспособлена к местным условиям жизни населения, она постепенно разрушается.

Некоторые дефекты трубопроводов, такие как крупные трещины, свищи, отверстия, обнаруженные при осмотре, связаны со старением и недостаточным обслуживанием участков, рисунок 2.



Рисунок 2. **Разрушенный армированный бетонный трубопровод в Нианго**

Очистка труб коммунальной службой «SODECI» становится затруднительной. Кроме того, некоторые инспекционные колодцы иногда расположены внутри жилых домов, что создает значительные трудности при прочистке канализации.

Некоторые ливневые решетки, расположенные рядом с жилыми домами или магазинами, жители заливают цементом, рисунок 3, в итоге невозможно проникновение дождевых вод в систему водоотведения.



Рисунок 3. **Решётка стока закрытая местными жителями**

Некоторые технические коридоры занимаются беспорядочно, так что практически нет пространства между домами. Система отвода поверхностных сточных вод зачастую недоступна из-за различных построек на водоотводящих лотках, что делает невозможным их прочистку, рисунок 4.



Рисунок 4. **Постройка на канаве в Нианголе**

Из полученных результатов было выявлено неисправное функционирование сети очистки воды в северной и южной части коммуны Йопугон. Кроме того, водоотводящая сеть имеет недостаточную длину, на которой из 230 инспекционных колодцев 8 – разрушены. На сети дождевой канализации, было обнаружено 13 нефункциональных инспекционных колодцев и 240 ливневых колодцев, из которых 29 – функциональны. Эти

неисправности могут быть связаны, с одной стороны, с поведением населения и, с другой стороны, с недостаточным обслуживанием этих сооружений. Фактически они забиваются выбрасываемым населением мусором. Население подключает сточные воды к системам дождевых вод, забивает некоторые сооружения цементом или уменьшает проходимость воды строительством. Это объясняется тем, что отсутствует система удаления сточных вод и неисправность существующих систем приводит к сбросу этих вод без какой-либо очистки в окружающую среду. Последствием этого являются: постоянный сток сточных вод на улицах, образование застойных вод, выделение зловонных запахов, разрушение дорожного покрытия. Существует риск заболевания холерой, тифом.

В периоды дождей возникают усиленные трудности при удалении воды, что может быть объяснено попаданием различного мусора в канализацию и приводит к ее засорению и переполнению.

В муниципалитете Йопугон необходимо:

- провести снос всех построек на бетонных канавах;
- освободить зоны служебного пользования для обеспечения нормальной работы коммунальной службы;
- ежедневно очищать все канавы для обеспечения нормального стока воды;
- строить больше каналов для стока дождевых вод;
- проводить информирование жителей о правильном использовании канализационных лотков, а также удаление мусорных барж из канав.

В дальнейшем в муниципалитете Йопугон планируется проведение эффективной информационной компании по санитарии среди населения. Это поможет лучше понять проблемы санитарии и принять участие в обслуживании системы водоотведения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Dongo K. Исследование оценки системы очистки сточных вод города Абиджан / К. Dongo // Дипломное исследование (DEA). Университет Кокоди Абиджан. Кот-д'Ивуар. – 2001. 81 с.
2. Пурусова И. Ю., Чижик К.И. Выбор насосных агрегатов для локальных очистных сооружений поверхностного стока при строительстве автодороги / И.Ю. Пурусова, К.И. Чижик // В сборнике: Яковлевские чтения-2023. Системы водоснабжения и водоотведения. Современные проблемы и решения. Сборник докладов участников XVIII Международной научно-технической конференции, посвященной памяти академика РАН С.В. Яковлева. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Москва. – 2023. С.113–117.
3. Али М.С. Особенности компоновки польдерных насосных станций в составе поверхностных водотоков / М.С. Али, И.Ю. Пурусова //

Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2023. № 3 (26). С. 69–78.
4. Achleitner S., Moderl M., Rauch W. City drain- An open source approach for simulation of integrated urban drainage systems / S. Achleitner, M. Moderl, W. Rauch // Environ. Model. Soft. – 2007. С. 1184–1195.

УДК 613.67

К ВОПРОСУ О ЗНАЧЕНИИ ОБРАЗА ЖИЗНИ ЧЕЛОВЕКА И ФАКТОРОВ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ ДЛЯ СОХРАНЕНИЯ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ (ВОЕННОСЛУЖАЩИХ)

С.А. Лопатин
Государственный научно-исследовательский испытательный институт военной медицины МО РФ, г. Санкт-Петербург, Россия
В.И. Кириленко
Военный институт (инженерно-технический) Военной академии материально-технического обеспечения им. генерала армии А.В. Хрулева, г. Санкт-Петербург, Россия
М.А. Бокарев
Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова, г. Санкт-Петербург, Россия

Рассматриваются факторы среды обитания, ведущие к негативному влиянию на здоровье человека в обычных и экстремальных природно-климатических условиях. В исследовании приводится доказательная база факторов, определяющих в настоящее время превалирующую значимость для населения внешней среды и условий жизни (службы и быта военнослужащих) в сравнении с образом жизни. На примере Ленинградской области, рассмотрены риски и причинно-следственные связи между качеством среды обитания и здоровьем населения, ведущего как здоровый, так и нездоровый образ жизни. Сделаны выводы о решающей роли в вопросе здоровья населения угрожающего загрязнения окружающей среды.

«Способ жизни, основывающийся на идентифицируемых видах и особенностях поведения, определяющихся взаимодействием между личностными характеристиками человека, социальным взаимодействием, социально-экономическими и экологическими условиями жизни» − трактовка образа жизни (ОЖ) согласно определению Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ).

В [7, ст. 12] объявлено, что приоритет профилактики в сфере охраны здоровья обеспечивается путем разработки и реализации программ формирования здорового образа жизни (ЗОЖ), в том числе программ снижения потребления алкоголя, потребления табака или никотинсодержащей продукции, предупреждения и борьбы с немедицинским потреблением наркотических средств, и психотропных веществ. Там же, в ст. 30 производится уточнение того, что с детского

возраста формирование ЗОЖ у граждан обеспечивается путем проведения мероприятий, направленных на информирование граждан о факторах риска для их здоровья, формирование мотивации к ведению ЗОЖ и создание условий для ведения ЗОЖ, в том числе для занятий спортом и физической подготовкой. Таким образом очевидно, что законодатели предложили условия жизни и среду обитания рассматривать как факторы, влияющие на образ жизни, а не как его составляющие элементы.

В библиографических источниках также просматривается тенденция уточнения понятийного аппарата, касающегося ОЖ и его оптимального варианта – ЗОЖ. Так, в [14] понятию «здоровый образ жизни» дано следующее определение: «ЗОЖ – образ жизни человека, направленный на профилактику болезней и укрепление здоровья». Специалисты ВИ(ИТ) отмечают, что ЗОЖ несет в себе важную основу, позволяющую достигать наилучшей адаптации организма, оптимально поддерживать работоспособность военнослужащего, что является одним из показателей высокого профессионализма.

В [6] рассматриваемые понятия (ОЖ и ЗОЖ) не трактуются, однако приведены основные направления командирской деятельности по оздоровлению условий службы и быта военнослужащих:

- проведение мероприятий по предупреждению гибели, увечий (ранений, травм, контузий) и снижению заболеваемости военнослужащих;
- строгое соблюдение санитарных правил и норм, выполнение требований общевоинских уставов по размещению военнослужащих, организации их питания, водоснабжению и другим видам материального обеспечения и бытового обслуживания;
- организации выполнения распорядка дня и регламента служебного времени; своевременному и полному доведению до каждого военнослужащего материальных средств согласно установленным нормам довольствия;
- проведению мероприятий по сохранению и восстановлению окружающей среды и обеспечению экологической безопасности в районе расположения воинской части (подразделения);
- закаливание военнослужащих, занятия физической подготовкой и спортом в целях повышения устойчивости их организма к различным изменениям физических факторов окружающей среды, к условиям, связанным с особенностями военной службы и выполнением боевых задач.

Результаты анкетирования военнослужащих контрактной службы в г. Астрахани, показало, что 80 % военнослужащих с пониманием относятся к требованиям [6, гл. 8 «Охрана здоровья военнослужащих»]; 10 % опрошенных считает, что не все предусмотренные мероприятия, необходимы; 10 % считают, что все вышеуказанные мероприятия никак не влияют на здоровье, а только создают дополнительную нагрузку. В основе негативных практик губительного поведения военнослужащих лежат

непредсказуемость поведения, вредные привычки, наличие девиантных служебных нагрузок, а в результате формирования вредных привычек разрушается система жизнедеятельности не только отдельного военнослужащего, но и воинского коллектива в целом.

Включение в XX веке в понятие ЗОЖ социально-экономических условий жизни и среды обитания человека позволило давать завышенную оценку влияния образа жизни на здоровье человека. Например, по мнению специалистов ВОЗ это влияние составляет 50…55 %.

Раньше специалисты Роспотребнадзора наибольшее влияние на здоровье человека отводили воздействию образа жизни (50 %) и внешней среде (20 %). Теперь же их прогноз сводится к тому, что к 2030 г. изменения санитарно-эпидемиологической ситуации (факторов среды обитания) будут иметь следующие уровни влияния на состояние здоровья: до 46 % – социально-экономические факторы; до 29 % – санитарно-гигиенические факторы; до 30 % – образ жизни. В России в 2020 г. наиболее выраженному неблагоприятному влиянию социальных и экономических факторов (экономическое и промышленное развитие территории; социальная напряженность, уровень социального благополучия, иные) было подвержено около 64,6 % населения (94,3 млн. чел), а санитарно-гигиенических (химические, биологические, физические) – свыше 64,2 % (93,7 млн. чел) [2].

Рассмотрим, на примере Ленинградской области, риск развития злокачественных новообразований и причинно-следственные связи между качеством среды обитания и здоровьем населения, ведущего как здоровый, так и нездоровый образ жизни. Имеются достаточные доказательства канцерогенности для людей свыше 120 агентов (в Северо-Западном регионе РФ). Однако эпидемиологические исследования рака у людей, подвергшихся воздействию данных факторов, могут иметь недостатки с точки зрения размера выборки и характеристики воздействия, а для веществ, которые были недавно синтезированы, эпидемиологические исследования могут отсутствовать или быть недостаточно информативными из-за длительного периода развития новообразований. Авторы отмечают, что, несмотря на относительно благополучную ситуацию с загрязнением окружающей среды в Ленинградской области, в отдельных районах по данным многолетнего мониторинга в атмосферном воздухе регистрируются повышенные концентрации ряда веществ, обладающих канцерогенным действием (кадмий Cd, никель Ni), и отмечаются повышенные риски нарушений здоровья.

Основными источниками загрязнения воздушной среды в Киришском районе являются: нефтеперерабатывающий завод и объекты энергетического комплекса, для которых характерен выброс в атмосферный воздух 15 веществ, обладающих канцерогенной опасностью. На территории Подпорожского района источниками загрязнения

атмосферного воздуха установлены 4 промышленных предприятия, в структуре выбросов которых также присутствуют канцерогенно-опасные вещества: бенз(а)пирен, формальдегид, ацетальдегид, этилбензол, сажа, бензол, хром (VI). Расчеты показали, что величина выбросов загрязняющих веществ в расчете на одного жителя составляла в 2018 г. в Киришском районе – 561,5 кг, в Подпорожском районе – 57,4 кг, а в среднем по области – 118 кг. Результаты анализа данных о качестве питьевой воды за 2008 – 2018 гг. в Подпорожском районе свидетельствовали, что доля проб питьевой воды из распределительной сети, не соответствующих гигиеническим нормативам по санитарно-химическим показателям (марганец Mn, железо Fe), в 2018 г. составила 30,4 %, что в 1,9 раза выше среднего показателя по области. Большая часть населения Подпорожского района снабжается питьевой водой из подземных источников, которая, как правило, не подвергается обеззараживанию хлорсодержащими реагентами и не содержит тригалометаны (хлороформ, бром, дихлорметан и др.), обладающие канцерогенным действием. При этом потребление питьевой воды из подземных источников является фактором риска повышенного воздействия на население ионизирующих излучений (изотопы радона Rn), хотя ни в питьевой воде, ни в воздухе жилых зданий превышений установленных нормативов не установлено и групп населения с эффективной дозой облучения за счет природных источников ионизирующего излучения свыше 5 $м^3$ в/год на территории Ленинградской области не зарегистрировано. В Киришском районе в последние годы превышения гигиенических нормативов регистрируются в воде перед подачей в сеть только по содержанию алюминия Al и хлороформа, канцерогенный риск от воздействия последнего находится в диапазоне от 10^{-5} до 10^{-4}, что позволяет его охарактеризовать как допустимый, но требующий постоянного внешнего и внутреннего контроля.

Авторы отмечают, что в настоящее время не представляется возможным установить ведущие факторы риска здоровью, обуславливающие повышенный уровень заболеваемости раковыми новообразованиями на территории Киришского и Подпорожского районов, поэтому требуется проведение дополнительных исследований, направленных на установление причин неблагополучной ситуации с заболеваемостью. Предлагается дальнейшее углубленное изучение загрязнения окружающей среды с последующим расчетом риска нарушений здоровья вследствие вредного воздействия канцерогенно-опасных веществ, в том числе ретроспективно за период не менее 30 лет. Кроме того, необходимо изучение влияния факторов образа жизни, особенно табакокурения, а также условий труда (службы), которые могут вносить значимый вклад в повышенный канцерогенный риск [3–5].

Проведенные в РФ и за рубежом исследования по изучению факторов риска среди различных контингентов военнослужащих показали, что почти 75 % военнослужащих старше 40 лет имеют дополнительный фактор риска развития сердечно-сосудистых событий – систематическое употребление однократной дозы алкоголя, превышающей рекомендованную ВОЗ.

Таким образом, внешняя среда и условия бытия (службы и быта военнослужащих) становятся более значимыми, чем образ жизни человека.

ВЫВОДЫ

На основе вышеизложенного, предлагается следующая формулировка ОЖ: образ жизни человека (военнослужащего) охватывает всю совокупность видов его деятельности и поведенческих актов, сохраняющих и укрепляющих здоровье и трудоспособность (боеспособность), а также отсутствие вредных привычек.

Не образ жизни, а ***факторы среды обитания,*** являются ведущими в негативном влиянии на здоровье человека в обычных и экстремальных природно-климатических условиях.

Значимость оценки элементов образа жизни населения (военнослужащих) не потеряет своей актуальности в ближайшие годы, а, напротив, будет постепенно возрастать в связи с развитием ряда тенденций, превалирующих в современной науке, обусловленных новыми данными, получаемыми при исследованиях особенностей адаптации человека к неблагоприятным условиям обитания, обусловленными в первую очередь влиянием факторов риска развития злокачественных новообразований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андрушенко Н.Ю., Кривко А.И. Формирование ценностного отношения военнослужащих к здоровому образу жизни // Сб. научных статей «Повышение качества профессиональной подготовки специалистов социальной и образовательной сфер». – Витебск, 2020. С. 143–145.
2. Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в РФ в 2020 году». – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2021. 256 с.
3. Ковшов А.А., Новикова Ю.А., Федоров В.Н., Тихонова Н.А., Историк О.А. Анализ заболеваемости злокачественными новообразованиями населения Ленинградской области // Здоровье населения и среда обитания. – 2021. – Т. 2, № 9. С. 23–32.
4. Методические рекомендации 2.1.10.0033-11 «Оценка риска, связанного с воздействием факторов образа жизни на здоровье населения». Утверждены Главным государственным санврачом России 31.07.2011 г.

5. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Ленинградской области в 2018 г.: Материалы к гос. докладу. – СПб: Управление Роспотребнадзора по Ленинградской области, 2019.
6. Устав внутренней службы Вооруженных Сил РФ. URL: https:/ consultant.ru/document (дата обращения: 12.03.2024).
7. Федеральный закон № 323-ФЗ от 21.11.2011 «Об основах охраны здоровья граждан в РФ». URL: https://sshorbaksan.ru/ (дата обращения: 12.03.2024).

II. ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ И ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СООРУЖЕНИЙ ВОДОПОДГОТОВКИ

УДК 628.161

НОВЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ РЕАГЕНТ «УНИКО» - ГАРАНТИЯ ЧИСТОЙ ВОДЫ

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

Рассмотрены различные методы обеззараживания природных вод. Отмечены преимущества применения композиционного реагента «УНИКО-ОХА» на основе соли полиоксихлорида алюминия с добавлением модифицирующего компонента полигексаметиленгуанидин гидрохлорид (ПГМГ), как реагента для обеззараживания воды.

Сегодня современные технологии водоподготовки позволяют получать питьевую воду с показателями качества, в полном объеме соответствующими требованиям санитарно-гигиенического законодательства. При этом следует отметить, что работы по совершенствованию и оптимизации существующих технологий непрерывно продолжаются, разрабатываются и внедряются более безопасные и менее агрессивные методы обработки очищаемой воды, исключающие или минимизирующие образование и присутствие опасных веществ в питьевой воде.

Реалии таковы, что в современных условиях антропогенных загрязнений наших водоисточников требуется использование многоступенчатых технологий очистки природной воды с использованием физических и химических методов. От этих методов и их эффективности зависит, какие дезинфектанты и в каких количествах применять на заключительной стадии перед тем, как вода отправится к потребителю. Традиционно для обеззараживания воды при подаче в городские системы

водоснабжения преимущественно используется хлор, который, как известно, имеет как плюсы, так и минусы. Недостатком хлорирования является возможность образования в воде, содержащей органические соединения, токсичных летучих галогенсодержащих соединений, обладающих мутагенным и канцерогенным действием. Процесс образования этих соединений довольно сложный и зависит от дозы хлора, концентрации органических веществ в воде, времени контакта, температуры, щёлочности, наличия в воде аммиака. При этом есть одно основополагающее правило: чем лучше загрязнённую воду очистят на первоначальных стадиях, тем меньше понадобится дезинфектантов на заключительном этапе.

В настоящее время существует большое количество методов обеззараживания природных вод, которые можно разделить на две группы: физические и химические. К физическим методам относятся: ультрафиолетовое излучение, ультразвуковая обработка, электроимпульсы, лазерное излучение и другие.

Химические методы делятся в свою очередь на методы дезинфекции воды с использованием соединений кислорода (перекись водорода, марганцовокислый калий, озонирование и другие) и с использованием галогенов и галогенсодержащих веществ (йод, бром, хлор, хлорная известь, диоксид хлора, гипохлорит натрия или кальция).

Современные технологии позволяют применять альтернативные и куда более безопасные дезинфектанты. За рубежом, например, практически повсеместно на очистных сооружениях отказываются от хлора, заменяя его гипохлоритом натрия. Известны результаты исследований, показывающие, что применение данного реагента приводит к уменьшению концентрации летучих галогенсодержащих соединений. Таким образом, мы логично пришли к необходимости использования для обеззараживания воды адекватной и более безопасной альтернативы хлора – гипохлориту натрия.

Одними из первых в России от использования хлора при очистке воды стали водоканалы Ростова-на-Дону, Уфы, Санкт-Петербурга, Сыктывкара, Иваново, Кемерово, Великого Новгорода, Брянска, Смоленска. АО «Мосводоканал» в 2007 году построил завод по производству концентрированного гипохлорита натрия. В отличие от хлора, применение гипохлорита натрия для обеззараживания воды позволяет значительно экономить бюджетные деньги. Параллельно со строительством завода к 2012 году АО «Мосводоканал» завершил реконструкцию всех станций водоподготовки с их переводом на использование гипохлорита натрия, что позволило значительно повысить надёжность и безопасность производства питьевой воды. И в 2015 году завод по производству гипохлорита натрия (ГХН) заработал на полную мощность – 20 000 тонн в год.

Что касается Дальневосточного федерального округа, то в Якутске недавно была запущена в эксплуатацию новая водоочистная станция, полностью работающая на ГХН, производимом по технологии ООО НПП «ЭКОФЕС». Во Владивостоке также используется для обеззараживания гипохлорит натрия, производимый по технологии ООО НПП «Эколог». Не отстаёт от соседей и Благовещенск. Если объективно оценивать ситуацию в Хабаровске, то необходимо заметить, что при подготовке воды Тунгусского водозабора используется ГХН, производимый по технологии фирмы Simens на установке OSEC B2-200. Но этого явно недостаточно, так как количество воды, обрабатываемой и подаваемой населению, составляет менее 10 % от всего объёма потребления городом.

Учитывая вышеизложенное, можно сделать вывод, что применение ГХН в различных городах России имеет исключительно положительный опыт, и необходимо его развивать. Однако имеются небольшие города и регионы со сложным климатом, к которым относятся регионы Арктической зоны с отрицательной среднегодовой температурой, где строительство установок по производству ГХН попросту экономически нецелесообразно. Для решения этой проблемы были разработаны и производятся современные инновационные композиционные реагенты, которые обладают эффектом двойного действия: непосредственно очистка воды от загрязнений и обеззараживание. Наиболее высокую эффективность для обработки воды в этих условиях показал реагент нового поколения – композиционный коагулянт «УНИКО-ОХА» производства АО «АУРАТ».

Композиционный коагулянт «УНИКО-ОХА» на основе соли полиоксихлорида алюминия с добавлением модифицирующего компонента полигексаметиленгуанидин гидрохлорид (ПГМГ), позволяет достигать биоцидного действия данного реагента.

Благодаря макромолекулярной природе ПГМГ обладает сильной адсорбционной способностью к поверхностям различной физико-химической природы. При обработке поверхностей растворами с содержанием ПГМГ очень быстро (в течение нескольких минут) происходит количественная адсорбция ПГМГ из раствора и на поверхности формируется адсорбционная полимерная пленка. Полимерная цепь ПГМГ связывается с поверхностью за счет лишь 10 – 15 % своих звеньев, а остальные звенья остаются свободными и способны к эффективному взаимодействию с микроорганизмами. Свободные звенья полимерной цепи находятся в приповерхностном слое в виде «петель» и «хвостов» и образуют рыхлый, толщиной в одну молекулу адсорбционный слой, который придает поверхности большой положительный заряд и притягивает к себе отрицательно заряженные клетки присутствующих в воде микроорганизмов, после чего макромолекулы полимера

взаимодействуют с мембранами клеток микроорганизмов, разрушая их. Гуанидиновые поликатионы адсорбируются на отрицательно заряженной поверхности бактериальной клетки, диффундируют через стенку внутрь клетки, связываются с кислотными фосфолипидами, что приводит к гибели микробной клетки. Адсорбционный слой ПГМГ надежно удерживается на любой поверхности и устойчив к механическим воздействиям, а сам полимер стойкий во времени, не летуч и не разлагается, обуславливает его пролонгированное биоцидное действие.

Так как применение композиционного биоцидного регента «УНИКО» является одной из самых передовых технологий очистки и обеззараживания воды, так как после ввода реагента «УНИКО» в воду, не протекает реакция с органическими соединениями и тем самым полностью исключается образование опасных хлорорганических соединений, образующихся при обработке воды хлором и его производными. Технология обеззараживания данным реагентом рекомендована Минстроем для применения в технологиях водоподготовки водоканалов и включена в утвержденный Министром России 01.08.2019 «Справочник перспективных технологий водоподготовки и очистки воды с использованием технологий, разработанных предприятиями Оборонно-промышленного комплекса с учетом риска здоровью населения». Помимо этого, на поверхности труб создается защитная пленка, исключающая электрохимическую коррозию и биокоррозию металла. Применение «УНИКО» приводит к очистке от уже образовавшихся ранее «отложений». Химические и микробиологические показатели очищенной воды соответствовали требованиям, установленным СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека среды обитания» (Раздел III. Нормативы качества и безопасности воды). Использование реагента в очистке и обеззараживании воды значительно улучшают качество питьевой воды по органолептическим свойствам, снижению образования вторичного железа в питьевой воды вследствие снижения внутренней коррозии водопроводных сетей. Как отмечают представители Роспотребнадзора Вологодской области и города Череповца, где реагенты марки «УНИКО» применяются в очистке и обеззараживания воды с 2010 года, количество железа в воде снизилось в 9 раз, а снижение индивидуального канцерогенного риска от употребления питьевой воды – в 2,5 раза.

ОАО «Сыктывкарский Водоканал» в прошлом году, с целью совершенствования технологии водоподготовки питьевой воды, применил данную технологию на первом этапе очистки питьевой воды для соблюдения гигиенических нормативов на сооружениях водоподготовки, заменив первичное хлорирование на технологических сооружениях на композиционный реагент «УНИКО». Вторичное хлорирование ведется в

полном объеме согласно нормативам для пролонгации эффекта обеззараживания питьевой воды по сетям города.

В результате применения для первичного обеззараживания реагента «УНИКО» полностью исчез хлороформ в очищенной питьевой воде. По результатам производственного контроля химические и микробиологические показатели очищенной воды соответствуют требованиям, установленным СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека среды обитания» (Раздел III. Нормативы качества и безопасности воды).

ГК «АУРАТ» – постоянный участник международных конгрессов и выставок, ежегодно проводит международную научно-практическую конференцию «ТЕХНОВОД», где делится своим огромным опытом в сфере водоочистки и водоподготовки, так же разработками современных инновационных коагулянтов для очистки природных и сточных вод, одним из которых и является композиционный коагулянт марки «УНИКО-ОХА». Сотрудниками Общества создан ряд новых технических решений в области очистки воды, защищенных патентами.

УДК 628.166

ВЫСОКОКОНЦЕНТРИРОВАННЫЙ ГИПОХЛОРИТ НАТРИЯ – СТАНЦИЯ ХРАНЕНИЯ И ДОЗИРОВАНИЯ

Л.Н. Фесенко, И.В. Пчельников, А.В. Онкаев
ООО НПП «ЭКОФЕС», г. Новочеркасск, Россия
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия
Э.Ш. Гулиев
ОАО «АЗЕРСУ», г. Баку, Азербайджан

В работе представлены технические решения, разработанные компанией ООО НПП «ЭКОФЕС» при проектировании станции хранения и дозирования высококонцентрированного гипохлорита натрия (ВГХН) производительностью 900 кг/сут по эквиваленту активного хлора (производительность станции по воде составляла 100 тыс. м³/сут.) с целью замены жидкого хлора техническим гипохлоритом натрия (190 г/л). Предложена технологическая схема и компоновка оборудования станции хранения и дозирования высококонцентрированного гипохлорита натрия.

Санитарно-эпидемиологическая безопасность воды в большинстве случаев обеспечивается хлорированием. Высокий риск использования жидкого хлора (2-й класс опасности), наряду с невозможностью соблюдения ряда положений ужесточающихся Федеральных норм и правил в области хлорбезопасности, привел традиционную хлорную технологию обеззараживания воды в тупик.

Решение проблемы заключается в переводе станции на менее опасный дезинфектант, сочетающий положительные качества жидкого хлора и отсутствие его недостатков, т. к. с точки зрения обеззараживания воды все хлорсодержащие реагенты одинаково надежны и эффективны. Альтернативным хлору реагентом является низко- и высококонцентрированный гипохлорит натрия, широко применяемый во всем мире [1–9].

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. [4–6].

Многолетний опыт практического применения для обеззараживания воды технического ГХН показал, что, в сравнении с хлором, содержание галогенорганических соединений в обработанной воде снижается на 25 % (согласно [7] в среднем на 15 %), а токсичность воды с учетом всех примесей и их токсического действия уменьшается на 10 – 13 % [8]. Технический гипохлорит натрия не классифицирован как токсичный продукт, не горюч и не взрывоопасен, а использующие его станции водоподготовки не относятся к категории опасных производственных объектов [5, 9]. Технологии дезинфекции воды с применением ГХН менее опасны по сравнению с обычным хлорированием [6]. Согласно регламентации МЧС, если газообразный хлор относится ко 2 классу опасности, то промышленный ГХН имеет 3 класс опасности. Технический ГХН в 1 л содержит 14 % или 0,159 кг активного хлора; 1 кг последнего содержится в 6,67 л раствора [5].

В РФ состав и свойства ГХН, выпускаемого промышленностью, или получаемого непосредственно у потребителя в электрохимических установках, должен соответствовать требованиям, предъявляемым ГОСТ 11086-76 [10], ГОСТ Р 57568-2017 [11] или ТУ, например ТУ 6-01-29-93. Растворы гипохлорита натрия марок А, Б, В, и Г являются сильными окислителями, при попадании на кожу могут вызвать ожоги, а при попадании в глаза – слепоту. По международным нормам он не является опасным веществом остронаправленного действия [12–13].

В 2012 году на станциях водоподготовки города Москвы был завершен перевод систем обеззараживания воды на новый безопасный реагент – гипохлорит натрия. Новый реагент пришел на смену жидкому хлору, более 80-ти лет стоявшему на страже воды от проникновения в нее болезнетворных бактерий и микроорганизмов [14–15].

Технологическая схема ввода обеззараживающего реагента на Западной станции водоподготовки (г. Москва) предусматривает прием из

транспортной емкости товарного ГХН с одновременным его разбавлением до рабочей концентрации (со 190 до 100 г/л) и подачу в емкости хранения объемом 90 м^3 каждая, изготовленные из специального (светостабилизированного) полиэтилена, представлена на рисунке 1*а*. Из этих емкостей ГХН поступает в общий коллектор, к которому присоединены насосы-дозаторы первичного и вторичного хлорирования, рисунок 1*б*. Перевод станций водоподготовки Москвы с обеззараживания воды газообразным хлором на ГХН позволил: существенно повысить степень экологической и промышленной безопасности, а также антитеррористической устойчивости систем водоснабжения и транспортировки обеззараживающих реагентов; высвободить значительные территории санитарно-защитных зон складов хлора для нужд города [3, 15].

Для минимизации возможной угрозы при возникновении аварийной ситуации перевозка концентрированного гипохлорита натрия осуществляется специализированным транспортом (рис. 2*а*), а разгрузка происходит в узлах, предотвращающих розлив реагента и локализующего возможный ущерб (рис. 2, *б*).

Учитывая опыт реализованных объектов, использующих ВГХН, в 2022 году компанией ООО НПП «ЭКОФЕС» был разработан проект станции хранения и дозирования высококонцентрированного гипохлорита натрия производительностью 900 кг/сут по эквиваленту активного хлора (производительность станции по воде составляет 100 тыс. м³/сут.). Станция проектировалась в существующем здании типовой хлораторной. Технологическая схема станции хранения и дозирования высококонцентрированного гипохлорита (замещение жидкого хлора гипохлоритом натрия) представлена на рисунке 3.



а) *б)*

Рисунок 1. **Узел хранения** (*а*) **и дозирования** (*б*) **высококонцентрированного гипохлорита натрия**

Последовательность производственных операций включала следующие зоны (рис. 3):

– перелив привозного гипохлорита натрия в промежуточную

емкость;

– перекачивание гипохлорита натрия из промежуточной емкости в контейнеры-резервуары для хранения;

– хранение гипохлорита натрия в контейнерах-резервуарах;

– дозирование гипохлорита натрия;

– разбавление и нейтрализацию аварийных розливов гипохлорита натрия.



а)



б)

Рисунок 2. **Доставка (*а*) и разгрузка (*б*) ВГХН**

1. Зона перелива привозного гипохлорита натрия в промежуточную емкость представлена на рисунке 3.

Разовая поставка высококонцентрированного гипохлорита натрия (19 %) составляет 20 т. Гипохлорит натрия поставляется в контейнерах объемом 1 м³ автотранспортным средством. Контейнеры разгружают в помещении склада и перемещают подвесным электрическим однобалочным краном грузоподъемностью 2,0 т.

Перелив гипохлорита натрия из транспортных контейнеров в промежуточную емкость происходит после размещения контейнеров на пластиковых поддонах (поз.1.1, 1.2) для локализации проливов. Гипохлорит натрия самотеком сливается из поддонов в промежуточную емкость поз. 1.3. Удаление вытесняемых из емкости поз. 1.3 газов происходит через дыхательную трубку (А1), выведенную за пределы помещения склада.

В качестве промежуточной емкости поз. 1.3 для перелива ГХН из транспортных контейнеров используется емкость объемом 3000 л. Емкость цилиндрическая вертикальная из свето- и термостабилизированного линейного полиэтилена. Емкость оснащена ультразвуковым уровнемером для непрерывного бесконтактного измерения уровня гипохлорита натрия. Приямок, в котором расположена промежуточная емкость (поз. 1.3), оснащен системой контроля утечки гипохлорита натрия. Размеры приямка рассчитаны на объем 3 м³ на случай разгерметизации емкости. На дне приямка установлен канализационный трап, через который аварийный

розлив гипохлорита натрия перекачивается насосом поз. 2.1 или 2.2 (резервный) в один из контейнеров-резервуаров типа «ДВТ» производства ООО НПП «АНИОН» (поз. 3.1–3.7).

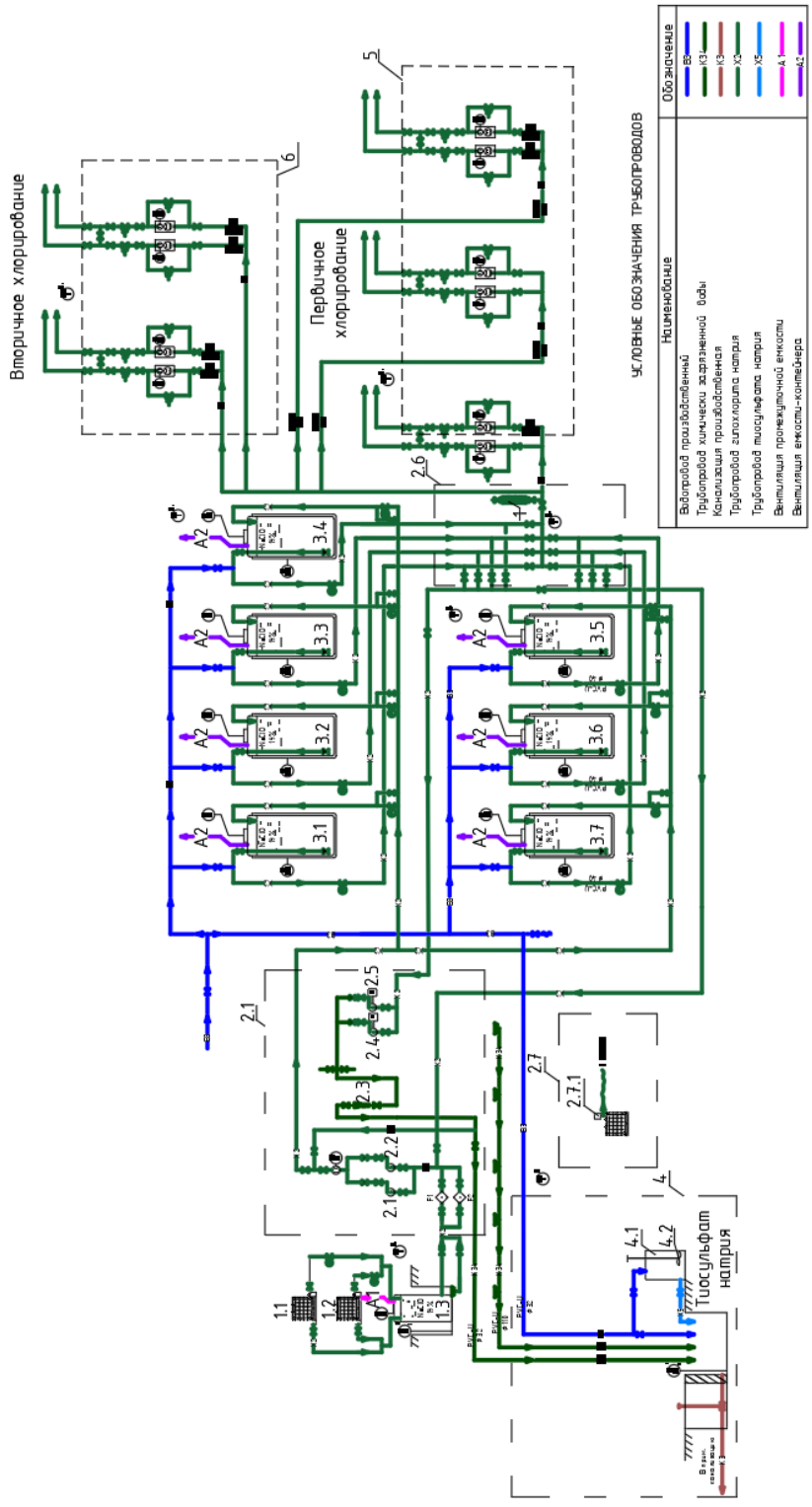


Рисунок 3. **Технологическая схема станции хранения и дозирования высококонцентрированного гипохлорита**

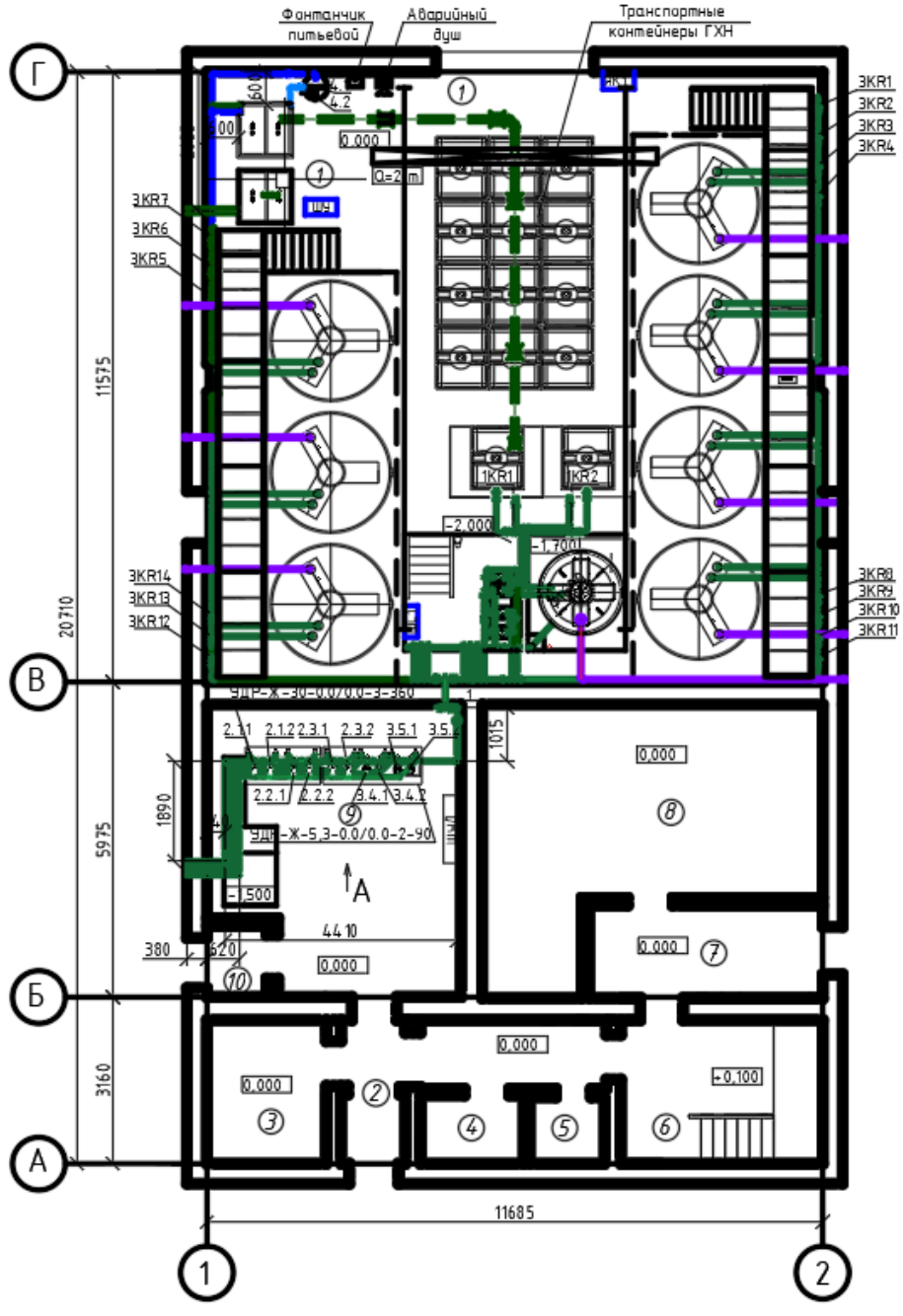


Рисунок 4. **Компоновка оборудования узла хранения и дозирования высококонцентрированного гипохлорита натрия**

Технологической схемой предусмотрена возможность отвода части аварийного розлива из приямка емкости поз. 1.3 в «сухой» приямок.

2. Зона перекачивания гипохлорита натрия из промежуточной емкости в контейнеры-резервуары для хранения.

Из промежуточной емкости поз. 1.3 гипохлорит натрия насосом поз. 2.1 или 2.2 (1 рабочий, 1 резервный), перекачивается в контейнеры – резервуары полиэтиленовые типа «ДВТ» для хранения гипохлорита натрия

поз. 3.1–3.7. Расходомер предусмотрен для измерения объемного расхода поступившего на склад гипохлорита натрия. При применении контейнеров-резервуаров не требуются коррозионностойкие поддоны и устройства удаления проливов, т.к. внешняя оболочка выполняет роль такого поддона.

Процесс выработки гипохлорита натрия из контейнера-резервуара (поз. 3.1–3.7) после первичного заполнения ГПХ запускается при помощи системы вакуумирования. Оператор заполняет водой (В3) трубопровод выработки (Х2) выбранного контейнера-резервуара и подключает его к щиту переключения аварийного опорожнения емкостей гипохлорита натрия поз. 2.6 при помощи ручной запорной арматуры (ЗРА). Насос вакуумирования поз. 2.4, 2.5 (1 рабочий, 1 резервный) создает разряжение в трубопроводе выработки (Х2). Визуализация процесса вакуумирования обеспечивается ротаметром, установленным на линии вакуумирования после насосов поз. 2.4, 2.5. Вакуумирование завершается после выхода водо-воздушной смеси в «сухой приямок». Насосы поз. 2.4, 2.5 включаются и отключаются оператором. Водо-воздушная смесь в «сухом» приямке после проведения лабораторного анализа при необходимости разбавляется, нейтрализуется и сливается в промышленную канализацию.

Для ликвидации аварийной ситуации, связанной с нарушением целостности транспортного контейнера, предусмотрен узел аварийного перекачивания гипохлорита натрия поз. 2.7. Бочковым насосом поз. 2.7.1 с комплектом шлангов ПВХ гипохлорит натрия перекачивается из поврежденного транспортного контейнера в любой пустой контейнер или промежуточную емкость поз. 1.3.

3. Зона хранения гипохлорита натрия в контейнерах-резервуарах.

Контейнеры-резервуары типа ДВТ (поз. 3.1–3.7), служат для хранения гипохлорита натрия. Они соответствуют требованиям Правил безопасности ХОПО, утвержденным Приказом РТН №559 от 21.11.2013 г., имеют Декларацию о соответствии ТР ТС. Для удобства обслуживания контейнеров-резервуаров разработаны площадки обслуживания.

Каждый контейнер-резервуар подключен к технологическим трубопроводам вентиляции (А2), заполнения (Х2) и выработки (Х2). Контейнеры-резервуары (поз. 3.1–3.7) оснащены по проекту ультразвуковыми уровнемерами для измерения уровня гипохлорита натрия. Каждый контейнер-резервуар имеет сообщение с атмосферой посредством дыхательной трубки (А2), выведенной за пределы помещения склада. Контейнеры типа ДВТ комплектуются вакуумными индикаторами течи для постоянного контроля герметичности внутренней и внешней оболочек. Отбор гипохлорита натрия из контейнеров-резервуаров осуществляется в автоматическом режиме.

Для проверки и испытаний перед вводом в эксплуатацию контейнеров-резервуаров на складе, а также при отсутствии

электропитания непрерывно в течение более 5 часов следует использовать комплект для проверки химических хранилищ (КПХХ) производства «АНИОН». Для создания предварительного разряжения в контейнере-резервуаре следует использовать вакуумный насос из комплекта КПХХ. Для проведения проверки параметров вакуумного индикатора на срабатывание сигнализации, включения выключения насоса используют мановакуумметр из комплекта КПХХ.

Представленная технологическая схема (рис. 3) позволяет вырабатывать контейнеры-резервуары (поз. 3.1–3.7) независимо от перекачивания гипохлорита натрия из поврежденного контейнера-резервуара (поз. 3.1–3.7) в любой резервный. Для этого предусмотрено использование резервных насосов насосных групп поз. 2.1, 2.2 или поз. 2.4, 2.5.

4. Зона дозирования гипохлорита натрия.

Подача гипохлорита натрия для обеззараживания осуществляется в пять точек дозирования по десяти линиям (5 рабочих и 5 резервных) к существующим точкам ввода гипохлорита натрия в приемной камере, которые подключены к существующим трубопроводам.

5. Зона разбавления и нейтрализации аварийных розливов гипохлорита натрия представлена на рисунке 3.

Установка приготовления реагента служит для приготовления раствора тиосульфата натрия для нейтрализации пролитого гипохлорита натрия перед сбросом в промышленную канализацию. Проливы гипохлорита натрия на пол помещения склада промывают большим количеством воды и отводят через канализационные трапы, установленные на трубопроводе К34, в «сухой» приямок. Затем следует нейтрализация ГХН раствором тиосульфата натрия до получения положительного анализа пробы и слива в промышленную канализацию через приямок выпуска нейтрализованного раствора с помощью межфланцевого поворотного затвора с удлиненным штоком по трубопроводу К3. Уровень раствора в «сухом» приямке при достижении предельных значений контролируется датчиками. Для визуализации объема аварийных проливов, «сухой» приямок оснащен линейкой с шкалой из ПВХ.

В случае возникновения аварии на складе – розлива гипохлорита натрия при переливе из транспортного контейнера, сбрасываемый в промышленную канализацию раствор ГХН необходимо разбавлять водой до концентрации 2 – 3 мг/л или дехлорировать путем введения раствора тиосульфата натрия в количестве 3,5 мг на 1 мг активного остаточного хлора в растворе (СНиП 3.05.04-85*).

Для приготовления раствора тиосульфата натрия предусмотрена емкость V = 100 л (поз. 4.1) с ручной мешалкой (поз. 4.2). Из емкости (поз. 4.1) раствор тиосульфата натрия самотеком по трубопроводу Х5 поступает в «сухой» приямок.

Склад химического гипохлорита натрия оборудован автоматической системой контроля за содержанием хлора в воздухе помещения. Предельно допустимая концентрация (ПДК) содержания хлора в воздухе 1 мг/м³ (ГОСТ 6718-93). Предусмотрена установка датчиков концентрации хлора. Молярная масса хлора M = 35,4·2 = 70,8 г/моль. Хлор значительно тяжелее воздуха, следовательно, будет скапливаться в нижней части помещения и поэтому датчики устанавливают на высоте не более 1 метра от пола.

Помещение склада оборудовано автоматической системой контроля общеобменной вентиляционной системой с искусственным побуждением. Снаружи у входа в помещение предусмотрена световая сигнализация о превышении уровня загазованности склада хлором и включение вытяжной вентиляции для проветривания в целях снижения концентрации хлора в воздухе помещения до значения, удовлетворяющего санитарным нормам.

Так как значительные потери гипохлорита натрия из товарных растворов происходят в летнее время из-за нестойкости продукта, температура воздуха для системы отопления в помещении склада гипохлорита натрия не более 5 °С. Эти потери происходят не за счет выделения газообразного хлора, а за счет образования более стойких веществ по реакциям:

$$2NaClO \rightarrow 2NaCl + O_2,$$

$$3NaClO \rightarrow 2NaCl + NaClO_3.$$

Следует полностью исключить возможность попадания в гипохлорит натрия кислот или их солей во избежание мгновенного образования и выброса хлора.

Трубопроводы для транспортировки гипохлорита натрия должны отвечать требованиям ФНП в области промышленной безопасности:

– трубопроводы гипохлорита натрия из ПВХ;

– предусмотрена защита трубопроводов гипохлорита натрия от механических воздействий (устройство канала);

– предусмотрено удобное техническое обслуживание и ремонт трубопроводов;

– предусмотрено наличие запорной арматуры, изготовленной из материалов, стойких к среде гипохлорита натрия.

Стоимость реализации запроектированной станции с учетом обследования строительных конструкций существующего здания хлораторной, реконструкции здания хлораторной, инженерных изысканий, инженерных сетей и оборудования в ценах 2024 г. составит около 100 млн. руб. с НДС 20 %. С учетом того, что стоимость 1 кг активного хлора при использовании ВГХН ориентировочно составляет 190–220 руб/кг [4], реализация и последующая эксплуатация запроектированной станции потребует от предприятия взвешенного подхода, поиска и выделения средств не только на капитальные затраты, но и на немалые каждодневные эксплуатационные расходы.

ВЫВОДЫ

1. Хранение и дозирование концентрированного гипохлорита натрия требует неукоснительного соблюдения требований правил безопасности, реализация которых на реальном объекте является достаточно сложной и дорогостоящей задачей с применением современных материалов, систем контроля и автоматизации технологического процесса.
2. Стоимость реализации проекта станции хранения и дозирования высококонцентрированного гипохлорита натрия производительностью 900 кг/сут по эквиваленту активного хлора (производительность ВОС по воде составляет 100 тыс. м³/сут.) в ценах 2024 г. составит около 100 млн. руб. с НДС 20 %, что потребует от предприятия взвешенного подхода, выделении средств не только на капитальные затраты, но и на эксплуатационные расходы.
3. При выборе конкретного реагента его преимущества следует искать в безопасности доставки и хранения, технологичности применения, в 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.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иткин Г.Е. Сравнительная технологическая и технико-экономическая оценка хлорсодержащих средств обеззараживания воды // Водоочистка. 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 // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2014. № 2(74). С. 48–52. – EDN RUPDXV.
4. Сравнительная оценка экономической эффективности применения хлорсодержащих сред в технологии обеззараживания воды / Л.Н. Фесенко, А.Ю. Черкесов, И.В. Пчельников [и др.] // Водоснабжение и санитарная техника. 2022. № 10. С. 24–30. – DOI 10.35776/VST.2022.10.03. – EDN BCDEAW.
5. Кожевников А.Б., Петросян О.П. Сравнительный анализ промышленных методов обеззараживания питьевой воды // Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2008»: материалы IV Межд. науч.-практ.

конф.; г. Калуга, 26–29 февраля 2008 г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. (НПИ). – Новочеркасск: «Оникс+», 2008. С. 92–99.
6. Григорьев А.Б. Сравнительная оценка высоко- и низкоконцентрированного гипохлорита натрия для дезинфекции питьевых вод / А.Б. Григорьев, Р. Расс // Водоснабжение и санитарная техника. 2006. № 10. С. 42–46.
7. Головачев А.В., Абросимова Е.М. Применение гипохлорита натрия при обеззараживании воды // Водоснабжение и санитарная техника. 2009. № 4. С. 8–12.
8. Соколов В.Д., Соколов Д.В. Опыт использования технического гипохлорита натрия для обеззараживания питьевой воды в системе водоснабжения г. Кемерово // Технологии очистки воды «Техновод-2008»: материалы IV Межд. науч.-практ. конф.; г. Калуга, 26–29 февраля 2008 г. /Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск: «Оникс+», 2008. С. 61–65.
9. Подковыров В.П., Привен Е.М. Опыт МГП «Мосводоканал» по реконструкции объектов, использующих жидкий хлор // Водоснабжение и санитарная техника, 2004. № 8. Ч.1. С. 27–29.
10. ГОСТ 11086-76 Гипохлорит натрия. Технические условия от 1.07.1977 (с изменениями № 1, № 2 утвержденными в марте 1986 г., ноябре 1991 г.) [Электронный ресурс]. Доступ из справочно-правовой системы «Консорциум Кодекс»: http://docs.cntd.ru/document/1200019370 (Дата обращения: 13.11.23).
11. ГОСТ Р 57568-2017 Натрия гипохлорит раствор водный. Технические условия. Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2019 год. [Электронный ресурс]. Доступ из справочно-правовой системы «Консорциум Кодекс»: https://docs.cntd.ru/document/1200146375?section= status (Дата обращения: 14.02.24).
12. ГОСТ 12.1.007-76 Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. Дата введения в действие 01.01.1977.
13. Мязин Р.Г. Гипохлорит натрия в лечении больных хроническими диффузными заболеваниями печени: специальность 14.01.00 «Клиническая медицина»: диссертация на соискание ученой степени кандидата медицинских наук / Мязин Роман Геннадиевич. – Волгоград, 2006. 179 с. – EDN NPYTUD.
14. Сайт Мосводоканал. Гипохлорит натрия. [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://www.mosvodokanal.ru/watersupply/waterpreparation/
15. sodiumhypochlorite.php (дата обращения: 11.01.2024).
16. Поршнев В.Н., Привен Е.М. Перевод московских станций водоподготовки на использование гипохлорита натрия // Водоснабжение и санитарная техника. 2009. № 10. Ч. 1. С. 24–30.

УДК 628.164+165

РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РЕАГЕНТНОЙ ОБРАБОТКИ КОНЦЕНТРАТА УСТАНОВКИ НАНОФИЛЬТРАЦИИ

А.Ю. Черкесов, С.А. Щукин
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия
С.И. Игнатенко, Д.В. Каберская, Н.И. Князева
ООО НПП «ЭКОФЕС», г. Новочеркасск, Россия
И.А. Тронь, Г.В. Поповьян
АО «Ростовводоканал», г. Ростов-на-Дону, Россия

В статье представлены результаты лабораторных исследований реагентного умягчения и десульфатации концентрата после нанофильтрации, а также рекомендованы оптимальные технологические дозы реагентов. Рассмотрены различные варианты реагентной обработки концентрата с применением извести, соды и хлористого бария.

Одним из обязательных элементов в технологии умягчения и обессоливания воды независимо от используемого метода является обработка и утилизация промывных вод, регенерационных растворов или концентратов, образующихся на тех или иных этапах водоподготовки. В случае реагентного умягчения воды образующийся осадок из отстойников или осветлителей может быть обработан, например, в сгустителях и затем обезвожен на декантерах или ленточных прессфильтрах.

Умягчение и частичное обессоливание воды мембранным методом – нанофильтрацией сопровождается образованием концентрата, который, в свою очередь, весьма проблематично утилизировать, следовательно, его необходимо частично умягчить и обессолить с переводом солей жесткости в нерастворимую фазу, после чего использовать для приготовления хлоридно-натриевых регенерационных растворов или как сырье при получении электролизного гипохлорита натрия.

В рамках выполнения научно-исследовательской работы по теме: «Разработка технологии удаления избыточной жёсткости и солесодержания из донской воды в условиях водоподготовки на очистных сооружениях АО «Ростовводоканал» были выполнены экспериментальные исследования реагентной обработки концентрата после установки нанофильтрации.

Объектом исследования служил концентрат, отходящий от установки одноступенной четырёхкаскадной нанофильтрации донской воды.

Физико-химические показатели исходной воды и отводимого концентрата представлены в таблице 1.

Одним из возможных способов утилизации концентрата является реагентная обработка, позволяющая его умягчить и частично обессолить за счёт осаждения образующихся нерастворимых соединений. В то же время, произвести полное обессоливание концентрата практически нереально. Повторное дообессоливание больших объёмов образующегося концентрата на установках нанофильтрации или обратного осмоса экономически нецелесообразно, как и обессоливание, путём выпаривания [1].

Таблица 1. **Физико-химический состав исходной воды и концентрата**

№ п/п	Показатели	Ед. изм.	Исходная вода	Концентрат
1	Водородный показатель pH	мг-экв/дм^3	8,1 – 8,22	8,31
2	Общая жесткость, (Ca^{2+}+Mg^{2+})	мг-экв/дм^3	10,8	53
3	Кальций, Ca^{2+}	мг-экв/дм^3	6,8	28,5
4	Магний, Mg^{2+}	мг-экв/дм^3	4,0	26,8
5	Натрий + Калий, Na^{+}+ K^{+}	мг-экв/дм^3	9,2	28,1
6	Гидрокарбонат, HCO_3^-	мг/дм^3	281,0	744,2
7	Карбонат, CO_3^{2-}	мг/дм^3	–	–
8	Гидраты, OH^-	мг/дм^3	–	–
9	Хлориды, Cl^-	мг/дм^3	244,0	290,71
10	Сульфаты, SO_4^{2-}	мг/дм^3	409,0	3024,0
11	Общая минерализация	мг/дм^3	1320,0	5602,0

Цель исследований заключалась в экспериментальном определении возможности и эффективности реагентной деминерализации концентрата, отходящего от одноступенной четырёхкаскадной нанофильтрации.

Кроме умягчения концентрата классическим известково-содовым методом, позволяющим декарбонизировать и частично уменьшить солесодержание воды, для более глубокого снижения общей минерализации может быть применено бариевое осаждение сульфатов [2].

Такой умягченный концентрат, с минимальными значениями общей жёсткости и сульфатов, может быть использован при подготовке рабочих хлоридных растворов для получения гипохлорита натрия.

Для изучения возможности применения данного технологического решения были проведены экспериментальные исследования реагентной обработки концентрата.

В ходе исследований в цилиндр объёмом 1 дм^3 наливали образовавшийся после последней ступени нанофильтрации концентрат и последовательно вводили в него изучаемые реагенты.

Для умягчения концентрата использовали раствор гашеной извести (CaO) с концентрацией 1,28 г-экв/дм^3 и 2Н раствор соды (Na_2CO_3). Для реагентного удаления сульфатов использовали 2Н раствор хлорида бария ($BaCl_2$).

Для интенсификации процессов осаждения солей жёсткости и

образующегося сульфата бария применяли коагулянт на железной основе – хлорид железа $FeCl_3$ (III) марки Kemira-Ferix-3. Данная марка коагулянта принята как наиболее известная при реагентном умягчении и при этом имеющая хорошие технико-экономические показатели на рынке водоподготовки. Концентрация раствора коагулянта принята равной 1 % по хлориду железа.

Реагенты дозировали в последовательности: 1 – сода, 2 – известь; 3 – хлорид бария; 4 – коагулянт.

Дозы реагентов принимали на основании расчётов исходя из состава концентрата. Расчётная доза хлорида бария составила 63,0 мг-экв/дм^3 (6,56 г/дм^3). Расчётная доза соды составила 41,8 мг-экв/дм^3 (2,22 г/дм^3).

С целью проверки эффективности умягчения и удаления сульфатов из концентрата при меньших дозах реагентов, доза соды была снижена в 2 раза. Расчётная доза извести составила 39,5 мг-экв/дм^3 (1,46 г/дм^3).

Дозу извести варьировали в диапазоне от 4,86 мг-экв/дм^3 (0,18 г/дм^3) до 34,0 мг-экв/дм^3 (1,26 г/дм^3). Доза коагулянта в экспериментах принята 150 мг/дм^3 по товарному продукту.

Результаты реагентной обработки концентрата различными дозами извести представлены в таблице 2 и в виде графиков на рисунках 1–3.

Таблица 2. **Физико-химический состав концентрата четвёртой ступени после реагентной обработки**

№ п/п	Показатели	Ед. изм.	Концентрат	Концентрат после реагентной обработки						
				Доза извести, мг/дм^3						
				180	360	540	720	900	1080	1260
1	Водородный показатель pH	мг-экв/дм^3	8,31	10,8	10,7	11,1	11,3	11,9	11,9	12,0
2	Общая жесткость, (Ca^{2+}+Mg^{2+})	мг-экв/дм^3	53	18	13	7,4	5,6	7,4	9	10
3	Кальций, Ca^{2+}	мг-экв/дм^3	28,5	5,75	4	4	4	7,4	9	10
4	Магний, Mg^{2+}	мг-экв/дм^3	26,8	12,25	9	3,4	1,6	0	0	0
5	Натрий + Калий, Na^++ K^+	мг-экв/дм^3	28,1	91,6	74,6	81	81,3	75,8	73,6	83,2
6	Гидрокарбонат, HCO_3^-	мг/дм^3	744,2	-	-	-	-	-	-	-
7	Карбонат, CO_3^{2-}	мг/дм^3	-	456	30	12	60	18	36	60
8	Гидраты, OH^-	мг/дм^3	-	23,8	119	40,8	6,8	45,9	51	146,2
9	Хлориды, Cl^-	мг/дм^3	290,7	3190	2695	2907	2925	2748	2695	2836
10	Сульфаты, SO_4^{2-}	мг/дм^3	3024	144	172	172	115	115	115	124
11	Общая минерализация	мг/дм^3	5602	6369	4922	5117	5076	4818	4770	5447

Согласно полученным экспериментальным данным (рис. 1) было установлено, что снижение общей жёсткости при принятых дозах хлорида бария и соды, 6,56 г/дм^3 и 2,22 г/дм^3 соответственно, снижение общей жёсткости концентрата до значений, не превышающих ПДК, 5,6 °Ж, удалось достичь только с дозой извести 0,72 г/дм^3.

Так же близкий результат по общей жёсткости к ПДК, 7,4 °Ж, был зафиксирован при дозах извести 540 и 900 мг/дм^3. Увеличение дозы извести сопровождалось ростом pH концентрата после его реагентной обработки и отстаивании. При наилучшем результате по общей жесткости (5,6 °Ж) значение pH концентрата после обработки составило 11,3 единицы. Следует так же отметить, что с увеличением дозы извести наблюдалось снижение концентрации ионов магния. При дозах, начиная от 900 мг/дм^3 и более, ионы магния в анализируемой пробе обработанного концентрата обнаружены не были.

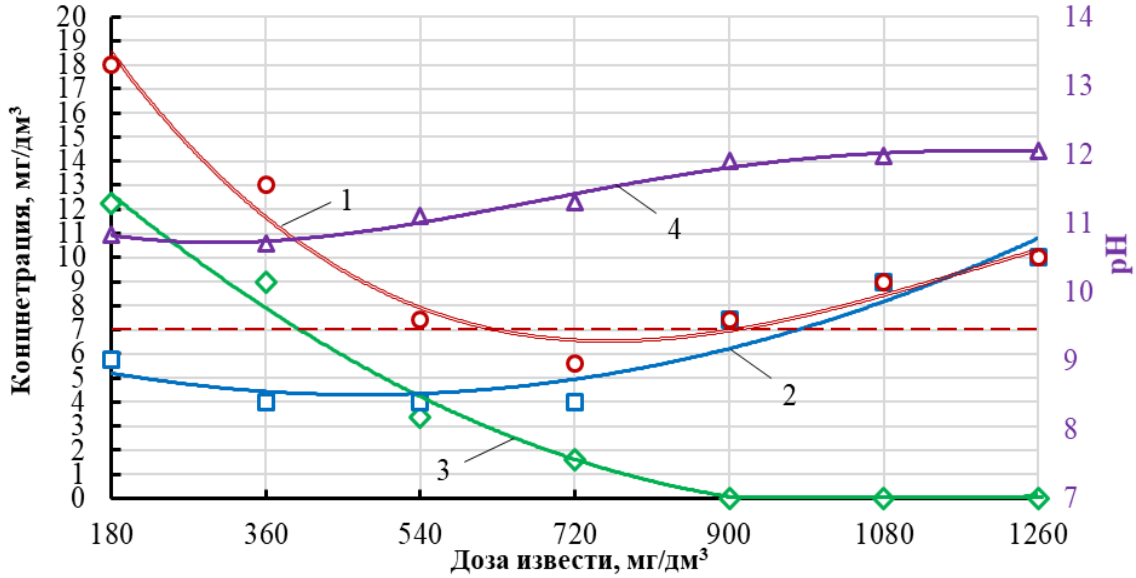


Рисунок 1. **Зависимость содержания ионов жёсткости в концентрате от дозы извести при исходной общей жёсткости 53,0 мг-экв/дм^3**:
1 – Ж$_{общ}$; 2 – Ca^{2+}; 3 – Mg^{2+}; 4 – pH концентрата после осаждения и фильтрования

Анализ зависимости массовой концентрации сульфатов в концентрате (рис. 2) от дозы извести показал, что наибольший эффект бариевого осаждения был достигнут при дозах CaO: 720, 900, 1080 мг/дм^3. Эффект удаления сульфатов при данных дозах составил 96,2 %, с 3024 мг/дм^3 до 115,2 мг/дм^3.

При дозе извести 540 мг/дм^3 эффект удаления сульфатов составил 94,3 %, с 3024 мг/дм^3 до 172,8 мг/дм^3. В целом, влияние дозы извести на эффективность бариевого осаждения сульфатов можно считать не значительной. Во всех случаях реагентной обработки концентрата

остаточное содержание сульфатов не превышало значение ПДК (500 мг/дм^3).

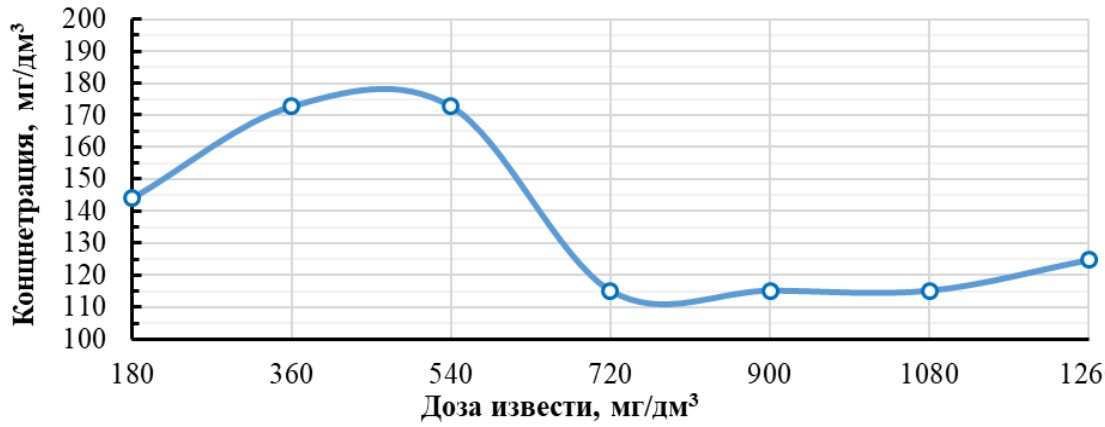


Рисунок 2. **Зависимость содержания сульфатов в концентрате от дозы извести**

Как и в ранее полученных экспериментальных данных, не смотря на положительную динамику снижения ионов жёсткости и сульфатов, в обработанном концентрате наблюдался ожидаемый рост хлоридов, связанный с их привнесением в результате добавления хлоридно-бариевого реагента. Так, в среднем, концентрация хлорид-ионов выросла в 9,6 раза.

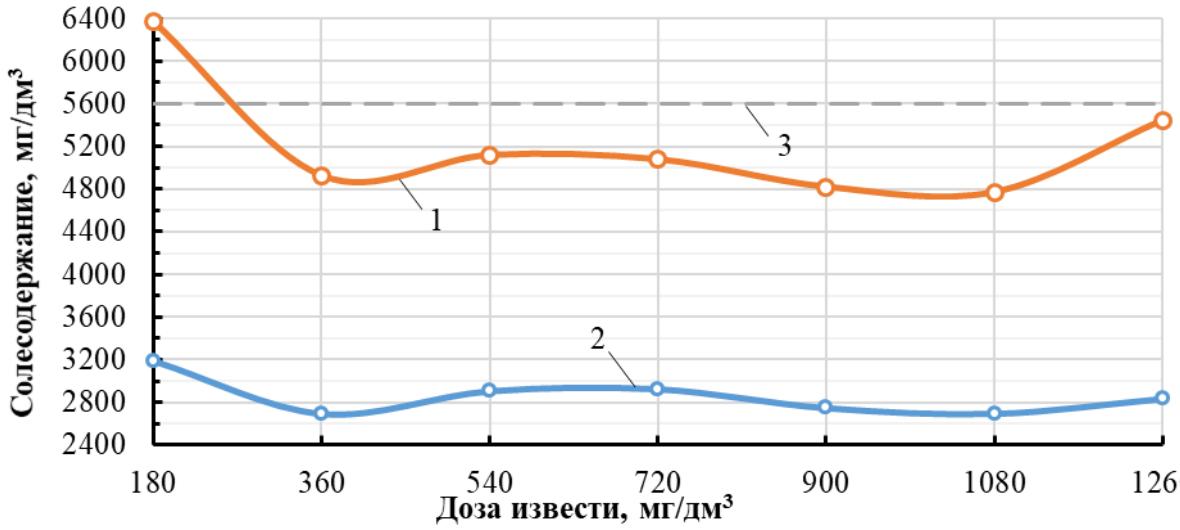


Рисунок 3. **Изменение концентрации хлоридов и общего солесодержания в концентрате после его реагентной обработки:**
1 – общее солесодержание концентрата; 2 – хлорид-ионы;
3 – исходное солесодержание концентрата

Анализ концентрата на общее солесодержание (3) выявил тенденцию к его снижению. Рост минерализации концентрата был зафиксирован только при дозе извести 180 мг/дм^3, что может быть связано с неполнотой

протекания реакций умягчения воды.

Наилучший эффект по снижению минерализации концентрата был получен при дозе извести 1080 мг/дм^3, составляющий 14,85 %, с 5602 мг/дм^3 до 4770 мг/дм^3. В среднем снижение солесодержания в концентрате составило 9,0 – 11,0 % от начального значения, что является достаточным и позволяет по данному показателю в обработанном концентрате повторно его использовать при приготовлении рабочих растворов реагентов.

В последующем так же стоит учитывать, что итоговое значение общего солесодержания очищаемой воды может незначительно увеличиваться после стабилизационной обработки воды, после смешения потоков за счёт введения серной или соляной кислоты.

ВЫВОДЫ

По результатам экспериментальных исследований реагентной обработки концентрата от установки нанофильтрации возможно сделать следующие выводы:

1. Выполненные экспериментальные исследования подтвердили возможность применения реагентной обработки концентрата после нанофильтрации, а именно известково-содового умягчения и бариевого осаждения сульфатов.
2. Эффект снижения солей жёсткости и сульфатов составил 85,0 – 90,0 %, общей минерализации 9,0 – 11,0 %.
3. Наилучшие результаты умягчения, десульфатизации и частичного обессоливания концентрата достигаются при дозах извести от 500 до 900 мг/дм^3 и соды – 2,22 г/дм^3, удельной дозе хлорида бария 1 мг-экв $BaCl_2$ / на 1 мг-экв SO_4^{2-}, а также дозе коагулянта – $FeCl_3$ равной 150 мг/дм^3 по товарному продукту.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кульский Л.А. Технология очистки природных вод: учебник / Л.А. Кульский, П.П. Строкач. – Киев: Вища школа. Головное издательство, 1981. 328 с.
2. Николаева, Л.А. Технология очистки концентрата обратного осмоса с применением отхода энергетики / Л.А. Николаева, Э.Р. Зайнуллина // Безопасность, защита и охрана окружающей природной среды: фундаментальные и прикладные исследования: Сборник докладов Всероссийской научной конференции, Белгород, 4–8 октября 2022 г. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2022.
3. Жёсткость воды и методы её умягчения: методические указания к самостоятельной работе по дисциплине «Химия» для студентов нехимических специальностей / Курск. гос. техн. ун-т. сост.,

И.В. Савенкова, Ф.Ф. Ниязи. – Курск, 2005. 18 с.
4. Демин А.П. Водообеспечение населения и объектов экономики в бассейне реки Дон: современное состояние и проблемы // Водные ресурсы. 2020. Т. 47, № 6. С. 767–778. DOI 10.31857/S0321059620060048. – EDN HKMOGZ.

УДК 628.16+628.339

ВОДОПОДГОТОВКА ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ: ТЕХНОЛОГИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ВОДЫ С ПОМОЩЬЮ СЕТЧАТЫХ ФИЛЬТРОВ С ВАКУУМНЫМ СКАНИРОВАНИЕМ

В.Ю. Чайка
ООО «НПЦ ПромВодОчистка», г. Нижний Новгород, Россия

В статье изложены особенности и преимущества использования сетчатых фильтров с вакуумным сканированием в процессе промышленной водоподготовки.

Водоподготовка является неотъемлемой частью работы промышленных предприятий и имеет огромное значение для обеспечения безопасности, эффективности и долговечности производственных процессов. Вода необходима для хозяйственно-питьевых нужд, для систем пожаротушения, для протекания технологических процессов различного масштаба и характера, а также для соблюдения экологических норм и стандартов. При этом характеристики используемой воды напрямую влияют на производительность и качество выпускаемой продукции.

Использование неподготовленной воды может привести к появлению брака, перерасходу топлива и электроэнергии, снижению производительности технологического оборудования и аварийному выходу из строя его элементов.

Одним из ключевых направлений работы НПЦ «ПромВодОчистка» является изготовление качественного промышленного оборудования для широкого круга задач и потребностей. В процессе проработки решения по подбору оборудования специалистами компании осуществляется строгий контроль за соблюдением соответствующих норм и стандартов, а также проводятся лабораторные и пилотные испытания.

В силу различных условий производства и требований к технологическим процессам состав и степень загрязнения воды в разных промышленных сферах варьируются, поэтому разработка технологической цепочки и подбор оборудования для каждого конкретного случая происходят в индивидуальном порядке.

Так, для грамотного подбора системы фильтрации и количества ступеней очистки необходимо проанализировать источник

водопотребления по следующим параметрам:

- физические показатели: температура, прозрачность и цветность, запах и вкус, присутствие осадка, количество взвешенных частиц;
- химические показатели: водородный показатель pH, окисляемость, солесодержание, состав растворенных газов, концентрация ионов металлов и неметаллов, органических коллоидных примесей;
- биологические показатели: отсутствие патогенных микроорганизмов, бактерий, вирусов.

Одна из важнейших стадий водоподготовки – механическая очистка воды. Данный этап является первой ступенью комплексной водоподготовки и непосредственно влияет на итоговое качество очистки. В процессе механической очистки из воды удаляются тяжелые взвеси, способные помешать извлечению более мелких и нерастворенных загрязнителей или вывести из строя более хрупкое оборудование, установленное на последующих этапах.

Типовая автоматизированная цепочка механической очистки воды включает в себя фильтры для защиты насосов, гидроциклоны, дисковые и сетчатые фильтры.



Рисунок 1. **Примерная цепочка механической очистки воды**

Фильтры для защиты насосов или же преднасосные фильтры со степенью фильтрации 1000 – 2500 мкм устанавливаются в самом начале всей цепочки очистки, так как крупные растительные загрязнения, мусор и небольшие камни, содержащиеся в источнике водозабора, могут серьезно повредить внутренние механизмы оборудования. Кроме того, фильтры для защиты насосов предотвращают засорение всасывающего патрубка насоса.

На второй ступени комплекса водоподготовки, где еще остаются тяжелые и механические включения – частички песка, металлической стружки или глины размером крупнее 25 мкм, используются *гидроциклоны*. В зависимости от требований к степени фильтрации воды перед следующим этапом очистки, на второй ступени могут

использоваться как стандартные модели, так и разработанная нашими специалистами серия мультипатронных гидроциклонов, в корпусе которых размещены несколько гидроциклонов малого размера, способных очищать воду от взвешенных веществ размером 25 мкм и выше. Для удаления взвесей размером от 50 мкм можно также использовать коллекторные схемы установки.

Для доочистки воды на любом производстве, в сельских и рыбных хозяйствах, пищевой промышленности, а также в нефтехимическом производстве находят свое применение дисковые фильтры. Они способны удалить из воды нерастворенные частицы размером от 400 до 20 мкм. Для достижения максимально высокой степени очистки лучше всего устанавливать дисковые фильтры после гидроциклонов, которые помогут снять лишнюю нагрузку с пластикового оборудования.

Завершающим этапом эффективной механической очистки воды от крупных взвесей являются *сетчатые фильтры***.** Они обладают всем набором технических и эксплуатационных характеристик для эффективного использования в рамках промышленных предприятий различных масштабов. Их производительность варьируется от 10 до 52000 м^3/ч, а степень фильтрации – от 3500 до 10 мкм.

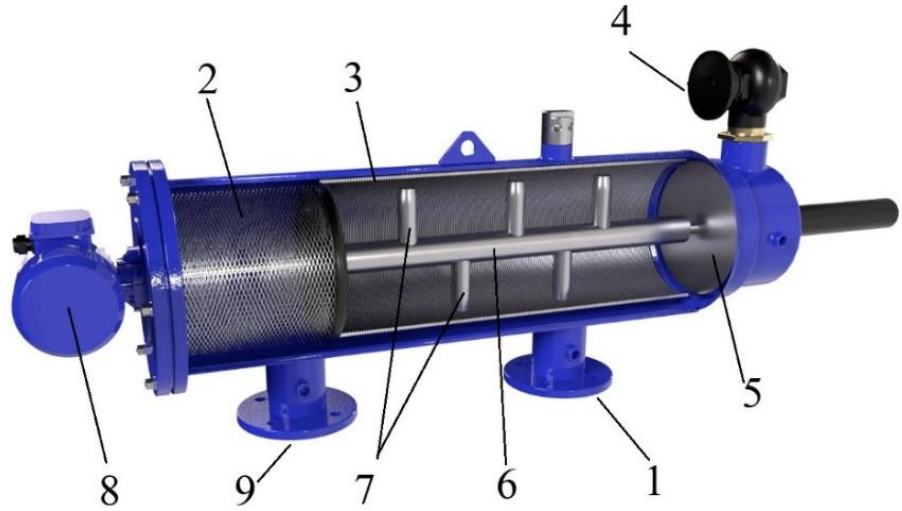


Рисунок 2. **Конструкция автоматического фильтра с вакуумным сканированием:** 1 – выходная труба; 2 – сетка с крупными отверстиями; 3 – сетка с мелкими отверстиями; 4 – гидравлический промывной клапан; 5 – камера сброса шлама; 5 – сканер; 6 – всасывающее сопло; 7 – электродвигатель; 8 – входная труба

Фильтрующим элементом в сетчатых фильтрах является каркас из многослойной или однослойной сетки, впаянной внутрь корпуса. Для оптимального соотношения производительности, эффективности очистки и частоты обслуживания важно правильно подобрать фильтрующую сетку с соответствующим размером ячеек, которые смогут обеспечить высокое качество очистки и при этом не будут слишком часто забиваться

скапливающимся на поверхности мусором. Выбор сетки напрямую зависит от характеристик исходной воды, а потому прежде, чем выбирать оборудование для очистки, инженеры советуют провести лабораторный анализ, показывающий, что находится в составе воды и в каком количестве.

Компания «НПЦ ПромВодОчистка» производит сетчатые фильтры, оснащенные автоматической системой фокусированной промывки, которая доказала свою эффективность за счет того, что фильтр всегда находится в рабочем режиме и подает очищенную воду пользователю без перерыва, а также позволяет:

1. сократить время на очистку фильтра;
2. сэкономить воду, которая при противоточной промывке уходила бы на очистку фильтра;
3. повысить интенсивность и, как следствие, эффективность промывки.

Сетчатые фильтры с вакуумным сканированием имеют ряд конструктивных особенностей, которые обеспечивают эффективную очистку и продолжительный срок службы оборудования. Устройство осуществляет работу в двух основных режимах – фильтрация и самоочистка, которые могут проходить параллельно и обеспечивать непрерывную подачу воды с минимальным расходом. Данные фильтры применяются в тех случаях, когда требуемый объем очищенной воды превышает 10 $м^3$/ч и требуется постоянная подача очищенной воды к потребителю. Также они актуальны при невозможности осуществления ручной очистки фильтрующего элемента.

Метод вакуумного сканирования основан на принципе обратного тока воды через фильтрующую сетку, расположенную в промывочной форсунке (6) вакуумного сканера. Вакуумный сканер (5) представляет собой трубу из нержавеющей стали, на которой закреплены специальные форсунки. Комбинация вращательного и поступательного движения вакуумного сканера создает спиральное движение очищающего элемента. Это позволяет форсунке перемещаться вдоль всей поверхности сетки и очищать 100 % площади за один проход.

Процесс самоочистки начинается с открытия промывочного клапана (3), что приводит к созданию высокоскоростной всасывающей струи на кончике форсунки (6). Эта струя, подобно пылесосу, эффективно очищает загрязнения (9) с поверхности сетки (4). Процесс очистки обычно длится около 30 секунд, при этом отфильтрованная вода продолжает поступать к потребителю. Загрязнения смываются с фильтрующей сетки за счет высокой скорости потока воды и удаляются из корпуса фильтра через промывочный клапан (3). Этот метод очистки обеспечивает эффективное удаление загрязнений с сетки без необходимости прямого контакта форсунки с фильтрующей поверхностью.

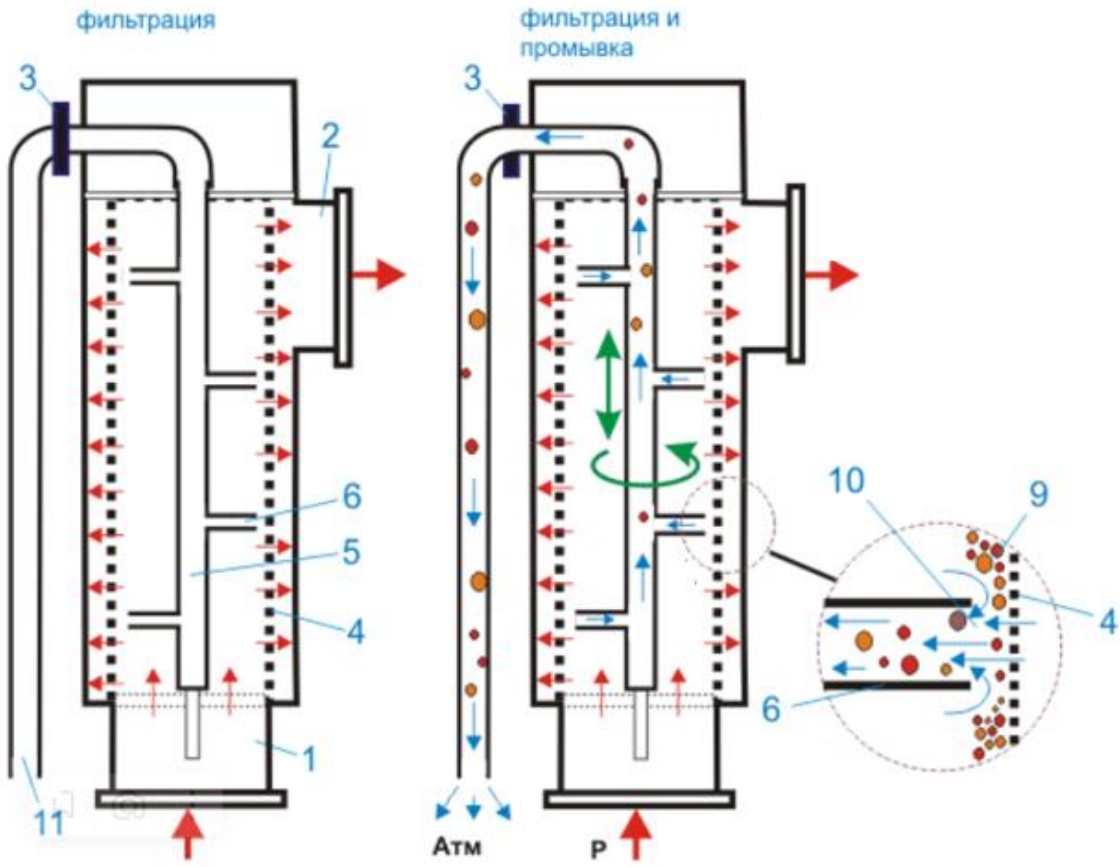


Рисунок 3. **Процесс очистки фильтра с вакуумным сканированием**

Сетчатые фильтры с применением вакуумного сканирования могут быть использованы для расходов в диапазоне от 10 до 5000 м^3/ч на один фильтр, с тонкостью фильтрации от 800 до 10 мкм, время промывки от 10 до 40 секунд, расход воды на промывку не превышает 1 %, а минимальное рабочее давление составляет 2 бара.

Таким образом, фильтры с вакуумным механизмом очистки дают более качественный и надежный результат, при этом не требуют высоких эксплуатационных расходов за счет отсутствия механического износа сетки и механизма очистки.

ООО «НПЦ ПРОМВОДОЧИСТКА» с 2006 года работает в области подбора, производства и поставки оборудования для механической фильтрации воды – за нашими плечами тысячи реализованных поставок и сотни запущенных и действующих проектов, однако мы продолжаем развиваться и самосовершенствоваться ради наших клиентов.

УДК 628.161.3

КОНЦЕНТРИРОВАННЫЙ ГИПОХЛОРИТ НАТРИЯ: НОВЫЙ МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ, ДОСТОИНСТВА И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

А.А. Шипилов, Н.Е. Иевлева
ООО «СпецСтройПроект», г. Санкт-Петербург, Россия
В.И. Кириленко
Военный институт (инженерно-технический) Военной академии материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева, г. Санкт-Петербург, Россия

В статье представлен анализ методов получения концентрированного гипохлорита натрия, приведены принципиальные схемы процесса получения ГПНХ. Предложен новый метод приготовления концентрата, его достоинства и перспективы его дальнейшего использования.

Одним из новых перспективных направлений получения хлорсодержащих реагентов и их использования в системах водоподготовки представляется использование концентрированного гипохлорита натрия. Получение такого продукта позволит существенно сократить объемы как перевозимого реагента, так и емкостей для его хранения.

Однако получение гипохлорита натрия-концентрата непосредственно на месте потребления не всегда осуществимо, т.к. для обеспечения технологического режима эксплуатации установок при его изготовлении требуется как высококвалифицированный обслуживающий персонал, так и обеспечение доставки, хранения и дозирования исходных компонентов для производства.

К промышленным способам получения растворов гипохлорита натрия на сегодняшний день относят:

1) хлорирование каустической и кальцинированной соды с помощью молекулярного хлора;

2) электролитическое получение гипохлорита натрия.

1. *Хлорирование каустической и кальцинированной соды*.

Этот способ получения растворов гипохлорита натрия (ГПХН) на сегодняшний момент является наиболее распространенным. Реакция хлорирования каустической соды (едкого натрия или гидроокиси натрия) молекулярным хлором описывается следующим химическим уравнением:

$$2\ NaOH + Cl_2 \rightarrow NaClO + NaCl + H_2O + 24{,}65\ ккал$$

Хлорирование проводят в абсорберах (барботажных, насадочных, распылительных и др.) за счет поглощения хлора раствором щелочи с концентрацией до 30 % NaOH. Процесс проводят при температуре 30 °С [1].

Процесс производства гипохлорита натрия может быть, как периодическим, так и непрерывным с автоматическим управлением. Технологическая схема процесса приведена на рисунке 1, представленном ниже.

Хлорирование раствора кальцинированной соды протекает с меньшим выделением тепла. Этот процесс двухстадийный:

$$Na_2CO_3 + Cl_2 = NaClO + NaCl + CO_2 – 2{,}0 \text{ ккал},$$

$$Na_2CO_3 + CO_2 + H_20 = 2NaHCO_3 + 6{,}0 \text{ ккал}.$$

Суммарная реакция:

$$2Na_2CO_3 + Cl_2 + H_2O = NaClO + NaCl + 2NaHCO_3 + 4{,}0 \text{ ккал}.$$

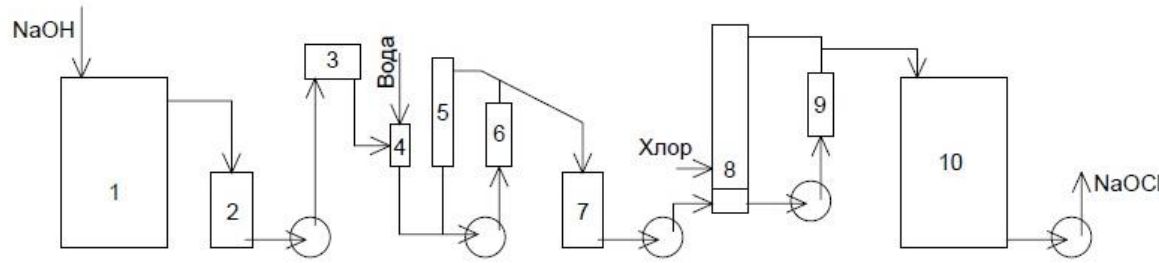


Рисунок 1. **Принципиальная технологическая схема хлорирования едкого натрия:**
1 – отстойник; 2 – сборник осветленного NaOH; 3 – напорный бак; 4 – смеситель; 5 – емкость разбавленного NaOH; 6, 9 – теплообменник; 7 – сборник разбавленного NaOH; 8 – хлоратор; 10 – сборник ГПХН

2. *Электролитическое получение гипохлорита натрия.*

Производство гипохлорита натрия (ГПХН) осуществляют методом электролиза раствора хлористого натрия NaCl (поваренной соли). При этом используют два пути получения конечного продукта: с применением мембранного разделения катодного и анодного (электродного) пространства электролизера и без такого разделения. В зависимости от этого процесс получения ГПХН происходит по различным схемам (рис. 2, 3).

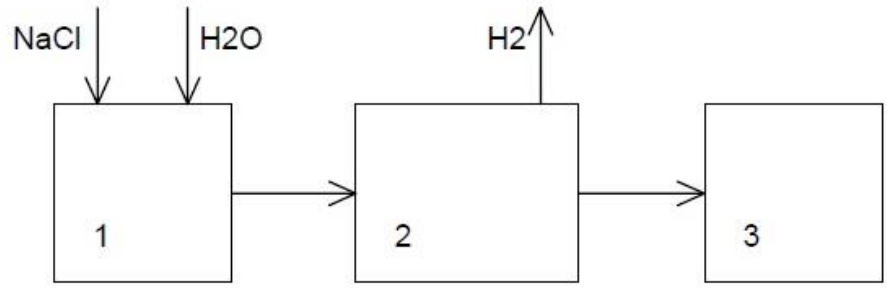


Рисунок 2. **Процесс получения гипохлорита натрия NaOCl в бездиафрагменном электролизере:**
1 – узел приготовления раствора поваренной соли; 2 – бездиафрагменный электролизер; 3 – емкость для сбора наработанного раствора гипохлорита натрия

Суммарную реакцию можно записать следующим образом:

$$2NaCl + 3H_2O \rightarrow NaClO + NaCl + 2H_2O + H_2\uparrow$$

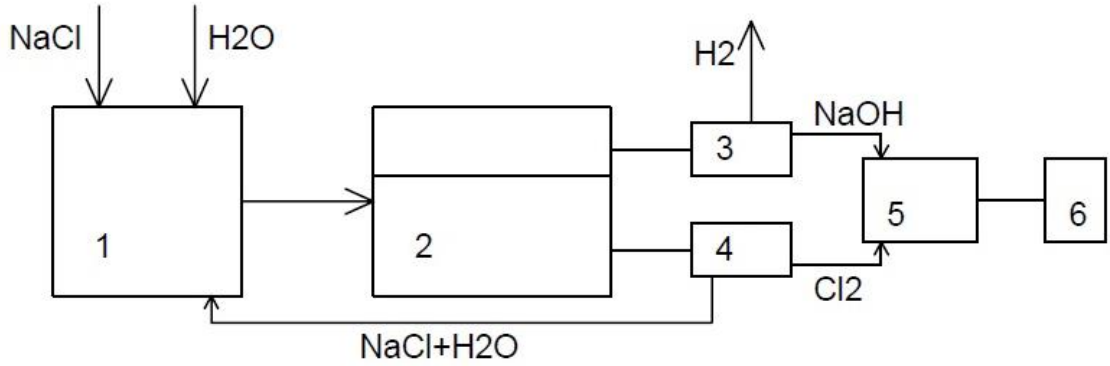


Рисунок 3. **Процесс получения гипохлорита натрия NaOCl с использованием диафрагменного электролизера:**
1 – узел приготовления раствора поваренной соли; 2 – мембранный (диафрагменный) электролизер; 3 – газоотделитель водорода; 4 – газоотделитель хлора; 5 – узел смешения (барботажа) хлора и щелочи; 6 – емкость для сбора наработанного раствора гипохлорита натрия

Общее уравнение химического смешения (барботажа) хлора в узле смешения с гидроксидом натрия имеет следующий вид:

$$2\ NaOH + 2Cl_2 \rightarrow 2NaClO + NaCl + H_2O$$

В настоящее время наибольшее применение для обеззараживания природных и сточных вод нашел электролитический метод получения гипохлорита натрия. Удобство этого метода заключается в том, что производство гипохлорита не требует поставок хлора, его можно производить сразу на месте водоподготовки, избежав, тем самым, расходов на доставку; кроме того, метод позволяет производить гипохлорит в достаточно широком диапазоне объёмов выработки: от очень малых до крупнотоннажных [2].

Однако и этот метод, а также получаемый продукт, имеет недостатки, к которым можно отнести следующее:

- относительно невысокие концентрации активного хлора в получаемом продукте;
- высокое содержание в нарабатываемом гипохлорите раствора поваренной соли NaCl, что существенно влияет на сроки и условия хранения дезинфектанта, а также имеет высокое значение удельного расхода поваренной соли на получение единицы активного хлора;
- высокие эксплуатационные затраты электроэнергии на получение гипохлорита натрия;
- образование на поверхности электродов отложений карбоната кальция, что существенно снижает выход хлора по току; а также требует дополнительных затрат на систему подготовки исходной воды.

Предлагается к рассмотрению новое схемное решение получения высококонцентрированного гипохлорита натрия обессоленного, принципиальная схема приведена на рисунке 4.

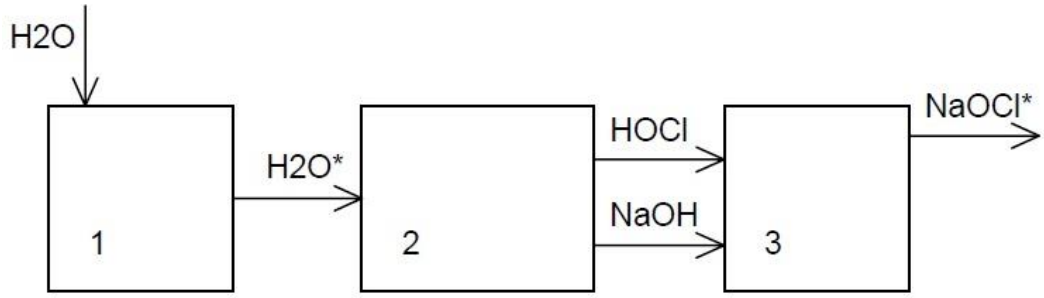


Рисунок 4. **Принципиальная блок-схема получения высококонцентрированного гипохлорита натрия (ГПХН ВК-О):**
1 – узел приготовления воды; 2 – узел получения хлорноватистой кислоты и щелочи с использованием мембранного электролиза; 3 – узел экстракции (реэкстракции) получения ГПХН ВК-О; H_2O* – вода обессоленная;
NaClO* – высококонцентрированный гипохлорит натрия обессоленный

Основные уравнения химической реакции получения ГПХН ВК-О следующие:

1) $2H_2O + Cl_2 \rightarrow HClO + HCl + H_2O$;

2) $HClO + NaOH \rightarrow NaClO + H_2O$.

На опытно-промышленном образце установки «Рубор-48» были проведены первые исследования; полученный по данному методу ГПХН ВК-О имел концентрацию 550 ÷ 650 г/л по активному хлору, не содержал в своем составе $NaClO_3$ и NaCl [3–4]. В настоящее время в схемное решение опытно-промышленной установки вносятся дополнительные элементы, которые позволят повысить уровень промышленной безопасности предлагаемого метода получения высококонцентрированного гипохлорита натрия.

ВЫВОДЫ

1. Использование в технологических схемах получения хлорсодержащих реагентов мембранных электролизных установок позволяет существенно снизить затраты на сырье (поваренную соль) и электроэнергию.
2. Получение высококонцентрированного гипохлорита натрия позволяет сократить в несколько раз затраты по доставке дезинфектанта до места его потребления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гипохлорит натрия. Процесс получения. С.В. Черкасов [Электронный ресурс]URL:https://wwtec.ru/index.php?id=545 датаобращения:01.03.2024

2. 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 // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2014. – № 2(74). С. 48–52.
3. Бородин В.С., Шипилов А.А., Соколов В.М. Новый способ получения гипохлорита щелочного металла // Материалы VI съезда АВОК. Сборник докладов. Часть II. / СПб, 1998 г., С. 140–142.
4. Шипилов А.А. Мобильная установка по производству хлорсодержащих дезинфицирующих и дегазирующих реагентов в чрезвычайных ситуациях: дисс. … канд. техн. наук. - СПб, 2004. 204 с.

УДК 628.165

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УДАЛЕНИЯ СОЕДИНЕНИЙ БОРА ИЗ ПРИРОДНЫХ ВОД

Д.В. Каберская, Р.В. Федотов, А.С. Кулаков
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», г. Новочеркасск, Россия
Л.Н. Фесенко, С.И. Игнатенко
ООО НПП «ЭКОФЕС», г. Новочеркасск, Россия

В статье представлены результаты литературного анализа о формировании природных борсодержащих вод как продукта выщелачивания осадочных минералов. Приведены ионы борных кислот, находящихся в воде, в зависимости от pH среды. Сделан вывод, что при удалении бора сорбционным методом путем фильтрования воды через зернистый слой активной окиси алюминия наиболее целесообразным является применение двухступенчатой регенерации загрузки последовательно по схеме: растворами 1 % соляной кислоты и алюмината натрия.

Основная доля подаваемой населению питьевой воды в РФ базируется на поверхностных источниках, поскольку по ряду причин еще не решена полностью возможность использования более надежных в санитарно-эпидемиологическом отношении подземных запасов пресных вод, в особенности для водоснабжения малых населенных пунктов, в том числе и из-за наличия специфических нормируемых загрязняющих её компонентов. Существующие методы очистки подземных вод направлены, в основном, на удаление соединений сероводорода, железа, марганца, фтора, солей жесткости и др., в то время как доступные технологии очистки воды от бора еще до конца не разработаны.

Одним из компонентов, который часто встречается в составе подземных вод, являются соединения бора. Наличие их в воде обусловлено выщелачиванием осадочных боросодержащих минералов (сассолин, ашарит, калиборит, бура, иниоит, колеманит, борацит, и т.д.), соленосных

отложений, алюмосиликатов, а также вулканических глин и пород, содержащих бор, сорбированный из морской воды [1].

В соответствии с действующим СанПиН 2.1.3684-21 для питьевой воды в РФ использование подземных источников для хозяйственно-питьевых целей допускается с содержанием бора не более 0,5 мг/дм^3.

Борная кислота по своим химическим свойствам имеет большее сходство с такими слабыми неорганическими кислотами как H_2CO_3 и H_2SO_3. Строение электронной оболочки атома бора $2s^2\ 2p^1$, атом B является формально одновалентным. Однако его трехвалентное состояние проявляется в результате гибридизации атомных орбиталей, на которых содержатся три неспаренных электрона с конфигурацией – sp^2. *B* соответствии с этим, основными структурными единицами боратов являются треугольники BO_3^- и тетраэдры BO_4^-, которые могут объединяться друг с другом через общие атомы кислорода.

Ортоборная кислота представляет собой небольшие бесцветные кристаллы, при нагревании она теряет воду, переходя в метаборную (HBO_2) кислоту и борный ангидрид. Растворение данных веществ в воде влечет за собой их обратный переход в борную (H_3BO_3) кислоту, соответствующий реакции:

$$H_3BO_3 \xrightarrow[t^0C]{} HBO_2 + H_2O$$

Диссоциация борной кислоты в растворах протекает по кислотному типу. Однако гидроксид бора очень легко выделяется из растворов своих солей большинством других кислот. Ион борной кислоты в водных растворах гидратирован, и его образование происходит в соответствии со следующей реакцией:

$$H_3BO_3 + 2H_2O \leftrightarrow H_2O^+ + B(OH)_4^-$$

Помимо этого, борная кислота в слабокислой среде (при pH 2–6) диссоциирует в воде с образованием дигидроборат- и гидроборат- ионов:

$$H_3BO_3 \leftrightarrow H^+ + H_2BO_3^-$$

$$H_2BO_3^- \leftrightarrow H^+ + HBO_3^{2-}$$

В растворах ортоборная кислота 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]:

$$H_3BO_3 + H_2O \leftrightarrow B(OH)_4^- + H^+$$

$$H_3BO_3 + OH^- \leftrightarrow B(OH)_4^-.$$

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].

В природных водах бор находится в виде ионов борных кислот. В кислых водах (при pH 2 – 6) – в форме ортоборной кислоты H_3BO_3 с частичной ее диссоциацией на H_3BO_3 и BO_3^{3-}, щелочных при pH 12 – 14 – в форме метаборной кислоты HBO_2. В питьевой воде, занимающей промежуточное положение – в форме аниона тетра-, пента-, гекса- и других полиборных кислот. Соотношение форм борной кислоты в воде определяется константами диссоциации каждой из ступеней. На рисунке 1 представлена зависимость распределения форм растворенного бора от pH среды, из которого следует, что в природных водах основная часть борной кислоты находится в молекулярном виде. Поэтому при ионном обмене бор начинает поглощаться с переходом среды в щелочную область, где он находится в ионной форме в виде гидроксоборат – аниона состава $B(OH)_4^-$, который образуется в результате присоединения ионов гидроксила воды к молекуле борной кислоты.

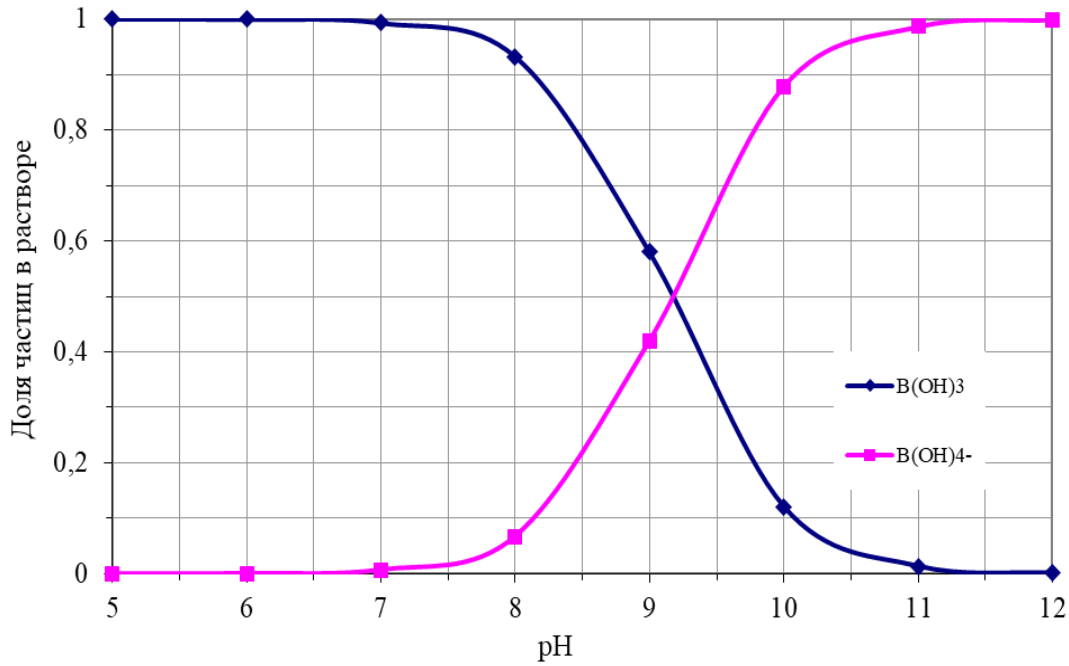


Рисунок 1. **Зависимость равновесного количественного соотношения соединений борной кислоты и моноборат-иона от pH растворов**

В маломинерализованных не щелочных подземных водах содержание бора составляет, как правило, 0,1 – 0,8 мг/дм^3, однако в минерализованных щелочных водах его концентрация может достигать 1–2 мг/дм^3 или даже 10 – 30 мг/дм^3, что делает такую воду потенциально не приемлемой для питья. А в случае проведения лабораторных исследований и получения результатов анализа артезианской воды, в которой отмечается pH более 7,8 и жесткость менее 4,5, необходимо обязательно проводить

анализ на содержание бора, поскольку велика вероятность превышения ПДК по данному компоненту [2].

В силу высокой растворимости борных соединений в воде на сегодняшний день в практике водоподготовки применяется несколько методов обезборивания воды: мембранное разделение, ионный обмен и сорбция на борселективных сорбентах.

Очистка воды с использованием мембранных технологий не позволяет селективно удалять из водных растворов только бор, без сопутствующего удаления других солей. Основным недостатком данной технологии является образование большого количества солевых концентратов и сложность их утилизации применительно к хозяйственно-питьевому водоснабжению.

Процесс сорбции бора анионообменными смолами подробно рассмотрен во многих работах [5–8]. Существенным минусом применения ионообменных смол является необходимость регенерации загрузки, как правило, по двухступенчатой кислотно-щелочной схеме, что увеличивает длительность процесса и делает его технологически сложным.

Регенерационные растворы после ионообменных фильтров, также как и концентраты после обратноосмотических установок, характеризуются высоким солесодержанием до 8 – 10 %, что на сегодняшний день не позволяет решить задачу по их повторному использованию и утилизации.

Дополнительно необходимо отметить высокую стоимость расходных материалов (мембран, ионообменных смол) для рассмотренных выше методов удаления бора.

Одним из перспективных к развитию методов извлечения бора из водных растворов представляется сорбция. В виду малой изученности механизма сорбции бора на неорганических и органических сорбентах данный метод обезборивания питьевой воды требует более детального изучения, в том числе в части повышения его эффективности за счет применения модифицирующих реагентов, а также разработки методов повторного использования и утилизации растворов модифицирующих реагентов.

В проведенных экспериментах объектом исследований служила искусственно приготовленная модельная борсодержащая вода, отобранная после контакта с зернистой загрузкой в динамическом режиме.

Была выдвинута следующая гипотеза: концентрация борных соединений в исходной воде (до 2 мг/дм^3) по истечении времени контакта с сорбентом должна снижаться до требований СанПиН 1.2.3685-21, предписывающих не более 0,5 мг/дм^3.

Для приготовления модельного раствора с заданной концентрацией по бору использовали водопроводную воду г. Новочеркасска, соответствующую нормативам качества действующего на территории

России СанПиН, с добавлением в неё расчетного необходимого количества раствора борной кислоты H_3BO_3.

Модельную борсодержащую воду подавали на фильтр из емкости исходной воды перистальтическим насосом с расходом, отвечающим расчетной скорости фильтрования в интервале от 3,0 до 9,0 м, полученный фильтрат отводили в накопительный бак.

Принцип работы лабораторной установки заключается в последовательном двухступенчатом фильтровании исходной воды через зернистую загрузку, корпус колонн выполнен из прозрачных винипластовых труб внутренним диаметром 45 мм.

Система регенерации загрузки фильтра состоит из бака с модифицирующим раствором заданной концентрации, который подается в фильтрующий слой перистальтическим насосом.

Целью проведения исследований являлась проверка гипотезы возможности удаления борных соединений методом сорбции путем фильтрования через зернистую загрузку с модифицированной поверхностью.

Для выявления зависимости длительности фильтроцикла от применения различных типов реагентов-модификаторов и их концентраций при регенерации фильтрующей загрузки, исследования проводили на активированной окиси алюминия, модифицированной растворами HCl, $NaOH$, $NaAlO_2$.

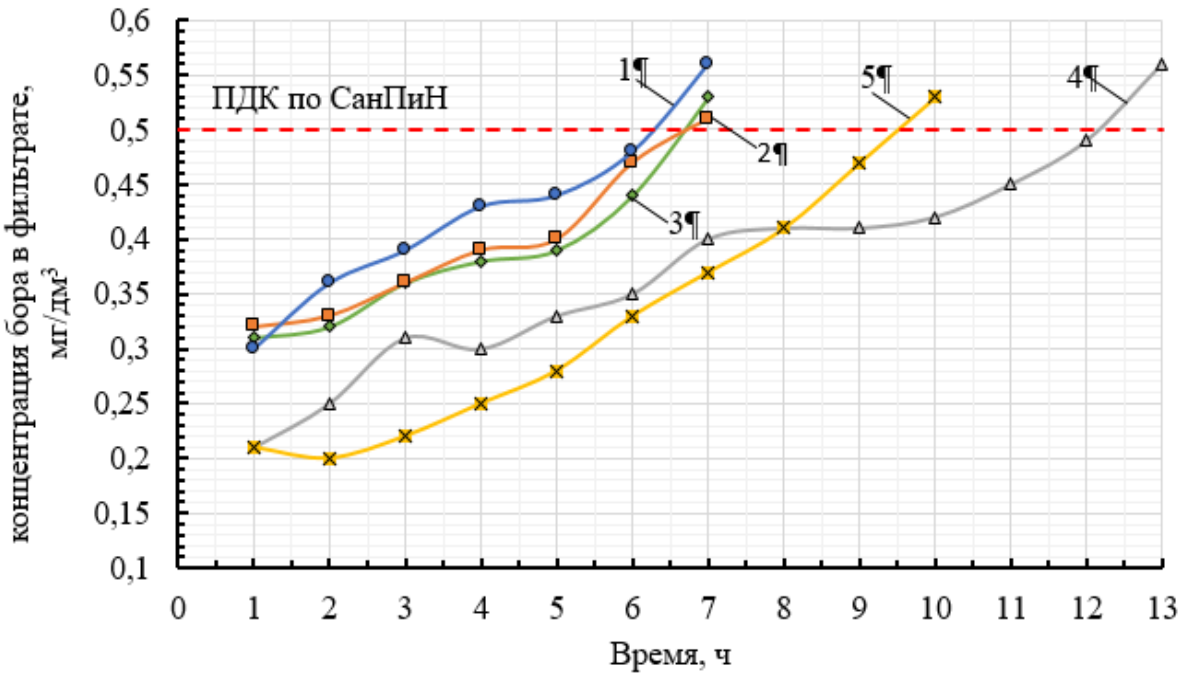


Рисунок 2. **Изменение остаточной концентрации бора в фильтрате в течение фильтроцикла при различных модифицирующих растворах:**
1 – $NaOH$ 1 %; 2 – HCl 1 %; 3 – HCl 2 %; 4 – $NaAlO_2$ 1 %; 5 – $NaAlO_2$ 2 %

Из приведенных на рисунке 2 графиков следует, что наибольшая продолжительность фильтроцикла и, как следствие, максимальная сорбционная емкость фильтрующего материала по бору, была достигнута при использовании в качестве щелочного регенерационного раствора 1 % $NaAlO_2$. Дальнейшие исследования были направлены на изучение влияния эффективности обезборивания природных вод с применением различных комбинаций растворов модификаторов с целью последующего увеличения длительности фильтроцикла.

На основании анализа результатов предварительных исследований была выдвинута гипотеза о целесообразности применения двухступенчатой регенерации фильтрующего материала: восстановление сорбционной ёмкости по бору активного оксида алюминия происходит сначала пропуском раствора кислоты, затем загрузка отмывается и регенерируется щелочным реагентом. Исследования эффективности применения различных комбинаций регенерационных растворов представлены на рисунке 3.

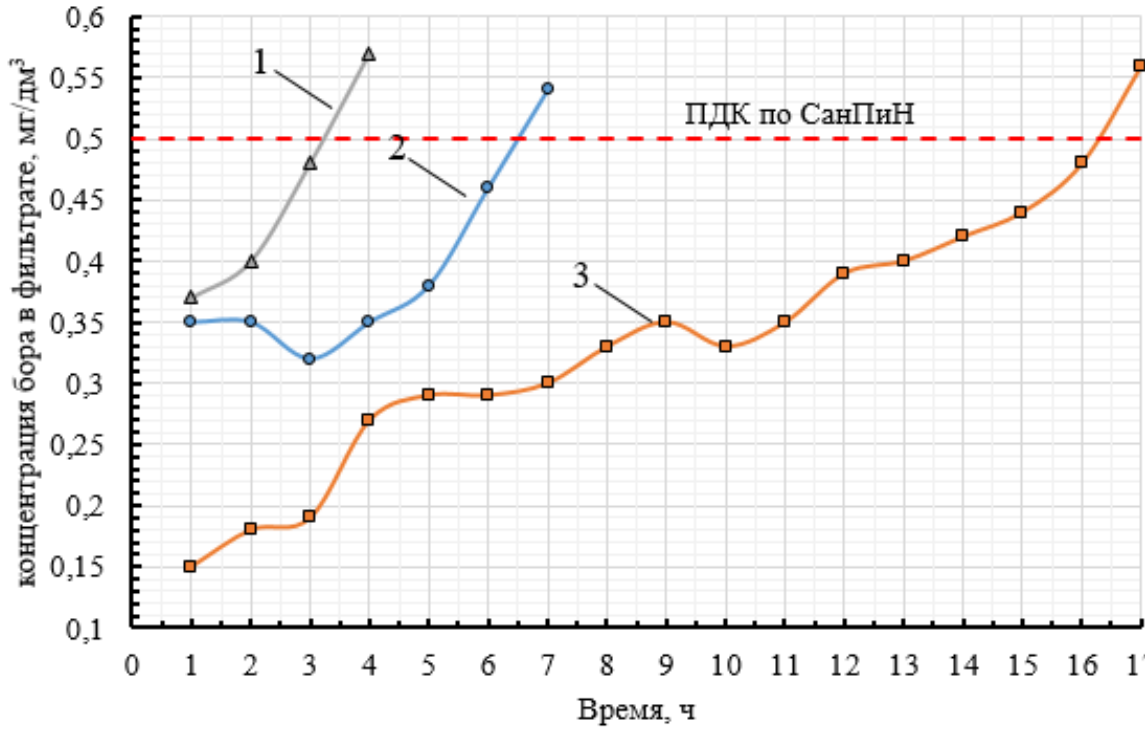


Рисунок 3. **Изменение остаточной концентрации бора в фильтрате в течение фильтроцикла при различных сочетаниях модифицирующих растворов:**
1 – 1 % H_2SO_4 + 1 % $NaOH$; 2 – 1 % H_2SO_4 + 1 % $NaAlO_2$;
3 – 1 % HCl + 1 % $NaAlO_2$

Исследования влияния применяемых реагентов показали, что возможно оптимизировать режим регенерации фильтрующей загрузки за счет снижения концентрации реагентов в регенерационных растворах. Стабильный и более длительный процесс обезборивания воды

фильтрованием был получен при применении двухступенчатой регенерации, проведенной последовательно с использованием 1 %-ного раствора соляной кислоты и, затем, 1 %–ным раствором алюмината натрия с удельными объемами 5 $м^3/м^3$ загрузки фильтра.

В сравнении исследований с применением только 1 % $NaAlO_2$ и сочетании модифицирующих растворов 1 % HCl + 1 % $NaAlO_2$ наблюдается увеличение фильтроцикла в среднем на 5 часов, а также общее снижение расхода реагента $NaAlO_2$ /

ВЫВОДЫ

В статье рассмотрены основные формы борной кислоты, присутствующие в природных водах и их распределение в зависимости от pH водных растворов. Отражены результаты предварительных исследований по удалению бора из природных вод питьевого назначения с применением активной окиси алюминия, модифицированной различными реагентами.

По результатам исследований сделаны следующие выводы:

1. Большая продолжительность фильтроцикла и, как следствие, максимальная сорбционная емкость фильтрующего материала по бору, была достигнута при использовании в качестве щелочного регенерационного раствора 1 % $NaAlO_2$;
2. Наиболее эффективным является применение двухступенчатой регенерации фильтрующей загрузки последовательным пропуском 1% HCl и 1 % $NaAlO_2$.

Направление дальнейших исследований предполагается в изучении влияния исходной концентрации бора в воде, pH воды, температуры и скорости фильтрования на эффект удаления бора из очищаемой природной воды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Немодрук А.А. Аналитическая химия бора и его соединений / А.А. Немодрук, Б.А. Маноле. – Москва: [б. и.], 1973. 106 с.
2. Краснов, М.С. Очистка воды от бора. Проблемы и особенности // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2010. – № 4(28). С. 64–77.
3. Нестеров Д.В. Синтез новых бор-хелатообразующих лигандов – производных 3–аминопропандиола–1,2: дис.…канд. хим. наук: Екатеринбург. 2018. 143 с.
4. Самбурский Г.А. Анализ технико-экологических проблем удаления бора из природной воды // Вестник МИТХТ «Экол.-эконом. пробл. хим. технологий». 2011. Т.6. №4. С.118–125.

5. Атаманюк В.Ю., Трачевский В.В. Сорбционный и ионнообменный методы извлечения бора из природных и сточных вод (обзор), НАВУКОВІ ЗАПИСКИ. Т. 20. Хімічні науки І технологіі, 2002, С. 3–28.
6. Информационные материалы фирмы «Ром и Хаас»: Смолы для промышленной водоподготовки, 2004. 10 с.
7. Информационные материалы фирмы «Дау Ликвид Сепарации» (The Liquid Separations): Технология UPCORE (АПКОРЕ) – Прогрессивная технология, позволяющая улучшить и снизить себестоимость ионообменного обессоливания воды. «The Dow Chemical Company», 2000. 13 с.
8. Информационные материалы фирмы «Пьюролайт»: Техническая информация «Пьюролайт» (катиониты, аниониты, удаление ограники). М., 2003. 51 с.
9. Некрасов Б.В., Основы общей химии: [В 2 т.] / Б.В. Некрасов. – 4. изд., стер. – СПб. [и др.].

УДК 628.16

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАГЕНТНОЙ ОБРАБОТКИ ВОДЫ НА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ ВОДОПРОВОДА Г.ТАГАНРОГА

Д.А. Бутко, О.П. Шишова
Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Россия

В работе рассмотрены результаты исследования применения новых реагентов на очистных сооружениях Донского водопровода г. Таганрога.

Очистные сооружения Донского водопровода г. Таганрог включают два блока очистных сооружений: старый и новый. На обоих блоках реализована двухступенчатая реагентная схема водоподготовки, включающая смеситель, камеры хлопьеобразования, горизонтальные отстойники и скорые однослойные фильтры. В настоящее время на сооружениях начаты работы по реконструкции реагентного хозяйства, смесителей и камер хлопьеобразования, а также исследования по изменению реагентной обработки воды (места ввода реагентов, вида реагентов и т.п). В процессе обследования сооружений старого блока было установлено:

- подача донской воды осуществляется от водозаборных сооружений с насосной станцией 1 подъема, расположенных на р. Дон в районе х. Дугино. Забираемая вода подается в аванкамеру насосной станции 2 подъема, расположенную на восточной окраине х. Недвиговка, откуда по водоводам длиной 42 км подается на площадку очистных сооружений. Подача воды р. Миус осуществляется водозаборными сооружениями в районе с. Троицкое;

- смешение воды реки Дон (Донской водозабор) и р.Миус (Миусский водозабор) производится непосредственно в смесителях;
- перегородчатый смеситель проектными размерами 6000 х 3250 х 6200 с максимальными уровнями воды в отделениях от 5.600 до 5,200 (считая от дна смесителя);
- перегородчатая камера хлопьеобразования (2 шт.) на 2 горизонтальных отстойниках каждая;
- горизонтальные отстойники в количестве 4 штук;
- скорые однослойные фильтры;
- реагентное хозяйство;
- сооружения обработки промывных вод;
- резервуары чистой воды.

В течение года по данным журналов эксплуатации очистных сооружений наблюдается значительное колебание расходов воды, подаваемых на станцию как от водозабора на р. Дон, так и от водозабора на р. Миус. Нами выполнен анализ почасовых расходов по каждому из водозаборов и соотношения при смешении вод от различных водозаборов.

Среднее годовое значение часового расхода воды от водозабора на р. Дон в 2022 году составило 1563 ± 255 $м^3$/ч (медиана 1600 $м^3$/ч, мода 1850 $м^3$/ч), в частности:

– в зимний период – 1578 ± 228 $м^3$/ч, медиана 1700 $м^3$/ч, мода 1850 $м^3$/ч;
– в весенний период – 1681 ± 201 $м^3$/ч, медиана 1750 $м^3$/ч, мода 1850 $м^3$/ч;
– в летний период – 1568 ± 198 $м^3$/ч, медиана 1600 $м^3$/ч, мода 1750 $м^3$/ч;
– в осенний период – 1425 ± 252 $м^3$/ч, медиана 1400 $м^3$/ч, мода 1400 $м^3$/ч.

Аналогичные вычисления выполнены для водозабора на р. Миус. Среднее годовое значение часового расхода воды от водозабора на р. Миус в 2022 году составило 438 ± 100 $м^3$/ч (медиана 470 $м^3$/ч, мода 500 $м^3$/ч), в частности:

– в зимний период – 506 ± 95 $м^3$/ч, медиана 540 $м^3$/ч, мода 540 $м^3$/ч;
– в весенний период – 340 ± 38 $м^3$/ч, медиана 350 $м^3$/ч, мода 300 $м^3$/ч;
– в летний период – 375 ± 98 $м^3$/ч, медиана 360 $м^3$/ч, мода 500 $м^3$/ч;
– в осенний период – 489 ± 46 $м^3$/ч, медиана 500 $м^3$/ч, мода 500 $м^3$/ч.

Таким образом установлено, что сооружения старого блока в течение года работают в условиях не только изменяющегося качества воды каждого из источников, но и в сложно прогнозируемом соотношении расход и качественные характеристики воды р. Миус и р. Дон. При этом подача воды с водозабора на р. Миус производится не постоянно, с большими перерывами (до нескольких десятков суток). Соотношение расходов в смеси колеблется в течение года приблизительно от 11:2 до 1:1 (донская : миусская вода).

С учетом этого, исследование по возможности изменения режима подготовки или вида реагента, внедрение других реагентов, решено было

проводить по известной и апробированной методике пробного коагулирования, разработанной на кафедре «Водоснабжение и водоотведение» РИСИ. В данной методике моделируются режимы смешения-перемешивания по всем сооружениям от трубопровода подачи исходной воды до камеры хлопьеобразования. Перемешивание и отстаивание производится в цилиндрах емкостью 1 дм^3 с высотой слоя воды равной диаметру цилиндра (0,11 м, рабочая глубина осветления 0,1 м) на стандартной установке типа джар-тест марки Экрос модель 8800. Время отстаивания принято 15 мин, что соответствует при высоте слоя осветления в отстойнике 3,5 м времени нахождения около 88 минут.

По результатам определения расходов с водозаборов рассчитан расход смеси донской и миусской воды, приняты к моделированию два варианта расхода на сооружениях:

а) минимальный расход – 0,364 м^3/с (1310 м^3/ч);

б) наиболее вероятный расход – 0,555 м^3/с (1980 м^3/ч).

Температура воды принята в исследованиях в двух интервалах – 20 ± 3 °С и 10 ± 3 °С. Также рассмотрен вариант ввода реагента в существующую на водоводах донской воды в пределах очистных сооружений точку введения активированного угля (≈ 5 мин движения воды до смесителя). Эксперименты сгруппированы в серии.

Серия 1 и *Серия 3* – существующая схема обработки воды с часовым расходом воды 1310 м^3/ч и температурой обрабатываемой воды 10 °С и 20 °С соответственно.

Серия 2 и *Серия 4* – существующая схема обработки воды с часовым расходом воды в размере 1980 м^3/ч и температурой обрабатываемой воды 10 °С и 20 °С соответственно.

Серия 5 и *Серия 7* – существующая схема обработки воды, дополненная введением реагента (коагулянта, флокулянта) в месте введения активированного угля (≈ 5 мин движения воды до смесителя), с часовым расходом воды в размере 1310 м^3/ч и температурой обрабатываемой воды 10 °Си 20 °С соответственно.

Серия 6 и *Серия 8* – существующая схема обработки воды, дополненная введением реагента (коагулянта, флокулянта) в месте введения активированного угля (≈ 5 мин движения воды до смесителя), с часовым расходом воды в размере 1980 м^3/ч и температурой обрабатываемой воды 10 °С и 20 °С соответственно.

Для испытания приняты следующие реагенты:

– коагулянты: АКВА-АУРАТ™190М (используется на станции в настоящий момент) по ТУ 2163-078-00205067-2013; АКВА-АУРАТ™30 (полиоксихлорид алюминия) по ТУ 2163-069-00205067-2007 номер партии 22; АКВА-АУРАТ™10М (полиоксихлорид алюминия, аналитический паспорт качества от 19.09.2023 г) по ТУ 2163-077-00205067-2013.

– флокулянт полиакриламид серии АК-631, марка А-155

слабоанионный (паспорт качества № 34) по ТУ 2216-010-55373366-2007.

Дозы коагулянта устанавливались по мутности исходной воды с варьированием. В исследованиях использовалась вода как с водозаборов на р. Дон и р. Миус, а также их смесь в соотношениях 1:1 и 1:3.

Результаты осветления и обесцвечивания воды по сериям представлены на рисунках 1–4. На диаграммах приняты следующие обозначения: «р. Дон» и «р. Миус» – вода с водозаборов соответственно на р. Дон и на р. Миус; «АА-10М» (АКВА-АУРАТ™10М); «АА-190М» (АКВА-АУРАТ™190М); «АА-30» (АКВА-АУРАТ™30); «ПАА» (флокулянт серии АК-631, марка А-155); «(см)» – место ввода реагента(ов) смеситель; «КХО» – место ввода флокулянта перед камерой хлопьеобразования; «АУ» – место ввода коагулянта соответствует месту ввода активированного угля в водоводы донской воды; «1:1» – соотношение воды р. Дон и р. Миус в смеси 50 % на 50 %; «1:3» – соотношение воды р. Дон и р. Миус в смеси 25 % на 75 %.

Во всех выполненных экспериментах величина pH при введении реагента изменялась незначительно. Из результатов экспериментов следует:

– при часовом расходе воды 1310 м^3/ч, температуре воды 10 °С и в условиях существующей схемы водоподготовки следует применять совместно АКВА-АУРАТ™190М или АКВА-АУРАТ™10М с флокулянтом серии АК-631, марка А-155. Ввод флокулянта следует производить в смеситель через 2 мин после коагулянта (начало третьей секции). Рекомендуемые дозы (на изученном интервале качества воды): коагулянт – 2 мг/л по Al_2O_3, флокулянт серии АК-631, марка А-155 – 0,4 мг/л по активному продукту (рис. 1);

– при часовом расходе воды 1310 м^3/ч, температуре воды 20 °С и в условиях существующей схемы водоподготовки можно использовать или только один коагулянт: АКВА-АУРАТ™190М, АКВА-АУРАТ™30 или АКВА-АУРАТ™10М, либо совместное введение коагулянта марки АКВА-АУРАТ™10М (2 мг/л по Al_2O_3) с флокулянтом серии АК-631, марка А-155 (0,4 мг/л по активному продукту) в смеситель. Перенос точки введения флокулянта перед камерой хлопьеобразования не дал значительного улучшения качества воды. При этом цветность воды после отстаивания остаётся высокой и требуется ее удаление на скорых фильтрах;

– при часовом расходе воды 1980 м^3/ч, температуре воды 10 °С и 20 °С в условиях существующей схемы водоподготовки цветность отстоянной воды значительно ниже, чем при меньшем расходе, что объясняется лучшими условиями перемешивания – хлопьеобразования. В целом, все коагулянты показали ровный результат, особенно на теплой воде, но лучше всего показало себя совместное применение АКВА-АУРАТ™10М (или 190М) с флокулянтом серии АК-631, марка А-155.

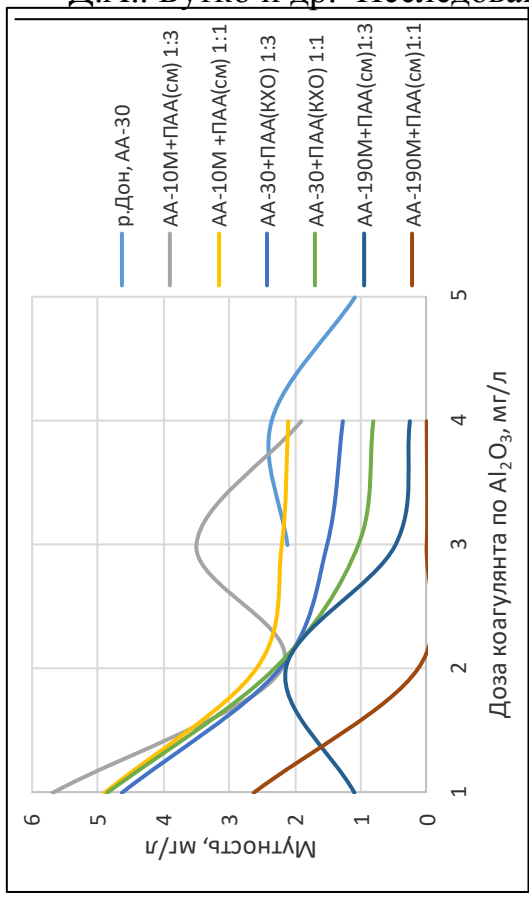


Рисунок 2. **Изменение мутности осветленной воды** (серия 4)

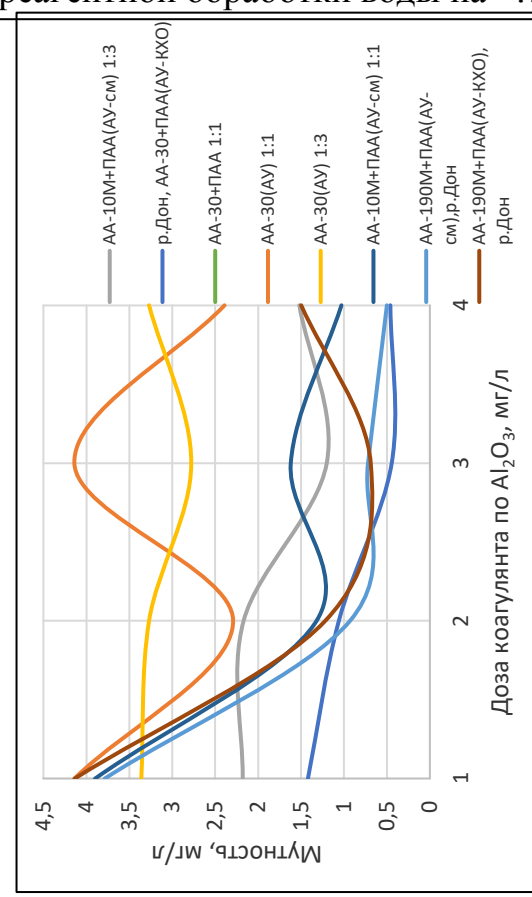


Рисунок 4. **Изменение мутности осветленной воды** (серия 8)

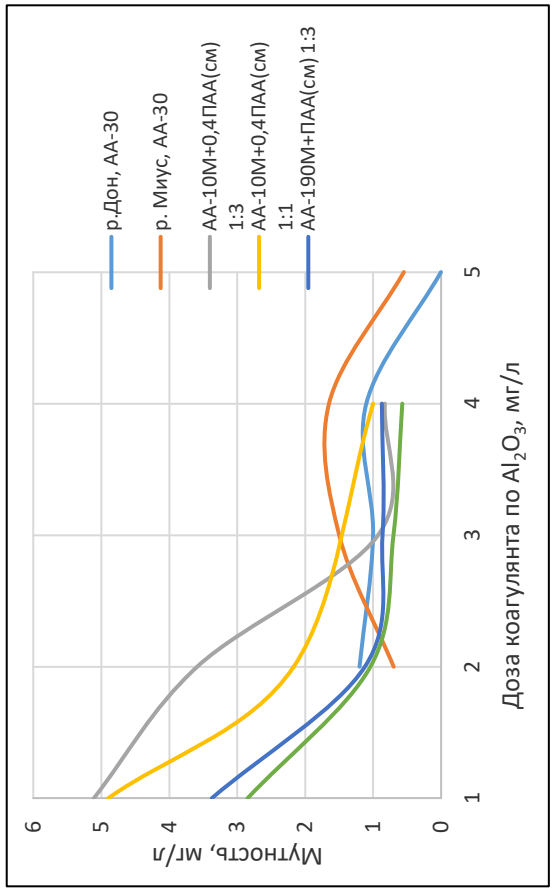


Рисунок 1. **Изменение мутности осветленной воды** (серия 1)

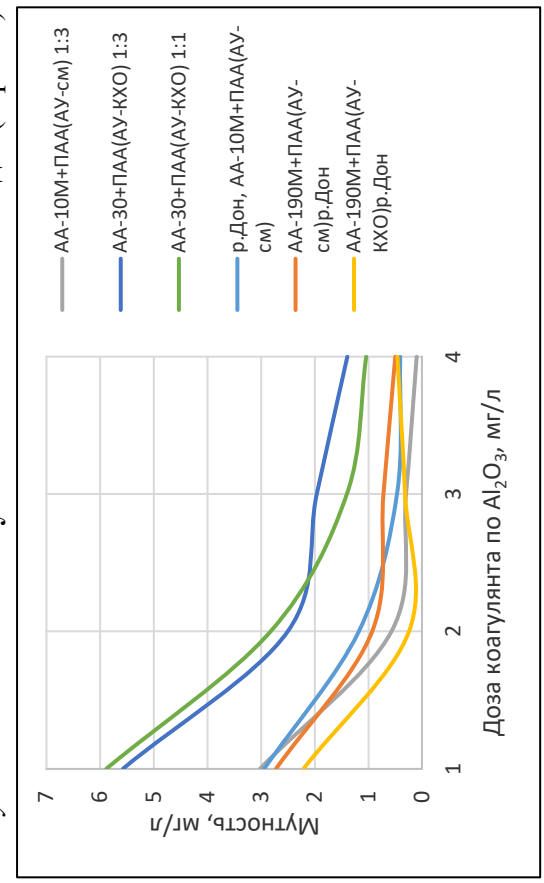


Рисунок 3. **Изменение мутности осветленной воды** (серия 5)

Ввод флокулянта следует производить в смеситель через 2 мин после коагулянта (начало третьей секции). Рекомендуемые дозы (на изученном интервале качества воды): коагулянт 2 ÷ 3 мг/л по Al_2O_3, флокулянт серии АК-631, марка А-155 – 0,4 мг/л по активному продукту;

– вынос точки введения коагулянта в точку введения активированного угля в водоводы сырой донской воды и введение флокулянта в смеситель обеспечил высокое качество отстоянной воды по мутности и по цветности при расходе 1310 м^3/ч (рис. 3). В данном случае оптимальным вариантом является введение за 5 мин до смесителя АКВА-АУРАТ™190М или АКВА-АУРАТ™10М, а в смеситель флокулянт. Рекомендуемые дозы (на изученном интервале качества воды): коагулянт 1,5 ÷ 2 мг/л по Al_2O_3, флокулянт серии АК-631, марка А-155 – 0,4 мг/л по активному продукту;

– такая же схема введения, но при расходе 1980 м^3/ч (рис. 4) показала свою эффективность. Рекомендуется введение АКВА-АУРАТ™190М или АКВА-АУРАТ™10М за 5 мин до смесителя, а в смеситель – флокулянт. Рекомендуемые дозы (на изученном интервале качества воды): коагулянт – 1 ÷ 1,5 мг/л по Al_2O_3, флокулянт – 0,4 мг/л по активному продукту;

– ввод флокулянта перед камерой хлопьеобразования не обеспечивает стабильность результатов и от него следует отказаться.

УДК 628.16

ЭКОНОМИЯ ВОДОСНАБЖЕНИЯ В МАШИНОСТРОЕНИИ

В.И. Щербаков, Т.В. Степанова, А.В. Крысоватая
Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия

Предлагается замкнутая система водоснабжения на машиностроительных предприятиях. Рассматривается полученная экономическая и экологическая выгода.

Крупные компании всегда потребляли много воды, что определяется универсальностью ее свойств и распространением на нашей планете.

Воронежский машиностроительный завод имени Тельмана в 2017 году произвел 1000 оконных блоков, годовой прирост составляет 15 – 20 %. По мере увеличения количества продукта загрязнение воды увеличивается на 15 – 20 %. Связь между ростом производства и выбросами показана на рисунке 1 [4].

Для экономии воды в техническом производстве предлагается использовать оборотную систему водоснабжения.

Такая замкнутая система обеспечивает воду для нужд производственного предприятия и имеет преимущество в том, что она подается снова после использования и соответствующей очистки. Машиностроительный завод ежегодно сливает 110 тыс. м3 стоков.

Закрытая система обратного осмоса способна переработать 80 – 90 % сточных вод, т.е. 88 000 м^3 от исходного объема. Эти данные показывают экономическую выгоду от внедрения системы оборотного водоснабжения [1].

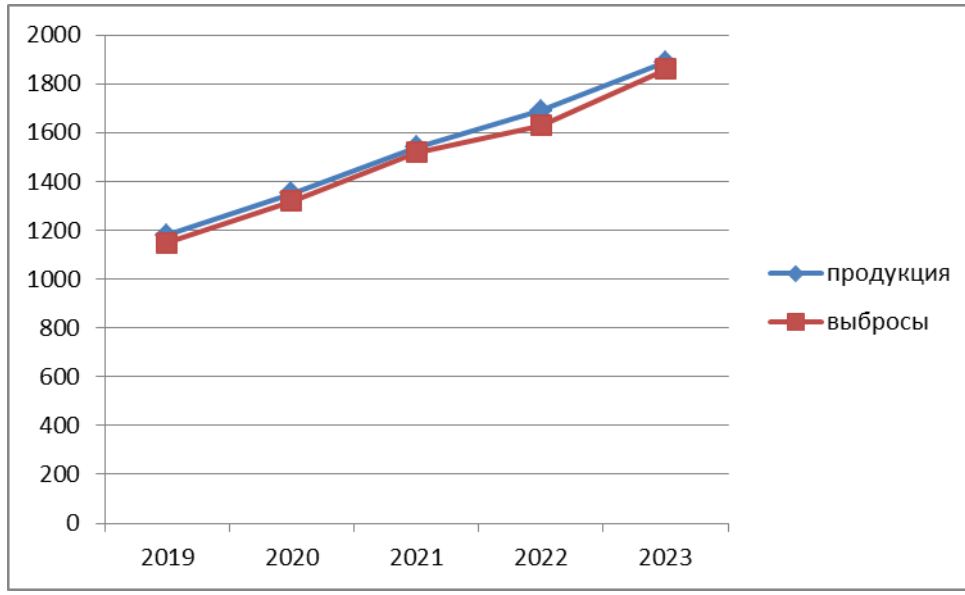


Рисунок 1. **График зависимости продукции от выбросов**

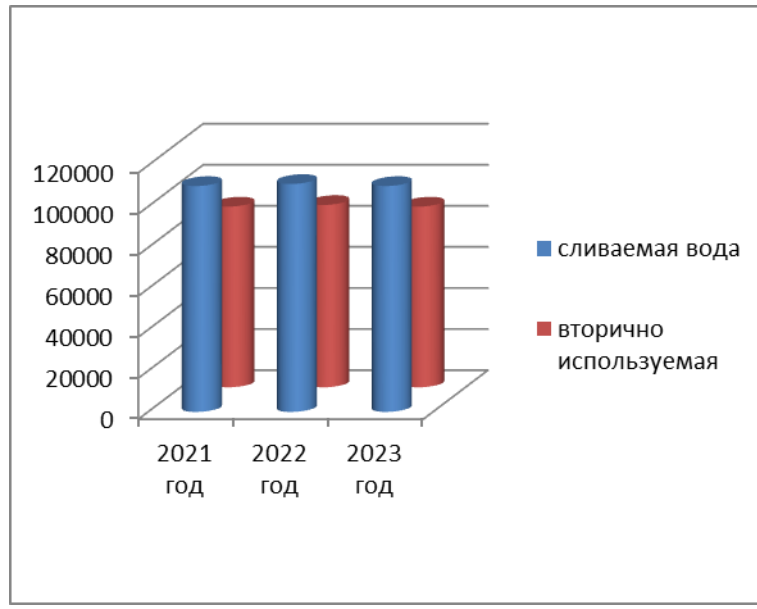


Рисунок 2. **График разницы между сбрасываемыми и повторно используемыми сточными водами**

Такая схема представляет собой замкнутую систему, состоящую из технических устройств, соединенных трубопроводами. Вода – дорогой ресурс, как и ее поставка предприятиям. Чтобы сэкономить, выгоднее использовать воду повторно. Используемая и протекающая по объектам вода меняет свои свойства и загрязняется продукцией производства.

Сбрасывая эту воду, компании оказывают негативное воздействие на окружающую среду [2].

В машиностроении используется оборотное водоснабжение с промежуточной очисткой. На этом этапе происходит несколько стадий очистки воды. Применение механического удаления твердых частиц с помощью пескоуловителей, седиментации и метода коагуляции с помощью флотаторов. В работу также входят маслоотделители, удаляющие жиры, масла и нефтепродукты. Работа такой замкнутой системы водоподготовки позволяет максимально очистить воду с помощью качественного дорогостоящего оборудования, использующего хорошо очищенную воду в течение длительного периода времени. Благодаря длительному сроку службы устройств и экономии на новом водоснабжении это выгодная инвестиция с экономической точки зрения.

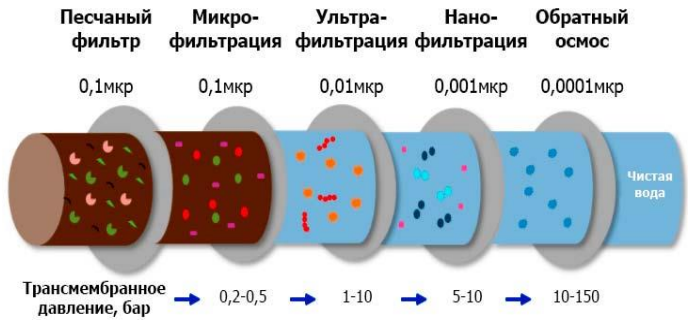


Рисунок3. **Механическая очистка воды**

Преимущества оборотных замкнутых систем в машиностроении:

1. Установка комплексов оборотных установок снижает потребление воды в промышленных масштабах на 80 – 90 %.
2. Значительно снижается загрязнение сточных вод и предотвращается попадание загрязняющих веществ в канализационную систему.
3. Срок службы оборудования увеличивается за счет очистки оборотной воды, защищающей от кальция и биологического прироста. Это приводит к оптимизации производственных процессов, поскольку не возникает сбоев оборудования.
4. Не требуется использование дорогостоящего насосного оборудования, и вода не требует дополнительной очистки [3].

Благодаря совершенствованию замкнутой системы циркуляции мы положительно влияем на экономическую составляющую, а также на поступление очищенных сточных вод в Воронежское водохранилище, и экономии воды за счет ее повторного использования, что делает эту замкнутую систему не только экологически чистой, но и экономически выгодной.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воронов Ю.В., Яковлев С.В. Водоотведение и очистка сточных вод,– Москва, 2006. С. 19–23.
2. Гудков А.Г. Механическая очистка сточных вод,– Вологда, 2003. С. 158–160.
3. Особенности утилизации сточных вод. Режим доступа: https://panor.ru/articles/osobennosti-protsessa-utilizatsii-stochnykh-vod-avtomoek/77271.html# (дата обращения 27.10.2023)
4. Защита гидросферы от загрязнений. Режим доступа: http://nedvigovka.ru/biblioteka/7/3_7_8.htm (дата обращения 27.10.2023)

УДК 628.161

ЭФФЕКТИВНО ПОДОБРАННЫЙ КОАГУЛЯНТ – ГАРАНТИЯ ЧИСТОЙ ВОДЫ

Н.А Сухоносов
ГК «Аурат», г. Москва, Россия

В статье представлены преимущества эффективно подобранных современных коагулянтов для управления процессами водоподготовки. Приведены примеры влияния различных типов коагулянтов на качество очистки воды.

Реалии таковы, что в современных условиях антропогенных загрязнений водоисточников требуется использование многоступенчатых технологий очистки природной воды с использованием физических и химических методов. В связи с глобальными ухудшениями экологической обстановки в мире и Российской Федерации, в частности, отмечается значительное ухудшение качественных показателей воды поверхностных и частично подземных водоисточников, а требования водопотребителей к качеству водопроводной воды, наоборот увеличиваются. Для достижения этих требований большинство действующих в Российской Федерации и странах ближнего зарубежья водоочистных комплексов систем водоснабжения и очистки стоков, которые были запроектированы, построены, и пущены в эксплуатацию в первой половине прошлого столетия, требуют модернизации или разработки новых, инновационных, высокоэффективных методов очистки.

В большинстве случаев, на модернизацию или постройку новых комплексов водоочистки, попросту не хватает средств, тогда на помощь приходит самый распространенный коагуляционный метод обработки воды с применением современных и высокоэффективных коагулянтов полиоксихлоридов алюминия.

Полиоксихлориды алюминия выпускаются в виде растворов и порошков, гранул, чешуек с широким диапазоном модификаций по

основности. Полиоксихлорид алюминия предназначен для использования в косметической, парфюмерной и целлюлозно-бумажной промышленности, а также для *водоподготовки и очистки сточных вод* от взвешенных веществ, мутности, цветности, тяжелых металлов, фосфатов, органических соединений, нефтепродуктов, СПАВ, ХПК и т.д.

В настоящий момент на территории Российской Федерации и стран СНГ действует межгосударственный стандарт на полиоксихлорид алюминия ГОСТ 34879-2022, в котором удалось систематизировать продукты, выпускаемые в РФ и странах ближнего зарубежья.

Полиоксихлориды алюминия призваны заменить устаревший сульфат алюминия, т.к. сульфат алюминия не во всех случаях обеспечивает требуемое качество очистки. Особенно затруднительно его использование при низких температурах, так как заметно снижается скорость гидролиза коагулянта, а следовательно, и качество очищаемой воды. Так же стоит отметить, что применение сульфата алюминия значительно закисляет исходную воду, и может привести к необходимости подщелачивания воды, как еще одного этапа водоподготовки.

Применение оксихлорида алюминия, повышает скорость коагуляции коллоидных частиц органических и неорганических загрязнений, отпадает необходимость в подщелачивании воды и обеспечивается более высокое качество очистки воды без каких-либо отложений и с минимальным содержанием остаточного алюминия в очищенной воде. Отметим преимущества применения полиоксихлорида алюминия:

- доза коагулянта снижается на 10 – 15 % по отношению к сернокислому алюминию;
- практически не изменяется pH очищаемой воды, что позволяет отказаться от использования щелочных агентов для нейтрализации;
- более широкий рабочий диапазон pH;
- продукт обладает большей способностью к полимеризации, что ускоряет хлопьеобразование и осаждение коагулированной взвеси;
- обеспечивается максимально высокая эффективность очистки воды от взвешенных веществ и металлов;
- применение при более низких температурах воды, чем сернокислый алюминий (ниже 4 °С);
- приводит к снижению коррозионной активности воды (отсутствие избыточных сульфатов);
- при использовании дает низкое остаточное содержание алюминия.

От правильно подобранного типа полиоксихлорида алюминия зависит эффективность очистки, и как следствие качество воды, которая отправится к потребителю.

Рассмотрим несколько примеров влияния различных типов коагулянта на качество очистки воды.

1. ООО «ЗапСибНефтехим», г. Тобольск

Место проведения испытаний: Водоочистные сооружения (ВОС) Южная площадка. Дата проведения опытно-промышленных испытаний: декабрь 2023 г.-январь 2024 г.

Цель испытаний: в зимний (холодный) период показать эффективность применения полиоксихлорида алюминия.

Очищаемая вода: поверхностный водоисточник р. Иртыш.





ВЫВОД: в результате опытно-промышленных-испытаний в зимний (холодный) период бала показана эффективность применения полиоксихлорида алюминия в сравнении с сульфатом алюминия.

2. Сточные воды молочных производств

Цель испытаний: подбор оптимальной марки коагулянта производства АО «АУРАТ», с целью максимального осветления сточной воды.

Очищаемая вода: производственные сточные воды.

На данных типах сточных вод в большинстве случаев, используется флотационная установка, сточная вода характеризуется нестабильным pH, для нейтрализации или подщелачивания стока в схеме предусмотрена дотация щелочи или кислоты после ввода коагулянта. Результаты лабораторных испытаний разных типов коагулянта представлены на рисунках 1–6.



Рисунок 1. **Исходный сток**



Рисунок 2. **Аква-Аурат 14**



Рисунок 3. **Аква-Аурат 18**

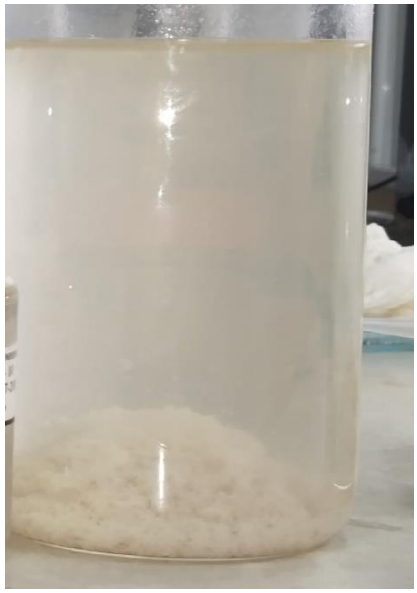


Рисунок 4. **Аква-Аурат 10**

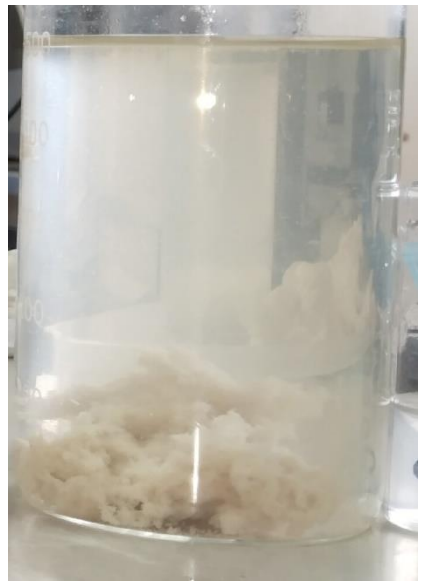


Рисунок 5. **Эпоха марка 2**



Рисунок 6. **ФерАква-Аурат**

ВЫВОД: в результате проведенных лабораторных испытаний наглядно показано влияние типа коагулянта на осветление сточной воды.

3. МУП «НФС «Воскресенская», г. Калачинск

Место проведения испытаний: НФС «Воскресенская, г. Калачинск.

Дата проведения лабораторных и опытно-промышленных испытаний: сентябрь-октябрь 2018 г.

Цель испытаний: подобрать наиболее эффективный полиоксихлорид алюминия для очистки речной воды.

Очищаемая вода: поверхностный водоисточник р. Омь, с очень высокой цветностью.

Результаты лабораторных испытаний приведены в таблице 1, сравнительные результаты опытно-промышленных испытаний представлены в таблице 2.

Таблица 1. **Результаты лабораторных испытаний**

Исходная вода р. Омь на 06.09.2018 года: цветность – 112 градусов; мутность – 8,3 мг/дм^3; pH – 7,88 ед.pH; температура – 15 °С						
Доза флокулянта по товарному продукту во всех тестах, составляла 0,6 мг/дм^3						
Коагулянт	Доза коагулянта по Al_2O_3, мг/дм^3	pH, ед.pH	Фильтрат, через фильтр белая лента			
			Мутность, мг/дм^3	Цветность, градусы	ПО, мг·O_2/дм^3	Al, мг/дм^3
Оксихлорид алюминия «MetaPAC® 20»	18	7,25	1,3	62	21,6	0,06
Оксихлорид алюминия «MetaPAC® 20»	20	7,23	1,1	57	19,6	0,08
Полиоксихлорид алюминия «Аква-Аурат 14»	18	6,71	0,5	35	12,4	0,08
Полиоксихлорид алюминия «Аква-Аурат 14»	20	6,65	0,5	32	15,2	не изм.
Полиоксихлорид алюминия «ЭПОХА», марка 2, изв.2 (Al_2O_3 = 24,5 %)	18	7,51	1,1	57	18	0,12
Полиоксихлорид алюминия «ЭПОХА», Марка 2, изв.2 (Al_2O_3 = 24,5 %)	20	7,49	1,3	57	17,2	не изм.
Алюминий хлоргидрат «ГранЭко™», 1 сорт	18	7,32	1,2	54	18	0,1
Алюминий хлоргидрат «ГранЭко™», 1 сорт	20	7,29	1,0	49	18,8	не изм.

Таблица 2. **Сравнительный анализ работы реагентов «Аква-Аурат™14» и «MetaPAC® 20» на основании проведенных опытно-промышленных испытаний**

Коагулянт	Доза коагулянта по Al_2O_3, мг/дм^3	Анализируемые показатели	Место отбора пробы	
			РПВ	РЧВ
MetaPAC® 20	21	Мутность, мг/дм^3	1,1	0,12
		Цветность, градусы	42,5	19,5
MetaPAC® 20	23	Мутность, мг/дм^3	6,6	0,23
		Цветность, градусы	49,3	16,7
Аква-Аурат™14	23	Мутность, мг/дм^3	0,14	0,12
		Цветность, градусы	25,7	15,0
Аква-Аурат™14	19	Мутность, мг/дм^3	0,7	0,12
		Цветность, градусы	29,7	15,3
Аква-Аурат™14	17	Мутность, мг/дм^3	0,49	0,12
		Цветность, градусы	28,2	15,0
Аква-Аурат™14	16	Мутность, мг/дм^3	0,53	0,16
		Цветность, градусы	29,7	16,5

ВЫВОД: на основании проведенных лабораторных и опытно-промышленных испытаний видно, что правильно подобранный тип коагулянта позволяет на 30 % снизить дозу коагулянта.

Таких примеров множество, но **«истина»** одна, **эффективно подобранный коагулянт – гарантия чистой воды.**

ГК «АУРАТ» 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, компания взяла верный курс на выпуск только качественных и высокоэффективных коагулянтов.

ВЫВОДЫ

Учитывая вышеизложенное, можно говорить о том, что эффективно подобранный коагулянт – гарантия чистой воды, а современные коагулянты полиоксихлорида алюминия, являются одними из лучших реагентов на сегодняшний день. Широкая область применения позволяет использовать его в технологии на предприятиях целлюлозно-бумажной промышленности, в процессах водоподготовки, очистки природных, оборотных, технических и сточных вод, а гибкая технология производства позволяет выпускать большой ассортимент продукции, что в свою очередь позволяет индивидуально подбирать реагенты для конкретного водоисточника в любой период года.

УДК 628.16

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ОЧИСТКИ ПРИРОДНЫХ СЕРОВОДОРОДНЫХ ВОД ЖЕЛЕЗО-КАТАЛИТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Л.Н. Фесенко, А.Ю. Черкесов, С.А. Щукин, И.А. Денисова
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия

Приведены результаты производственных исследований очистки природных сероводородных вод железо-каталитическим методом. Установлен фактический выход продуктов железо-каталитического окисления сероводорода в очищенной воде. Предложена итоговая последовательность образования конечных продуктов при железо-каталитическом окислении сероводорода в реакторе с мембранным разделением, проиллюстрированная наиболее вероятными химическими реакциями.

Очистка природных вод для хозяйственно-питьевых целей – одна из техногенных областей, требующая постоянного развития в направлении как оптимизации существующих способов и методов водоподготовки, так и поиске новых и актуальных решений в настоящее время. На сегодняшний день одним из активно развивающихся направлений водоподготовки по-прежнему остаётся очистка подземных вод, в том числе от сероводорода (H_2S) – одного из распространённых загрязняющих компонентов, строго нормируемого [1] из-за ряда характерных свойств, негативно влияющих на здоровье человека [2].

В рамках диссертационных исследований, направленных на научное обоснование, разработку и внедрение в природоохранную практику технологии очистки подземных вод от сероводорода на кафедре «Водное хозяйство, инженерные сети и защита окружающей среды» совместно с компанией ООО НПП «ЭКОФЕС» было разработано принципиально новое техническое решение, позволяющее эффективно очищать данный тип вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения [3].

Основной принцип работы, заложенный в разработанную технологию, заключается в железо-каталитическом окислении сероводорода кислородом воздуха и мембранном разделении технологических потоков [4].

С целью подтверждения полученных в ходе теоретических и лабораторных исследований закономерностей железо-каталитического окисления сероводорода в реакторе с мембранным разделением потоков [5–6] были проведены производственные испытания.

Исследования проводили на реальном производственном объекте, а именно: с. Марфинка, Матвеево-Курганского района Ростовской области на производственной установке очистки подземных сероводородных вод

производительностью до 2 м^3/сут., схема установки представлена на рисунке 1.

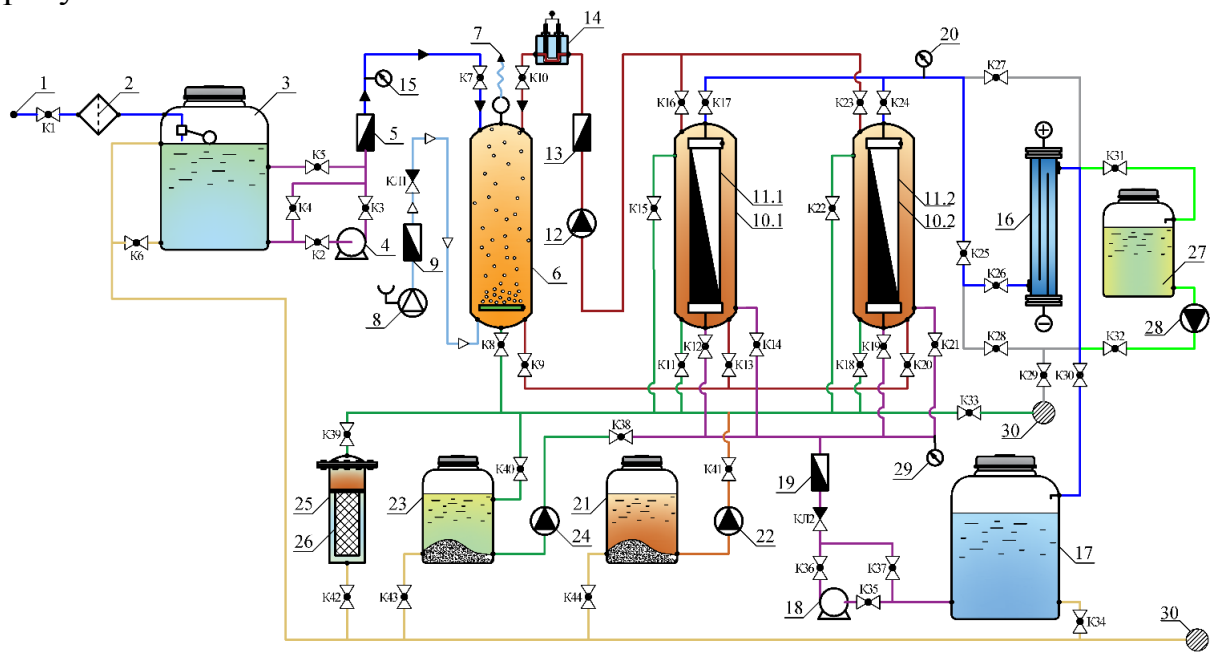


Рисунок 1. **Технологическая схема производственной установки:**
1 – подключение к трубопроводу подземной воды; 2 – самопромывной сетчатый фильтр; 3 – бак исходной воды; 4 – насос подачи сероводородной воды; 5 – ротаметр; 6 – реактор-окислитель; 7 – воздухоотводчик;; 8 – компрессор;; 9 – ротаметр; 10.1, 10.2 – мембранный реактор-окислитель; 11.1, 11.2 – ультрафильтрационный разделитель; 12 – циркуляционный насос; 13 – ротаметр; 14 – проточная *Eh*-ячейка; 15 – манометр; 16 – проточный электролизёр; 17 – бак чистой воды; 18 – промывочной насос; 19 – ротаметр; 20 – манометр; 21 – бак с раствором катализатора; 22 – насос перекачки раствора катализатора; 23 – бак с раствором щавелевой кислоты; 24 – насос кислотной промывки мембран; 25 – мешочный фильтр; 26 – сменный мешок; 27 – бак с раствором 5 % соляной кислоты; 28 – насос кислотной промывки электролизёра; 29 – манометр; 30 – сброс в канализационную сеть

В технологическую основу производственной установки был положен принцип работы лабораторной установки для железо-каталитического окисления сероводорода кислородом воздуха в реакторе-окислителе с мембранным разделением потоков, работающей в проточном режиме с окислением сероводорода и отделением гидроксида и сульфида железа в основном потоке очищаемой воды с тремя последовательными реакторами, и включающей следующие технические элементы: точку подключения (1) к трубопроводу исходной сероводородсодержащий воды из источника; самопромывной сетчатый фильтр *FIP DN25* (2) в пластиковом исполнении; бак модели «*Fortis*» фирмы *Elfplast* с исходной сероводородсодержащей природной водой (3) объёмом 80 дм^3 (*L* x *B* x *H* = 385 x 385 x 710 мм); вихревой насос подачи исходной воды (4) *Grundfos PF 1-30 CVBP* производительностью до 1,0 м^3/ч; ротаметр *LZS-15EF* измерения расхода исходной воды (5) с диапазоном измерения 10 –

100 дм^3/ч; реактор-окислитель (6), выполненный из прозрачной трубы ПВХ диаметром 125 мм и высотой 0,9 м; воздухоотводчик *UNI-FITT* автоматический ниппель 1/2" (7); поршневой компрессор *Hailea ACO 208* для подачи кислорода воздуха в реактор-окислитель (8) производительностью до 25 дм^3/мин с максимальным рабочим давлением 0,35 бар; ротаметр *LZM-6T* для измерения расхода воздуха (9) с диапазоном измерения 0,1 – 1,5 дм^3/мин; мембранные реакторы-окислители (10.1 и 10.2), выполненные из прозрачной трубы ПВХ диаметром 125 мм и высотой 0,9 м, и мембран (11.1 и 11.2) из полиакрилонитрила с суммарной площадью поверхности фильтрации 4,0 м^2; циркуляционный насос *«SINGFLO» FLO-2202* (12), производительностью до 250 дм^3/мин; ротаметр *LZS-15EF* контроля расхода циркуляционного потока (13) с диапазоном измерения 25 – 250 дм^3/ч; проточная *Eh*-ячейка (14) со встроенным хлорсеребряным электродом сравнения ЭСр-10101 и платиновым индикаторным электродом ЭПВ-1СР, подключёнными к стационарному иономеру АНИОН 4100; манометр контроля давления в системе (15); проточный электролизёр «ХЛОРЭФС» (16) производства ООО НПП «ЭКОФЕС» с площадью анодов 0,02 м^2; бак очищенной воды (17) объёмом 30 дм^3, L x B x H = 280 x 280 x 420 мм; бак с раствором щавелевой кислоты (15) для регенерации мембранного разделителя объёмом 30 дм^3, L x B x H = 280 x 280 x 420 мм; насос «*SINGFLO*» *FLO-2202* для подачи регенерационного раствора кислоты и промывной воды (16) в реактор-окислитель, производительностью до 250 дм^3/ч и давлением 2,4 бар; ёмкость модели «Fortis» фирмы *Elfplast* для приготовления рабочего раствора гидроксида железа (III) (17) объёмом 80 дм^3 (L x B x H = 385 x 385 x 710 мм); вихревой насос *Grundfos PF 1-30 CVBP* подачи промывной воды (18) производительностью до 1,0 м^3/ч; ротаметр *LZS-15EF* измерения расхода промывной воды (19) с диапазоном измерения 10 – 100 дм^3/ч; манометр контроля давления (20); бак модели «*Fortis*» фирмы *Elfplast* с раствором катализатора (21) объёмом 40 дм^3 (L x B x H = 385 x 385 x 450 мм); мембранный насос «*SINGFLO*» *FLO-2202* для перекачки рабочего раствора гидроксида железа (III) (22), производительностью до 250 дм^3/ч; бак модели «*Fortis*» фирмы *Elfplast* с раствором щавелевой кислоты (23) объёмом 40 дм^3 (L x B x H = 385 x 385 x 450 мм); мембранный насос «*SINGFLO*» *FLO-2202* для кислотной промывки мембран (24), производительностью до 250 дм^3/ч; мешочный фильтр Гейзер-4Ч (25) для отделения отработанного гидроксида железа (III) из раствора и сменный мешок для фильтра (26) с прозором 10 мкм; бак с 5 % соляной кислотой (27) объёмом 3 дм^3 и мембранный насос (28) «*SINGFLO» FLO-2202*, производительностью до 250 дм^3/ч для промывки электролизёра; манометр контроля давления при промывке мембран (29); сброс в канализационную сеть (30).

Общий вид экспериментальной пилотной установки, подготовленной к проведению опытно-производственных исследований представлен на рисунке 2.



Рисунок 2. **Фото экспериментальной пилотной установки**

Производственные исследования проводили при следующих технологических параметрах:

- концентрация $\sum H_2S$, равная 8,9 – 11,1 мг/дм^3 (соответствовала качеству подземной воды);
- концентрация гидроксида железа (III) в системе – 1000 мг/дм^3;
- удельный съём с ультрафильтрационной мембраны – 15 л/ч·м^2;
- *pH* среды 8,0 ед. (соответствовало *pH* подземной воды);
- время контакта – 0,5 ч;
- расход воздуха – 0,5 дм^3 на дм^3 очищаемой воды;
- температура реакционной среды +10,5 °С (соответствовала качеству подземной воды);
- расход циркуляционного потока – 150 дм^3/ч.

В ходе исследований во времени снимали показатели *pH*, *Eh* и определяли концентрации сероводорода, тиосульфатов, сульфитов и сульфатов в очищенной воде.

Исследования проводили без работы проточного электролизёра с целью исключения доокисления в очищенной воде остаточного сероводорода и других серосодержащих соединений, таких как тиосульфаты, сульфиты и политионаты.

Результаты производственных исследований представлены на рисунках 3 и 4. Полученные на графиках точки являются средним значением трёх параллельных экспериментов.

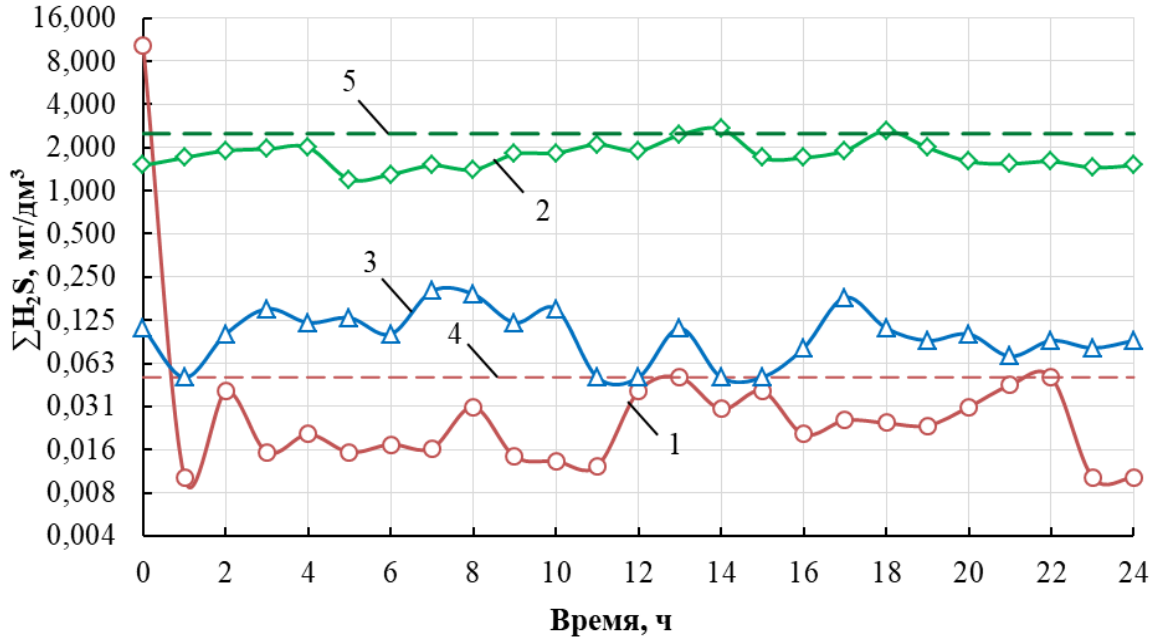


Рисунок 3. **Выход серосодержащих продуктов в очищенной воде, мг/дм^3:** 1 – $\sum H_2S$; 2 – $S_2O_3^{2-}$; 3 – SO_3^{2-}; 4 – ПДК сероводорода; 5 – ПДК тиосульфатов

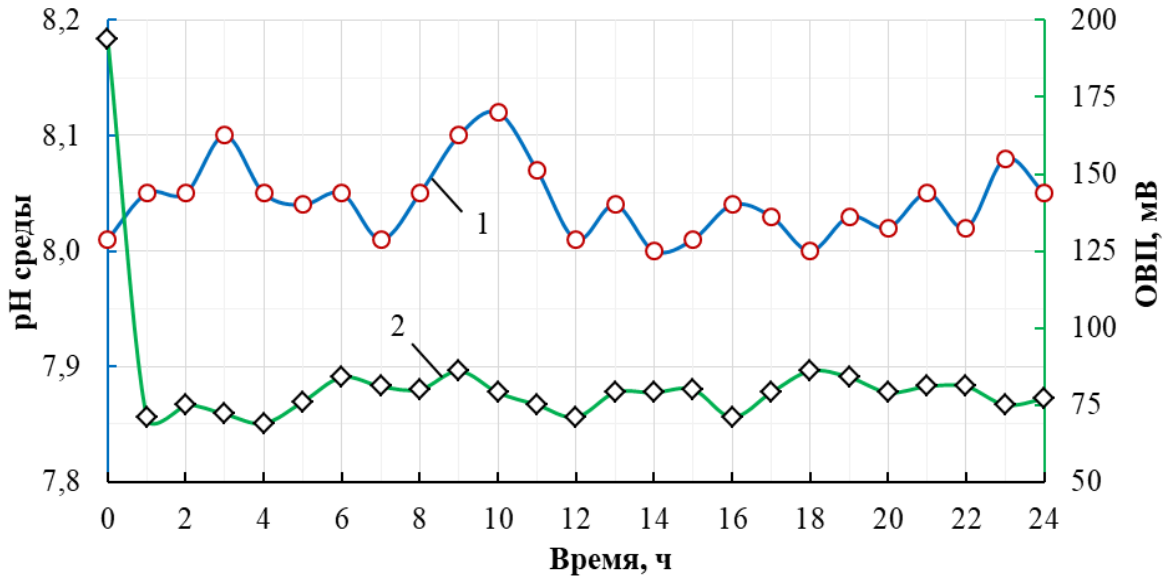


Рисунок 4. **Динамика изменения окислительно-восстановительного потенциала и *pH* среды в реакторе:** 1 – *pH*, ед; 2 – *Eh*, мВ

На рисунке 3 приведены кривые, отображающие изменение концентрации серосодержащих соединений в очищенной воде во времени эксперимента. Из рисунка 3 следует, что остаточная концентрация

суммарного сероводорода в очищенной воде не превышала ПДК. Из кислородсодержащих соединений серы в очищенной воде преимущественно преобладали тиосульфаты в пределах от 1,2 до 2,5 мг/дм^3. Содержание сульфитов не превышало 0,2 мг/дм^3.

Стабильная концентрация продуктов железо-каталитического окисления сероводорода объясняется устойчивой величиной *pH* реакционной среды. Из кривых, представленных на рисунке 4 следует, что водородный показатель в реакторах-окислителях находился в пределах от 8,01 до 8,12, а окислительно-восстановительный потенциал имел положительное значение в диапазоне от + 69,0 до + 86,0 мВ, что свидетельствует о полноте протекания реакций связывания сероводорода. Полученный выход продуктов окисления сероводорода соответствуют ранее полученным в лабораторных условиях экспериментальным данным.

Результаты проведённых производственных исследований, их обработка и анализ позволяют заключить, что железо-каталитическое окисление сероводорода в ректоре с ультрафильтрационным разделением технологических потоков возможно проиллюстрировать следующими реакциями:

– в слабокислой и нейтральных средах:

$$3H_2S + 2Fe(OH)_3 \longrightarrow 2FeS + S + 6H_2O;$$

$$3H_2S + Fe(OH)_3 \rightarrow FeS + S_2O_3^{2-} + 9H^+,$$

– в слабощелочной среде:

$$5HS^- + 2Fe(OH)_3 \rightarrow Fe_2S_3 + S_2O_3^{2-} + 3H_2O + 5H^+;$$

$$5HS^- + 2Fe(OH)_3 \rightarrow Fe_2S_3 + S_2O_4^{2-} + 2H_2O + 7H^+.$$

Железо, которое связывается в этих средах (сульфид- и трисульфид железа), под действием кислорода воздуха возвращается в систему повторно в виде $Fe(OH)_3$ совместно с образующимися параллельно кислородными соединениями серы и её коллоидной фракцией S^0:

$$2FeS + 3O_2 + 3H_2O \rightarrow 2Fe(OH)_3 + S_2O_3^{2-};$$

$$Fe_2S_3 + O_2 + 4H_2O \rightarrow 2Fe(OH)_3 + 3S^0 + 2H^+.$$

Таким образом соединения железа могут быть использованы повторно неограниченное количество раз по схеме:

$$Fe(OH)_3 \xrightarrow{H_2S} FeS\ (Fe_2S_3) \xrightarrow{O_2} Fe(OH)_3.$$

Одновременно соединения железа выступают в роли катализатора окисления сероводорода кислородом воздуха:

$$H_2S + 1/2O_2 \xrightarrow{Fe(OH)_3} S + H_2O;$$

$$HS^- + 1/2O_2 \xrightarrow{Fe(OH)_3} S + OH^-,$$

при этом соединения железа попеременно находятся в двух- и трёхвалентном состоянии, не покидая объём реактора.

ВЫВОДЫ

По результатам выполненных производственных исследований очистки природных сероводородных вод железо-каталитическим методом было установлено, что на протяжении всего времени производственных испытаний остаточная концентрация суммарного сероводорода в очищенной воде не превышала ПДК. Определение кислородсодержащих соединений серы в очищенной воде показало, что преимущественно преобладали тиосульфаты. Так же было установлено, что в результате железо-каталитического окисления сероводорода в природной воде образуются сульфиты.

На основании ранее полученных лабораторных данных и полученных результатов производственных исследований предложена итоговая последовательность образования конечных продуктов при железо-каталитическом окислении сероводорода в реакторе с мембранным разделением, проиллюстрированная наиболее вероятными химическими реакциями.

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. World Health Organization et al. Hydrogen sulfide: Human health aspects // Concise International Chemical Assessment Document. – 2003. – Т. 53. С. 26.
3. Патент № 2751667 C1 Российская Федерация, МПК C02F 9/04, C02F 1/74. способ очистки воды от сероводорода: № 2020127777: заявл. 18.08.2020: опубл. 15.07.2021 / Л.Н. Фесенко, А.Ю. Черкесов, С.А. Щукин; заявитель Общество с ограниченной ответственностью научно-производственное предприятие «ЭКОФЕС».
4. Технология очистки природных сероводородных вод / А.Ю. Черкесов, С.И. Игнатенко, С.А. Щукин, Д.А. Заичко // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство и строительные технологии: Сборник статей 80-ой Юбилейной всероссийской научно-технической конференции, Самара, 17–22 апреля 2023 года / Под редакцией М.В. Шувалова, А.А. Пищулева, А.К. Стрелкова. – Самара: Самарский государственный технический университет, 2023. С. 422–432. – EDN CQZEQO.

5. Черкесов, А.Ю. Исследование железо-каталитического окисления сероводорода кислородом воздуха в реакторе с мембранным разделителем / А.Ю. Черкесов, С.А. Щукин, И.А. Денисова // Водоснабжение и санитарная техника. 2021. № 1. С. 6–11.
6. Влияние водородного показателя среды на железо-каталитическое окисление сероводорода природных вод / А.Ю. Черкесов, С.А. Щукин, Ю.С. Щукина, Ю.В. Черкесова // Инженерный вестник Дона. 2023. № 8(104). С. 484–495.

.

УДК 628.166

ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ СУЛЬФАТОВ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОИЗВОДСТВА НИЗКОКОНЦЕНТРИРОВАННОГО ГИПОХЛОРИТА НАТРИЯ

Л.Н. Фесенко, И.В. Пчельников, А.С. Пчельникова, В.М. Бубнов
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия

Использование природных хлоридсодержащих вод в качестве сырья для производства низкоконцентрированного гипохлорита натрия или прямого обеззараживания воды является перспективным. Из-за различного ионного состава природных вод электролиз таких растворов протекает иначе, чем при использовании искусственно приготовленных растворов поваренной соли, прошедших специальную подготовку (умягчение, декарбонизация). В работе представлены исследования, направленные на изучение влияния сульфат-ионов на технологические параметры электролиза – концентрацию активного хлора и выход хлора по току. Исследования проводили на модельных растворах с концентрацией хлоридов 18,2 г/л (3 % NaCl) и 0,35 г/л (пресная вода).

Низкоконцентрированный гипохлорит натрия (ГХН) повсеместно применяется как в России, так и за рубежом в качестве обеззараживающего препарата. [1–7]. Чаще всего гипохлорит получают бездиафрагменным электролизом водного раствора поваренной соли, который является источником хлоридов. Другой способ получения гипохлорита натрия – использование готовых хлоридсодержащих растворов природного происхождения: воды морей и океанов, подземной минерализованной воды [5]. Обеззараживающий препарат в таком случае производится из исходного раствора, содержащего хлориды, без добавления поваренной соли. Перспективность применения подземных вод для производства НГХН не вызывает сомнения.

Большая часть подземных вод на территории Российской Федерации представляет собой растворы минеральных солей с превышением содержания органических или неорганических компонентов над их нормативными предельно допустимыми концентрациями. Например, на

юге черноземно-степной полосы расположена зона подземных вод с минерализацией 0,5 – 1,0 г/л, и более, совпадающая с областью неустойчивого увлажнения [8]. В грунтовых водах здесь увеличивается содержание хлоридов и сульфатов, местами они становятся хлоридно-сульфатными [9]. Еще южнее, уже в сухих степях, полупустынях и пустынях, зональными являются высокоминерализованные сульфатно-хлоридные грунтовые воды континентального засоления. Сульфатный ион является одним из важных в природных водах. Основным источником появления в воде сульфатов являются различные осадочные породы, в состав которых входят гипс и ангидрид. Немаловажное значение в обогащении вод ионами SO_4^{2-} играют процессы окисления сульфидов, широко распространенные в земной коре.

Природные воды (питьевая и минерализованная) могут быть использованы для приготовления 3 % раствора поваренной соли, минерализованная вода (не питьевого качества) может использоваться как сырье для производства гипохлорита натрия, а пресная вода, которую возможно использовать для питьевых целей – обеззараживается прямым электролизом или гипохлоритом, полученным из минерализованной воды. Так или иначе, использование природного сырья для производства НГХН необходимо рассматривать с учетом особенностей таких растворов. Природная вода является многокомпонентным раствором, содержащим кроме хлорида натрия, примеси солей магния и кальция, сульфаты, гидрокарбонаты и т.д. Присутствие этих веществ влияет на электрохимический процесс и, следовательно, на количество и качество образующегося при этом продукта [6]. Как известно [3], увеличивая общую электропроводность раствора, сульфат-ионы способствуют возрастанию тока, проходящего через электролит, но не принимают участия в образовании активного хлора. При этом выход хлора по току зависит не только от концентрации Cl^- и SO_4^{2-} в воде, но и от их взаимного соотношения [3]. В связи с этим была предпринята попытка установить зависимость влияния сульфатов по процесс электролиза.

В работе исследовали влияние одного из главных ионов [10], содержащегося в природной подземной воде, сульфат-иона на процесс производства гипохлорита натрия. Исследования проводили на лабораторной установке проточного типа. Установка состояла из блока питания GW-INSTEK, перистальтического насоса-дозатора B3-V PER 4-3, электролизной ячейки из винипласта, объемом 45 мл; титанового катода и оксидно-иридиево-рутениево-титанового анода (ОИРТА), а также пластиковой емкости с исследуемым раствором, объемом 5 л.

Эксперимент проводили в два этапа: на первом этапе исследовали раствор с концентрацией хлоридов 18,2 г/дм^3 (3 % NaCl), на втором – с концентрацией хлоридов 0,35 г/дм^3. Раствор готовили на дистиллированной воде путем растворения навесок поваренной соли

марки «Экстра», в качестве источника сульфатов применяли сульфат натрия, вещество, хорошо растворимое в воде. Расход рабочего раствора изменяли от 0,36 л/ч до 4,8 л/ч. Исследования проводили на постоянном электрическом токе в проточном режиме при исходной температуре раствора 18 – 22 ºС.

В ходе первого этапа экспериментов изменяли концентрацию сульфатов от 0,35 г/дм^3 до 36 г/дм^3 при постоянной концентрации хлоридов в растворе 18,2 г/дм^3. Исследования проводили при плотности тока 1000 А/м^2. Величина pH при электролизе находилась в пределах от 7,2 до 10,5 ед.

В ходе второго этапа экспериментов изменяли концентрацию сульфатов от 0,02 г/дм^3 до 0,5 г/дм^3 при постоянной концентрации хлоридов в растворе 0,35 г/дм^3. Выбранная концентрация хлоридов обусловлена значением ПДК в питьевой воде (СанПиН 2.1.3684-21), исследования проводили при плотности тока 100 А/м^2 [3].

В результате проведенных экспериментов были получены зависимости, характеризующие параметры прямого электролиза, для эталонного хлоридного раствора (модельный раствор с концентрацией сульфатов, равной нулю) и раствора поваренной соли с добавлением различной концентрации сульфатов.

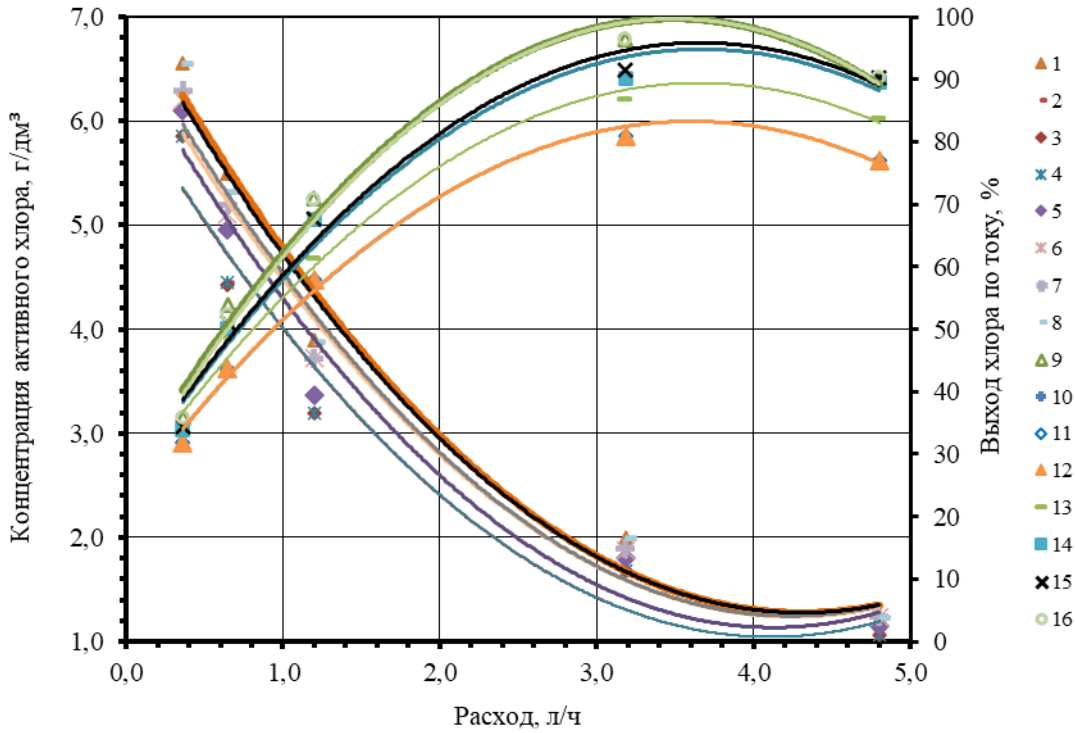


Рисунок 1. **Зависимость концентрации активного хлора от расхода при концентрации сульфатов, г/ дм^3:**
1 – 0; 2 – 36,0; 3 – 18,0; 4 – 9,0; 5 – 1,8; 6 – 0,9; 7 – 0,45; 8 – 0,34
и выхода хлора по току от расхода при концентрации сульфатов, г/дм^3:
9 – 0; 10 – 36,0; 11 – 18,0; 12 – 9,0; 13 – 1,8; 14 – 0,9; 15 – 0,45; 16 – 0,34,
полученных при: [Cl^-] = 18,2 г/дм^3, i = 1000 А/м^2

На рисунке 1 представлены зависимости концентрации активного хлора и выхода хлора по току от расхода в диапазоне исследуемых концентраций сульфатов. Максимальные концентрации активного хлора (от 1,24 до 6,56 г/дм^3) при всех исследуемых расходах была получены на эталонном растворе без добавления сульфатов. Минимальные концентрации активного хлора (от 1,06 до 5,85 г/дм^3) при всех исследуемых расходах была получены при концентрации сульфатов в растворе 9, 18 и 36 г/дм^3. При указанных концентрациях сульфатов концентрации активного хлора были одинаковыми, кривые 6, 7 и 8 на рисунке 1 накладываются друг на друга. Остальные кривые на графике расположились между рассмотренными зависимостями с максимальной и минимальной концентрацией активного хлора.

Аналогичная зависимость наблюдается на кривых выхода хлора по току. Максимальные значения (96 – 36 %) также были получены на эталонном растворе, минимальные (81 – 32 %) – при концентрации сульфатов в растворе: 9, 18 и 36 г/дм^3, кривые 14, 15, 16.

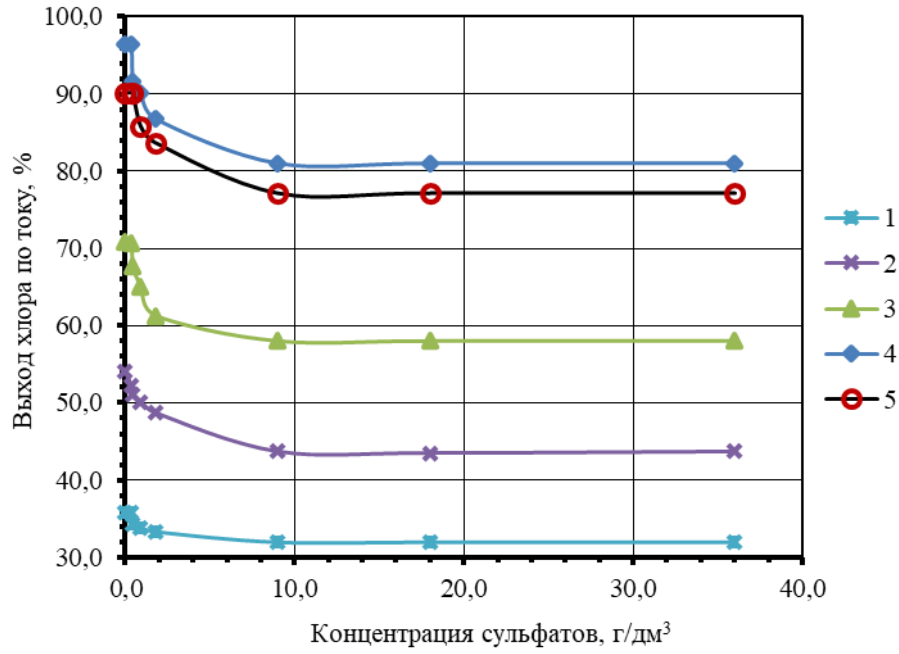


Рисунок 2. **Зависимость выхода хлора по току от концентрации сульфатов при расходах солевого раствора, л/ч:**
1 – 0,36; 2 – 0,65; 3 – 1,2; 4 – 3,2; 5 – 4,8,
полученных при: [Cl^-] = 18,2 г/дм^3, i = 1000 А/м^2

Для определения влияния сульфатов на технологические параметры получения низкоконцентрированного гипохлорита натрия были получены зависимости выхода хлора по току от концентрации сульфатов на каждом исследуемом расходе солевого раствора (рис. 2). Максимальный выход хлора по току был получен при расходе 3,2 л/ч, а минимальный – при расходе 0,36 л/ч при всех исследуемых концентрациях сульфатов. При увеличении концентрации сульфатов до 9 г/дм^3 выход хлора по току

снижается, а при увеличении концентрации сульфатов более 9 г/л – не изменяется, т.е. дальнейшее увеличение концентрации сульфатов в диапазоне от 9 г/л до 36 г/л на выход хлора влияния не оказывает для всех исследуемых расходов.

В таблице 1 показано снижение концентрации активного хлора от содержания сульфат-иона в процентном соотношении. Указанные значения были получены в сравнении с концентрациями активного хлора на эталонном хлоридном растворе, не содержащего сульфаты. Наибольшее влияние на концентрацию активного хлора (снижение на 19,09 %) наблюдалось при концентрации сульфатов 9 – 36 г/дм^3 при расходе 0,65 л/ч. Концентрация сульфатов 0,34 г/дм^3 ухудшает концентрацию активного хлора на 3,27 % при том же расходе.

Таблица 1. **Снижение концентрации активного хлора от концентрации [SO_4^{2-}] в процентном соотношении при постоянной концентрации хлоридов 18,2 г/дм^3**

Расход, л/ч	Процент снижения концентрации активного хлора, г/л при концентрации [SO_4^{2-}], г/дм^3						
	36	**18**	**9**	**1,8**	**0,9**	**0,45**	**0,34**
4,8	–14,52	–14,52	–14,52	–7,26	–0,81	0,00	0,00
3,18	–16,00	–16,00	–16,00	–10,00	–7,50	–5,00	0,00
1,2	–18,21	–18,21	–18,21	–13,59	–4,62	–4,62	–0,26
0,65	–19,09	–19,09	–19,09	–9,82	–9,09	–5,45	–3,27
0,36	–10,82	–10,82	–10,82	–7,01	–5,49	–4,12	0,00

В ходе второй серии экспериментов изменяли концентрацию сульфатов от 0,02 г/дм^3 до 0,5 г/дм^3 при постоянной концентрации хлоридов в растворе 0,35 г/дм^3. На рисунке 3 показаны зависимости концентрации активного хлора и выхода хлора по току от расхода в диапазоне исследуемых концентраций сульфатов для второго этапа экспериментов. Максимальные концентрации активного хлора (от 0,05 до 0,41 г/дм^3) при всех исследуемых расходах были аналогично получены на эталонном растворе без добавления сульфатов. Минимальные концентрации активного хлора (от 0,03 до 0,2 г/дм^3) при всех исследуемых расходах была получены при концентрации сульфатов в растворе 0,5 г/дм^3.

Аналогичная зависимость наблюдается на кривых выхода хлора по току. Максимальные значения (48 – 22 %) были получены на эталонном растворе, минимальные (22 – 11 %) – при концентрации сульфатов в растворе 0,5 г/дм^3, кривая 12.

Зависимости выхода хлора по току от концентрации сульфатов при всех исследуемых расходах солевого раствора представлены на рисунке 4. Максимальный выход хлора по току был получен при расходе 3,2 л/ч, а минимальный – при расходе 0,36 л/ч при всех исследуемых концентрациях сульфатов. При увеличении концентрации сульфатов выход хлора по току неизменно снижается при всех исследуемых расходах.

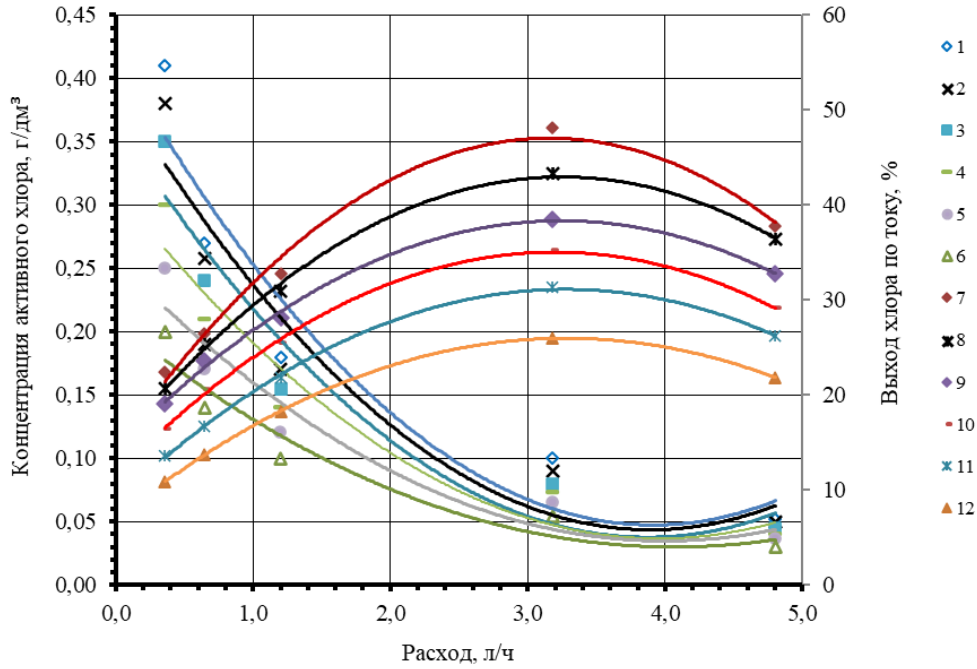


Рисунок 3. **Зависимость концентрации активного хлора от расхода при концентрации сульфатов, г/л:**
1 – 0; 2 – 0,02; 3 – 0,07; 4 – 0,15; 5 – 0,3; 6 – 0,5
и выхода хлора по току от расхода при концентрации сульфатов, г/дм^3:
7 – 0; 8 – 0,02; 9 – 0,07; 10 – 0,15; 11 – 0,3; 12 – 0,5,
полученных при:[Cl^-] = 0,35 г/дм^3, i = 100 А/м^2

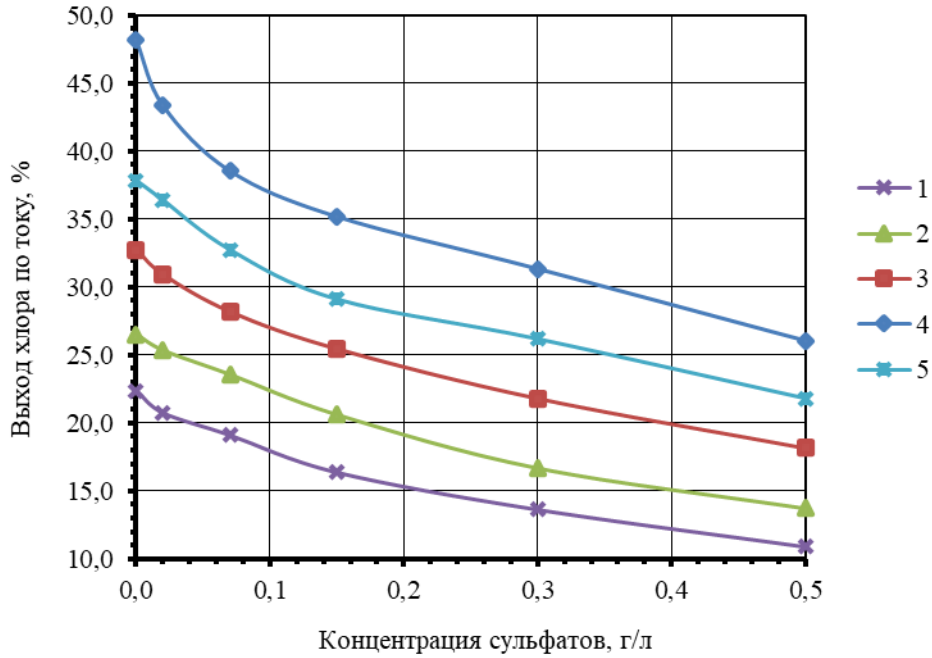


Рисунок 4. **Зависимость выхода хлора по току от концентрации сульфатов при расходах солевого раствора, л/ч:**
1 – 0,36; 2 – 0,65; 3 – 1,2; 4 – 3,2; 5 – 4,8,
полученных при: [Cl^-] = 0,35 г/дм^3, i = 100 А/м^2

В таблице 2 показано снижение концентрации активного хлора от содержания сульфат-иона в процентном соотношении. Наибольшее влияние на концентрацию активного хлора (снижение более чем на 51 %) наблюдалось при концентрации сульфатов 0,5 г/дм^3 при расходе 0,36 л/ч.

Таблица 2. **Снижение концентрации активного хлора от концентрации [SO_4^{2-}] в процентном соотношении при постоянной концентрации хлоридов 0,35 г/дм^3**

Расход, л/ч	Процент снижения концентрации активного хлора, г/л при концентрации [SO_4^{2-}], г/дм^3:				
	0,5	**0,3**	**0,15**	**0,07**	**0,02**
4,8	–42,31	–30,77	–23,08	–13,46	–3,85
3,18	–46,00	–35,00	–27,00	–20,00	–10,00
1,2	–44,44	–33,33	–22,22	–13,89	–5,56
0,65	–48,15	–37,04	–22,22	–11,11	–4,44
0,36	–51,22	–39,02	–26,83	–14,63	–7,32

Сульфаты принимают участие в переносе электронов, но в образовании активного хлора не участвуют, поэтому ток, прошедший через ячейку, расходуется не только на образование целевого продукта – гипохлорита натрия, но и на побочный процесс переноса заряда, что существенно снижает концентрацию продукта и выход хлора по току.

ВЫВОДЫ

1. Сульфаты оказывают отрицательное влияние на технологические параметры производства низкоконцентрированного гипохлорита натрия, приводя к снижению концентрации активного хлора и выхода хлора по току. Оказываемое негативное влияние тем существеннее, чем меньше концентрация хлоридов в растворе.
2. В растворе с концентрацией хлоридов 18,2 г/дм^3 снижение концентрации активного хлора и выхода хлора по току достигает 10 – 19 % при концентрации сульфатов 9 – 36 г/дм^3. Последующее увеличение концентрации сульфатов до 36 г/дм^3 влияния на дальнейшее снижение концентрации активного хлора не оказывает. В растворе с концентрацией хлоридов 0,35 г/дм^3 снижение концентрации активного хлора и выхода хлора по току достигает 22 – 50 % при концентрации сульфатов 0,15 – 0,5 г/дм^3.
3. В практических расчетах электролизеров, используемых для прямого электролиза природных вод необходимо учитывать влияние сульфат-ионов путем введения поправочных коэффициентов при расчете рабочей площади поверхности анодов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Медриш Г.Л. Обеззараживание природных и сточных вод с использованием электролиза. [Текст] / Г.Л. Медриш, А.А. Тейшева, Д.Л. Басин. – Москва: Стройиздат, 1982. 81 с.
2. Миркина, Е.Н. Обеззараживания воды гипохлоритом натрия / Е.Н. Миркина, А.А. Немова // Современное состояние и перспективы развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения: материалы VI Межд. научн.-практ. конф. г. Саратов, 09–10 ноября 2017 г. / Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова. – Саратов: Амирит, 2017. С. 208–210.
3. Басин Д.Л. Исследование технологии и разработка аппаратуры для обеззараживания питьевой воды прямым электролизом [Текст]: дис. … канд. техн. наук: Москва, 1978. 140 с.
4. Кульский Л.А. Электрохимия в процессах очистки воды [Текст] // Л.А. Кульский, В.Д. Гребенюк, О.С. Савлук. – Киев: Техника, 1987. 220 с.
5. Фесенко Л.Н., Игнатенко С.И., Скрябин А.Ю., Пчельников И.В. Пути решения экологичности и безотходности производства электролитического гипохлорита натрия для обеззараживания питьевых вод // Водоочистка. 2014. № 3. С. 9–16.
6. Пчельников И.В., Пчельникова А.С., Кузьменко Л.В., Д.В. Антонян Производство гипохлорита натрия электролизом подземной воды // Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2023» **:** материалы XIV Межд. науч.-практ. конф.; г. Кисловодск, 18–21 апреля 2023 г. / Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т. (НПИ) имени М.И. Платова – Новочеркасск: Лик, 2023. С. 224 – 233 с.
7. Пчельников И.В. Совершенствование технологии производства обеззараживающего реагента – гипохлорита натрия электролизом морской воды (на примере Черного моря): дис. … канд. тех. наук: ВГАСУ. Волгоград. 2014. 155 с.
8. Боревский Б.В., Язвин А.Л. Основные этапы развития учения об оценке эксплуатационных запасов питьевых и технических подземных вод в СССР и современной России. Прошлое, настоящее, будущее. Недропользование XXI век. 2012 г. №2, С.44–54.
9. Общая гидрохимия, (Химия природных вод) / О.А. Алекин. – Ленинград : изд-во и 2-я типолитогр. Гидрометеоиздата, 1948. 208 с.
10. Алекин О.А. Основы гидрохимии. Гидрометеоиздат, 1970. 444 с.

УДК 628.161.2

К ВЫБОРУ МЕТОДА УДАЛЕНИЯ ФТОРА ИЗ ПРИРОДНЫХ ВОД ДЛЯ ХОЗЯЙСТВЕННО-ПИТЬЕВЫХ ЦЕЛЕЙ

А.С. Долмат, Р.В. Федотов
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия

Выполнен анализ существующих методов удаления фтора из воды. Показана необходимость дальнейшего совершенствования существующих и разработки новых методов обесфторивания воды для хозяйственно-питьевых целей. Предложена технология удаления фтора сорбцией на активном оксиде алюминия, модифицированном раствором сульфата алюминия, позволяющая увеличить суммарную рабочую обменную ёмкость АОА по фтору до 20 г-экв/м^3.

Фтор – один из наиболее реакционно-активных химических элементов и поэтому встречается на земной поверхности не в индивидуальном состоянии, а исключительно в виде соединений. Фтор широко распространен в природе и находится в минералах, рудах, почвах, атмосфере, природных водах, растительных и животных организмах [1].

Повсеместное распространение растворимых фторсодержащих соединений в породах и почвах обусловливает наличие фтора в природных и подземных водах, используемых для питьевого водоснабжения. Известно, что в морской воде количество фтора находится на уровне 1,0 мг/дм^3, а в большинстве поверхностных источников (реках, озерах, водохранилищах) оно значительно меньше и колеблется в пределах 0,3 – 0,5 мг/дм^3 [2]. Более высокое содержание фтора в некоторых поверхностных водоемах может быть следствием либо географического местонахождения, либо загрязнения техногенного или антропогенного происхождения. В подземных водах природная концентрация фтора изменяется от средних значений 1÷15 мг/дм^3 до очень высоких 35÷50 мг/дм^3 и зависит от геологических, химических и физических характеристик водоносного слоя, пористости и кислотности почвы и камней, температуры, действия присутствующих химикатов и т.д. [2].

Все методы, которые в той или иной степени, обеспечивают извлечение ионов фтора из воды поверхностных и подземных источников, можно разделить на четыре группы: осаждение и соосаждение [3–5]; сорбционные [3–10]; ионообменные [4, 11] и физико-электрохимические [12–15]. В последнюю группу входят электрокоагуляция и мембранные методы: электродиализ, нанофильтрация и обратный осмос.

Реагентами, наиболее часто используемыми в методах осаждения, являются соли кальция, магния, алюминия, железа, фосфатные соединения и др. Удаление фтора из воды обусловлено либо осаждением его в виде

малорастворимых основных солей, либо сорбцией этих ионов на активных осадках соответствующих гидроксидов [2–3, 5]. Если содержание фторион в исходной воде более 12 – 15 мг/дм^3, то целесообразно проводить предварительное известкование (не менее 1,5 мг оксида кальция на 1 мг фтора), позволяющее связать основную часть фтора во фторид кальция. Низкая растворимость $Ca(OH)_2$ обусловливает большой расход реагента, поэтому чаще применяют либо смесь извести с хорошо растворимым хлористым кальцием, либо только последний [16]. Однако, известкованием невозможно обеспечить требуемой для питьевой воды степени очистки из-за относительно высокой растворимости CaF_2 (при 20 °С концентрация фтора составляет 7,7 мг/дм^3).

Коагуляция – метод осаждения, обеспечивающий извлечение фтора свежесформованными осадками гидроксидов магния, алюминия, железа и трикальций фосфата, экономически выгодно использовать для поверхностных вод, осветляемых перед подачей в сеть, хотя в некоторых случаях возможно применение данного метода и для кондиционирования подземных вод. Для удаления 1 мг фтора [2, 16] требуется в среднем 2 мг-экв/дм^3 солей магния (хлорид или сульфат магния); 30 мг трикальцийфосфата (известь и ортофосфорная кислота) и 30 – 35 мг сульфата алюминия по Al_2O_3. Для поддержания необходимого щелочного резерва в воду дополнительно необходимо вводить раствор соды или извести. Коагуляцию желательно проводить во взвешенном слое. Окончательная доочистка воды завершается на фильтрах с зернистой загрузкой.

Рассмотрение существующих литературных данных [5, 16] позволяет отметить преимущества и недостатки метода коагуляционной обработки с последующим осаждением задержанных загрязнений. К преимуществам следует отнести дешевизну и доступность в исполнении, применение недефицитных реагентов. К недостаткам – неприменимость при высоком (более 10 мг/дм^3) содержании фторидов, что требует больших доз коагулянта и приводит к резкому повышению солесодержания воды за счет сульфат- или хлорид- ионов; опасность повышения остаточного содержания растворенного алюминия в обрабатываемой воде; необходимость регулярного анализа очищаемой воды, параметры которой изменяются в широких пределах вследствие сезонных колебаний, и корректировки доз реагентов; строгий контроль pH и щелочности питьевой воды.

Использование методов осаждения и соосаждения при обесфторивании воды обусловливает, как правило, необходимость следующей стадии обработки, а именно, фильтрование через различные сорбенты.

Перспективными для извлечения фтора из природных и подземных вод с содержанием фтора менее 15 мг/дм^3 являются методы, основанные

на сорбционных процессах с использованием фтор-селективных материалов как природного, так и искусственного происхождения. Широкое применение в процессах обесфторивания получили следующие материалы: активированный оксид алюминия [9, 17]; фосфатсодержащие [2, 6, 10, 16 18], глинистые и почвенные [7, 9], магнезиальные сорбенты [2, 16]; активированные угли [2, 17]; сорбенты на основе активного оксида алюминия и другие [1, 8].

Активированный оксид алюминия (АОА) – это гранулированный, пористый материал с высокой удельной поверхностью порядка 200 – 300 $м^2$/г. АОА в процессе извлечения фтор-ионов вероятно действует как анионит, поверхность которого насыщена различными в зависимости от природы активатора обменными группами: OH^-, Cl^-, SO_4^{2-} (19).

$$[АОА]2SO_4 + 2F^- \rightarrow 2[АОА]F + SO_4^{2-}$$
$$[АОА]2SO_4 + 2HCO_3^- \rightarrow 2[АОА]HCO_3 + SO_4^{2-}.$$

Эквивалентно увеличению сульфат-ионов в обрабатываемой воде происходит уменьшение суммарной концентрации в ней бикарбонатных и фтор- ионов. При этом, как известно [19], суммарная рабочая обменная ёмкость АОА по HCO_3^{2-} и F^- составляет до 250 мг-экв/$м^3$, из них по фтору всего ~ 47 мг-экв/$м^3$. В случае насыщения поверхности АОА гидроксильными группами, вследствие обмена последних на ионы фтора, повышается pH. Таким образом, эффективность сорбции фтор-ионов на АОА падает с повышением pH и щелочности воды. Наибольшая сорбционная ёмкость АОА по отношению к фтору наблюдается для pH = 5,0 – 6,0 при степени очистки более 95 % [16]. Однако, авторы [19] указывают, что оптимум сорбционной ёмкости АОА находится при pH = 3,0 и ниже. Поскольку в начальный период фильтрования остаточное содержание фтор-ионов близко к нулю, фильтрат смешивают с исходной водой до C_F = 1,0 – 1,2 мг/$дм^3$. Быстрое насыщение поверхности сорбента и снижение эффективности процесса извлечения фтор-ионов наблюдается с ростом их концентрации и скорости потока [19].

Изучена возможность обесфторивания воды в динамических условиях на различных, предварительно модифицированных сульфатом алюминия, фильтрующих материалах: кварцевом песке, керамзите, сколе гранитного щебня, дробленном клиноптилолитовом туфе [7, 16]. При контакте алюмосодержащего реагента с клиноптилолитом происходит замещение обменных катионов Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+} на ионы алюминия. Установлено несомненное преимущество модифицированного клиноптилолита. Средняя удельная ёмкость загрузки снижается с 501 до 377 мг/$дм^3$ при увеличении скорости фильтрования с 5 до 10 м/ч. Параллельно со снижением концентрации фтор-ионов в воде происходит изменение и других физико-химических показателей качества воды: pH, щелочности, ионов алюминия. При обесфторивании воды, считают авторы [7], в основном протекает реакция ионнообменного вытеснения с

поверхности зернистой композиции (клиноптилолит – продукты гидролиза коагулянта) гидроксил- и сульфат-ионов фторионами очищаемой воды. Как и в методах осаждения, возможно, химическое взаимодействие между ионами фтора и алюминия с образованием сорбированных алюмофторидных комплексов по схеме:

$$Al^{+3} + nF^{-} \rightarrow (AlF_n)_{3-n},$$

где n – целые числа от 1 до 6.

Данный метод использован для проектирования опытно-промышленной станции производительностью 10 тыс. $м^3$/сут с последующим расширением до 22,6 тыс. $м^3$/сут. [7].

Следует отметить, что область применения в качестве фильтрующих материалов модифицированных глинистых сорбентов в процессах обесфторивания ограничена, так как при обработке щелочных вод происходит преимущественное образование гидроксида алюминия, хлопья которого приводят к быстрому забиванию загрузки, снижению фильтроцикла и необходимости повторного модифицирования [13].

Авторами проведены предварительные исследования по удалению из воды ионов фтора фильтрованием через модифицированный активный оксид алюминия. При активации поверхности сорбента 2 % раствором сульфата алюминия суммарная рабочая обменная ёмкость АОА по фтору достигала 20 г-экв/$м^3$.

Ряд работ посвящен изучению сорбции фтора оксидом и гидроксидом магния [2, 16]. Отмечены факторы, указывающие на неэффективность применения данного реагента в статических условиях: высокая начальная стоимость MgO вследствие сложности подготовки и значительный расход его (~160 г/мг по F^-) для обеспечения нужной степени очистки, а также сильно щелочная реакция очищаемой воды pH = 9,0 – 10,0 ед. Невысокая ёмкость поглощения (~0,9 мг F^-/г) установлена для магнезиальных сорбентов и при обесфторивании в динамических условиях. Кроме этого, регенерация гидроксидом натрия лишь частично восстанавливает их первоначальную ёмкость по фтору, что требует частой замены сорбента свежим материалом и ведет к удорожанию процесса. Отмеченные недостатки магнезиальных сорбентов ограничивают применение данного способа для обесфторивания воды.

К следующему методу удаления фтора из воды относится ионный обмен. Анионообменные смолы различной основности, поверхность которых насыщена OH^- или анионами, способны удалять из воды фтор-ионы. Наибольшая ёмкость присуща анионитам, содержащим четвертичную аминогруппу. В начале процесса фильтрования через анионитовый фильтр практически весь фтор задерживается загрузкой, поэтому до 1,2 мг/$дм^3$ фильтрат разбавляют исходной водой. Повышение содержания фтора в фильтрате более ПДК свидетельствует об окончании цикла [18]. Смолу отмывают пересыщенным раствором хлорида натрия

или соляной кислотой. Результаты обесфторивания воды различными катион обменными смолами приведены в таблице 1.

Несмотря на то, что применение метода ионного обмена позволяет снизить концентрацию фтора на 90 – 95 %, данный метод характеризуют: высокая себестоимость процесса из-за стоимости самого материала, его предобработки, регенерации, необходимость утилизации фтор обогащенных отходов; снижение эффективности очистки в присутствии конкурентно способных анионов; низкое pH очищенной воды и загрязнение её хлор-ионами. С учетом сказанного, использование ионообменных смол целесообразно при одновременном обессоливании и удалении избыточного фтора из воды.

Таблица 1. **Удаление фтора из воды катионообменными смолами**

Материал	Плотность, г/дм^3	Содержание фтор-иона, мг/дм^3	Емкость, мг F/дм^3
Carbion	680	5,0	320–340
Wasaresin-14	730	5,0	260–270
Полистирольная смола	850	5,0	420–440
Сульфированная угольная пыль	620	5,0	370–390

Электрокоагуляционное обесфторивание воды позволяет удалять фтор без применения химических реагентов, вместе с которыми в воду поступает значительное количество дополнительных солей, а благодаря формированию высоко активного гидроксида алюминия вследствие анодного растворения алюминиевых и дюралюминиевых электродов [13, 16]. Основным фактором, влияющим на поглотительную способность электрохимически получаемого гидроксида алюминия, является pH, оптимальное значение которого по литературным данным колеблется в интервале 6,4 – 6,6 ед. [13].

В настоящее время в различных сферах водоподготовки широко используются мембранные процессы: нанофильтрация (НФ), электродиализ (ЭД), обратный осмос (ОО) и ультрафильтрация (УФ). Основные характеристики мембранных процессов представлены в таблице 2 [12, 14, 15].

Электродиализ – это мембранный процесс обессоливания воды за счет разности электрического потенциала [14]. Между катодом и анодом помещается большое число катионо- и анионообменных мембран в чередующемся порядке (до несколько сот парных ячеек). Результат электродиализного обессоливания воды заключается в формировании концентрированного и очищенного растворов в разных чередующихся камерах. Количество переносимых ионов пропорционально плотности

тока, которое ограничивается возникающей в процессе обессоливания концентрационной поляризацией (основной недостаток электродиализа). Мембраны, используемые при электродиализе, должны обладать высокой селективностью (катиону, аниону), электропроводностью, механической прочностью, а также умеренной степенью набухания.

Ультрафильтрация, нанофильтрация, обратный осмос-баромембранные процессы, отличающиеся размером разделяемых частиц растворенного вещества и, следовательно, структурой используемых мембран (табл. 2) [12, 14–15]. Поскольку размер пор мембран, применяемых в перечисленных выше процессах, уменьшается слева направо, то в том же направлении, вследствие повышения сопротивления мембран массопереносу, растет прикладываемое рабочее давление.

Обратный осмос применяется чаще всего для разделения воды от растворенных низкомолекулярных соединений. В баромембранных процессах, в основном, используются ассиметричные мембраны, в которых тонкий, относительно плотный верхний слой (толщиной 0,1 – 1,0 мкм) нанесён на подложку с пористой структурой (50 –150 мкм). Поскольку гидравлическое сопротивление практически полностью локализуется в верхнем слое, то поток через такие мембраны обратно пропорционален его толщине.

Таблица 2. **Основные параметры мембранных процессов**

Параметры	Электродиализ	Ультрафильтрация	Обратный осмос
Мембраны	Катионо- и анионообменные, биполярные	Пористые ассиметричные	Ассиметричные или композиционные
Толщина, мкм	100–500	Подложка 150 Верхний слой 1	Подложка 150 Верхний слой 1
Размер пор, нм	Непористые	1–50	< 2
Движущая сила	Разность электрического потенциала	Давление (1–10 бар)	Давление для солоноватой воды 15–20 бар; для морской воды 40–80 бар
Принцип разделения	Эффект Доннана	Ситовый механизм	Растворение-диффузия
Мембранные материалы	Сополимеры, дивинилбензола	Полимерные (полисульфан, полиакриланитрил и т.д.) и керамические (оксиды циркония и алюминия)	Триацетат целлюлозы, ароматические полиамиды, поллимиды, полиуретановые эфиры (межфазная полимеризация)
Основное применение	Обессоливание	Частичное обессоливание	Обессоливание

Известно [7, 12, 14], что производительность УФ и НФ определяется, в основном, образованием пограничных слоёв на мембранах, поэтому для последних важным требованием является устойчивость к химическим реагентам, используемым для очистки. В то же время для мембран в ОО первостепенным является высокое сродство к растворителю (главным образом к воде) и низкая проницаемость для растворенного компонента.

Рассмотренные мембранные методы ранее практически не применялись для очистки (в частности, от ионов фтора) природных и подземных вод из-за высоких эксплуатационных расходов.

Обесфторивание подземных вод электродиализом, как отмечает автор [14], экономически выгодно для стран Ближнего Востока, в которых питьевая вода, в отличие от западных стран, довольно дорогой продукт, тогда как энергия относительно дешевая.

Для очистки грунтовой воды с повышенным солесодержанием и жёсткостью [14] технология обратного осмоса наиболее выгодна в сравнении с другими методами, поскольку обеспечивает высокий эффект очистки от ионо- и молекулярно-растворённых примесей. Основными факторами, влияющими на процесс обесфторивания воды методом ОО, являются её химический состав (в частности исходная концентрация F^-), расход, pH, давление, температура и др. [12, 14].

Таким образом, анализ известных в настоящее время методов обесфторивания воды свидетельствует о том, что ни один из них не является универсальным, но наиболее перспективным для дальнейшего изучения и развития является метод удаления фтора сорбцией на модифицированном активном оксиде алюминия. Использование активного оксида алюминия, модифицированного раствором сульфата алюминия позволяет добиться увеличения суммарной рабочей обменной ёмкости АОА по фтору до 20 г-экв/м^3, что позволяет сделать выводы о высокой экономической эффективности рассматриваемого метода обесфторивания воды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дебелый П., Новоженов С. Безреагентное обесфторивание подземных вод с помощью фильтрующей среды КДМ // Водоочистка. 2005. № 5. С. 53–54.
2. Золотова Е.Ф., Асс Г.Ю. Очистка воды от железа, марганца, фтора и сероводорода. М: Стройиздат, 1975. 176 с.
3. Прончева Л.Е., Левачева С.А. Применение оксида магния для фторирования и обесфторивания природных вод // Материалы 2 регион. межвуз. науч.-техн. конф. – Вологда: ГТУ, 2001. С. 159–160.
4. Самченко З.А., Гороновский И.Т, Вахнин И.Г Обесфторивание воды сульфостирольным Al-катионитом КУ-2 // Химия и технология воды. 1985. 7, № 2. С. 77–79.

5. Rivalta F. Technology to Remove Fluorides from Potable Water and Wastewater // M F P. – 2007. № 35. P. 235–241.
6. Астрелин И.М., Артюх Ю.В., Толстопалова Н.М. и др. Исследование сорбционных процессов обесфторивания и обезжелезивания природных вод // Химия и технология воды. 2000. № 22, № 3. С.310–315.
7. Кравченко В.А., Кравченко Н.Д., Руденко Г.Г, Тарасевич Ю.И. Обесфторивание природных вод с использованием клиноптилолита // Химия и технология воды. 1990. № 7. С. 647–649.
8. Локшин Э.П., Беликов М.Л. Очистка воды от фторид-ионов соединениями титана // ЖПХ. 2003. № 9. С. 1505–1510.
9. Тарасевич Ю.И. Физико-химические основы и технологии применения природных и модифицированных сорбентов в процессах очистки воды // Химия и технология воды. 1998. 20, № 1. С.42–52.
10. Шкуткова Е.В., Тарасевич Ю.И. Применение гидроксилапатита для обесфторивания воды // Химия и технология воды. 2004. № 6. С.556–566.
11. Пат. 2220911 Россия, МПК7 С 02 F 1/28 / И.В.Никитин, А.М.Варламова, С.Е. Талтыкин. – Опубл. 10.01.2004.
12. Дытнерский Ю.И. Баромембранные процессы. – М.: Химия, 1978. 345 с.
13. Кожемякин В.А., Градова Н.С., Почтарев А.Н. Электрокоагуляционная доочистка сточных вод от фтора // Цветные металлы. 1982. № 7. С.59–61.
14. Мулдер М. Введение в мембранную технологию. М.: Мир, 1999. 513 с.
15. Первов А.Г. Современные высокоэффективные технологии очистки питьевой и технической воды с применением мембран: обратный осмос, нанофильтрация, ультрафильтрация // МГСУ. Издательство Ассоциации строительных вузов, Москва. – 2009.
16. Николадзе Г.И. Улучшение качества подземных вод. М: Стройиздат, 1987. 240 с.
17. Слипченко В.А., Малицкая Т.Н., Бондаренко Н.А., Кисленко В.Л. Обесфторивание подземных вод гранулированным активным углем // Химия и технология воды. 1984. 6, № 3. С. 270–274.
18. Высоцкая Е.В., Тарасевич Ю.И., Климова ГМ. и др. Синтез гидроксилапатитов и применение полученных материалов для извлечения ионов тяжелых металлов из водных растворов // Химия и технология воды. 2002. № 6. С.535–546.
19. Берендеева В.Л., Вахнин И.Г., Гороновский И.Т. Использование активированного оксида алюминия А-1 для обесфторивания воды // Химия и технология. 1985. № 3. С. 87–88.
20. Aldaco R.L., Irabien PA. Fluidized Bed Reactor for Fluoride Removal // Chemical Engineering Journal. 2005. – 107, № 1–3. P. 113–117.
21. Бычин Н.А., Сметанкина В.И. Испытание полупромышленной установки по электрохимическому обесфториванию воды // Водоснабжение и санитарная техника. 1978. № 12. С. 5–7.

УДК 628.164+165

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ УМЯГЧЕНИЯ И ОБЕССОЛИВАНИЯ ДОНСКОЙ ВОДЫ БЕЗРЕАГЕНТНЫМ МЕТОДОМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ НАНОФИЛЬТРАЦИИ

А.Ю. Черкесов, С.А. Щукин, Р.В. Федотов
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
И.А. Тронь, Г.В. Поповьян
АО «Ростовводоканал», г. Ростов-на-Дону, Россия

В статье представлены результаты экспериментальных исследований по умягчению и обессоливанию воды из реки Дон, выполненных в рамках научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы на тему «Разработка технологии удаления избыточной жёсткости и солесодержания из Донской воды в условиях водоподготовки на очистных сооружениях АО «Ростовводоканал»». Выполненные исследования показали возможность применения нанофильтрации для умягчения и обессоливания донской воды, а также позволили определить оптимальный технологический режим эксплуатации мембран.

В настоящее время на территории Российской Федерации в ряде географических регионов таких как: Центральная Россия, Поволжье, Юг европейской части и Урал, существует проблема общей жёсткости и солесодержания природных вод и доведения их до требований СанПиН 2.1.3684-21.

Действующие водопроводные очистные сооружения (ВОС), как правило, предназначены преимущественно для осветления и обеззараживания воды. Их модернизация для целей умягчения и частичного обессоливания воды сопровождается рядом сложностей, связанных с необходимостью возведения новых сооружений на имеющихся площадях ВОС и, как следствие, значительным удорожанием себестоимости очистки. Несмотря на достаточно большое разнообразие методов и технологий умягчения и обессоливания воды внедрение любого из них в схему водоподготовки действующих очистных сооружений ситуативно и должно учитывать их технологические особенности и экономические возможност*и*.

Одним из регионов, сталкивающимся с сезонными колебаниями общей жёсткости и общего солесодержания воды, является Ростовская область, где основным источником водоснабжения большинства крупных городов является река Дон [1].

В 2023 году компанией ООО НПП «ЭКОФЕС» была выполнена научно-исследовательская и опытно-конструкторская работа на тему:

«Разработка технологии удаления избыточной жёсткости и солесодержания из Донской воды в условиях водоподготовки на очистных сооружениях АО «Ростовводоканал»», в рамках которой был выполнен анализ существующих методов умягчения и обессоливания воды, применяемых в мировой и отечественной практике, и выбраны наиболее перспективные направления, требующие специальных исследований в экспериментальных условиях.

В качестве основного направления по доведению донской воды до нормативных показателей общей жёсткости и минерализации был принят безреагентный метод умягчения и обессоливания воды, а именно, одноступенная многокаскадная нанофильтрация [2–3].

Нанофильтрационная обработка воды представляет интерес в свете отсутствия громоздких известкового и содового реагентных хозяйств и меньшим, в сравнении с классическими технологиями, объёмом сооружений, что позволяет расположить оборудование в пределах существующей территории ВОС.

Для изучения возможности применения технологии нанофильтрации в условиях водоподготовки на очистных сооружениях АО «Ростовводоканал» в лабораторных условиях была проведена серия экспериментальных исследований.

Цель исследований заключалась в определении эффективности умягчения и частичного обессоливания донской воды при фильтровании через нанофильтрационную мембрану, а также в определении оптимального технологического режима эксплуатации мембран, количества их ступеней и каскадов.

Объектом исследования служила модельная вода, соответствующая донской воде в период наихудшего состава, когда общая жёсткость достигает 10,8 °Ж, а общее солесодержание 1 380 мг/дм^3. Физико-химические показатели модельной воды представлены в таблице 1.

Таблица 1. **Физико-химический состав Донской воды, принятый для исследований**

№	Наименование показателя	Значение показателя	
		мг/дм^3	мг-экв/дм^3
1	Ca^{2+}	136,0	6,8
2	Mg^{2+}	49,0	4,0
3	$Na^{+}+K^{+}$	230,0	9,2
4	HCO_3^{-}	281,0	4,6
5	SO_4^{2}	409,0	8,52
6	Cl^{-}	244,0	6,88
7	Общая минерализация	1320	
8	pH, ед.	8,1	
9	t,°C	22,0	

Исследование по умягчению и обессоливанию донской воды в режиме нанофильтрации выполняли на лабораторной установке, изготовленной фирмой «ООО НПК Аргентум-Эко». Принципиальная схема работы и фото лабораторного комплекса, включающего установку нанофильтрации, периферийное оборудование, ёмкости исходной воды, пермеата и концентрата представлены на рисунках 1 и 2 соответственно. Производительность установки по пермеату составляла 0,1 – 0,4 м^3/ч.

В ходе экспериментальных исследований на лабораторном комплексе работы выполняли в следующем порядке: в баках (1.1) и (1.2) объёмом 0,5 м^3 каждый приготавливали воду модельного состава; полученную модельную воду насосом (2) подавали на установку нанофильтрации, включающую магистральный механический фильтр (3), соленоидный клапан (4), многоступенчатый вертикальный насос повышения давления (5), мембранный элемент CSM NE 4040-70 (Корея) в стеклопластиковом корпусе F40-300E-1W (6), контроль расходов пермеата, концентрата и рециркуляционного потока осуществляли посредствам ротаметров (7, 8, 9) соответственно. Кроме перечисленного в установку входили комплект ЗРА, манометров, датчики давления, солесодержания, пробоотборники и шкаф управления. В процессе работы трансмембранное давление поддерживали в пределах от 0,3 до 0,5 MPa (30 – 50 м.в.ст.). Давление в системе, расход пермеата, концентрата и рециркуляционного потока регулировали вентилями. Полученный пермеат собирали в баке 10, концентрат – в баке 11.

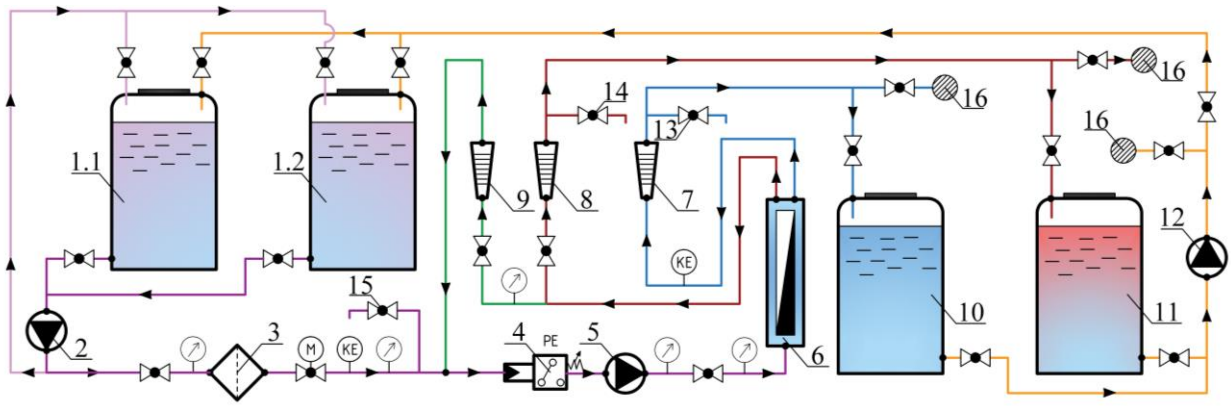


Рисунок 1. **Принципиальная схема экспериментальной установки умягчения и обессоливания воды в режиме нанофильтрации:**
1.1, 1.2 – баки исходной воды; 2 – насос подачи исходной воды на установку нанофильтрации; 3 – механический фильтр; 4 – датчик солесодержаниия и давления; 5 – насос повышения давления; 6 – мембранный элемент в стеклопластиковом корпусе; 7 – ротаметр контроля расхода пермеата; 8 – ротаметр контроля расхода концентрата; 9 – ротаметр контроля расхода рециркуляционного потока; 10 – бак пермеата; 11 – бак концентрата; 12 – насос опорожнения и перекачки воды; 13 – пробоотборник пермеата; 14 – пробоотборник концентрата; 15 – пробоотборник исходной воды; 16 – сброс в канализационную сеть

Для моделирования многокаскадных технологических схем нанофильтрации (от 2 до 5 итераций) после полного срабатывания исходной воды в баках 1.1 и 1.2 насосом (12) в них перекачивался концентрат из ёмкости (11), после чего установку повторно запускали в работу, тем самым осуществлялось «дожатие» концентрата. Количество каскадов определяли условиями эксперимента и теоретически полученными в программном комплексе ROSA [4] составами концентрата и пермеата.

Отбор проб на установке выполняли через пробоотборники или непосредственно из баков пермеата и концентрата.

Применяемая в исследованиях нанофильтрационная мембрана CSM (Корея) NE 4040-70 – это низконапорный мембранный элемент нанофильтрации. Мембрана NE 4040-70 эффективна в задачах удаления из воды коллоидных частиц цветности, полисахаридов и других высокомолекулярных соединений, пестицидов и гербицидов при сохранении исходного солевого баланса природных вод. NE 4040-70 совместима со всеми видами корпусов типоразмера 4040.



Рисунок 2. **Фото экспериментальной установки умягчения и обессоливания воды в режиме нанофильтрации**

Все эксперименты проводили без введения антискаланта. Исследования проводили при 50 % выходе пермеата с мембранного элемента от объёма входящего на очистку потока воды.

Исходя из предварительных расчётов системы нанофильтрации в программном комплексе ROSA, а также поисковых исследований к изучению была принята одноступенная, четырёхкаскадная

нанофильтрация. Увеличение количества каскадов без введения антискаланта нецелесообразно, т.к. теоретически приведёт к осадкообразованию на поверхности мембран в виде сульфата и карбоната кальция. Расход рециркуляционного потока составлял 150 % от входящего на очистку потока воды. Соответственно выход концентрата составлял 50 %. Схема расходов и соотношений потоков представлена рисунке 3.

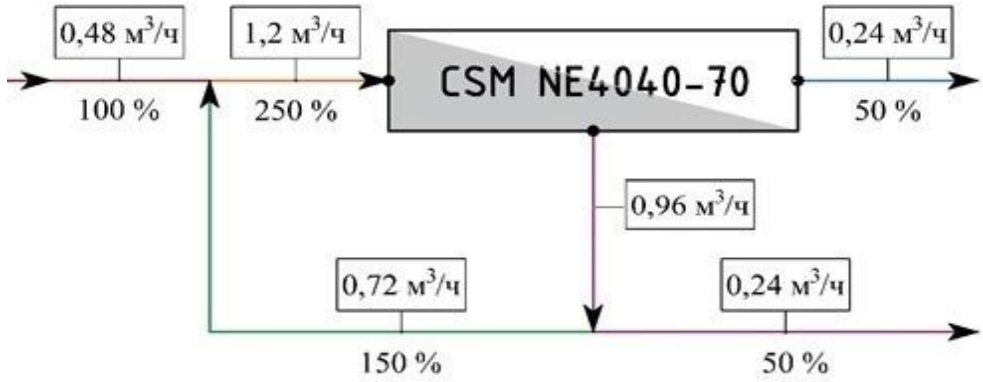


Рисунок 3. **Схема расходов и соотношений потоков экспериментальной установки умягчения и обессоливания воды в режиме нанофильтрации**

Выход пермеата в исследованиях на каждой из 4 ступеней каскада составлял 0,24 м^3/ч (4,0 дм^3/мин), концентрата – 0,24 м^3/ч (4,0 дм^3/мин). Трансмембранное давление в исследованиях поддерживали в пределах 0,45 ÷ 0,55 MPa. В результате исследований были получены данные по изменению физико-химического состава воды после каждой ступени каскада нанофильтрации. Результаты исследований представлены в таблице 2 и в виде графиков на рисунках 4 – 7.

Таблица 2. **Результаты экспериментальных исследований по умягчению и обессоливанию воды одноступенной четырёх каскадной нанофильтрацией**

№ п/п	Показатель	Ед. измерения	Исходная вода	Пермеат				Концентрат			
				Ступень каскада нанофильтрации							
				1	2	3	4	1	2	3	4
1	Na^++K^+	мг/дм^3	228,75	155	183,8	225	265	328,7	415	935	820
2	Mg^{2+}	мг/дм^3	51,24	6,1	13,42	15,86	15,86	85,4	131,8	215,9	263,5
3	Ca^{2+}	мг/дм^3	129,00	30	36	38	50	208	308	530	680
4	HCO_3^-	мг/дм^3	262,30	131,2	131,2	268,4	353,8	344,6	427	707,6	744,2
5	Cl^-	мг/дм^3	244,61	200,3	200,3	262,3	290,7	258,8	283,6	297,8	311,98
6	SO_4^{2-}	мг/дм^3	412,80	9,6	19,2	19,2	19,2	772,8	1276,8	2246,4	3187,2
7	P	мг/дм^3	1328,70	532,2	583,9	828,8	994,6	1998,3	2842,2	4932,7	6006,9
8	pH	ед.	8,10	7,71	7,84	7,81	7,94	7,87	7,94	8,09	8,25
9	t	°C	19.1	19,5	19,7	20,1	20,9	19,5	19,7	20,1	20,9

В результате одноступенной четырёхкаскадной нанофильтрации донской воды был получен положительный результат. Согласно данным, представленным на рисунке 4, снижение показателя общей жёсткости удалось достичь на всех каскадах нанофильтрации. Общая жёсткость после четвертой ступени каскада составила 3,8 °Ж.

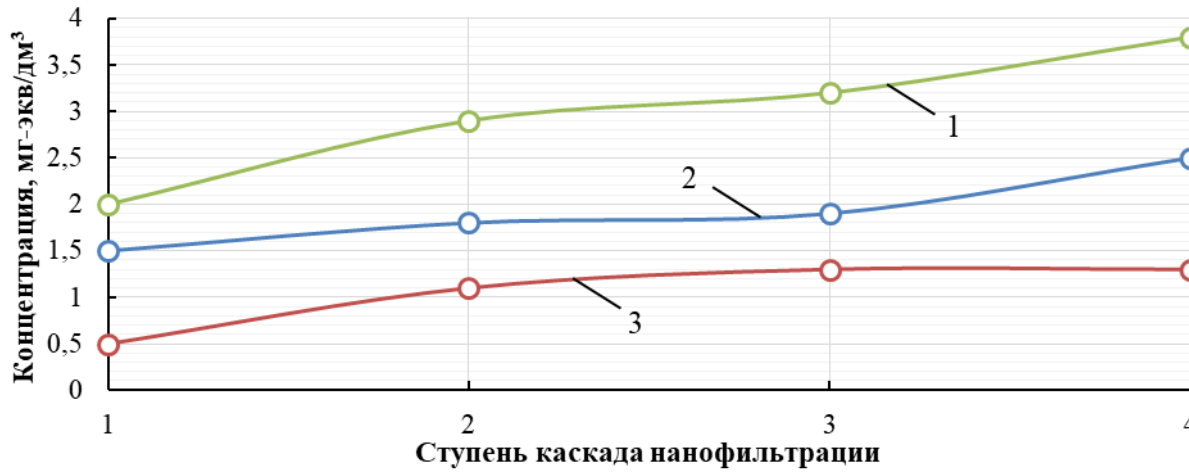


Рисунок 4. **Изменение концентрации ионов жёсткости в пермеате по ступеням нанофильтрации**:
1 –$Ж_{общ}$; 2 – Ca^{2+}; 3 – Mg^{2+}

На протяжении эксперимента с каждой последующей ступенью фильтрации наблюдался выраженный рост общей жёсткости. Рост концентрации ионов кальция после четвертой ступени был пропорционален росту ионов магния. Общая жёсткость после смешения пермеата всех четырёх ступеней составила 2,52 °Ж, следовательно, при работе нанофильтрационных мембран в исследуемом режиме, для доведения донской воды в период паводка до нормативных значений, необходимо направлять на умягчение около 46 % воды от общего потока.

Изучение качественного состава концентрата после каждого из 4-х каскадов нанофильтрации так же показало выраженный линейный рост содержания ионов жёсткости (рис. 5). После первого каскада общая жёсткость концентрата составляла 17,4 °Ж, а после четвёртого – 55,6 °Ж. В среднем после каждой из ступеней нанофильтрации общая жёсткость концентрата возрастала в 1,3 ÷ 1,7 раза. Как и в пермеате, рост концентрации ионов кальция и магния в концентрате был пропорционален друг другу.

Выраженного снижения динамики роста ионов кальция не наблюдалось, следовательно, процессы осадкообразования отсутствовали или находились только на начальной стадии.

Исследование общего солесодержания донской воды после нанофильтрации (рис. 6) показало, что общая минерализация после смешения пермеата 4-х каскадов составит 616,4 мг/дм^3.

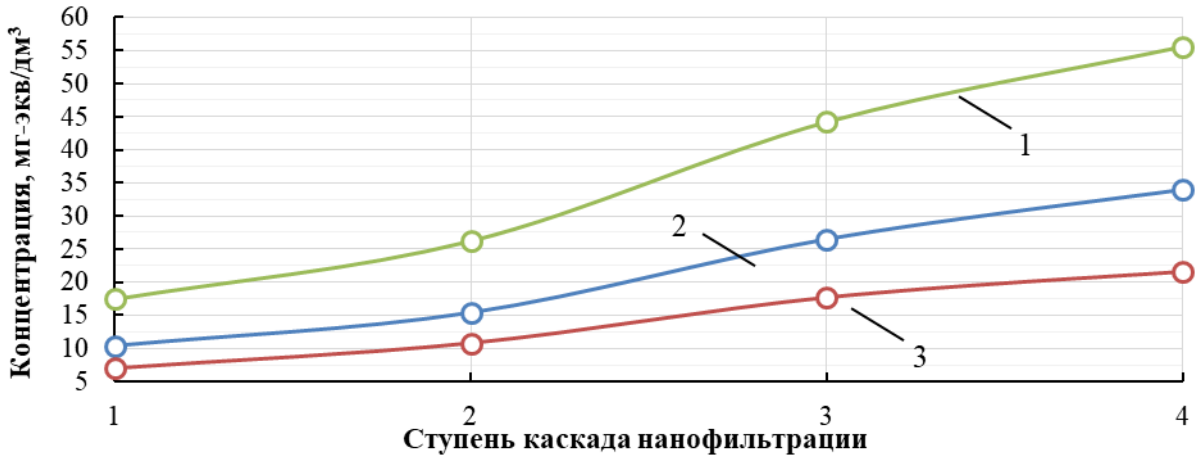


Рисунок 5. **Зависимость содержания ионов жёсткости в концентрате от ступени каскада нанофильтрации:**
1 – $Ж_{общ}$; 2 – Ca^{2+}; 3 – Mg^{2+}

В таком случае для доведения донской воды до нормы ПДК по показателю общего солесодержания соотношение потоков, идущих на обработку и транзитом, составит 46 % к 54 % соответственно. На примере Александровских водопроводных очистных сооружений при их суточной производительности 390 тыс. $м^3$/сутки на обработку необходимо направить около 178 тыс. $м^3$/сутки.

Анализ концентрата после 4-х каскадов показал, что его солесодержание составило 6 006,9 мг/$дм^3$. Прирост минерализации относительно исходного значения составил 4 686,9 мг/$дм^3$ (455 %).

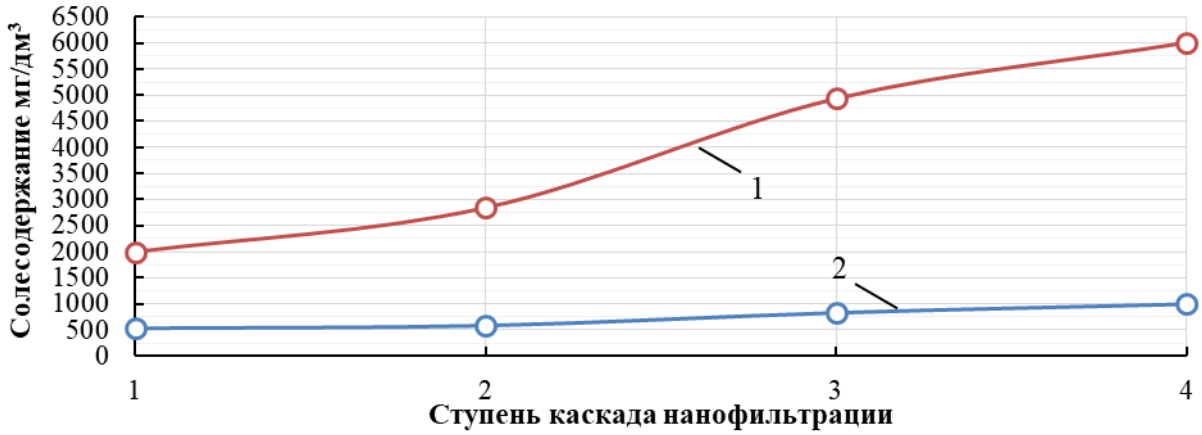


Рисунок 6. **Зависимость общего солесодержания от ступени каскада нанофильтрации:** 1 – концентрат; 2 – пермеат

Прирост солесодержания концентрата характеризуется задержанием двухвалентных катионов жёсткости и анионов, преимущественно сульфатов. Данные по изменению концентрации сульфатов после четырёх каскадной нанофильтрации приведены на рисунке 7.

Изменение содержания сульфатов в концентрате после каждого из каскадов носило выраженный линейный характер, а их концентрация относительно предыдущего значения увеличивалась порядка 1,6 – 1,8 раза. Итоговое значение содержания сульфат-ионов составило 3 187,2 мг/дм^3, что соответствует приросту (Δ) в 412 % от значения после первой ступени (772,8 мг/дм^3).

Таким образом, при съёме пермеата на каждом из каскадов нанофильтрации в 50,0 % после одноступенной 4-х каскадной нанофильтрации, итоговое значение объёма концентрата, подлежащего обработке, составит около 6,25 % от общего потока обрабатываемой воды.

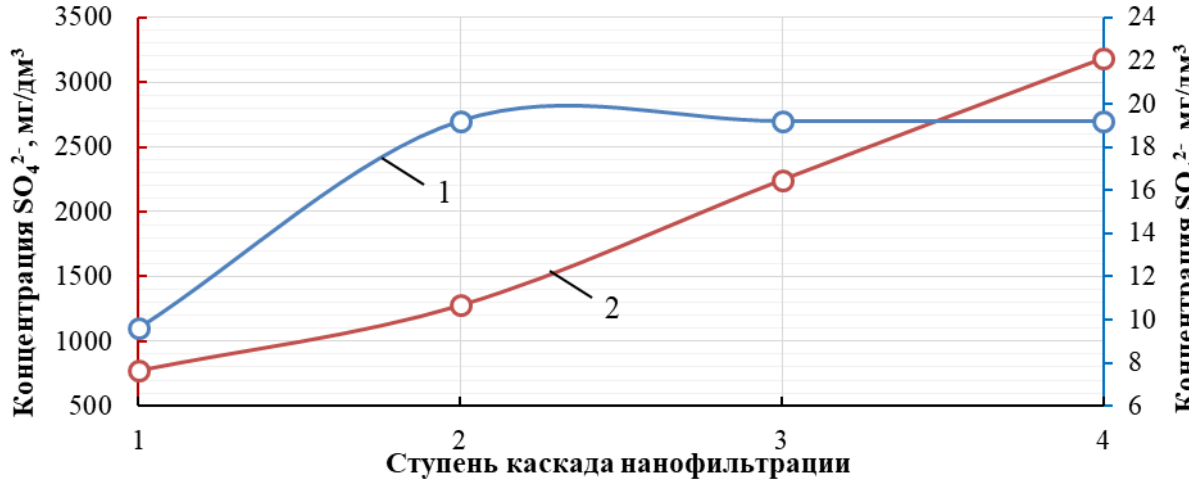


Рисунок 7. **Зависимость содержания сульфатов от ступени нанофильтрации:**
1 – концентрат; 2 – пермеат

Исходя из полученных экспериментальных данных при выборе процентного соотношения потока, идущего на обработку, к потоку без обработки регламентирующими для донской воды показателями являются как общая жёсткость, так и общее солесодержание. В обоих случаях необходимо направлять на нанофильтрацию 46 % от общего потока. Таким образом, расход потока воды, идущего на умягчение и обессоливание, для Александровских водопроводных очистных сооружений составляет 179 тыс. м^3/сут, следовательно, объём концентрата, требующего дальнейшей обработки, составит 11 187,5 тыс. м^3/сут.

Полученный расход концентрата от производительности Александровских очистных сооружений составляет 2,87 %. В последующем возможна реализация станции обработки концентрата такой производительности. Рассмотренный технологический режим и полученные экспериментальные данные могут быть приняты в расчётах технико-экономического обоснования для варианта с применением нанофильтрационного умягчения и обессоливания донской воды в условиях Александровских очистных сооружений водопровода г. Ростова-на-Дону.

ВЫВОДЫ

По результатам экспериментальных исследований умягчения и обессоливания донской воды на установке нанофильтрации возможно сделать следующие выводы:

1. Выполненные экспериментальные исследования подтвердили возможность практического применения технологии нанофильтрации для умягчения и обессоливания донской воды.
2. В качестве мембранного элемента в дальнейшем в расчётах и при проектировании блока нанофильтрации рекомендуется использовать нанофильтрационную мембрану CSM NE4040-70 корейского производства, или ближайший отечественный аналог, например, NanoNF 4040 (F) или NanoNF 8040 (Мембраниум АО «РМ Нанотех»).
3. При изучении разных технологических режимов эксплуатации установки нанофильтрации наилучшие результаты умягчения и обессоливания были достигнуты при одноступенчатой 4-х каскадной нанофильтрации с процентным выходом пермеата к концентрату на каждом каскаде 50 % / 50 % и рециркуляцией концентрата 150 %. В данном технологическом режиме для доведения донской воды по показателю жёсткости и общего солесодержания необходимо обрабатывать не менее 50 % от исходного потока воды. В этом случае объём концентрата, подлежащего последующей обработке, составит 3,0 ÷ 4,0 % от производительности водопроводных очистных сооружений.
4. В результате экспериментальных исследований одноступенчатой 4-х каскадной нанофильтрации без введения антискаланта выраженного осадкообразования на поверхности мембраны установлено не было.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сезонное изменение жёсткости воды в нижнем течении р. Дон / Н.И. Князева, Р.В. Федотов, С.А. Щукин // Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2023»: материалы XIV Межд. науч.-практ. конф., г. Кисловодск, 18–21 апреля 2023 г. / Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т. (НПИ) имени М.И. Платова – Новочеркасск: Лик, 2023. – С. 270–277.
2. Первов А.Г. Современные высокоэффективные технологии очистки питьевой и технической воды с применением мембран: обратный осмос, нанофильтрация, ультрафильтрация / Монография: – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2009. – 232 с.
3. Бойко Н.И., Одарюк В.А., Сафонов А.В. Применение мембранных технологий в очистке воды // Технологии гражданской безопасности. 2014. №2 (40).
4. Методика расчёта систем обратного осмоса. Программа ROSA для технологического расчёта установок обратного осмоса и нанофильтрации /Электронный ресурс. http://www.medfilter.ru/kh39.html

УДК 628.164+165

АНАЛИЗ СЕЗОННОГО ИЗМЕНЕНИЯ ОБЩЕЙ ЖЁСТКОСТИ И МИНЕРАЛИЗАЦИИ ИСТОЧНИКОВ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДА ТАГАНРОГ

А.Ю. Черкесов, С.А. Щукин, Д.В. Каберская,
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имани М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия
О.С. Шепелев, М.К. Баринов, О.В. Щуровская, Г.В. Стаценко
МУП «Управление «Водоканал»», г. Таганрог, Россия

Приведены результаты анализа изменения химического состава источников водоснабжения г. Таганрога по нормируемым показателям – жёсткости и общей минерализации воды. Установлены максимальные величины сезонного колебания жёсткости и солесодержания в используемых городом источниках водоснабжения. На основании анализа и статистической обработки данных для дальнейших экспериментальных исследований по разработке технологии удаления избыточной жёсткости и солесодержания воды в условиях водоподготовки на сооружениях МУП «Управление «Водоканал»» г. Таганрога приняты исходные составы воды из рек Дон и Миус, а также воды подземных горизонтов, используемых городом.

В г. Таганроге продолжает оставаться сложной обстановка по обеспечению населения питьевой водой, соответствующей требованиям СанПиН [1]. На протяжении ряда лет, ежегодно, территориальный отдел Управления Роспотребнадзора информирует Администрацию города Таганрога и МУП «Управление «Водоканал»» о несоответствии качества питьевой воды, подаваемой населению города Таганрога санитарным требованиям, а также о необходимости включения мероприятий по её улучшению в разрабатываемые программы реконструкции водопроводных очистных сооружений (ВОС).

Так, по данным оперативного мониторинга за 2022 год процент проб воды, не соответствующий нормативным требованиям по санитарно-химическим показателям, составил 18,6 % – это общая жёсткость и суммарное солесодержание воды [2], снижение которых без внедрения специальных методов обработки воды и реконструкции существующих ВОС невозможно.

На сегодняшний день водоснабжение города Таганрога осуществляется из трёх источников общей производительностью 120 тыс. $м^3$/сут. Основным источником водоснабжения является река Дон с водозабором из рукава Большая (Мокрая) Каланча, расположенным в дельте Дона. Существующие водозаборные сооружения имеют проектную производительность 86,4 тыс. $м^3$/сут вследствие чего недостающую часть требуемого населением объёма воды в городе восполняют из двух других источников: реки Миус и подземного горизонта с общей

производительностью 40 тыс. $м^3$/сут, которые, в свою очередь, не отвечают требованиям ГОСТ 2761-84 «Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Гигиенические, технические требования и правила выбора» по минерализации, общей жёсткости, сухому остатку, нитратам, хлоридам, сульфатам и натрию. Кроме того, за последние годы наблюдается рост антропогенной нагрузки на поверхностные водотоки и водоёмы [3–4], что также в будущем может повлиять на технологии и методы, необходимые для водоподготовки.

Существующие очистные сооружения Донского водопровода (ВОС «Донвод») г. Таганрога имеют проектную производительность 105,0 тыс. $м^3$/сут и представлены двумя очередями, в основе которых лежит классическая схема двухступенчатой очистки воды с коагуляционной обработкой перед горизонтальными отстойниками и последующим скорым фильтрованием.

В связи с отсутствием необходимых технических решений по умягчению и частичному обессоливанию воды на действующих площадках ВОС, вода из рассматриваемых водоисточников не поддаётся коррекции, тем самым оказывая существенное влияние на общее качество и безопасность подаваемой населению питьевой воды. Одновременно с этим дефицит в питьевой воде не позволяет исключить р. Миус и подземные горизонты из системы водоснабжения города, так как река Дон также является единственным источником водоснабжения поселений Мясниковского и Неклиновского районов. В настоящее время предусмотрен отпуск технической воды вдоль трассы водоводов в объёме 30 % от общего подъёма воды.

В рамках комплексного решения сложившийся ситуации МУП «Управление «Водоканал»» г. Таганрога обратился на кафедру «Водное хозяйство, инженерные сети и защита окружающей среды» «ЮРГПУ (НПИ) имени М.И. Платова» с техническим заданием на проведение научно-исследовательской работы, целью которой является «Разработка технологии удаления избыточной жёсткости и солесодержания из воды в условиях водоподготовки на сооружениях МУП «Управление «Водоканал» г. Таганрога»». Выполнение работ запланировано на 2024 год.

Для разработки оптимального и экономически оправданного технологического решения по удалению избыточной жёсткости и солесодержания из воды в условиях водоподготовки на сооружениях МУП «Управление «Водоканал»» г. Таганрога необходимо выполнить комплекс теоретических и экспериментальных исследований, в состав которых входит установление расчётного состава воды, поступающей на очистку.

На начальном этапе выполнения НИР, на основании предоставленных лабораторных данных заказчиком был выполнен анализ

сезонного изменения общей жёсткости и общей минерализации за последние 5 лет для каждого из источников водоснабжения г. Таганрога, а именно реки Дон, реки Миус и подземного водоисточника.

По результатам статистической обработки данных были составлены графики, отображающие динамику колебания качественного состава воды по показателям жёсткость и общая минерализация в разные периоды времени.

На рисунках 1–3 представлена сезонная динамика изменения максимальной жёсткости воды в рассматриваемых водоисточниках за последние 5 лет.

Представленные на рисунке 1 зависимости свидетельствуют о существенной неравномерности жёсткости донской воды на протяжении всего периода года. При этом максимальная жёсткость воды в изучаемый период в 96,7 % случаев превышает ПДК. Что касается динамики в целом, то выраженного роста или снижения не наблюдается. За период с 2019 по 2023 гг. зафиксированная максимальная жёсткость воды в районе водозабора в х. Дугино составляет 13,0 °Ж, наименьшее значение – 6,9 °Ж.

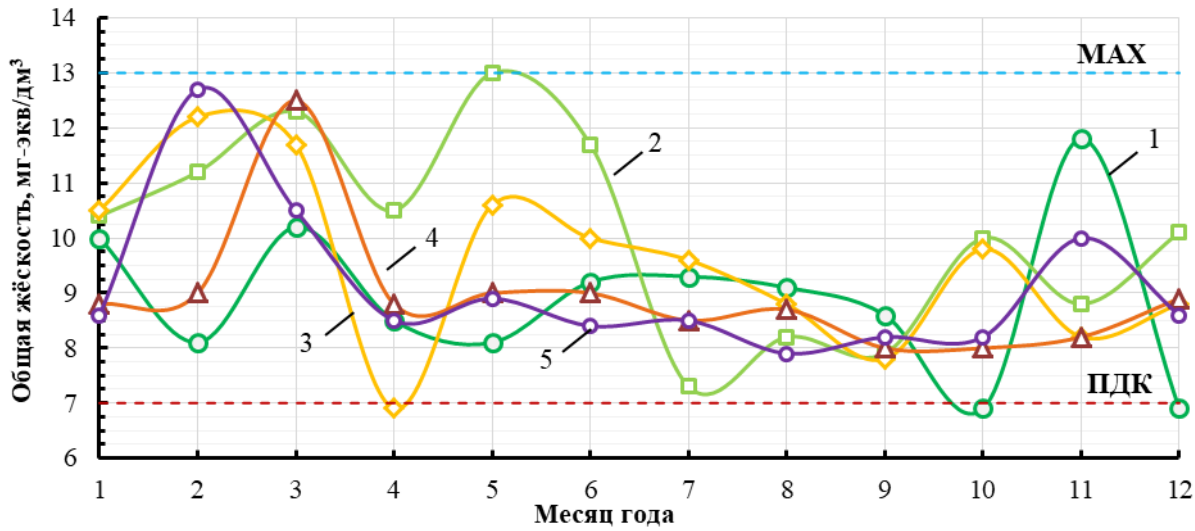


Рисунок 1. **Динамика колебания максимальной жёсткости воды реки Дон за последние 5 лет:**
1 – 2019; 2 – 2020; 3 – 2021; 4 – 2022; 5 – 2023

Данные об изменении жёсткости воды реки Миус за последние 5 лет, представленные на рисунке 2, показали, что в отличие от донской воды она имеет меньшую неравномерность по рассматриваемому показателю. При этом максимальная жёсткость в Миусе почти вдвое выше чем в донской воде, а её пиковые значения могут достигать 19,0 °Ж. Стоит отметить, что среднемесячная жёсткость воды р. Миус, установленная анализом исходных данных в том же временном диапазоне, лежит в пределах от 12,5 до 13,0 °Ж и значительно превышает требования СанПиН. Динамика

изменения жёсткости воды р. Миус как и р. Дон не имеет выраженного роста или спада по данному показателю за последние 5 лет. Представленные на рисунке 2 графики подчёркивают, что во всех рассматриваемых годах колебания жёсткости воды р. Миус носят сезонный характер, а пиковые значения характерны для осенне-зимнего периода.

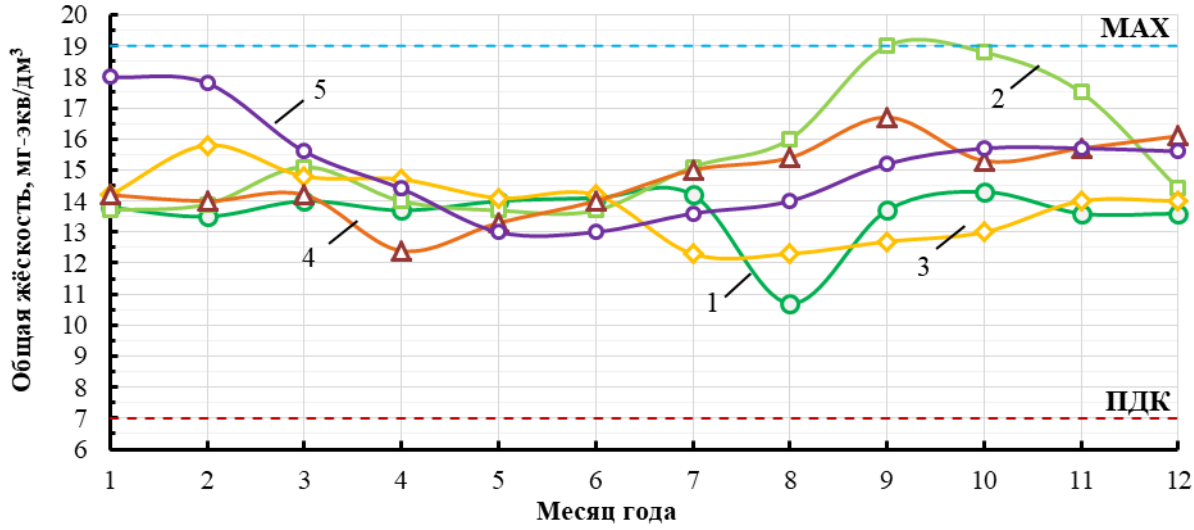


Рисунок 2. **Динамика максимальной жёсткости воды р. Миус за последние 5 лет:**
1 – 2019; 2 – 2020; 3 – 2021; 4 – 2022; 5 – 2023

Анализ лабораторных данных по качеству воды из подземного горизонта показал, что вода, как это и присуще подземным источникам, обладает достаточно высоким постоянством состава, однако, при этом величина общей жёсткости находится в пределах 29,5 – 34,0 °Ж, что в 4 – 5 раз выше значений ПДК (7,0 °Ж).

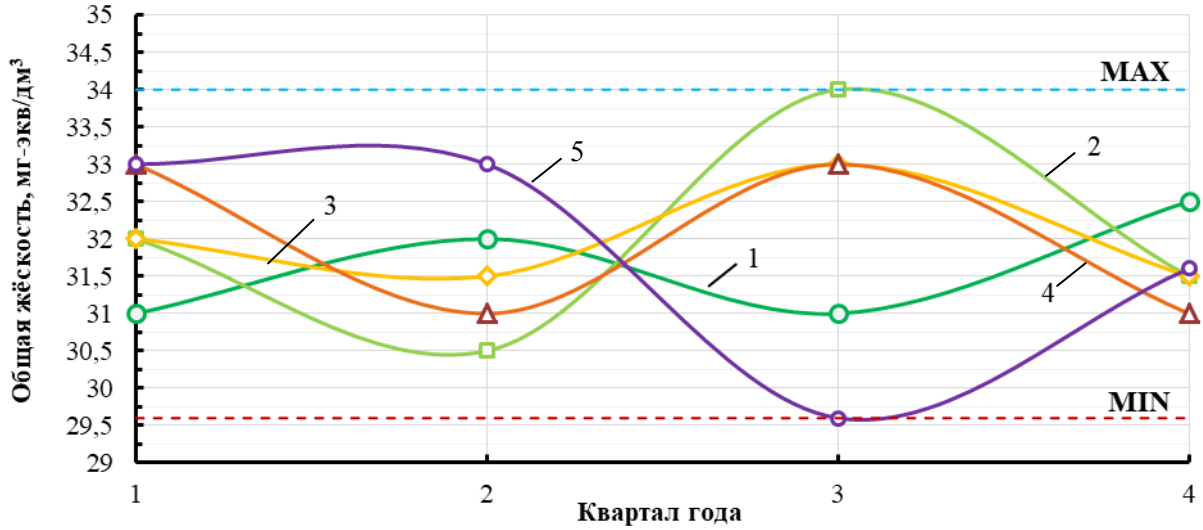


Рисунок 3. **Динамика колебания максимальной жёсткости подземной воды за последние 5 лет:**
1 – 2019; 2 – 2020; 3 – 2021; 4 – 2022; 5 – 2023

Результаты анализа источников водоснабжения г. Таганрога за последние 5 лет по показателю общей минерализации, представлены на рисунках 4–6. Анализ динамики по показателю общей минерализации воды выполняли по среднемесячным значениям.

Представленные на рисунке 4 данные свидетельствуют о существенной неравномерности общего солесодержания донской воды на протяжении всего периода. При этом, превышение среднемесячного показателя общего солесодержания воды превышающего ПДК зафиксировано в 18 % случаев, в среднем на 50 – 75 мг/дм^3. Большую часть времени года общее солесодержание находится в диапазоне от 750 до 1000 мг/дм^3. В рассматриваемом периоде следует отметить присутствующую тенденцию роста среднегодового общего солесодержания воды.

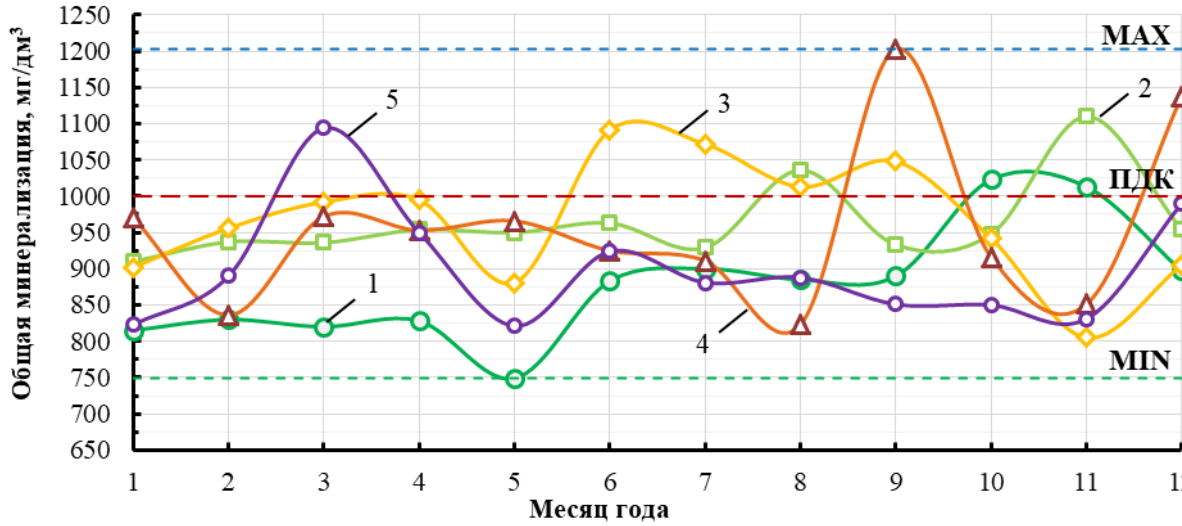


Рисунок 4. **Динамика колебания общей минерализации воды реки Дон за последние 5 лет:**
1 – 2019; 2 – 2020; 3 – 2021; 4 – 2022; 5 – 2023

Результаты анализа качественного состава р. Миус по показателю общей минерализации представлены на рисунке 5. Как и в донской воде для р. Миус характерна неравномерность в присутствующей тенденции роста общего солесодержания.

Среднемесячный показатель общего солесодержания воды р. Миус, превышающий ПДК, зафиксирован практически во всем изучаемом периоде за исключением февраля 2021 года, где величина общей минерализации составила 980 мг/дм^3. В среднем величина общего солесодержания воды из р. Миус больше значения ПДК на 200 – 400 мг/дм^3. В рассматриваемом периоде тенденции роста или спада общего среднегодового солесодержания воды не установлена.

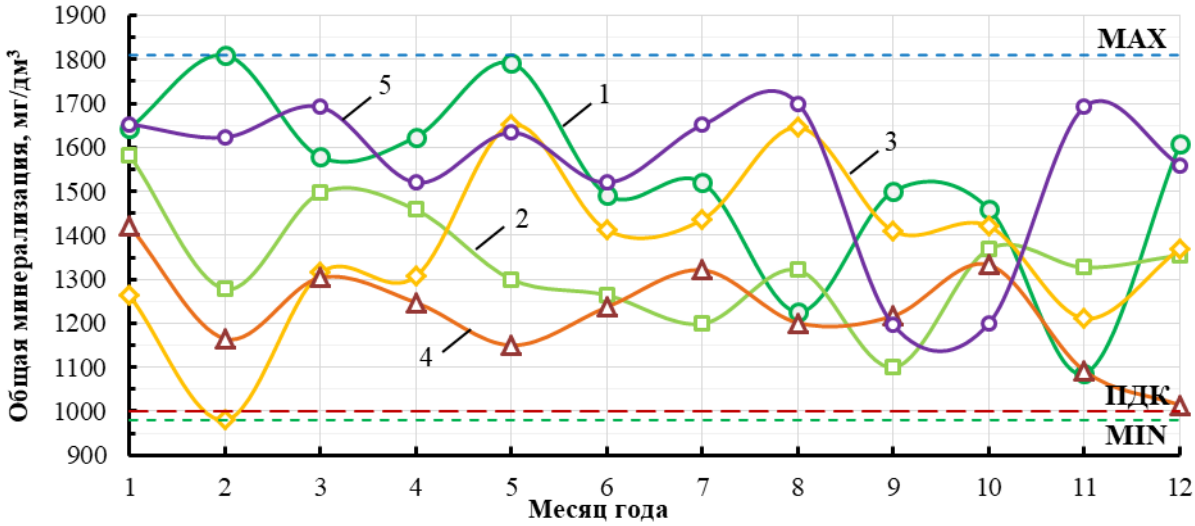


Рисунок 5. **Динамика колебания общей минерализации воды реки Миус за последние 5 лет:**
1 – 2019; 2 – 2020; 3 – 2021; 4 – 2022; 5 – 2023

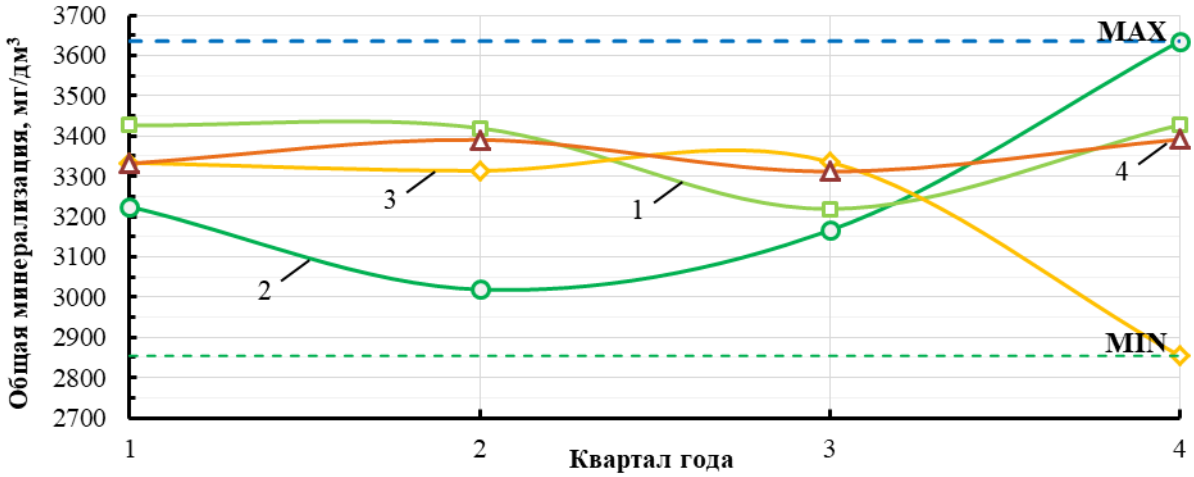


Рисунок 6. **Динамика колебания общей минерализации воды подземного горизонта за последние 5 лет:**
1 – 2019; 2 – 2020; 3 – 2021; 4 – 2022

Анализ данных качественного состава воды подземного горизонта по показателю общей минерализации, представленный на рисунке 6, показал превышение ПДК в 2,8 – 3,6 раза. Высокая минерализация подземного источника характеризуется стабильными значениями, лежащими в пределах 3100 – 3400 мг/дм^3. Выраженной тенденции роста солесодержания воды не установлено.

Для выполнения последующих этапов, предусмотренных планом научно-исследовательской работы, в том числе расчёта изменения гипотетического состава воды в процессе её умягчения безреагентными и реагентными методами, а также экспериментальных исследований были составлены наиболее вероятные химические составы воды для каждого из используемых в системе водоснабжения г. Таганрога источников (табл. 1).

Таблица 1. **Предполагаемый наиболее вероятный физико-химический состав источников водоснабжения г. Таганрога в неблагоприятный период времени** (половодье)

№ п/п	Показатель	Ед. изм.	р. Дон	р. Миус	Под. вода
1	Запах 20/60	балл	3/4	3/4	0/0
2	Мутность	мг/дм^3	201,0	253,0	< 0,5
3	Цветность	град.	29,5	24,1	6,58
4	Температура min/max	°С	1,5/26,6	1,6/26,7	1,5/15,0
5	Перманганатная окисляемость	мг·O_2/дм^3	7,0	6,1	2,14
6	pH min/max	ед.	7,3/8,1	7,7/8,23	7,33
7	Кальций (Ca^{2+})	мг/дм^3	175	184	343
8	Магний (Mg^{2+})	мг/дм^3	64,1	76,2	171,5
9	Натрий и калий ($Na^+ + K^+$)	мг/дм^3	162,5	282,5	595
10	Гидрокарбонаты (HCO_3^-)	мг/дм^3	341,6	381,25	530,7
11	Сульфаты (SO_4^{2-})	мг/дм^3	398,4	590,4	1646,4
12	Хлориды (Cl^-)	мг/дм^3	234,0	290,7	425,4
13	Общая минерализация	мг/дм^3	1375,6	1805,0	3712,0
14	Жёсткость общая	°Ж	14,0	15,4	31,2

В основу принятых физико-химических показателей качества воды легли данные выполненного статистического анализа динамики изменения общей жёсткости и минерализации за последние 5 лет, а также среднегодовые показатели по другим компонентам, учитывающие катионно-анионный баланс. Основной целью определения принятых к дальнейшим исследованиям и расчетам составов является возможность моделирования качественных показателей воды, отвечающих наиболее неблагоприятным периодам времени.

ВЫВОДЫ

Изучение и анализ результатов лабораторных данных по качеству воды из реки Дон, р. Миус и подземного горизонта, предоставленных ГУП «Управление «Водоканал» г. Таганрога, за период с 2019 по 2023 г.г. показали, что превышение общей жёсткости и суммарного солесодержания носит постоянный характер, обладает достаточно высокой неравномерностью и требует дополнительных мер по снижению этих показателей до нормативных значений. Кроме того, наблюдаются предпосылки к росту жёсткости и общего солесодержания в донской воде, являющейся основным источником водоснабжения, которые, в свою очередь, связаны с увеличением антропогенной нагрузки на реку Дон и климатическими изменениями. На основании анализа полученных данных для дальнейших экспериментальных исследований по разработке технологии удаления избыточной жёсткости и снижения солесодержания воды в условиях водоподготовки на сооружениях МУП «Управление «Водоканал» г. Таганрога приняты исходные составы воды реки Дон, реки Миус и воды подземных горизонтов.

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. Сезонное изменение жёсткости воды в нижнем течении р. Дон / Н.И. Князева, Р.В. Федотов, С.А. Щукин // Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2023»: Материалы XIV Межд. науч.-практ. конф., г. Кисловодск, 18–21 апреля 2023 г.: / Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т (НПИ) имени М.И. Платова – Новочеркасск: Лик, 2023. – С. 270–277.
3. Демин А.П. Водообеспечение населения и объектов экономики в бассейне реки Дон: современное состояние и проблемы // Водные ресурсы. 2020. Т. 47, № 6. С. 767–778.
4. Цурикова, Е.Г. Исследование гидрологических характеристик в створах реки Дон для обеспечения безопасного судоходства / Е.Г. Цурикова, А.С. Смоляниченко, О.П. Шишова // Эксплуатация морского транспорта. 2019. № 3(92). С. 127–130.

УДК 628.001.2:681.3

СУЩЕСТВУЮЩЕЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ РАСЧЕТА, АНАЛИЗА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАБОТЫ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Г.С. Турчина, Ю.В. Гостева
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
г. Макеевка, Россия

В статье представлены результаты обзора существующего программного обеспечения для расчета систем водоснабжения. Рассмотрены основные функции, характеристики и преимущества представленных программ.

Рост городов и увеличение территорий, охватываемых системами водоснабжения, приводит к увеличению затрат времени и объёмов работ на расчет и проектирование таких систем. Одним из важных направлений в современном мире становится использование автоматизированных программ, способных сократить время и усилия, затрачиваемые на выполнение расчетов, повысить эффективность и точность инженерных проектов.

В связи с этим в РФ широко разрабатываются и принимаются документы, регламентирующие работу в направлении развития и применения технологий информационного моделирования (BIM-

технологий) (Постановление Правительства РФ от 5 сентября 2013 г. N 782, Федеральный закон № 416-ФЗ и т.д.). В соответствии с требованиями этих документов, использование геоинформационных технологий организациями, проектирующими и эксплуатирующими водопроводные и канализационные сети, становится обязательным условием.

Осуществление развития водного хозяйства и инженерной инфраструктуры, согласно законодательству РФ, необходимо предусматривать в соответствии с проектами схем водоснабжения и водоотведения населенного пункта. В случае, если численность населения города превышает 150 тыс. человек, подобные схемы должны содержать в себе электронные модели системы водоснабжения и водоотведения.

Основная цель электронной модели системы водоснабжения – отобразить информацию о ней в электронном виде с учетом ее структуры, технологических и эксплуатационных процессов, состоянии в целом или отдельных ее элементов [1].

Электронная модель системы водоснабжения является необходимой основой для проведения следующих работ: подбор и оптимизация диаметров трубопроводов; определение точек контроля давления в системе; определение местоположения регуляторов давления; выявление проблем, связанных со снижением минимально необходимого давления в системе, или разработка мероприятий по снижению избыточного давления; оптимизация работы насосных станций; нахождение проблемных участков для включения таких участков в списки реконструируемых трубопроводов; разработка мероприятий и принятие программы по снижению потерь воды в системе [2].

Среди отечественных программных комплексов, которые применяются при расчете систем водоснабжения, можно отметить подсистему «Гидравлика», «Ресурс», «Гидросистема», «ZuluHydro», геоинформационная система «ZuluGIS».

Наиболее распространенными среди зарубежных ПО являются: «WaterCAD», «WaterGEMS», «Autocad Civil 3D», «MIKE URBAN (MIKE+)», «EPANET», «Spaix Pumps».

Подсистема «Гидравлика» [3] ИГС «CityCom-ГидроГраф» включает в себя полный набор функциональных компонент и соответствующих им информационных структур базы данных, необходимых для гидравлического расчета и моделирования систем водоснабжения и водоотведения. Является разработкой московского инженерно-внедренческого центра «Поток». С помощью специального геоинформационного инструментария CityCom возможно визуализировать информацию о сетях. «Гидравлика» может выполнять расчет гидравлических режимов работы водопроводных сетей, строить пьезометрические графики, моделировать переключения, выполнять

анализ режимов работы насосных станций, осуществлять групповые изменения характеристик участков сети по заданным критериям.

Два продукта программного обеспечения в области расчета систем водоснабжения «Ресурс» и «Гидросистема» являются разработкой Российской компании ООО «НТП Трубопровод». Оба программных комплекса представлены как программы для расчета различных гидравлических сетей.

Программа «Ресурс» [4] предназначена для расчета остаточного ресурса элементов трубопровода под действием коррозионно-эрозионного воздействия. Функционал программы: расчет гамма-процентного остаточного ресурса трубопровода в условиях коррозионно-эрозионного износа стенки; расчет наработки на отказ трубопровода после гидравлических испытаний повышенным давлением; расчет остаточного ресурса трубопровода по статистике отказов.

Программа «Гидросистема» [5] может применяться в различных трубопроводных системах, в том числе для расчета сетей водоснабжения. Позволяет производить в автоматическом режиме гидравлический расчёт изотермического течения, учет возможных гидроударов и их последствий, подбор диаметров трубопроводов, насосов, компрессоров, регулирующих и предохранительных клапанов. Схема сети может быть представлена в 3D. В программе предусмотрена возможность экспорта данных для выбора центробежных насосов в программную систему «Spaix 4 Pumps» [6–7] с последующим импортом данных о выбранном насосе в «Гидросистему» для проведения полного поверочного расчёта.

«ZuluHydro» [8]. Программа является разработкой Санкт-Петербуржской компании «Политерм». Позволяет создать расчетную математическую модель сети, выполнять различные гидравлические расчеты, на основе созданной модели решать информационные задачи, задачи топологического анализа, выполнять паспортизацию сети. Функции программы: поверочный и конструкторский расчет водопроводной сети; построение пьезометрического графика; решение коммутационных задач.

Расчеты «ZuluHydro» работают в интеграции с Геоинформационной системой (ГИС) и выполнены в виде модуля расширения ГИС («ZuluGIS»). Схемы инженерных сетей в «ZuluGIS» [9] создаются с поддержкой их топологии, что позволяет использовать встроенные модули для выполнения гидравлических расчетов, а также для построения пьезометрических графиков и продольных профилей.

«WaterCAD» и «WaterGEMS». Данное программное обеспечение предназначено для анализа, моделирования и управления напорными сетями, принадлежит компании-разработчику программного обеспечения Bentley Systems Incorporated, производящей решения для проектирования, строительства и эксплуатации инфраструктур в различных областях.

«WaterGEMS» [10]. Данное ПО способно работать и автономно, и совместно с ГИС комплексом ArcGis, Autocad, а также в комплексе Microstation. Программа выполняет гидравлический расчет системы водоснабжения, рассматривает вопросы качества воды, производит подсчет затрат энергоресурсов и технико-экономический расчет.

Функциональные возможности: проектирование водопроводных сетей, создание и управление гидравлическими моделями, поддержка имитационной модели сети в реальном времени, управление энергопотреблением, оценка доступных пожарных расходов, разработка планов промывки, анализ состояния труб и задвижек, выявление утечек воды, определение приоритетности ремонта трубопровода.

«WaterCAD» [11] – это подмножество «WaterGEMS»; приложение для моделирования гидравлики и качества воды в водопроводных системах. Позволяет проектировать новые системы водоснабжения и выполнять управление над существующими сетями для снижения энергопотребления и рисков сбоев.

«Autocad Civil 3D» [12]. Создает техническую документацию, чертежи, объекты 3D-моделирования: от зданий и сооружений до инженерных сетей, включая сети водоснабжения. Есть возможность работать командой над одним проектом, вносить изменения на любой стадии, создавать цельную, мобильную систему проектирования и взаимодействия всех имеющихся на планах объектов. Можно выполнить количественную оценку объема работ путем назначения статей расхода для отдельных элементов в списке элементов трубопроводной сети. Удобное и быстрое создание продольных профилей на основании заданных положений трубопроводов и топографии местности.

«MIKE URBAN (MIKE+)» [13]. Возможности программы: гидравлический расчет сетей водоснабжения, полноценные возможности работы с картами, динамический анализ режимов работы сетей, контроль качества воды, моделирование потокораспределения при отключениях каких-либо участков трубопроводов; имеет возможности зонирования и мониторинга давления воды на городских водопроводных сетях и сооружениях.

Дополнительный функционал: имея данные о тарифах на электроэнергию, возможно спрогнозировать более экономную работу насосов при требуемых параметрах сети; модуль расчета гидравлического удара может учитывать риски возникновения кавитации; есть возможность интегрирования в другое программное обеспечение, позволяя таким образом поддерживать систему оперативного реагирования и управления в режиме он-лайн (советчик диспетчеру).

«EPANET» [14–15]. Программа разработана Отделом водоснабжения и водных ресурсов Агентства по охране окружающей среды США и

предназначена для долговременного моделирования гидравлических характеристик и качества воды в напорных водопроводных сетях.

Предоставляет возможность запуска гидравлической модели и модели качества воды и просмотра результатов в различных форматах: в виде карт с цветовой маркировкой, таблиц, графиков и контурных схем. Отличается от большинства предыдущих рассмотренных программ возможностью оценки концентрации химических веществ по всей сети в течение периода моделирования.

Выбор программы зависит от поставленных задач. Иногда решение одних и тех же задач отличается в представлении итогового результата и возможностей последующей обработки, мониторинга существующей системы водоснабжения. Также при выборе программ следует учитывать, что некоторые зарубежные разработчики на сегодняшний день прекратили предоставление лицензий своего программного обеспечения на территории РФ, однако многие продолжают функционировать в обычном режиме. Отечественные разработки ПО достигли высокого качества, и их можно рекомендовать специалистам, занятым в сфере водного хозяйства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Примин О.Г. Алгоритмы построения и калибровки электронных моделей системы водоснабжения / О.Г. Примин, Г.Н. Громов, А.Э. Тен // Вестник МГСУ. 2018. Т. 13, № 7. С. 847–854.
2. Kara S. Hydraulic Modeling of a Water Distribution Network in a Tourism Area with Highly Varying Characteristics / S. Kara, I.E. Karadirek, A Muhammetoglu, H. Muhammetoglu / International Conference on Efficient & Sustainable Water Systems Management toward Worth Living Development 2nd EWaS 2016.– Текст : электронный // ResearchGate : [сайт]. – Procedia Engineering. 2016. No. 162. – Pp. 521–529. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.11.096.–URL:https://www.researchgate.net/publication/ 310790612_Hydraulic_Modeling_of_a_Water_Distribution_Network_in_a_Tourism_Area_with_Highly_Varying_Characteristics
3. Подсистем «Гидравлика» ИГС «CityCom-ГидроГраф» для систем водоснабжения и водоотведения. – Текст: электронный //CityCom: [сайт].-URL: https://www.citycom.ru/citycom/hydrograph/hydro/?ysclid= ltsmnkmk3g177716551 (дата обращения: 13.03.2024).
4. Ресурс. –Текст: электронный // НТП Трубопровод: [сайт]. – URL: https://truboprovod.ru/software/resource (дата обращения: 14.03.2024).
5. Гидросистема. – Текст: электронный // НТП Трубопровод: [сайт]. – URL: https://truboprovod.ru/software/hst (дата обращения: 15.03.2024).
6. SPAIX 6 – CPQ Software. – Текст: электронный // VSX–VOGEL SOFTWARE GmbH: [сайт]. – URL: https://www.vsx.net/en/products/ (дата обращения: 13.03.2024).

7. Spaix Pumps. – Текст: электронный // НТП Трубопровод: [сайт]. – URL: https://truboprovod.ru/software/spaix (дата обращения: 10.03.2024).
8. ZuluHydro – моделирование гидравлических режимов в водопроводных сетях. – Текст: электронный // Политерм: [сайт]. – URL:https://www.politerm.com/products/hydro/zuluhydro/ (дата обращения: 10.03.2024).
9. ZuluGIS – система для создания карт, моделирования инженерных сетей и разработки ГИС-приложений. – Текст: электронный // Политерм: [сайт].– URL:https://www.politerm.com/products/geo/zulugis/ (дата обращения: 12.03.2024).
10. OpenFlows WaterGEMS: Water Distribution Analysis and Design Software. – Текст: электронный // Bentley Systems, Incorporated: [сайт]. –URL: https://www.bentley.com/software/openflows-watergems/ (дата обращения: 16.03.2024).
11. OpenFlows WaterCAD: Water Distribution Modeling And Analysis Software. – Текст: электронный // Bentley Systems, Incorporated: [сайт]. – URL:https://www.bentley.com/software/openflows-watercad/(дата обращения: 15.03.2024).
12. Autodesk Civil 3D: Comprehensive detailed design and documentation software for civil infrastructure – Текст: электронный // Autodesk: [сайт]. – URL: https://www.autodesk.com/products/civil-3d/overview?term=1-YEAR&tab=subscription (дата обращения: 16.03.2024)
13. MIKE URBAN (MIKE+). – Текст: электронный // Экхайден: [сайт]. – URL: https://echyden.ru/programmy/gorodskie-seti-i-os3/mike-urban/?ysclid=ltwnytjo8y482706534 (дата обращения: 16.03.2024).
14. EPANET 2. – Текст: электронный / Аква-тэк: [сайт]. – URL: https://akvatek.ru/production/epanet-2 (дата обращения: 17.03.2024).

УДК 628.16+65.011.56

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ ВОДОПРОВОДА МУП ГОРОДА ХАБАРОВСКА «ВОДОКАНАЛ»

Д.С. Алешко
МУП города Хабаровска «ВОДОКАНАЛ», г. Хабаровск, Россия

В статье представлены решения по автоматизации технологических процессов на очистных сооружениях водопровода МУП города Хабаровска «ВОДОКАНАЛ». Показаны главные принципы, позволяющие управлять АСУТП очистных сооружений и осуществлять контроль одним человеком с местного диспетчерского пункта.

Технологическая схема наших ОС представлена классическим набором сооружений и оборудования.

А именно:

- реагентное хозяйство;
- горизонтальные отстойники;
- скорые фильтры;
- комплекс сооружений для обработки промывных вод и осадка;
- НС-2 и НВС.

Соответственно комплексом АСУТП на сегодняшний день охвачены каждый из этих составляющих технологии.

Структура АСУТП имеет три уровня иерархии.

1 уровень. Запорно-регулирующая арматура с электроприводами, насосные агрегаты, КИП.

2 уровень. ПЛК, установленные в шкафах управления оборудованием, осуществляющие приём и обработку сигналов от 1 уровня и передачу на 3 уровень.

3 уровень. SCADA-сервер, осуществляющий сбор и обработку данных 2 уровня и автоматизированные рабочие места с которых осуществляется управление ТП.

Функции АСУТП

– автоматическое управление оборудованием в соответствии с заданным алгоритмом;

– возможность дистанционного управления оборудованием путем подачи команд через ПК мастера;

– возможность местного управления исполнительными механизмами;

– визуализация текущего состояния ТП на мнемосхемах;

– диагностика и мониторинг функционирования оборудования;

– конфигурирование и настройка параметров системы;

– хранение данных технологических параметров и возможность просмотра архива в наглядной форме;

– формирование, просмотр и экспорт отчётов на основе архивных данных.

Системная работа по автоматизации технологических процессов началась в 2008 году при проектировании и строительстве новых двух блоков ОС и продолжается по сей день.

С 2011 года в автоматическом режиме функционирует современный блок приготовления и дозирования реагентов.

Автоматическое приготовление рабочего раствора ОХА в расходных баках предусмотрено объёмным методом по управляющим сигналам от ультразвуковых уровнемеров. Переход с бака на бак также осуществляется по сигналам уровнемеров.

Расчёт объемной дозы ОХА производится пропорционально расходу исходной воды с коррекцией по плотности рабочего раствора. Измерение плотности и расхода осуществляется расходомерами массового типа. Дозирование осуществляется мембранными насосами-дозаторами, которые

оборудованы частотными регуляторами.

Для приготовления рабочего раствора флокулянта предусмотрены установки автоматического приготовления реагента в трехкамерном исполнении. Дозирование рабочего раствора флокулянта осуществляется эксцентриковыми насосами-дозаторами. Принцип расчёта объёмной дозы тот же самый.

Хочется отметить, что надежные и точные измерительные приборы, и исполнительные механизмы являются основой построения системы автоматизации.

Это фундамент, без которого построение хорошей системы невозможно.

Горизонтальные отстойники.

Процессы, требующие автоматизации при работе отстойников, связаны с удалением осадка и работой мешалок в КХО.

Наши отстойники оснащены скребковыми механизмами осадка, которые управляются контроллером и запрограммированы по времени работы и отдыха. Также ведётся контроль состояния гидравлических машин, приводящих в движение скребки

Удаление осадка из приямка осуществляется гидроэлеваторами через заданные промежутки времени, зависящие от качества исходной воды.

Мешалки в КХО имеют возможность регулировки частоты вращения для получения большего эффекта хлопьеобразования.

Скорые фильтры.

Система управления скорыми фильтрами позволяет поддерживать заданную скорость фильтрации в течение фильтроцикла путём регулирования степени открытия запорной арматуры на трубопроводе отвода фильтрованной воды в зависимости от показаний индивидуального расходомера. Также ведётся контроль за изменением потерь напора и уровнем.

Процесс промывки фильтров автоматизирован. Причём промывать можно как отдельный фильтр, так и группу фильтров. От мастера требуется только назначить очерёдность промывки сооружений и дать системе команду о начале промывки.

Промывка осуществляется от насосно-воздуходувной станции, в которой размещены промывные насосные агрегаты и роторные воздуходувки.

Все данные с приборов КИПиА фиксируются в журнале работы фильтров, что удобно для дальнейшего комплексного анализа работы сооружений.

Обработка промывных вод и осадка.

С 2011 года работает комплекс обработки промывных вод (до этого сбросы промывной воды осуществлялись в реку Амур). Без АСУТП работа

данного комплекса не представляется возможной по причине большого количества управляющих воздействий, которые производит система в процессе работы.

Промывные воды фильтров собираются в резервуар-усреднитель, где в зависимости от интенсивности изменения уровня включается различное количество насосных агрегатов для перекачки их на очистку. Очистка производится на отдельном выделенном блоке горизонтальных отстойников с конструкцией, аналогичной рабочим сооружениям. Сбор осветлённой воды производится в карман отстойников в котором установлены погружные насосы, осуществляющие перекачку в голову сооружений. Причём автоматически поддерживается равенство расхода поступающей в отстойники и откачиваемой из отстойников воды путём управления степенью открытия запорной арматуры.

НС-2. Автоматизации работы НС-2 предшествовала её глубокая модернизация. Были заменены 4 насосных агрегата с монтажом станции ВПЧ., смонтированы новые высоковольтные ячейки, заменены кабельные линии, установлены три установки УФО.

Каждый насосный агрегат оборудован системами виброконтроля, контроля температуры подшипников и обмоток электродвигателя, системой откачки воздуха из полостей насоса перед запуском, системой контроля давления воды на сальники насоса, датчиками давления на всасывающем и напорном трубопроводе.

Из 7 сетевых НА 4 НА оборудованы ВПЧ. Соответственно в работе постоянно находится один агрегат прямого пуска и он работает в номинальном режиме и один агрегат с ВПЧ который поддерживает заданное давление на выходе в сеть.

Система автоматики позволяет перезапускать НА после просадки напряжения или запускать другой, резервный. Алгоритм наращивания давления при запуске НА настроен в соответствии с режимной картой и не допускает резких перепадов давления.

Основными технологическими параметрами, по которым оценивается качество работы того или иного сооружения для нас является мутность и цветность.

Все горизонтальные отстойники, все фильтры оборудованы индивидуальными датчиками мутности, установленными по типу in-line. То есть врезаны в трубу. Также определяется мутность исходной и промывной воды и воды на выходе из НС-2 по трём водоводам. Можно сказать, что динамику изменения мутности мы видим ежесекундно.

Для определения цветности мы имеем два промышленных анализатора. Так как цветность воды каждого отдельного сооружения определять нет смысла, то мы определяем цветность объединённых проб отстоянной воды и объединённых проб фильтрата от каждого блока сооружений.

Также анализируются пробы по трём водоводам на выходе в сеть. Период измерения каждой отдельной пробы приблизительно 1 раз в час, что для показателя цветности более чем достаточно.

Имеется три анализатора общего хлора для контроля данного показателя на выходе в сеть по трём водоводам.

Работа сегодняшнего дня.

1. В 2023 году в рамках инвестпрограммы Предприятия был реализован проект автоматизации скорых фильтров 1 очереди и в настоящее время работа всех 19 скорых фильтров наших ОС автоматизирована.

В рамках данного проекта также запущен в работу современный ЦОД, спроектированный с большим резервом на дальнейшее развитие АСУТП ОС.

2. Так как с момента запуска первого комплекса АСУТП блока 60000 прошло уже 13 лет, то опять же в рамках инвестпрограммы предприятия запланированы работы по модернизации АСУТП данного блока ОС с учётом современной ситуации и на основе накопленного опыта.

ВЫВОДЫ

Управление и контроль за работой АСУТП наших ОС осуществляется одним человеком с МДП. Это стало возможным благодаря тому, что при проектировании были реализованы следующие принципы:

1. Принцип безлюдных технологий. То есть нет необходимости даже минимального участия человека в технологическом процессе.

2. Принцип единой системы управления. Все сигналы состояния от исполнительных механизмов, параметры работы электродвигателей и оборудования, показания КИПиА, предупреждения сводятся в единый пункт управления – в МДП.

3. Принцип унификации и стандартизации. Типовые решения, в том числе, использование серийно выпускаемых компонентов систем, их унификация, упрощает внедрение и эксплуатацию систем. Стандартизация позволяет корректно интегрировать системы между собой, создавая, единую систему управления.

Также, по моему мнению, очень важно, чтобы проектированием и реализацией проекта занималась одна и та же компания в которой действуют жёсткие внутренние стандарты качества. Нам очень повезло в этом плане. На протяжении почти 15 лет наше Предприятие плодотворно сотрудничает с компанией АКВА+.

И последнее. Очень важно иметь на Предприятии квалифицированную группу инженеров и программистов АСУТП.

Это требуется, во-первых, для оперативной диагностики отказов или сбоев в работе, что зачастую не под силу эксплуатационному

персоналу ОС или требует много больше времени, во-вторых, для внесения изменения в алгоритмы управления ТП, что зачастую требуется по прошествии некоторого времени эксплуатации системы и, в-третьих, для квалифицированной эксплуатации системы, проведения ППР, заказа ЗИП.

В противном случае при отсутствии возможности оперативно реагировать на отказы и предупреждения системы у эксплуатационного персонала может возникнуть недоверие к АСУТП и нежелание заниматься в дальнейшем автоматизацией ТП.

Но при должном уровне эксплуатации автоматизированной системы она отблагодарит вас сэкономленными средствами и надёжностью работы.

В качестве примера могу привести свои ОС.

С 2005 по 2017 гг. проектная производительность наших ОС увеличилась с 250 до 386 тыс. $м^3$/сутки. Состав сооружений увеличился ровно в два раза. При этом численность эксплуатационного персонала не только не увеличилась, но и сократилась.

УДК 628.16.094.3+620.92

ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ СЕРОВОДОРОДНОЙ КОРРОЗИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ ВОД

Л.Н. Фесенко, А.Ю. Черкесов, С.А. Щукин, Д.К. Манюшкин
ООО НПП «ЭКОФЕС»
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия

В статье рассматривается вопрос использования в РФ геотермальных источников для нужд энергетики; приведена классификация геотермальных вод по генетическим типам, а также по физическим и биохимическим критериям температурных границ. Показано, что одним из самым опасных коррозионно-агрессивных компонентов в термальных водах является сероводород. Предложены технологические схемы обезвреживания сероводорода на ГеоТЭС низко- и высокотемпературных геотермальных источников методом железо-каталитического окисления кислородом воздуха в присутствии гидроксида железа.

Россия обладает значительными геотермальными ресурсами, эксплуатационный потенциал которых оценивается в 11 869 млн. тонн условного топлива (т.у.т.) в год (рис. 1). Использование данной энергии Земли может дать толчок для экономического роста на территориях Камчатки, Курильских островов, Забайкалья, Урала, Северного Кавказа. В настоящее время в РФ действуют только три геотермальных электростанции, расположенные на Камчатке: Паужетская, Верхне-Мутновская и Мутновская, и на о. Кунашир – Менделеевская ГеоТЭС.



Рисунок 1. **Потенциал геотермальной энергии РФ**

Тепло Земли в преобладающем количестве заключено в скелете водовмещающих пород и в практически водонепроницаемых сухих горных породах. Остальная же небольшая доля тепловой энергии недр передаётся за счёт теплопроводности твёрдых пород динамическим носителям – геотермальным водам, заключенным в естественных коллекторах, которые могут быть представлены нагретыми водой, паром, пароводяными и парогазовыми смесями.

В соответствии с этим, геотермальные ресурсы подразделяются на петрогеотермальные и гидрогеотермальные.

Физико-химические свойства добываемого гидрогеотермального ресурса зависят от стадий формирования вод, геологических условий залегания и геохимической обстановки окружающих пород.

Под толщей земли и твёрдых пород, подземный водный раствор (флюид) испытывает на себе не только атмосферное и гидростатическое давление, но и геостатическое, благодаря чему подземная вода может достигать высоких температур, не меняя своего фазового состояния. В соответствии с этим возрастает растворяющая способность воды, вследствие чего гидрогеотермальные ресурсы могут обладать высоким солесодержанием (от 20 – 30 г/л до 400 – 500 г/л) [1] по сравнению с природными.

Растворимость газов в воде зависит от давления, температуры, химического состава воды и увеличивается с глубиной, так как рост давления даёт больший эффект, чем рост температуры.

Газовый и ионный составы подземных вод тесно связаны друг с другом. При увеличении концентрации растворенных в воде солей растворимость газов падает. В свою очередь, наличие в воде растворенных газов влияет на переход в раствор некоторых солей, а дегазация воды может повлечь частичное выпадение солей в осадок [2].

В зависимости от газового состава, а также геологических, геохимических и температурных условий формирования В.В. Ивановым (1961 г.) выделяются пять основных генетических типов термальных подземных вод: сероводородно-углекислые (фумарольные), углекислые, азотно-углекислые, азотные (щелочные) и метановые [1]. Их краткая характеристика приведена в таблице 1.

Таблица 1. **Характеристика генетических типов термальных подземных вод**

№ п/п	Название	Характеристики	Примечание
1	Сероводородно-углекислые (фумарольные) геотермальные воды	Р: 3–5 (20) г/л; t ~ 40–100 ºС; H^+, Fe^{2+}, Al^{2+}, NH_4^+.	а) Глубинного происхождения, насыщенные высокотемпературными газами и содержащие HF, HCl, CO_2, SO_2, H_2S; б) Поверхностного происхождения сульфатного состава.
2	Углекислые термальные воды	Р: от 2 до 40 г/л; Ca^{2+}, Na^+; HCO_3^-, Cl^-, SO_4^{2-}; H_2SiO_3 (100–200 мг/л), As, Br, B, Y.	Среди углекислых вод не встречается типичных рассолов, что свидетельствует об относительно интенсивной их миграции и «промытости» структур, к которым они приурочены.
3	Азотно-углекислые геотермальные воды (парогидротермы)	Р: 2–5 г/л; t ~ 200–300 ºС; H_2SiO_3 (300–600 мг/л).	Формирование азотно-углекислых терм происходит в восстановительных высокотемпературных условиях в непосредственной близости от активно действующих вулканов.
4	Азотные (щелочные) геотермальные воды	а) Р менее 1,5 г/л; Гидрокарбонатно-натриевый, или хлоридно- и сульфатно-натриевый состав; H_2SiO_3 (300-600 мг/л). б) Р до 40 г/л; Хлоридно-натриевый и хлоридно-кальциево-натриевый состав; Br, Y.	а) Воды атмосферного происхождения. Формирование химического состава этих вод происходит в процессе выщелачивания пород инфильтрационными водами б) Воды морского происхождения

№ п/п	Название	Характеристики	Примечание
5	Метановые геотермальные воды	а) Р = 20–30 г/л; Гидрокарбонатнонатриевые, гидрокарбонтано-хлоридные и хлоридно-натриевые. б) Р = 400– 500 г/л; Хлоридно-натриевые и хлоридно-кальциево-натриевый состав. Присутствует бор, бром, йод, нафтеновые кислот, часто сероводорода.	Встречающиеся, как в платформенных, так и в горно-складчатых областях. Эти воды приурочены к осадочным отложениям глубоких частей артезианских бассейнов. Формирование их связано с развитием биохимических процессов

Для добываемых геотермальных вод по температуре существует различное множество классификаций (табл. 2), используемых и удобных соответственно для определенного эксплуатационного или технологического процесса (производство электроэнергии, горячее водоснабжение, теплоснабжение и т.п.) [3].

При составлении классификаций подземных вод по температуре различными авторами в большинстве случаев учитывались следующие условия: физическое состояние и фазовые переходы воды, влияние температуры на течение биохимических процессов и на скорость химических реакций, возможность использования подземных вод для практических целей.

Таблица 2. **Классификация геотермальных подземных вод по температуре**

<table>
<tr><td colspan="6">Температура, ºС</td><td rowspan="2">Автор</td></tr>
<tr><td colspan="3">0º–20º</td><td>20º–37º</td><td>37º–50º</td><td>50º–75º</td><td>75º–100º</td><td>> 100º</td></tr>
<tr><td colspan="3">Холодные</td><td>Субтер-мальные</td><td>Тер-маль-ные</td><td colspan="3">Гипотермальные</td><td>А.М. Авчин-ников, 1947 г.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Весьма холодные</td><td>Холод-ные</td><td>Теплые</td><td>Горя-чие</td><td colspan="3">Очень горячие</td><td>О.А. Алё-кин, 1958 г.</td></tr>
<tr><td colspan="3">Холодные</td><td>Субтер-мальные</td><td colspan="4">Термальные</td><td rowspan="2">А.В. Щерба-ков, 1956 г.</td></tr>
<tr><td>Искл. холодные</td><td>Весьма холод-ные</td><td>Холод-ные</td><td>Теплые</td><td>Горя-чие</td><td colspan="2">Очень горячие</td><td>Исключи-тельно горячие</td></tr>
<tr><td>Переохлаж-дённые</td><td>Очень холод-ные</td><td>Холод-ные</td><td>Тёплые или слаботер-мальные</td><td>Горя-чие или тер-маль-ные</td><td colspan="2">Очень горячие - высокотермальные</td><td>Пере-гретые</td><td>Ф.А. Мака-ренко, 1960 г.</td></tr>
</table>

Температура, ºС								Автор
0º–20º			20º–37º	37º–50º	50º–75º	75º–100º	> 100º	
Исключительно холодные	Очень холодные	Холодные	Тёплые	Горячие	Очень горячие высокотермальные		Перегретые воды и пары	Коллек. авторов (из книги «Курорты СССР», 1962 г. [4]
Холодные			Низкотермальные		Высокотермальные			К.Ф. Богородицкий, 1968 г.
Переохлаждённые	Очень холодные	Холодные	Тёплые	Горячие	Очень горячие		Перегретые	
Переохлаждённые	Холодные		Термальные				Перегретые	Б.Ф. Мавриц-кий, 1971 г.
Переохлаждённые	Очень холодные	Холодные	Слаботермальные		Термальные	Высокотермальные	Перегретые	

Таблица 3. **Классификация геотермальных подземных вод по температуре** (физические и биохимические критерии температурных границ)

Балл	Температурные типы воды	Степень нагретости	Шкала температуры, ºС	Физические и биохимические критерии температурных границ
1	Переохлаждённые	Исключительно холодные	ниже 0º	Переход из жидкого состояния в твёрдое
2	Холодные	Весьма холодные	0–4º	При температуре 4 ºС вода обладает наибольшей плотностью
3	>>	Умеренно холодные	4º–20º	Единица вязкости (сантипуаз) определена при температуре 20 ºС
4	Термальные	Теплые	20º–37º	Границей между тёплыми и горячими водами принята температура человеческого тела
5	>>	Горячие	37º–50º	Оптимальная температура для роста бактерий
6	>>	Весьма горячие	50º–100º	При температуре 100 ºС вода переходит в пар
7	Перегретые	Умеренно перегретые	100º–200º	Яркое проявление термометаморфизма (гидролиз карбонатов с выделением CO_2, генерация абиогенного H_2S и др.)
8	>>	Весьма перегретые	200º–375º	Процесс углефикации органического вещества и углеводородова
9	Флюидные	Исключительно перегретые	выше 375º	Существование ассоциаций, характерных для газа и жидкости

К примеру, для сравнения, можно привести классификацию подземных теплоэнергетических вод (табл. 3), оценивающей физические и биохимические критерии температурных границ [3], или возможному фазовому состоянию теплоносителя в условиях залегания и извлечения их (табл. 4) [5].

Выбор схемы теплоэнергетического использования термальных вод производится на основе гидрогеотермических, теплотехнических, термодинамических и технико-экономических расчётов, с учётом химического состава и минерализации гидротерм, большинство которых склонны к коррозии и отложению солей на поверхностях контакта [2].

Самым опасным коррозионно-агрессивным компонентом в термальных водах является кислород. Кислород не содержится в геотермальных водах, он может попадать в воду через неплотность системы, а интенсивность насыщения термальных вод кислородом зависит от их температуры и минерализации.

Сероводород (H_2S) увеличивает скорость коррозии до 40 %, максимальная коррозия имеет место при достижении его концентрации в воде уже 4 – 5 мг/л. Коррозия, вызываемая углекислотой (CO_2), является минимальной по сравнению с кислородной и сероводородной. Коррозионное воздействие на металл оказывают ионы хлора в сочетании с сероводородом и углекислотой. При попадании в термальную воду кислорода сероводородная коррозия интенсифицируется в 2 раза, углекислотная в 1,5 раза, а хлорионная в 3 – 4 раза.

Таблица 4. **Классификация геотермальных подземных вод по температуре (фазовое состояние теплоносителя в условиях залегания и извлечения)**

Группа, подгруппа	Температура, ºС	Фазовое состояние		Возможность использования
		на глубине	на поверхности	
Низко-потенциальные	30º–70º	Вода	Вода	обогрев грунта; оттаивание мерзлых грунтов; интенсификация рыбоводства; закачка в нефтеносные пласты; системы теплоснабжения
Средне-потенциальные	70º–100º	Вода	Вода	теплоснабжение промышленных, сельскохозяйственных и коммунально-бытовых объектов; технологические нужды; заводнение нефтяных залежей; выработка электроэнергии в бинарных ГеоЭС; системы теплоснабжения в комбинации с тепловыми насосами;

Группа, подгруппа	Температура, ºС	Фазовое состояние		Возможность использования
		на глубине	на поверхности	
Высокопотенциальные:				
Слабоперегретые	100º–150º	Вода	Вода + пар	воды можно использовать в бинарных ГеоЭС
Перегретые	150º–250º	Вода	Вода + пар	использование в одноконтурных ГеоЭС
Высокоперегретые	250º–350º	Вода	Вода + пар	
Предельно перегретые	более 350º	Вода	Вода + пар	
Пар	примерно 240º	Пар	Пар сухой насыщенный или перегретый	

В некоторых термальных водах содержатся сульфатредуцирующие бактерии, которые при попадании в системы теплоснабжения также ускоряют коррозию до 10 – 15 раз [2].

Солеотложение возникает тогда, когда нарушается термическое или динамическое равновесие в термальном растворе, и проявляется оно тем сильнее, чем резче произошло это нарушение. Химические типы минеральных отложений многообразны: карбонаты (кальцит, арагонит), сульфаты (гипс, ангидрит, барит), сульфиды (пирит, гидротроилит), окислы (лимонит, кремнезем), самородные элементы (свинец, сера).

Отложение карбоната кальция является наиболее распространенным типом солезарастания. Практически все типы поверхностных и подземных вод близки к насыщению по карбонату кальция, и требуется незначительный сдвиг равновесия, который может выражаться в изменении давления, температуры, минерализации раствора, для того, чтобы в твердую фазу выделился кальцит.

Большое влияние на коррозию металлов оказывают как растворенные, так и свободно выделяющиеся из геотермальных вод газы. Геотермальные воды, как правило, содержат в значительных количествах свободную углекислоту и некоторое количество сероводорода. Кроме того, из пластов вместе с водой выносятся метан, азот и другие газы. Наибольший интерес, с точки зрения влияния на коррозию, представляют углекислый газ и сероводород.

В парогидротермах первой провинции подземных минеральных вод на юго-востоке Камчатки и на Курильских островах широко распространен сероводород. В настоящее время наиболее перспективным направление развития возобновляемых источников энергии в РФ является геотермальная энергетика, развитие которой во многом зависит от решения проблемы удаления сероводорода, который наносит большой вред, как окружающей среде, так и технологическому оборудованию.

В настоящее время нет единого мнения о минимальном количестве H_2S, которое представляет реальную угрозу для целостности металла. Преобладающей формой коррозионных разрушений в сероводородной среде является общая коррозия с постепенным разъеданием металла, образованием больших язв и большого количества осадка сульфида железа В присутствии кислорода происходит окисление сульфидов с образованием окислов железа и свободной серы, цвет осадка изменяется от черного до рыжего.

По мнению большинства исследователей, при одновременном присутствии в среде сероводорода углекислоты, последняя оказывает лишь стимулирующее сероводородную коррозию действие.

Немаловажной задачей при разработке геотермальной станции является вопрос утилизации и обезвреживания сероводорода, попадающего из скважины в тепловую схему вместе с пароводяной смесью [6]. В работах [7–8] предложен один из наиболее эффективных методов обезвреживания сероводорода, который может быть применён при использовании парогазовых смесей из низко- и высокотемпературных геотермальных скважинах. Метод предусматривает: очистку парогазовой смеси от газообразного и растворенного сероводорода (H_2Sг и ΣH_2S соответственно) с применением соединений железа; регенерацию железосодержащих реагентов; получение товарной серы в качестве побочного продукта (рис. 2).

Блок 1 – абсорбер (распылитель), реализующий контакт сероводородсодержащей парогазовой смеси с суспензией $Fe(OH)_3$ и раствором Fe^{3+} с целью связывания H_2Sг и ΣH_2S в труднорастворимый сульфид железа FeS. Соединения железа дозируются в блок 1 в 3-кратном избытке по отношению к стехиометрической дозе сероводорода. В этом случае реализуется технологически приемлемая скорость связывания сероводорода в FeS и его окисления в блоке 2. Функции блока 1 выполняет устройство типа трубы Вентури с форсунками для введения суспензии.

Блок 2 – сооружения и устройства, реализующие контакт суспензии $FeS + Fe(OH) \times nS$ с воздухом и проведение реакции окисления FeS кислородом воздуха до молекулярной серы $S°$ и гидроксида железа $Fe(OH)_3$. При этом соединения железа выполняют роль катализатора и коагулянта, способствующего уменьшению дисперсности и агрегативной устойчивости суспензии $Fe(OH)_3 \times nS$. Функции блока 2 выполняют

сооружения типа реакторов-окислителей с барботированием конденсата воздухом или кислородосодержащей смесью газов.

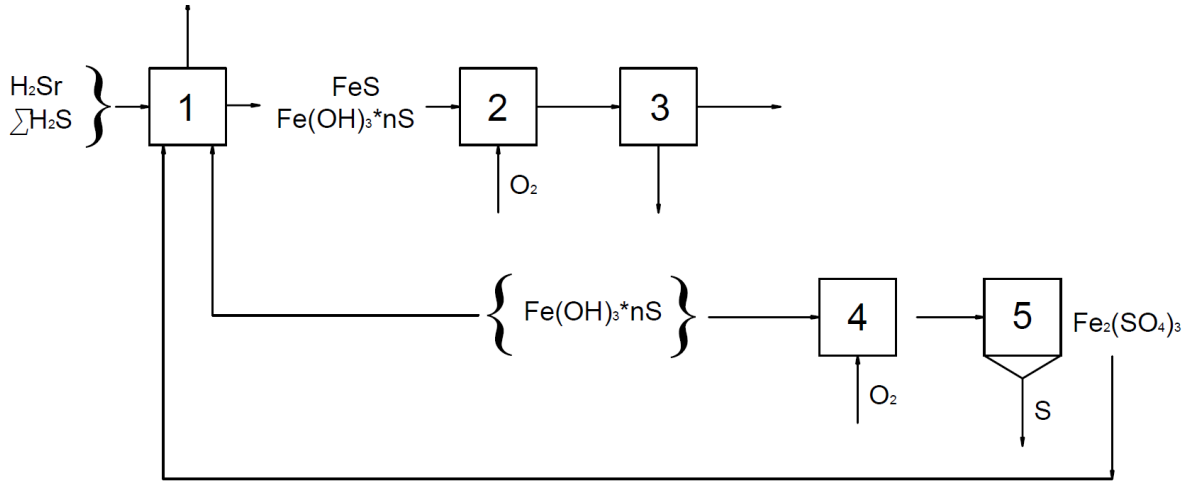


Рисунок 2. **Принципиальная схема метода обезвреживания сероводорода на ГеоТЭС низкотемпературных геотермальных источников**

Блок 3 – предназначен для удаления из конденсата труднорастворимых соединений серы и железа $Fe(OH)_3 \times nS$. Образующийся при этом конденсат не содержит сероводорода, взвешенных веществ и может быть использован для технических целей.

Блок регенерации железа (4) аэрационные емкости, предназначенные для окисления FeS кислородом воздуха до молекулярной серы $S°$ и гидроксида железа $Fe(OH)_3$.

Блок отделения осадка (5) – отстойники и центрифуги, предназначенные для извлечения остаточной серы из раствора $Fe_2(SO_4)_3$, который направляется в блок 1 технологии.

Применение данной схемы, позволит добиться выделения сероводорода из газовой фазы без подкисления воды; с получением товарной серы, которую возможно в дальнейшем использовать для утилизации технических отходов; обеспечит отсутствие технологических выбросов в окружающую среду, что особенно важно для ГеоТЭС.

В развитие известных методов катализа с учётом химического состава высокотемпературных геотермальных источников предлагается следующая технологическая схема обезвреживания сероводорода, представленная на рисунке 3, методом железо-каталитического окисления кислородом воздуха в присутствии гидроксида железа, многократно повторно используемого и находящегося в замкнутом технологическом цикле.

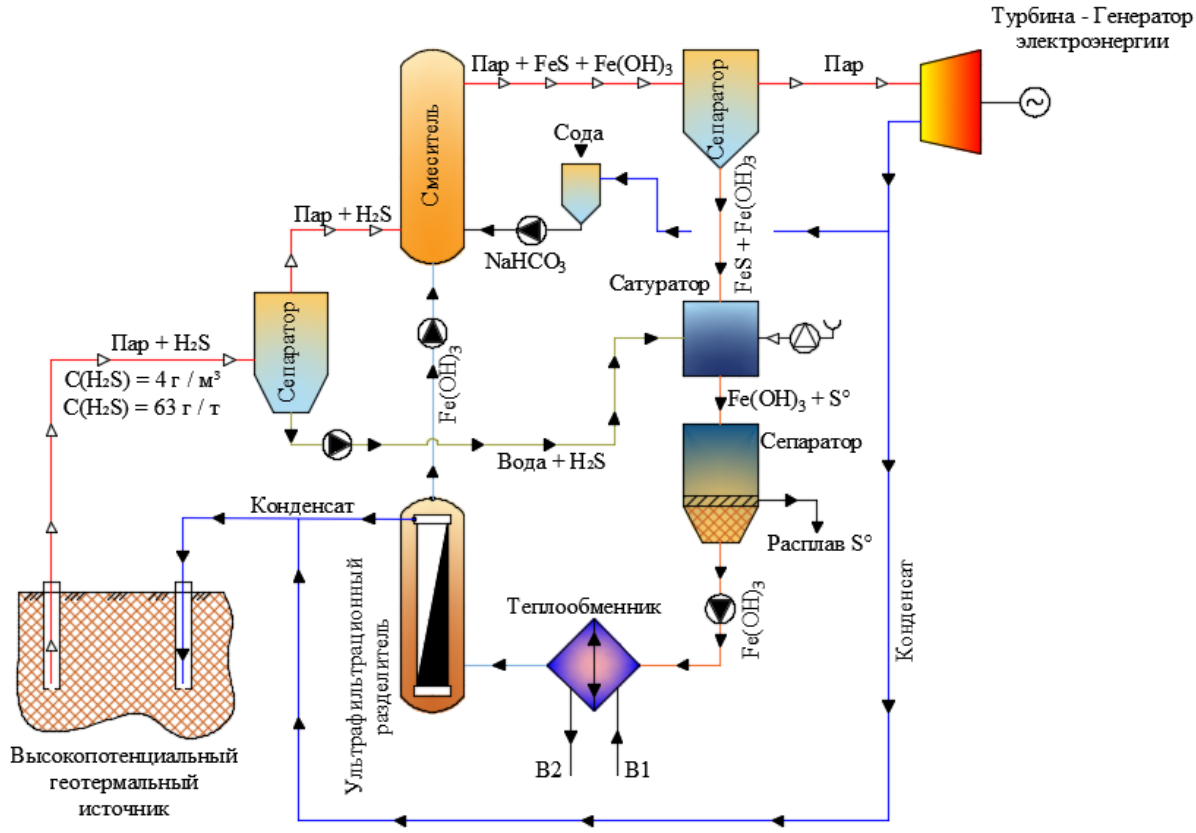


Рисунок 3. **Технологическая схема обезвреживания сероводорода на ГеоТЭС высокотемпературных геотермальных источников методом железо-каталитического окисления кислородом воздуха в присутствии гидроксида железа**

ВЫВОДЫ

Приведена классификация геотермальных вод РФ по генетическим типам, а также по физическим и биохимическим критериям температурных границ. Показано, что одним из самым опасных коррозионно-агрессивных компонентов в термальных водах является сероводород.

Предложена технологическая схема обезвреживания сероводорода на ГеоТЭС методом железо-каталитического окисления кислородом воздуха в присутствии гидроксида железа. Применение данной схемы, позволит добиться обезвреживания сероводорода из парогазовой фазы высокотемпературных геотермальных источников с получением товарной серы, которую возможно в дальнейшем использовать как товарный продукт; а также обеспечить отсутствие технологических выбросов в окружающую среду, что особенно важно для ГеоТЭС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Натанов Х.Х. Подготовка геотермальных вод к использованию – Москва: Стройиздат, 1980. 80 с.

2. Алхасов А.Б. Возобновляемая энергетика. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2012. 256 с.
3. Справочное руководство гидрогеолога. 3-е изд., перераб. и доп. Т. 1 / В.М. Максимов, В.Д. Бабушкин, Н.Н. Веригин и др. Под ред. В.М. Максимова. – Л., Недра, 1979. 512 с.
4. Курорты СССР / под ред. С.В. Курашова, Н.Е. Хрисанфова, Л.Г. Гольдфайля. – М., 1951. 504 с.
5. Алхасов, А.Б. Возобновляемые источники энергии: учебное пособие / А.Б. Алхасов – Москва: Издательский дом МЭИ, 2016.
6. Энергетические установки на базе использования геотермальных источников энергии / Ефимов Н.Н., Паршуков В.И., Ощепков А.С., Рыжков А.В., Блохин Э.Е., Фесенко Л.Н., Черкесов А.Ю., Русакевич И.В. // Геотермальная вулканология, гидрогеология, геология нефти и газа» (Geothermal Volcanology Workshop 2022). Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием. – Петропавловск-Камчатский, 2022. С. 18–23.
7. Исследование продолжительности регенерации гидроксида железа (III) в статических условиях при железо-каталитическом окислении сероводорода природных вод / Л.Н. Фесенко, А.Ю. Черкесов, С.А. Щукин и др. // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство и строительные технологии. Сборник статей 79-ой всероссийской научно-технической конференции. Под ред. М.В. Шувалова, А.А. Пищулева, А.К. Стрелкова. Самара, 2022. С. 644–653.
8. Исследование электрохимического окисления сероводородсодержащих газовых смесей летучих углеводородов / Л.Н. Фесенко, А.Ю. Черкесов, Р.В. Исраилов // Инженерный вестник Дона. 2021. № 8 (80). С. 391–407.

УДК 628.387:628.179.2

НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА КРУПНОТОННАЖНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Н.Г. Вурдова
АО «ГМС Нефтемаш», г. Тюмень, Россия

Системы водоподготовки и водоотведения предприятий нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности относятся к крупнотоннажными и зачастую не являются энергоэффективными и малоотходными. В этой связи стоят задачи по разработке и внедрению экономически доступных и экологически приемлемых технологий очистки сточных вод (СВ), утилизации отходов, регенерации осадков, повторного использования очищенной воды с организацией замкнутых водооборотных систем (ЗВС).

Современные технологии и техника могут обеспечить получение воды любой заданной степени чистоты из любой сточной, т.е. создание ЗВС тормозится только экономическими причинами [1]. Поэтому научно-техническую задачу создания экономически обоснованных ЗВС следует сформулировать следующим образом: затраты на регенерацию воды из СВ и затраты на доведение образующихся при этом осадков до товарного продукта или вторичного сырья должны быть ниже суммарных затрат на водоподготовку и очистку СВ до показателей, позволяющих сбрасывать последние в водные объекты [2]. В этом суть *принципа эколого-экономической сбалансированности* (ПЭЭС).

Строительство современных производственных установок обуславливает пересмотр всего водного хозяйства предприятия в связи с новыми, как правило, более жесткими требованиями к качеству используемой воды, так и к изменением количества и состава СВ предприятия.

На основании приведенного в работе критического анализа методов и технологий очистки СВ предприятий отрасли с позиций организации замкнутых систем водного хозяйства наиболее реальной видится возможность поэтапной реализации проектов по реконструкции или строительству водоочистных сооружений. За счет модернизации отдельных блоков доочистки, например, сорбционных фильтров и внедрения мембранных методов обессоливания, получают техническую воду вплоть до глубоко обессоленной. При этом поиск и применение новых фильтрующих материалов в качестве загрузок осветительных и сорбционных фильтров на основе природных адсорбентов, а также использование нестационарного электрического тока (ИЭТ) позволяет добиться необходимого эколого-экономического баланса.

Традиционная схема обработки СВ следующая: усреднение > механическая и физ.-хим. очистка > очистка на БХО > 2-х ступенчатое фильтрование: осветлительное и сорбционное > обезвоживание и обезвреживание жидких отходов КОС [3]. В случае организации ЗВС добавляется стадия обессоливания. Для максимального возврата очищенной воды в производственный процесс критичными являются, как раз, стадии доочистки. Поэтому идет поиск материалов, увеличивающих грязеемкость фильтров, обладающих высокой механической прочностью, химической стойкостью и в тоже время более развитой, в сравнении с пеком, удельной поверхностью и большей пористостью. Таким материалом, сочетающим фильтрующие и сорбционные свойства, на наш взгляд, могут служить различные природные адсорбенты, а именно дисперсные кремнеземы (опоки) [4].

Опоки имеют соизмеримую эффективность в сравнении с другими известными природными и искусственными материалами. Проведено исследование физико-химических и механических свойств опоки для

применения в процессах водоподготовки и очистки сточных вод. Исследованы химический состав и структурно-сорбционные характеристики опоки, определены: удельная поверхность, суммарный объем пор и их размеры, природа адсорбционных явлений и др. Изучена кинетика и динамика сорбции на опоке. С практической точки зрения важно иметь адсорбент, обладающий высокой емкостью и удерживающей способностью, адсорбент должен легко поддаваться регенерации, не увеличивать эксплуатационные расходы, а лучше уменьшить (по сравнению с традиционными загрузками), чтобы быть экономически рентабельным. Именно в этом направлении была поставлена исследовательская работа (табл.1).

Таблица 1. **Очистка СВ на разных типах фильтрующих сред**

Показатель	Концентрация в исходной воде, мг/дм^3	Концентрация в очищенной воде, мг/дм^3		
		песок	уголь	опока
Взвешенные вещества	35,00	2,30	–	3,00
$БПК_{пол}$	11,20	9,80	3,10	3,44
Аммоний-ион (по NH_4^+)	0,42	0,75	1,20	0,15
Нитрит-ион (по NO_2^-)	0,31	–	0,31	0,24
Нитрат-ион (NO_3^-)	38,40	5,10	6,80	25,10
Сероводород и сульфиды	0,05	–	0,01	0,05
АПАВ	0,34	0,015	0,009	0,005
Фосфат-ион (PO_4^{3-})	1,55	0,26	0,70	0,20

На основе полученных данных были рассчитаны технологические параметры процесса доочистки производственных СВ: размеры и количество фильтров, объем загрузки, скорости и количество промывок и т.п. Особо следует отметить, что применение опоки в качестве фильтрующего материала вместо песка позволило уменьшить объем промывной воды и частоту промывок; фильтроцикл увеличился на 20 %, уменьшился типоразмер насосов. Все это повлияло на энергоэффективность станции в целом [4].

В качестве метода обессоливания очищенных сточных вод был исследован электродиализ (ЭД) (табл. 2). Известно, что основным сдерживающим фактором его применения являются высокие затраты электроэнергии. Для решения этой задачи был использован импульсный ток (ИЭТ) однополупериодного выпрямления (без обратного импульса) определенной частоты, *f*, и скважности импульсов, *s* [5].

Полученные данные позволили разработать рекомендации по расчету

технологических ЭД и технологическую схему доочистки сточных вод.

Таблица 2. **Режимы очистки модельных растворов и СВ НПЗ электродиализом**

Раствор	$J_{ср}$,мА/см^2	f, Гц	s	τ, мин	W, кВт.ч/м^3
На постоянном токе					
Модельный раствор *	5	–	–	240	1,9
	10	–	–	200	2,5
	15	–	–	165	3,0
Сточные воды НПЗ	10	–	–	380	3,5
На импульсном токе					
Модельный раствор *	5	500	2	90	1,4
	10	500	2	83	1,5
	15	500	2	78	1,8
Сточные воды НПЗ	10	500	2	125	1,8

ВЫВОДЫ

Очистка сточных вод промышленного предприятия является весьма дорогостоящим мероприятием. Разработаны методы, позволяющие найти оптимальный эколого-экономический баланс при решении задач максимального использования очищенной воды на производстве, повышения экологической безопасности предприятия и соблюдения стандартов комплексного использования и охраны водных ресурсов [6].

ЛИТЕРАТУРА

1. Водное хозяйство промышленных предприятий: справочные материалы / под ред. В.И. Аксенова. М.: Теплотехник, 2005. Кн.1. 630 с.; Кн.4.2007. 239 с.; Кн. 6. 2010. 257 с.
2. Vurdova, N.G. (2024). Environmental and Economic Balance in the Refurbishment of the Sewage Treatment Plant // ICCATS 2023. Lecture Notes in Civil Eng.,v.400. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-47810-9_43.
3. Воронов Ю.В., Яковлев С.В. Водоотведение и очистка сточных вод. М.: АСВ, 2006. 704 с.
4. Установка для очистки производственно-дождевых сточных вод / Вурдова Н.Г. и др. // Патент на изобретение. №2812328 от 26.05.2023.
5. Вурдова Н.Г., Фомичев В.Т. Электродиализ природных и сточных вод: Уч. пособие по спец. «Строительство». М.: АСВ, 2001. 144 с.
6. Повышение эффективности систем оборота воды нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий (ч. 2) / Вурдова Н.Г., Фесенко Л.Н. // Водоснабжение и санитарная техника. 2023. № 10. С. 37–47.

УДК 628.164+165

РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РЕАГЕНТНОГО УМЯГЧЕНИЯ ДОНСКОЙ ВОДЫ

А.Ю. Черкесов, С.А. Щукин, Н.И. Князева
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
И.А. Тронь, Г.В. Поповьян
АО «Ростовводоканал», г. Ростов-на-Дону, Россия

В статье представлены результаты лабораторных исследований реагентного умягчения воды р. Дон, выполненных в рамках научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы на тему: «Разработка технологии удаления избыточной жёсткости и солесодержания из Донской воды в условиях водоподготовки на очистных сооружениях АО «Ростовводоканал»». Приведены результаты по определению практической значимости реагентных методов умягчения воды, необходимых доз реагентов, а также их эффективности.

В большинстве крупных населённых пунктов Ростовской области, где в качестве источника водоснабжения выступает река Дон, в последние годы всё чаще наблюдаются превышение в питьевой воде показателей – общей жёсткости и минерализации, что связано с рядом природных и антропогенных факторов [1]. Решение данной проблемы в условиях действующих водопроводных очистных сооружений, весьма проблематично. Большинство из построенных в советские годы площадок водопроводных очистных сооружений изначально предусматривали только процессы осветления, отстаивания, фильтрования и обеззараживания воды. Реконструкция или модернизация таких сооружений водопровода под процессы умягчения или обессоливания сопряжена с необходимостью выделения дополнительных площадей под новое строительство и оборудование. В условиях сложившейся плотной застройки, как, например, в г. Ростове-на-Дону, решение проблемы умягчения и обессоливания воды в границах существующих ВОС становится крайне сложной задачей, требующей тщательной проработки и рассмотрения различных подходов.

Так, в 2023 году в рамках выполнения научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы на тему: «Разработка технологии удаления избыточной жёсткости и солесодержания из донской воды в условиях водоподготовки на очистных сооружениях АО «Ростовводоканал»» компанией ООО НПП «ЭКОФЕС» были выполнены экспериментальные исследования реагентного умягчения донской воды, рассматриваемые в качестве одного из возможных

направлений решения проблемы.

Цель исследований заключалась в установлении практической возможности реагентных методов умягчения воды, необходимых доз реагентов, а также их эффективности.

Объектом исследований служила модельная вода с исходным составом, соответствующим донской воде в период половодья. Физико-химические показатели модельной воды представлены в таблице 1.

Таблица 1. **Физико-химический состав донской воды, принятый для исследований**

№	Наименование показателя	Концентрация	
		мг/дм^3	мг-экв/дм^3
1	$Na^+ + K^+$	230,0	9,2
2	HCO_3^-	281,0	4,6
3	SO_4^{2}	409,0	8,52
4	Cl^-	244,0	6,88
5	Общая минерализация	1320	–
6	Общая жёсткость	–	10,8
7	pH, ед.	8,1	
8	t,°C	22,0	

Умягчение донской воды выполняли с применением трёх методов реагентной обработки, принятых наиболее целесообразными по результатам литературного анализа отечественных [2–4] и зарубежных источников, а именно:

- едко-натровое умягчение;
- известково-содовое умягчение;
- известковое умягчение.

Для проведения лабораторных исследований был собран стенд (рис. 1), включающий в себя: лабораторный стакан (1) объёмом 1 дм^3; магнитную мешалку (2) ММ-3М; бюретки для дозирования реагентов (3) объёмом 100 см^3; штатив для бюреток (4); электрод стеклянный комбинированный (5) ЭСК-10317 для измерения pH; комбинированный датчик УЭП и температуры (6) ДКВ 1; комбинированный иономер (7) «АНИОН-4100».

В ходе исследований в лабораторный стакан наливали 1 дм^3 модельной воды и ставили на магнитную мешалку с интенсивным перемешиванием. Далее, в зависимости от рассматриваемого метода, вводили реагенты и определяли качественный состав воды после осаждения.

Для проведения едко-натрового умягчения воды в качестве реагента использовали 2Н раствор едкого натра технического ГОСТ 2263-79. При

известково-содовом умягчении воды в качестве подщелачивающих реагентов использовали 6,5 % раствор гидроксида кальция (II) ГОСТ 9262-77 и 2Н раствор карбоната натрия ГОСТ 32802-2014. При известковом умягчении в качестве реагента использовали 6,5 % раствор гидроксида кальция (II) ГОСТ 9262-77.

В качестве коагулянта во всех экспериментах использовали раствор 1 %-го (по Al_2O_3) оксихлорида алюминия марки «Аква-Аурат™30», способного к гидролизу с образованием крупных хлопьев $Al(OH)_3$ в щелочной среде. Для подкисления использовали 0,1Н раствор соляной кислоты ГОСТ 857-95.

Реагенты вводили в последовательности: подщелачивающий реагент – коагулянт. Подкисление воды до нормативов СанПиН по величине pH выполняли после отстаивания.

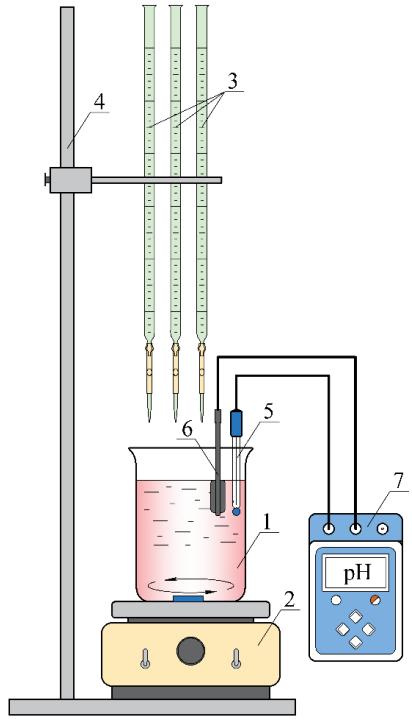


Рисунок 1. **Лабораторный стенд для реагентного умягчения воды:**
1 – лабораторный стакан; 2 – магнитная мешалка; 3 – бюретки для дозирования раствора реагента; 4 – штатив; 5 – электрод-pH; 6 – датчик УЭП и температуры; 7 – комбинированный иономер

Дозирование реагентов в модельную воду осуществляли из бюреток с интервалом введения реагентов 2 минуты в ранее принятой последовательности. После введения всех предусмотренных опытом реагентов отключали механическое перемешивание и в течение 1,5 мин. выполняли отдувку CO_2 через керамический аэратор. Расход воздуха во всех экспериментах составлял 1,0 л/мин. После отдувки углекислого газа содержимое лабораторного стакана переливали в цилиндр объёмом 1 $дм^3$ и

на протяжении 1 минуты проводили медленное перемешивание, после чего содержимое отстаивали в течение 0,5 ч.

По истечении времени отстаивания надосадочную воду сифоном переливали в лабораторный стакан и отфильтровывали через обеззоленный фильтр «синяя лента» на воронке Бюхнера. В полученном фильтрате определяли качественный состав по основным показателям.

Определение дозы кислоты для корректировки pH в полученном фильтрате выполняли дозированием 0,1 Н раствора соляной кислоты.

Для моделирования температурных условий донской воды в зимний (+0,5 °С) и летний периоды (+26 °С) исходную модельную воду, а также цилиндры во время отстаивания помещали в крио-термостат.

При едко-натровом умягчении в донскую воду последовательно дозировали щелочной реагент – едкий натр (NaOH) и коагулянт оксихлорид алюминия марки Аква-Аурат™30 ($Al_2(OH)_5Cl$), после чего отфильтровывали и подкисляли соляной кислотой (HCl), необходимой для стабилизационной обработки воды и регулирования pH среды на выходе.

При добавлении в воду раствора едкого натра происходит смещение pH среды в сильнощелочную область pH от 10,0 до 11,5 и в воде начинается интенсивное выпадение солей кальция и магния в виде малорастворимых соединений карбоната кальция и гидроксида магния.

Определение рабочей дозы едкого натра устанавливали путем доведения pH среды раствором 2Н едкого натра до установленных значений, 9,5; 10,0; 10,5; 11,0; 11,5 единиц. На начальном этапе дозу коагулянта принимали расчетную, равную 45 мг/дм^3 (по Al_2O_3). По ушедшему объёму раствора щелочи на доведение pH до установленных значений определяли фактическую дозу NaOH.

Исследования проводили при температуре воды 0,5 и 26,0 °С. Результаты исследований представлены на рисунках 2–4.

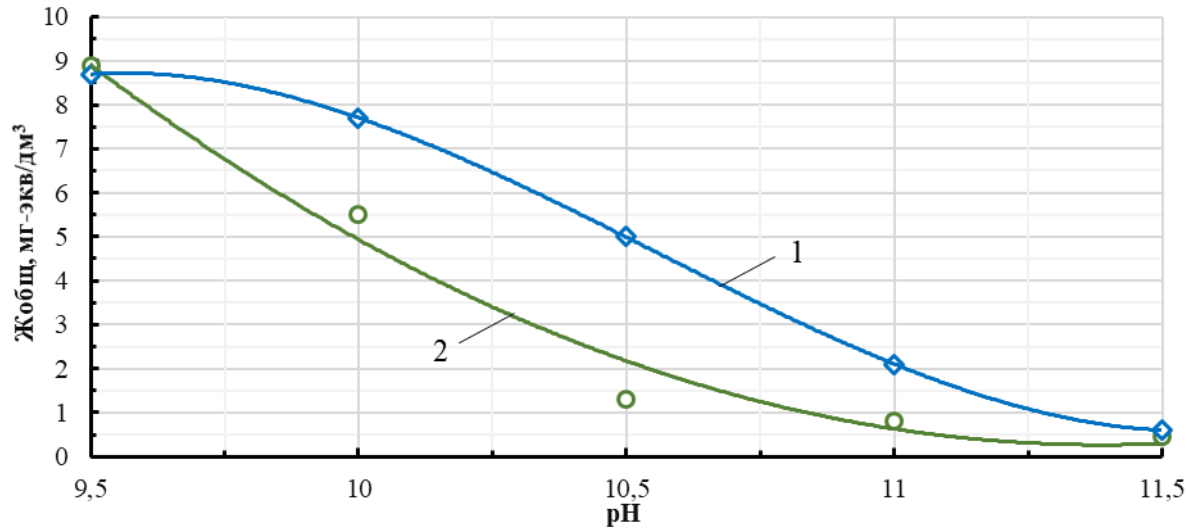


Рисунок 2. **Зависимость остаточной жёсткости от pH среды при температуре модельной воды, °С:** 1 – +0,5; 2 – +26,0

Согласно ранее выполненным расчетам, для реализации технологии умягчения экономически более выгодно осуществлять обработку двумя потоками с умягчением и без умягчения воды с последующим её смешением. Для сокращения объёмов сооружений целесообразным является снижение общей жесткости до значений, не превышающих 1,0 °Ж.

Согласно полученным графикам, наилучший результат был достигнут при pH воды в диапазоне от 11,0 до 11,5. При pH от 9,7 до 11,0 существенное влияние оказывает температура среды. Эффект очистки в данном случае при минимальной температуре воды снижался приблизительно на 12,0 %.

Значениям pH 11,0 и 11,5 ед. соответствуют дозы NaOH, равные для воды с температурой 26,0 °С – 464 и 528 мг/дм^3, для воды с температурой 0,5 °С – 356 и 456 мг/дм^3 соответственно (рис. 2). Величина дозы NaOH при этом составляла 466 мг/дм^3.

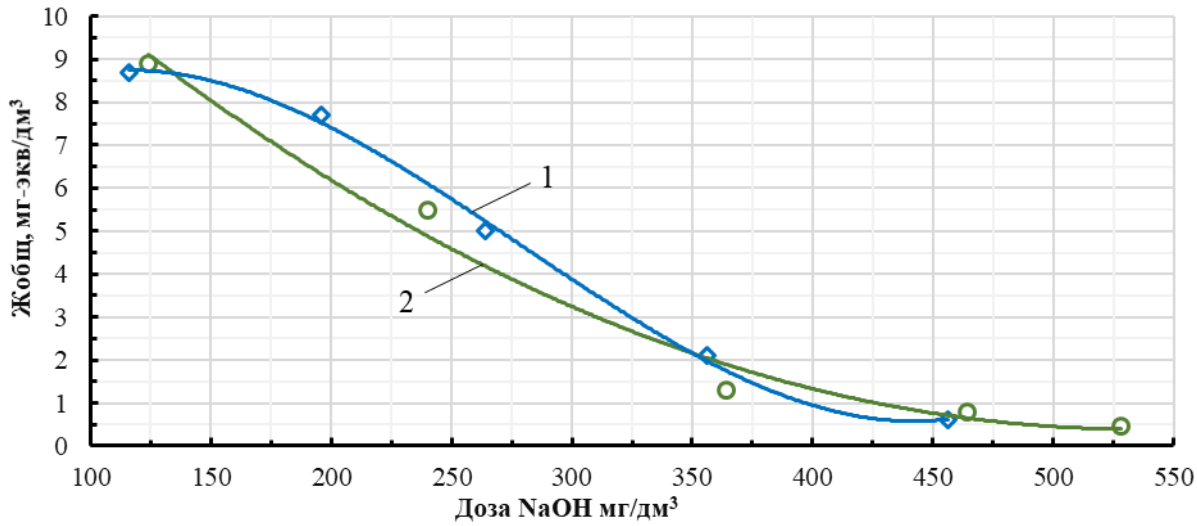


Рисунок 3. **Зависимость величины остаточной жёсткости от дозы NaOH при температуре модельной воды, °С:** 1 – +0,5; 2 – +26,0

Снижение температуры среды при достижении целевого значения pH приводило к уменьшению дозы щелочи, но при этом и снижению эффекта умягчения. При определении остаточного алюминия в воде (рис. 4) было установлено, что его значения в холодной воде не превышают ПДК при дозе щёлочи 264 мг/дм^3, в тёплой – при дозах 240, 364 и 464 мг/дм^3.

В результате определения общей минерализации в умягчённой воде было установлено, что при доведении общей жёсткости модельной воды до значений 1,0 °Ж прирост солесодержания может составлять от 143 до 400 мг/дм^3, что является недопустимым в условиях изначально превышающей общей минерализации в донской воде.

При известково-содовом умягчении в воду вводят одновременно или поочередно растворы извести ($Ca(OH)_2$) и соды (Na_2CO_3).

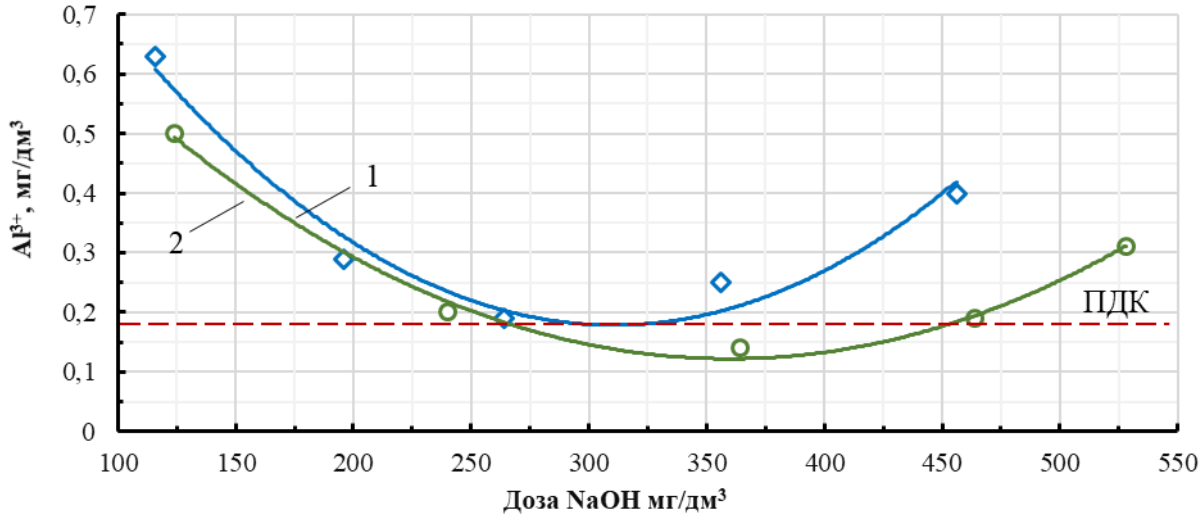


Рисунок 4. **Зависимость концентрации остаточного алюминия от дозы NaOH при температуре модельной воды, °С:** 1 – +0,5; 2 – +26,0

Для определения рабочих доз реагентов при известково-содовом умягчении воды были проведены экспериментальные исследования пробного умягчения модельной донской воды с добавлением расчётных доз соды (381,6 мг/дм^3) и коагулянта (45 мг/дм^3 по Al_2O_3), с доведением pH среды раствором гашеной извести в область от 9,5 до 11,5 ед.

По ушедшему объёму раствора извести на доведение pH до принятых значений определяли фактическую дозу $Ca(OH)_2$. Исследования проводили при температуре воды 0,5 и 26,0 °С. Результаты исследований представлены на рисунках 5–7.

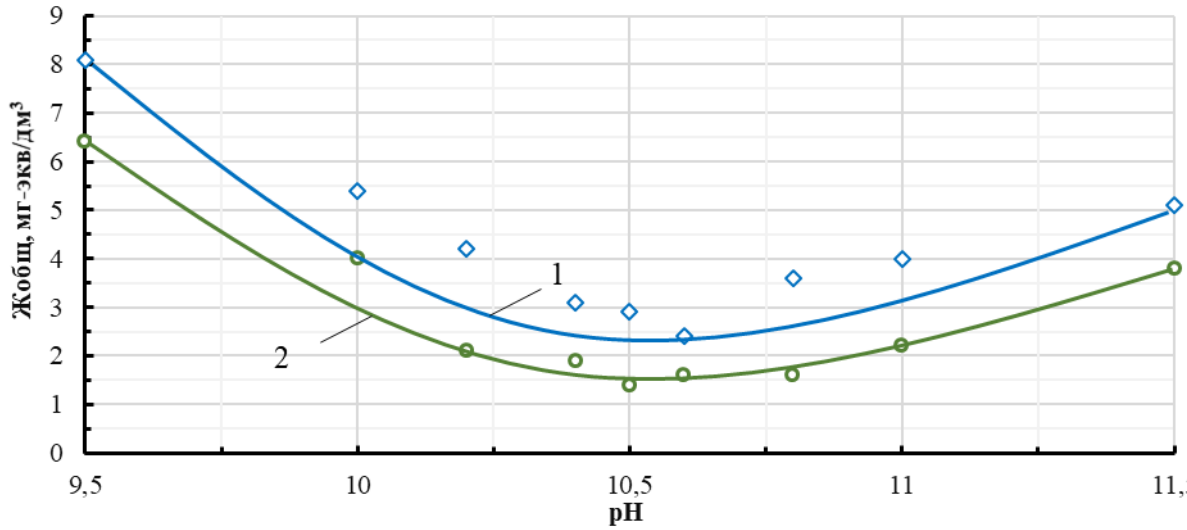


Рисунок 5. **Зависимость остаточной жёсткости от pH среды при температуре модельной воды, °С:**1 – +0,5; 2 – +26,0

Согласно полученным данным, представленным на рисунках 4 и 5, в экспериментах с расчётными дозами удалось снизить общую жёсткость до 1,4 – 2,0 мг-экв/дм^3 при температуре + 26,0 °С и до 2,4 – 2,9 мг-экв/дм^3 при

температуре + 0,5 °С.

Фактическая доза извести, необходимая для доведения pH до 10,5 единиц составила 364,8 мг/дм^3.

Определение остаточного алюминия в умягчённой воде (рис. 7) показало, что его значения, не превышающие ПДК, при температуре + 26 °С были достигнуты в диапазоне доз извести от 300 до 400 мг/дм^3. При снижении температуры модельной воды до + 0,5 °С после умягчения остаточный алюминий в воде при дозе извести от 320 до 360 мг/дм^3 составил 0,21 – 0,22 мг/дм^3.

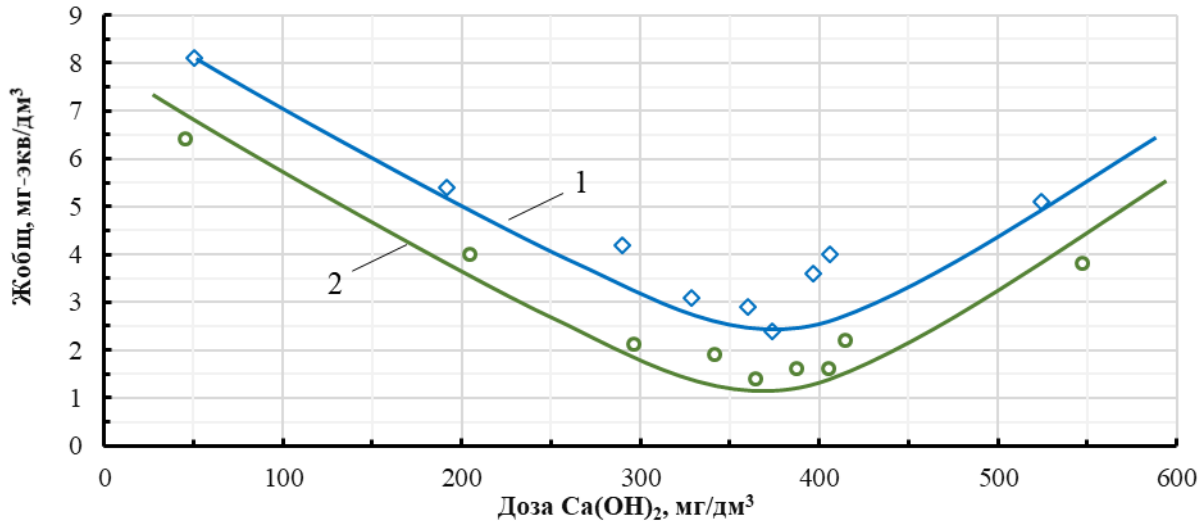


Рисунок 6. **Зависимость остаточной жёсткости от дозы $Ca(OH)_2$ при температуре модельной воды, °С:** 1 – +0,5; 2 – +26,0

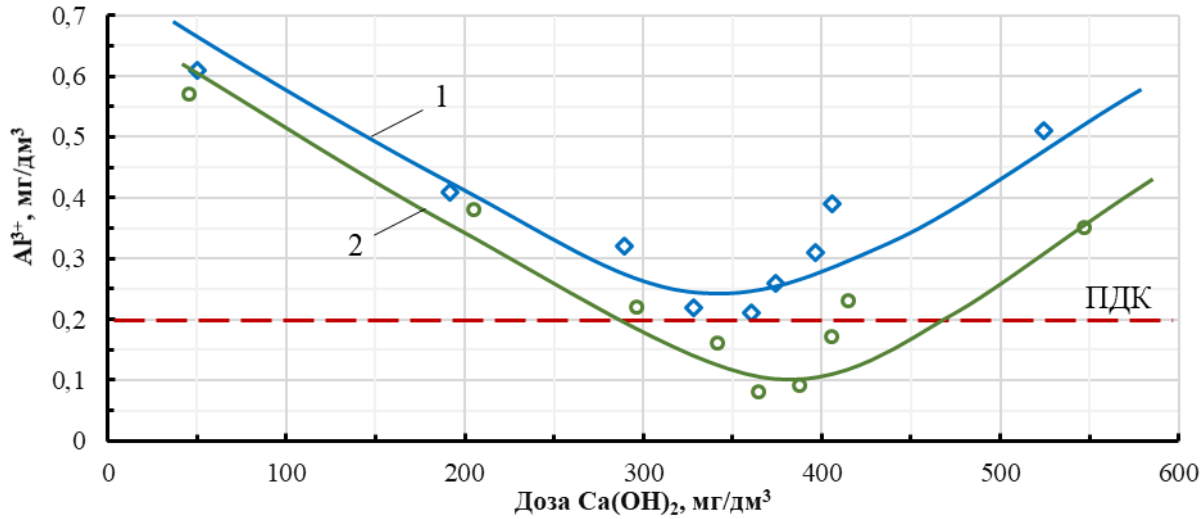


Рисунок 7. **Зависимость остаточного алюминия от дозы $Ca(OH)_2$ при температуре модельной воды, °С:** 1 – +0,5; 2 – +26,0

Определение общей минерализации в воде умягчённой известково-содовым методом показало, что во всём диапазоне доз реагентов наблюдалось снижение солесодержания относительно исходного значения.

Наилучший результат по минерализации 1090 и 1063 мг/дм^3 был достигнут при дозах извести 415 и 547 мг/дм^3 соответственно. Однако в обоих случаях ПДК для хозяйственно-питьевой воды по общему солесодержанию достигнуто не было.

Для достижения значения целевой жёсткости умягчённой воды, с учётом её последующего разбавления, не превышающей 1,0 °Ж, была проведена вторая серия экспериментальных исследований с увеличением дозы соды в двух температурных режимах, аналогично предыдущим экспериментам.

Исследовали интервал доз соды от расчётного значения 400 мг/дм^3 до значения, при котором остаточная жёсткость не превышала бы 1,0 °, с шагом дозы соды в 20 мг/дм^3. Доза коагулянта составляла 45 мг/дм^3 (по Al_2O_3). Доза извести при доведении pH до 10,5 ед. составляла при температуре + 26,0 °С в пределах 320 – 340 мг/дм^3, при температуре + 0,5 °С в пределах 270 – 296 мг/дм^3. Результаты исследований представлены на рисунке 8.

Согласно графикам, приведённым на рисунке 8, остаточная жёсткость, не превышающая 1,0 °Ж, в тёплой воде была достигнута при дозах соды 440 – 480 мг/дм^3. При температуре + 0,5 С положительного результата достигнуто не было.

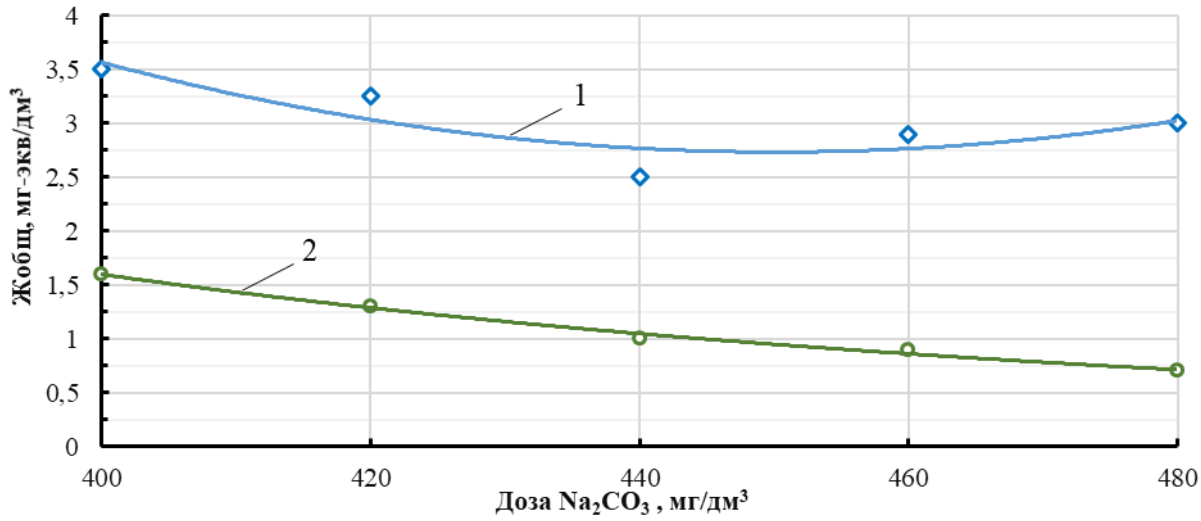


Рисунок 8. **Зависимость остаточной жёсткости от дозы соды при температуре модельной воды, °С:** 1 – +0,5; 2 – +26,0

Определение в проведённой серии экспериментов остаточного алюминия в умягчённой воде показало, что во всех случаях его значение не превышало ПДК = 0,2 мг/дм^3 (рис. 9).

При определении остаточного солесодержания было установлено, что не зависимо от дозы соды его значение в умягченной воде находилось в диапазоне от 1052 до 1096 мг/дм^3, что соответствовало результатам ранее проведённых экспериментов.

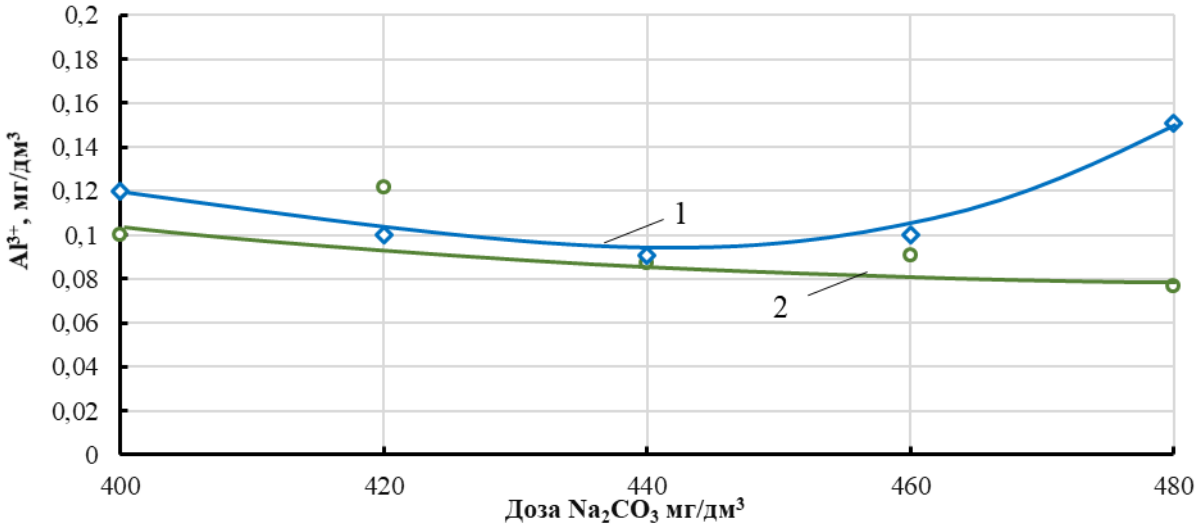


Рисунок 9. **Зависимость остаточного алюминия от дозы Na_2CO_3 при температуре модельной воды, °С:** 1 – +0,5; 2 – +26,0

Таким образом, на основании проведенных экспериментальных исследований известково-содового умягчения донской воды в период наибольшего содержания солей жёсткости и минерализации оптимальными дозами реагентов следует считать: коагулянта – 45 мг/дм^3 по Al_2O_3; извести – 300 ÷ 340 мг/дм^3, соды – 440 ÷ 460 мг/дм^3.

Определение рабочей дозы извести выполняли путем доведения pH среды обрабатываемой воды раствором 6,5 % $Ca(OH)_2$ до установленных значений, 9,5; 10,0; 10,5; 11,0; 11,5 ед. Дозу коагулянта принимали расчетную, равную 45 мг/дм^3 (по Al_2O_3). По ушедшему объёму раствора щелочи на доведение pH до установленных значений определяли фактическую дозу извести.

Исследования проводили при температуре воды + 0,5 °С и + 26,0 °С. Результаты исследований представлены на рисунках 10–12.

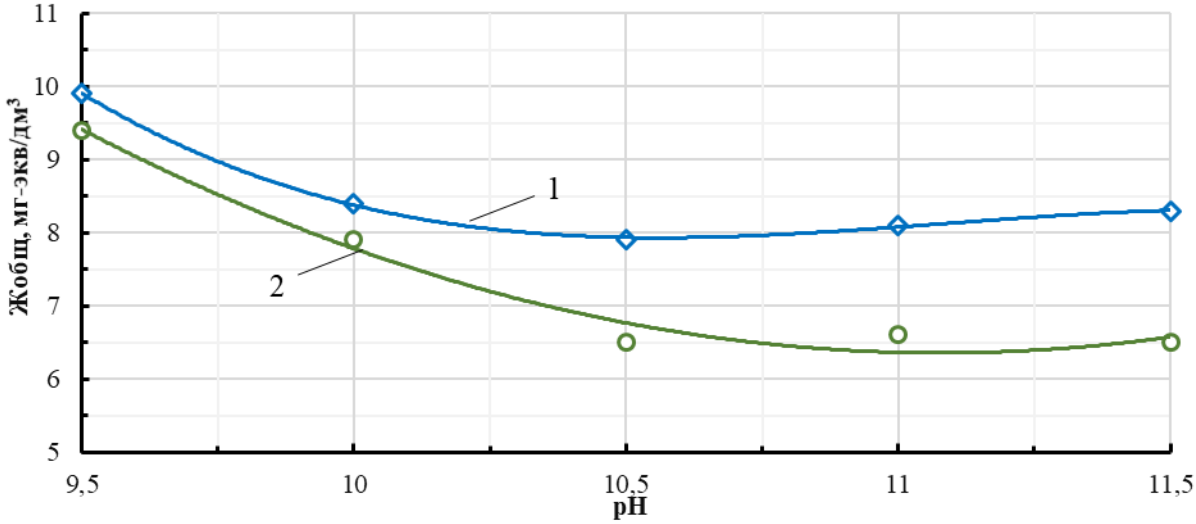


Рисунок 10. **Зависимость остаточной жёсткости от pH среды при температуре модельной воды, °С:** 1 – +0,5; 2 – +26,0

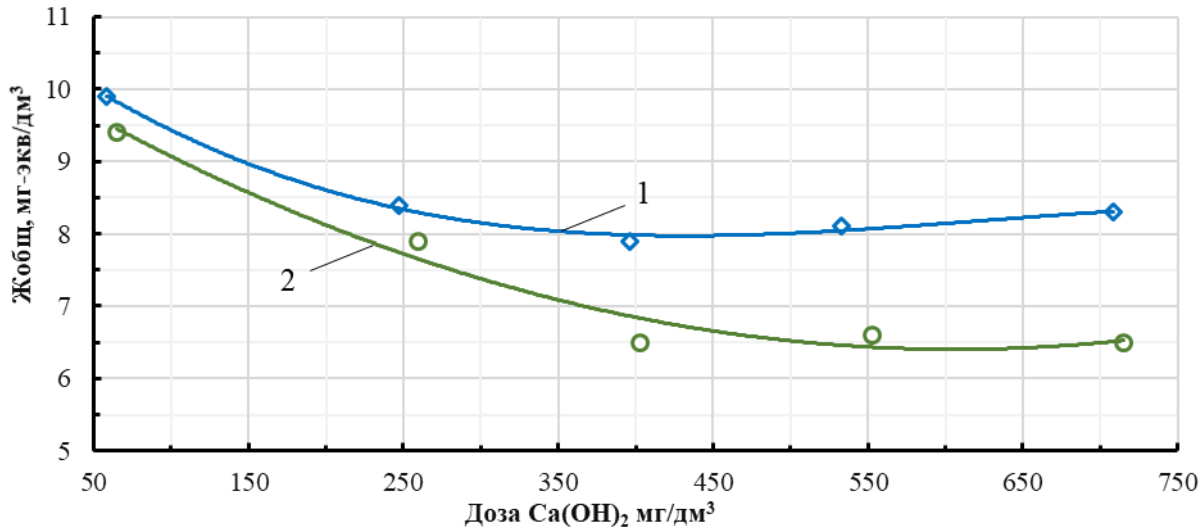


Рисунок 11. **Зависимость остаточной жёсткости от дозы извести при температуре модельной воды, °С:** 1 – +0,5; 2 – +26,0

Согласно полученным графикам, представленным на рисунке 10, наилучший результат, был достигнут при температуре воды + 26 °С и pH воды в диапазоне от 10,5 до 11,5 ед. Жёсткость в обработанной воде составила 6,5 – 6,6 °Ж. При этом доза извести была равной 400 мг/дм^3. Последующее увеличение дозы извести дополнительного эффекта не дало.

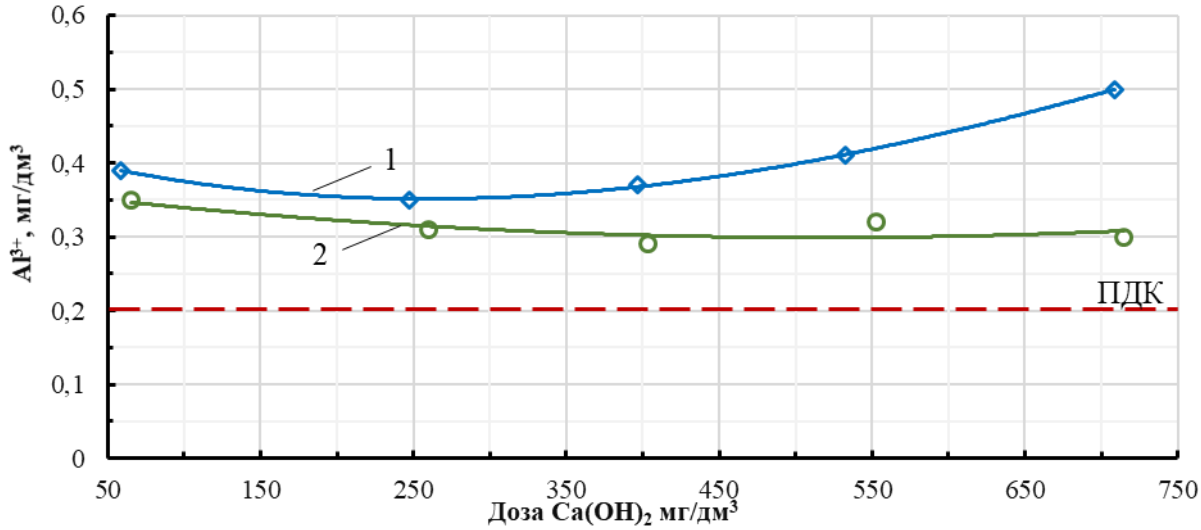


Рисунок 12. **Зависимость остаточного алюминия от дозы NaOH при температуре модельной воды, °С:** 1 – +0,5; 2 – +26,0

Снижение температуры среды при достижении целевого pH воды, как и в предыдущих экспериментах, способствовало незначительному снижению дозы щелочи и, как следствие, снижению эффекта умягчения.

При определении остаточного алюминия в воде (рис. 12) было установлено, что его значения независимо от температуры превышают ПДК. В среднем остаточный алюминий находился в пределах 0,3 ÷0,4 мг/дм^3.

В результате определения общей минерализации в умягчённой воде независимо от температуры среды при pH от 10,5 до 11,5 ед. было зафиксировано снижение общей минерализации в среднем на 160 – 180 мг/дм^3.

Из результатов экспериментального изучения известкового умягчения воды и определения рабочих доз реагентов следует, что данным методом возможно снизить остаточную жёсткость и солесодержание воды до требуемых нормативных значений, однако его эффективность достаточно мала.

Таблица 2. **Результаты исследования методов умягчения донской воды**

Метод умягчения	Дозируемые реагенты	Дозы реагентов при t воды 0,5 °С, мг/дм^3	Дозы реагентов при t воды 26,0 °С, мг/дм^3	Исходное значение $Ж_{общ}$, мг/дм^3	Итоговое значение $Ж_{общ}$, мг/дм^3		Изменение солесодержания, Δ, мг/дм^3
					0,5 °С	26 °С	
Едко-натровый	Едкий натр	350–460	360–530	10,8	0,6–2,0	0,45–1,3	от + 143 до + 400
	Коагулянт	45 (по Al_2O_3)					
Известково-содовый	Известь	300–340	300–340		2,4–3,6	0,7–2,1	от – 268 до – 284
	Сода	320–340	360–380				
	Коагулянт	45 (по Al_2O_3)					
Известко-вый	Известь	300–390	400–550		7,9–8,1	6,5–6,6	от – 160 до – 180
	Коагулянт	45 (по Al_2O_3)					

ВЫВОДЫ

В результате проведения лабораторных исследований были экспериментально определены рабочие дозы реагентов и эффективность умягчения и обессоливания едко-натровым, известковым и известково-содовым методом для донской воды с качественным составом, моделирующим период половодья.

По результатам исследований сделаны следующие выводы:

1. Едко-натровое умягчение позволяет выполнить умягчение части обрабатываемой воды с последующим её разбавлением и довести общую жесткость до нормативных требований. Однако, обработка воды данным методом ведет к увеличению общего солесодержания воды и не может в комплексе решить поставленную задачу.
2. Известково-содовое и известковое умягчение позволяют выполнить снижение ионов жёскости в части обрабатываемой воды и довести общую жесткость до нормативных требований. Несмотря на частичное снижение общего солесодержания обрабатываемой воды (не более чем на 20 %), в период максимальной жёсткости и минерализации донской воды оба метода не могут в комплексе решить поставленную задачу и довести как общую жёсткость, так и общее солесодержание до требований СанПиН.

Таким образом применение рассмотренных методов реагентной обрпботки донской воды в условиях водоподготовки на очистных сооружениях АО «Ростовводоканал»» может быть применено только для умягчения воды, либо для умягчения и обессоливания воды в комбинации с безреагентыми методами, например, нанофильтрацией или обратным осмосом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сезонное изменение жёсткости воды в нижнем течении р. Дон / Н.И. Князева, Р.В. Федотов, С.А. Щукин // Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2023»: Материалы XIV Межд. науч.-практ. конф., г. Кисловодск, 18–21 апреля 2023 г. / Юж.-Рос гос. политехн. ун-т. (НПИ) имени М.И. Платова – Новочеркасск: Лик, 2023. С. 270–277.
2. Кульский Л.А., Строкач П.П. Технология очистки природных вод: учебник,– Киев: Вища школа. Головное издательство, 1981. 328 с.
3. Павлинова, И.И. Водоснабжение и водоотведение: учебник и практикум для академического бакалавриата / И.И. Павлинова, В.И. Баженов, И.Г. Губий. – 5-е изд, перераб. и доп. – Москва: Юрайт, 2017. 380 с.
4. Водоподготовка: Справочник. /Под ред. д.т.н., действительного члена Академии промышленной экологии С.Е. Беликова. М.: Аква-Терм, 2007. 240 с.

УДК 628.16+

ВНЕДРЕНИЕ ПЕРЕДОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОЧИСТКИ ВОДЫ НА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ МУП ГОРОДА ХАБАРОВСКА «ВОДОКАНАЛ

К.В. Домнин, Е.Е. Архипова, В.М. Бессонов, Д.С. Алешко, Е.В. Дунаевская
МУП города Хабаровска «Водоканал», г. Хабаровск, Россия

В статье рассмотрены технические решения и технологии, применённые при проектировании и строительстве второй очереди Головных очистных сооружениях питьевого водоснабжения МУП города Хабаровска «Водоканал». Дано краткое описание основных сооружений.

Авторы представляют технические решения и технологии, применённые при проектировании и строительстве второй очереди Головных очистных сооружениях питьевого водоснабжения МУП города Хабаровска «Водоканал».

Головные очистные сооружения водопровода введены в строй в 1974 году. Построены были по типовому проекту 1965 года. К 1985 году, с вводом в эксплуатацию блока 100 тыс. м^3/сутки, их мощность составляла 250 тыс. м^3/сут.

С 2002 года началось финансирование проекта «Расширение и реконструкция водопровода г. Хабаровска». И с 2005 г. происходит поэтапный

пуск в эксплуатацию сооружений второй очереди (хлораторная, РЧВ № 4, скорые фильтры, отстойники, реагентное хозяйство, отстойники промывной воды, РУПВ, РУО), что позволило достичь производительности в 326 тыс. $м^3$/сутки по сырой воде.

В 2012 году также начато строительство блока 60 тыс. $м^3$/сутки. Схема очистки воды на всех блоках классическая, двухступенчатая, включает отстаивание воды на горизонтальных отстойниках со встроенными камерами хлопьеобразования и фильтрование на скорых безнапорных фильтрах. При разработке проекта второй очереди мы постарались применить самые современные приемлемые технологии, используемые при очистке воды. Это касалось как основных процессов (хлопьеобразвание, отстаивание, фильтрование), так и вспомогательных (приготовление, дозирование, смешение реагентов с водой).

КХО и отстойники. В КХО отстойников второй очереди установлены компактные малогабаритные рециркуляторы осадка. Предназначены они для образования более крупных и плотных хлопьев. Эффект достигается за счёт контакта поступающей в КХО воды с уже ранее образованными хлопьями.

Отстойники оборудованы тонкослойными модулями с заполнением по всей длине. Процент заполнения предварительно определялся в ходе исследований на специальной пилотной установке, которые проводились в самый неблагоприятный, с точки зрения очистки, холодный период года. Примечательно, что сборка модулей производилась из элементов непосредственно на ГОСВ. Применение модулей позволяет достигать качества отстоянной воды соответствующего нормативным документам по показателю «мутность». Также при строительстве отстойников ГОСВ 2-й очереди была применена система автоматического сбора осадка Z2002 германской фирмы NORDIC WATER.

Конструкция Z 2002 была создана для эффективного и непрерывного перемещения осадка в приямок и дальнейшего его удаления из отстойника. Z 2002 действует по принципу возвратно-поступательного движения. Клинообразные профили скребка двигаются по низу отстойника, как подвижное плато. С помощью движения «вперед» вогнутые торцевые поверхности профилей направляют осадок в приямки для шлама. Назад профиль движется в два раза быстрее под поверхностью шлама, за счет чего осадок переливается через острую часть профиля. В результате происходит непрерывная транспортировка осадка в направлении приямка. С постоянным возвратно-поступательным движением профилей, шлам уплотняется. Удаление осадка из приямков производится при помощи эжекторов.

Скорые фильтры. В фильтрах ГОСВ новой 2-й очереди и реконструируемой 1-й применяются новые виды дренажных и воздухораспределительных систем. Дренажная система данного типа состоит из каркасной ПЭ трубы, водораспределительных зенкованных отверстий, пористо-фильтрующего покрытия.

Использование данной дренажной системы и аэраторов позволило отказаться от многослойных гравийных поддерживающих слоев, обеспечить равномерность сбора фильтрованной воды и распределения воды и воздуха по площади фильтра во время промывки, исключить вынос загрузки через дренаж при фильтровании, повысить производительность скорых фильтров, повысить эффективность очистки воды, и повысить санитарную надежность фильтров.

Реагентное хозяйство. Для приготовления и дозирования реагентов применено современное оборудование. Приготовление флокулянта производится на автоматических трёхкамерных установках непрерывного действия. Процессы приготовления и отбора готового реагента совмещены в одной ёмкости, разделённой на отсеки, что позволяет ей занимать мало места. Так установка, производительностью 2 $м^3$/час в плане имеет размеры 1 х 2 метра. Загрузка материала в расходный бункер производится при помощи пневмотранспорта сухого вещества.

Дозирующее насосное оборудование применено ведущих мировых производителей. Для смешения реагентов с исходной водой применены гидродинамические смесители. Эти аппараты выполняют те же самые функции, что и вертикальные смесители I очереди, но практически не занимают места.

Комплекс обработки промывных вод и осадка. С 2011 года ГОСВ прекратили сброс всех видов стоков в реку Амур.

Состав сооружений обработки промывных вод и осадка включает в себя:

- резервуар-усреднитель промывных вод;
- насосную станцию перекачки промывных вод;
- отстойники обработки промывных вод;
- резервуар обработки осадка.

Расход воды на собственные нужды снизился с 12 – 14 % до 4 – 5 %.

Автоматизация. Весь комплекс сооружений II очереди, включая также сооружения обработки промывных вод и осадка, охвачены единой автоматической системой контроля и управления технологическим процессом. Подавляющее большинство исполнительных механизмов оснащены электродвигателями с интерфейсными блоками. Все насосы-дозаторы оборудованы частотно-регулируемыми приводами. На всех линиях дозирования установлены электромагнитные расходомеры, причём на линиях дозирования ОХА, расходомеры имеют возможность кроме расхода определять и плотность раствора.

Все ёмкостные сооружения оборудованы датчиками уровня.

Качество воды контролируется он-лайн мутномерами, установленными после отстойников и фильтров. Скорость фильтрации контролируется расходомерами имеющимися на трубопроводах фильтрата после каждого фильтра.

Проблема наличия песка до конца не решена, то было принято решение о применении скребковых механизмов и в КХО. Тип – скребковый механизм однонаправленного действия.

Так как применение рециркуляторов в этом случае исключено, то было принято решение о применении механических мешалок**.**

В скорых фильтрах блока запроектирована дренажная и воздухораспределительная система LEOPOLD**.** Луч дренажной системы представляет собой короб, в котором расположены каналы для распределения и сбора воды и воздуха. Отверстия в каналах рассчитаны так, что возможна одновременная подача воды и воздуха с равномерным распределением по всей длине луча.

В рамках проекта расширения будет реконструирована НС-2 с устройством установок УФО и заменой всего электрооборудования с применением частотного регулирования электроприводов насосного оборудования.

Новые технологии. С 2008 года на ОС Предприятия проводится преаммонизация исходной воды сульфатом аммония. Данная технология позволяет держать в пределах норматива содержание хлорорганических соединений, в частности хлороформ. Также ввод аммония в обрабатываемую воду обеспечивает необходимую пролонгацию действия хлора ввиду отсутствия свободного хлора. Экономия хлора с вводом данной технологии составляет до 50 %.

УДК 628.16.081.32

СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРОШКА АКТИВИРОВАННОГО УГЛЯ ИЗ АНТРАЦИТА

Л.Н. Фесенко, А.Ю. Черкесов
ООО НПП «ЭКОФЕС», г. Новочеркасск, Россия
А.В. Антонян, Ю.В. Черкесова
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия

Представлено описание способа получения порошка активированного угля из антрацитового сырья путем измельчения ферромагнитными элементами во вращающемся электромагнитном поле вихревого электромагнитного гомогенизатора.

Известно, что применение активных углей в технологии водоочистки позволяет снизить содержание органических примесей и улучшить органолептические показатели воды.

Повышение требований к сорбентам относится в первую очередь к их стоимости, что указывает на разработку и внедрение новых марок углей с менее дорогостоящими способами их получения. Исследования последних лет показывают, что дорогостоящие и дефицитные активные угли могут быть заменены более дешевыми ископаемыми, в частности антрацитом Донецкого месторождения [1].

Предлагаемый метод относится к области технологии производства сорбентов, а конкретнее – к способам получения порошков активных углей на основе каменноугольного сырья антрацита, которые могут использоваться при подготовке воды как для водоснабжения и водоотведения в коммунальных и промышленных масштабах, так и для очистки природных водотоков и водоемов с целью предотвращения экологических кризисов.

Известен способ получения модифицированного активного угля (МАУ), включающий насыщение углей водой или раствором соляной кислоты с концентрацией 1 ÷ 4 мас. % при соотношении суммарного объема пор угля и воды или кислоты 1,0 ÷ (0,7÷1,0), с последующей обработкой угля 9 ÷ 15 % раствором термоактивной смолы в фурфуроле при весовом соотношении угля и раствора 1,0 ÷ (0,35 ÷ 0,68), выдержка до сыпучести и термообработку со скоростью подъема температуры 450 ÷ 900 °С/час до 700 ÷ 900 °С и последующим выдерживанием при этой температуре в течение 0,2 ÷ 0,5 ч [2].

Недостатком данного способа является дороговизна модифицирующего агента, трудоемкость и длительность процесса модифицирования, а также невыполнимость данного способа непосредственно на месте розлива и загрязнений.

Известен аппарат вихревого слоя непрерывного действия, благодаря которому можно получить порошок активированного угля (ПАУ). Аппарат работает по следующему принципу: в трубе индуктора помещена реакционная камера, в рабочей зоне которой установлена вставка с ферромагнитными частицами, вращающимися в электромагнитном поле. При включении аппарата на обмотки подается напряжение, происходит загрузка и обработка исходного материала ферромагнитными частицами. Готовый продукт направляют на дальнейшую переработку или потребителю [3].

Недостатком процесса, осуществляемого в данном устройстве, являются ограниченные возможности современной технологии, а точнее неконтролируемый процесс фракционирования, получаемого ПАУ и введения дополнительных реагентов, обеспечивающих требуемый уровень активации сорбента.

Известен способ получения активного угля на основе полукокса длиннопламенного каменного угля марки «Д», включающий измельчение кусков, высевание фракции 0,5 ÷ 2,8 мм, сушку зерен при 140 ÷ 180 °С в течение 40 ÷ 60 мин. и их активацию при температуре 900 ÷ 1000 °С смесью водяного пара и дымовых газов до соотношения объемов микро- и мезопор, равного 1: (1,0 ÷ 1,1) [4].

Недостатками данного способа является низкая прочность получаемого активированного угля 60 ÷ 65 % и высокая энергозатратность производства.

Известен способ получения активного антрацита прямым активированием измельченного антрацита без стадии карбонизации, водяным паром в реакторе движущегося слоя с газовыми горелками [5].

К недостаткам данного способа следует отнести недостаточный уровень адсорбционных свойств антрацита при его взаимодействии с водяным паром, и это с учетом того, что объем микропор увеличивается.

Функциональное назначение данного изобретения заключается в создании непрерывного энергоэффективного способа изготовления порошка активированного угля (сорбента) из каменноугольного сырья в требуемом качестве и количестве для очистки воды.

Для достижения вышеуказанных требований предложен метод получения порошка активированного угля из каменноугольного сырья путем воздействия агитаторов – ферромагнитных элементов (стержней) во вращающемся переменном электромагнитном поле вихревого электромагнитного аппарата, создаваемом в активной зоне реактора катушками индуктора [6]. Ферромагнитные стержни, беспорядочно вращающиеся в электромагнитном поле, соударяются друг с другом и с антрацитом, где происходит дробление и активация каменноугольного сырья при контакте с водяным паром при температуре более 250 °С,. при этом фоновая температура в реакторе достигает $250 \div 300$ °С, а в точках соударений мгновенная температура может превышать 800 °С. Данная температура достигается за счет превращения кинетической энергии движущихся элементов в тепловую. Способ содержит такие операции как загрузка, измельчение, активация водяным паром и выгрузку. Ввод воды выполняется непосредственно в активную зону аппарата. Выгрузка готовой продукции осуществляется регулируемым потоком воздуха, уносящим фракции необходимого гранулометрического состава из активной зоны.

Новизна и главный принцип способа заключается в осуществлении процесса в активной зоне реактора вихревого электромагнитного аппарата при необходимых для этого процесса температурах. Подаваемая вода в активную зону реактора играет роль одновременно и активирующего агента, и служит для увлажнения массы ПАУ, увлекаемой через эжектор в технологический процесс очистки воды, что в следующих этапах ускоряет время приготовления пульпы.

Техническое следствие предложенного способа заключается в создании непрерывного энергоэффективного метода получения порошка активированного угля (сорбента) из антрацита требуемого качества в необходимых на данный момент количествах. Технические характеристики сорбента и показатели качества воды, полученные вследствие данного опыта, только констатируют превосходство заявляемого метода. Львиная доля снижения энергозатрат достигается за счет применения тепловой энергии, получаемой в результате превращения кинетической энергии движущихся элементов в тепловую, а непрерывность процесса

обеспечивается особенностями предлагаемой конструкции вихревого электромагнитного аппарата, позволяющего осуществлять подачу воды и воздуха в активную зону, и производить регулируемым потоком воздуха выгрузку готового продукта (ПАУ) технологически обусловленного гранулометрического состава.

Предложенный способ поясняется схемой, представленной на рисунке и таблицами 1, 2. Предлагаемый способ осуществлен с помощью специально разработанной установки – вихревого электромагнитного гомогенизатора (ВЭГ). Технологический процесс происходит следующим образом – из силоса сырье непрерывно с заданной интенсивностью при помощи шнекового питателя поступает через канал загрузки в активную зону реактора (стакан из немагнитного материала), расположенный в рабочем кожухе электромагнитного многополюсного индуктора, создающего вихревое поле.

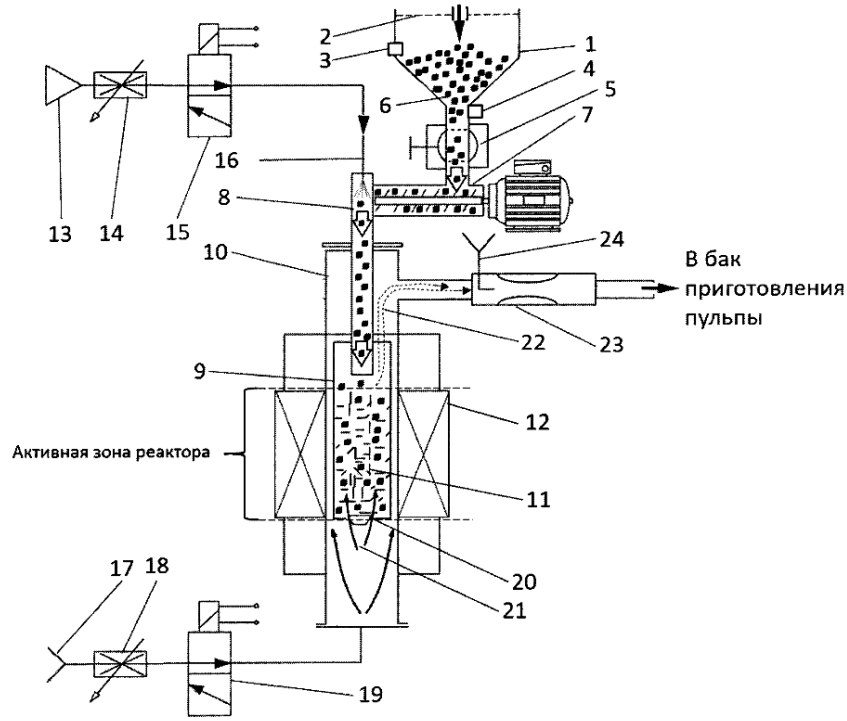


Рисунок. **Схема установки для получения порошка активированного угля**: 1 – силос; 2 – фильтр; 3 – уровнемер; 4 – система виброаэрации; 5 – дисковый затвор; 6 – сырье; 7 – шнековый питатель; 8 – канал загрузки; 9 – активная зона реактора; 10 – стакан из немагнитного материала в рабочем кожухе; 11 – ферромагнитные элементы; 12 – катушки индуктора; 13 – водопроводная сеть; 14 – регулятор расхода воды; 15 – клапан подачи воды; 16 – труба; 17 – источник сжатого воздуха; 18 – регулятор расхода воздуха; 19 – клапан подачи воздуха; 20 – отверстие воздухоподвода; 21 – поток воздуха; 22 – выводимая фракция ПАУ; 23 – эжектор; 24 – источник сжатого воздуха в эжекторе

В процессе измельчения через канал загрузки подается вода, которая при попадании в активную зону реактора испаряется и интенсифицирует процесс активации частиц угля. Во время обработки сырья в активной зоне

реактора из источника сжатого воздуха через отверстие воздухоподвода на дно стакана реактора поступает поток воздуха, который выносит фракцию ПАУ размером 20 ÷ 50 мкм в зону всасывания эжектора, находящегося в верхней части рабочего кожуха. Поток фракции ПАУ, увлекаемый воздухом по кожуху в ближайших к каналу загрузки зонах близлежащих, находящихся выше активной зоны реактора, насыщается парами воды. Соотношение количества воды к количеству поступающего в реактор сырья составляет 0,2 ÷ 0,5 л на 1 кг исходного сырья. Затем из эжектора увлажненный ПАУ подается в бак приготовления пульпы – непосредственно в технологический процесс очистки воды.

Пример реализации способа. Способ осуществлен с помощью специально разработанной установки – вихревого электромагнитного аппарата (рис.). В силосе 1, оснащенном фильтром 2, через который производится сброс и очистка воздуха при загрузке исходным сырьем, датчиками уровня 3, системой виброаэрации 4 и дисковым затвором 5 располагается исходное сырье 6 (антрацитовая крошка с размером зерен 2 ÷ 5 мм). Из силоса сырье непрерывно с заданной интенсивностью (1 кг/мин) с помощью шнекового питателя 7 поступает через канал загрузки 8 в активную зону реактора 9, который представляет собой стакан из немагнитного материала, расположенного в рабочем кожухе 10 ВЭА. Вихревой электромагнитный аппарат предназначен для измельчения, термообработки и механической активации угля агитаторами – ферромагнитными элементами (стержнями) 11 в переменном электромагнитном поле напряженностью 0,12 ÷ 0,15 Тл, создаваемом в активной зоне реактора катушками индуктора 12. Ферромагнитные стержни из инструментальной стали диаметром от 2 мм до 4 мм и длинной от 20 мм до 40 мм (соотношение диаметра стержня к диаметру реактора должно быть в диапазоне 0,2 ÷ 0,25), массой 0,2 ÷ 0,35 кг/литр рабочей зоны реактора, беспорядочно вращающиеся в электромагнитном поле с частотой 50 Гц, соударяются друг с другом и измельчаемым материалом, выделяя при этом большую тепловую энергию. В процессе измельчения в активную зону реактора из водопроводной сети 13 через регулятор расхода воды 14, клапан подачи воды 15 по трубе 16 в канал загрузки 8 подается вода, которая при попадании в активную зону реактора испаряется с образованием паровоздушной смеси влажностью не менее 35 % и интенсифицирует процесс активации угольного сырья.

Во время обработки сырья в активной зоне реактора из источника сжатого воздуха 17 через регулятор расхода воздуха 18, клапан подачи воздуха 19 и отверстие в дне стакана реактора 20 поступает поток воздуха 21 со скоростью 50 л/мин, который выносит выводимую фракцию ПАУ (размером 20 ÷ 50 мкм) 22 в зону всасывания эжектора 23, располагающегося в верхней части рабочего кожуха ВЭГ. В эжектор подается поток сжатого воздуха из источника 24. Поток фракции ПАУ, увлекаемый воздухом по кожуху в зонах близлежащих к каналу загрузки,

находящихся выше активной зоны реактора, насыщается парами воды. Соотношение количества воды к количеству поступающего в реактор сырья составляет 0,2 ÷ 0,5 л на 1 кг исходного сырья. Увлажненный ПАУ из эжектора подается непосредственно в бак приготовления пульпы.

Целесообразность использования предлагаемого способа непосредственно на станции подготовки воды для коммунального и промышленного водоснабжения подтверждается результатами эксперимента, приведенными ниже. Для получения ПАУ использовалась антрацитовая крошка размером зерен 2 ÷ 5 мм.

Гранулометрический состав получаемого ПАУ при потоке воздуха 50 л/мин из источника сжатого воздуха при нормальном атмосферном давлении представлен в таблице 1.

Таблица 1. **Гранулометрический состав получаемого ПАУ**

Размер полученных частиц, мкм	7,5	10,8	13,8	16,5	19,5	23,4	27,9	33	39,3	46,8	55,5	66	78
Содержание полученных частиц, %	1,2	2,8	2,5	2,7	3,6	5,8	9,8	14,6	14,7	15	4,8	2	0,5

Технические характеристики полученного порошка активированного угля (сорбента) и показатели качества воды представлены в таблице 2, при этом фенольное число полученного ПАУ составило 22 ± 1 мг/л. Способ реализован с помощью специально разработанной установки (ВЭГ), обеспечивающей непрерывность процесса за счет особенностей конструкции, позволяющей осуществлять подачу воды и воздуха в активную зону, и производить выгрузку ПАУ регулируемым потоком воздуха.

Таблица 2. **Технические характеристики полученного сорбента и показатели качества воды**

№ п/п	Наименование показателя	Исходный материал	После обработки в ВЭГе
1	Внешний вид реагента, цвет, запах	сыпучая однородная смесь твердых частиц, темно-серого/черного цвета, без запаха	соответствует
2	Фракционный состав, мм	1,0–3,0	0,07–0,10
3	pH водной вытяжки (10 %-водный раствор)	6,7–7,2	6,7–7,2
4	Насыпная плотность, кг/м^3	600–700	720
5	Содержание частиц основного размера, % по массе, не менее	85	90
6	Содержание оксидов, %: SiO_2, %, не менее Al_2O_3, не менее Fe_2O_3, не менее	 6,0 4,0 5,2	 6,0 4,0 5,2
7	Фенольное число	55 ± 1	22 ± 1

ЛИТЕРАТУРА

1. В.А. Прокопов, Г.В. Толстопятова, Э.Д. Мактаз Гигиеническая оценка новых сорбентов на основе антрацитов для очистки питьевой воды // Химия и технология воды, 1995,. т. 17, № 5.
2. Гурьянов В.В., Дворецкий Г.В., Карев В.А., Кучинский Е.В., Максимова Л.М., Мухин В.М., Паршенков М.В., Петрунин В.А., Смирнов В.Ф., Ульянов В.А., Фокин Е.А., Чебыкин В.В., Шелученко В.В., Способ получения модифицированного активного угля, патент RU №2175885.
3. Серга Г.В., Кочубей А.А., Лебедев В.А., Аппарат вихревого слоя непрерывного действия, патент RU №2613517.
4. Зимин Н.А., Зубова И.Д., Мухин В.М., Тамамьян А.Н., Таратун М.Н., Способ получения активного угля, патент RU №2164217.
5. Кинле Х. Активные угли. – Л.: Химия, 1984.
6. Бринк И.Ю., Горчаков В.В., Игнатенко С.И., Неустроева А.В., Фесенко А.Л., Черкесов А.Ю., Федотов Р.В., Способ получения порошка активированного угля, патент RU №2769520.

УДК 628.33:622.5

ОЦЕНКА УТИЛИЗАЦИИ РАССОЛА ОБРАТНООСМОТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ СБРОСОМ В ОБОРОТНУЮ СИСТЕМУ ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ РУДНИКА

А.Я. Найманов
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
г. Макеевка, Россия
Г.Д. Мартыненко
ООО «Агроспецкомплекс», г. Белгород, Россия
А.А. Найманова
ГУП ДНР «Вода Донбасса», г. Донецк, Россия

Статья посвящена оценке возможности утилизации высокосоленых сточных вод от обратноосмотической установки путем сброса ее в оборотную систему обогатительной фабрики. Оценка показателей качества воды до сброса и после сброса рассола показала, что солесодержание оборотной воды не поднимется выше норматива предприятия и сброс вполне целесообразен.

Шахтные воды рудника с солесодержанием около 1,4 г/л предусматривается очищать на трехступенчатой обратноосмотической установке производительностью 100 м^3/ч. В результате очистки образуется 8,2 м^3/ч рассола с солесодержанием 14 г/л. Утилизация этого рассола представляет собой значительную проблему, поскольку сброс его в водоем исключен. Существующие методы утилизации, в частности, упаривание до

сухих солей и захоронение, вымораживание, закачка в заглубленные скважины, требуют значительных затрат материальных и финансовых ресурсов [1–4].

В то же время на руднике существует оборотная система фабрики по обогащению руды, хвосты обогащения сбрасываются в хвостохранилище и после отстаивания вода снова подается на обогатительную фабрику. Оборотная воды используется для гидротранспорта хвостов, такая схема типична для предприятий по добыче цветных металлов [5]. По нормативу предприятия солесодержание оборотной воды должно составлять не более 2 г/л.

Балансовая схема расходов воды в оборотной системе обогатительной фабрики приведена на рисунке (по данным предприятия). Разумеется, в балансовой схеме приведены усредненные за год расходы воды, поскольку приток атмосферных вод и испарение с поверхности хвостохранилища испытывают значительные колебания по сезонам. В связи с этим приток воды на локальные очистные сооружения (поз.10 на рис.) также колеблется, и максимальный приток принят 100 $м^3$/ч, эти сооружения и есть обратноосмотическая установка.

Рассматривается вопрос об использовании пермеата установки вместо воды из скважин (поз. 12 рис.). Главным источником восполнения потерь воды в оборотной системе является вода шахтного водоотлива.

Лабораторией предприятия выполнены анализы шахтной и оборотной воды (табл.). Судя по данным за 2022 и 2023 годы, состав шахтной воды колеблется в относительно небольших пределах. Содержание взвешенных в воде, сбрасываемой с обогатительной фабрики, может достигать 400 000 мг/л [5], а после отстаивания составляет 27 мг/л. Отметим также, что результаты химанализов приведены за декабрь. Очевидно, что испарение и приток талых вод в хвостохранилище в этот период практически отсутствуют вследствие формирования ледового покрова. Баланс воды в оборотной системе следует рассматривать для двух временных периодов:

- летний, в котором есть приток атмосферных вод и испарение;
- зимний, приток атмосферных вод и испарение отсутствуют.

Весну и осень можно считать переходными периодами.

Очевидно, что приведенная на рисунке балансовая схема ближе всего соответствует летнему и переходному периодам.

Величины коэффициента концентрирования солей в оборотной системе вычислены по формуле [2, 6]:

$$К_{конц} = \frac{С_{об}}{С_{доб}} \quad (1)$$

где $С_{об}$ – концентрация компонента (иона) в оборотной воде; $С_{доб}$ – концентрация компонента (иона) в добавочной (подпиточной) воде.

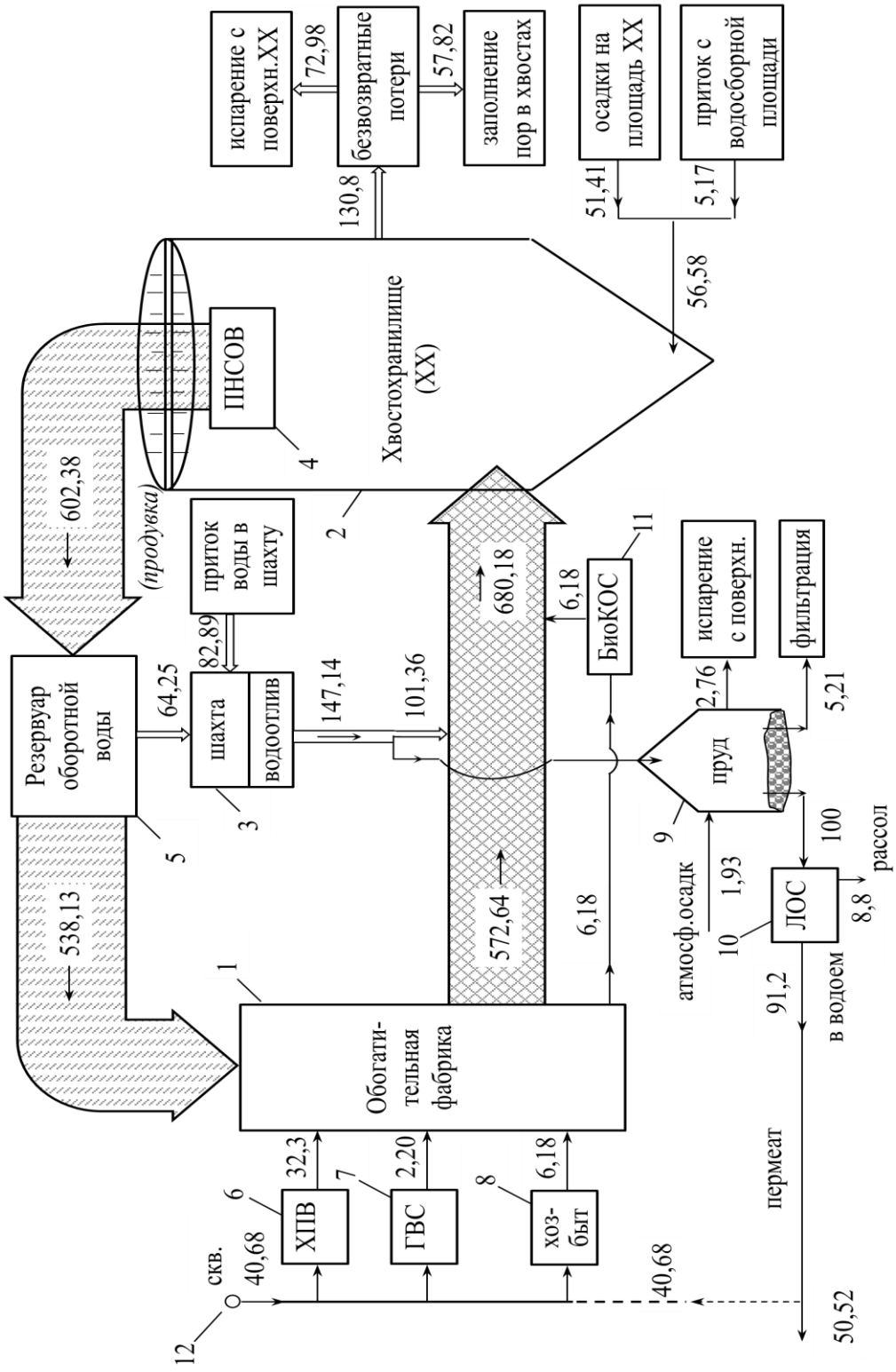


Рисунок. **Балансовая схема расходов воды в оборотной системе (м^3/ч):**
1 – обогатительная фабрика; 2 – хвостохранилище; 3 – шахта; 4 – плавающая НС; 4 – резервуар оборотной воды; 6 –химводоподготовка; 7 – горячее водоснабжение; 8 – хозбытовые нужды; 9 – пруд-отстойник; 10 – локальные очистные сооружения (ООУ); 11 – биологические канализационные очистные сооружения; 12 – скважина

Таблица. **Показатели качества воды шахтного водоотлива и оборотной воды**

№ пп	Наименование показателя качества воды	ед. изм.	Результаты измерений			
			проба от 21.12.2022 шахтный водоотлив	проба от 17.12.2023		
				шахтный водоотлив	оборотная вода ОФ*	коэфф. конц. $К_{конц}$
1	Хлор-ион	мг/дм^3	6,8	19,0	33,0	1,74
2	Сульфат-ион	мг/дм^3	446,0	421,0	> 500	
3	Нитрат-ион	мг/дм^3	80,0	> 100	> 100	
4	Нитрит-ион	мг/дм^3	1,6	> 3	> 3	
5	Аммоний-ион	мг/дм^3	18,0	21,0	19,0	0,90
6	Фосфат-мон	мг/дм^3	0,23	< 0,05	< 0,05	
7	pH	единиц	8,1	8,5	8,3	
8	Медь	мг/дм^3	0,0046	0,01	0,03	
9	Цинк	мг/дм^3	0,026	< 0,004	< 0,004	
10	Свинец	мг/дм^3	0,024	< 0,005	< 0,005	
11	Сухой остаток	мг/дм^3	–	1400,0	1400,0	1,0
12	Общая жесткость	ммоль/дм^3	–	6,19	7,43	1,2
13	Нефтепродукты	мг/дм^3	0,075	0,9	0,8	
14	Взвешенные вещества	мг/дм^3	–	475	27,0	
15	ХПК	мг/дм^3	37,0	31,3	30,1	
16	Цианиды	мг/дм^3	0,005	< 0,005	< 0,005	
				проба от 27.12.2023		
1	Общая щелочность	ммоль/дм^3	–	6,22	3,22	0,57
2	Калий	мг/дм^3	–	22,4	93,2	4,16
3	Натрий	мг/дм^3	–	114,0	101,8	0,89

Примечание: *ОФ – обогатительная фабрика

На первом этапе при подсчете $К_{конц}$ в таблице за $С_{доб}$ принята концентрация компонентов в шахтной воде, поскольку последняя является основной частью добавочной воды – 101,36 м^3/ч из 199,18 м^3/ч.

Строго говоря, концентрации компонентов в добавочной воде необходимо вычислять отдельно для летнего и зимнего периодов по формуле:

$$С_{доб} = \frac{\sum(q_{доб.i} \cdot С_{доб.i})}{\sum q_{доб.i}} \quad (2)$$

где $q_{доб.i}$ – расход i-го вида добавочной воды; $С_{доб.i}$ – концентрация компонента в i-том виде добавочной воды.

Проще всего просчитать такой показатель, как минерализация (солесодержание) смеси добавочных вод, поскольку в таблице есть данные по этому компоненту, а по многим другим компонентам отсутствуют.

В летний период имеют место все виды добавочных вод в оборотную систему, а именно:

1. Подача воды из шахтного водоотлива, расход $q_{доб.1}$ = 101,36 м^3/ч, минерализация (сухой остаток) $С_{доб.1}$ =1400 мг/л.

2. Стоки от систем водоподготовки, горячего водоснабжения и хозбытовые воды после биологических канализационных очистных сооружений (БиоКОС). В сумме $q_{доб.2}$ = 40,68 м^3/ч, минерализация $С_{доб.2}$ = 1400 мг/л, поскольку состав воды в скважине (поз.10 на рис.) близок к составу воды шахтного водоотлива (по данным предприятия).

3. Атмосферные осадки на площадь хвостохранилища $q_{доб.3}$ = 51,41 м^3/ч, минерализация $С_{доб.3}$ = 100 мг/л. По данным в справочнике [1] солесодержание атмосферных осадков в среднем составляет 46,7 мг/л, но иногда может подниматься до 80 – 100 мг/л при загрязнении атмосферы пылью и промышленными выбросами. Принята максимальная величина $С_{доб.3}$ = 100 мг/л.

4. Приток дождевых и талых вод с водосборной площадью между нагорной канавой и зеркалом воды хвостохранилища $q_{доб.4}$ = 5,17 м^3/ч, $С_{доб.4}$ = 400 мг/л. По данным Парахонского Э.В. [7] солесодержание атмосферных вод с площади может составлять от 200 до 3500 мг/л в зависимости от загрязнения площади продуктами хозяйственной деятельности. Поскольку на прилегающей к хвостохранилищу территории хозяйственной деятельности нет, то солесодержание дождевых и талых вод с территории принято $С_{доб.4}$ = 400 мг/л, т.е. несколько больше минимальной величины.

Суммарный расход добавочных вод $\Sigma q_{доб.i}$ = 198,62 м^3/ч. Подставив $q_{доб.i}$ и $С_{доб.i}$ в формулу (1) получим $С_{доб}^{летн} = 1040$ мг/л для летнего периода.

В зимний период $q_{доб.3}$ и $q_{доб.4}$ отсутствуют и оборотная система пополняется только водой шахтного водоотлива и стоками от водоподготовки, горячего водоснабжения и бытовыми очищенными стоками, поэтому $С_{доб}^{зимн} = 1400$ мг/л. Суммарный объем добавочной воды будет меньше, чем в летний период, поскольку из потерь воды выпадает испарение с площади хвостохранилища 72,98 м^3/ч.

Приведенные в таблице результаты химанализов воды получены в зимний период и использование для вычисления $К_{конц}$ в качестве $С_{доб}$ величины минерализации шахтной воды (1400 мг/л) является правомерным.

Сразу отметим, что в таблице коэффициент концентрирования солей по сухому остатку (близок общей минерализации) равен 1. Это свидетельствует о том, что в оборотной системе не происходит накопление солей. Повышенные величины $К_{конц}$ по калию (4,16) и несколько меньшие по хлор-иону (1,74) свидетельствуют о попадании в оборотную воду небольших количеств хорошо растворимых хлоридов и, видимо, сульфатов калия из горных пород хвостов. Низкое значение $К_{конц}$ по щелочности может указывать либо на осаждение из оборотной воды малорастворимого карбоната кальция, либо о попадании в оборотную воду кислых солей.

Теоретическую расчетную величину коэффициента концентрирования солей в оборотной системе $К_{конц}^{расч}$ можно найти из уравнения баланса солей в системе.

$$\sum q_{доб.i} \cdot С_{доб.i} = \sum q_{потерь.j} \cdot С_{потерь.j} \quad (3)$$

отсюда $С_{об} = \frac{\sum q_{доб.i} \cdot С_{доб.i}}{\sum q_{потерь.j}}$

где $q_{доб.i}$, $С_{доб.i}$ и $С_{об}$ – то же, что и эти величины в уравнениях (1) и (2); $q_{потерь.j}$ – виды и расходы безвозвратных потерь из оборотной системы.

Из оборотной системы имеют место следующие виды безвозвратных потерь воды:

1. Подача оборотной воды на шахту из резервуара оборотной воды $q_{потерь.1}$ = 64,25 м^3/ч, $С_{потерь.1} = С_{об}$.

2. Заполнение порового пространства в осевших хвостах $q_{потерь.2}$ = 57,82 м^3/ч, $С_{потерь.2} = С_{об}$.

3. Испарение с водной поверхности хвостохранилища $q_{потерь.3}$ = 72,98 м^3/ч, $С_{потерь.3} \approx 0$, т.к. соли не уносятся.

Сумма всех видов потерь $\sum q_{потерь.j}$= 195,05 м^3/ч, невязка в 3,57 м^3/ч с объемом добавочных вод ($\sum q_{доб.i}$= 198,62) возникла, видимо, из-за счетной ошибки при составлении балансовой схемы на предприятии. Фильтрация в грунт из хвостохранилища перехватывается дренажем и перекачивается обратно в него.

Подставим величины расходов и солесодержания добавок и потерь воды в уравнение баланса воды (3) получим:

– для летнего периода, когда все виды добавок и потерь воды имеют место в оборотной системе

$$С_{об.летн}^{расч.} = \frac{(101{,}36+40{,}68)1{,}4+51{,}41 \cdot 0{,}1+5{,}17 \cdot 0{,}4}{64{,}25+57{,}82} = \frac{206{,}1}{122{,}07} = 1{,}69 \text{ г/л};$$

– для зимнего периода, когда отсутствует добавка атмосферных вод в оборотную систему, $q_{доб.3} = q_{доб.4} = 0$, испарение с поверхности хвостохранилища отсутствует $q_{пртерь.3} = 0$ из-за наличия ледового покрова; расход добавочной воды $\sum q_{доб.i}$ должен равняться сумме потерь воды ($\sum q_{потерь/j}$), т.е. 122,07 м^3/ч; при этом добавка воды из шахтного водоотлива уменьшится до 81,39 м^3/ч = (122,07 - 40,68) получим

$$С_{об.зимн.}^{расч.} = \frac{122{,}07 \cdot 1{,}4}{122{,}07} = 1{,}4 \text{ г/л}$$

Данная величина $С_{об.зимн.}^{расч.}$соответствует величине минерализации оборотной воды в таблице, что свидетельствует о правомерности приведенных выше расчетов.

Теоретически коэффициенты концентрирования солей получают следующие значения: $К_{конц}^{летн} = \frac{1690}{1040} = 1{,}625$, $К_{конц}^{зим} = 1$. Несмотря на

заметные колебания коэффициента концентрирования, солесодержание оборотной воды не превышают допустимого предела (2 г/л).

Рассмотрим, как же изменится солесодержание оборотной воды при добавлении в нее рассола обратноосмотической установки в количестве 8,2 м^3/ч и солесодержанием 14 г/л, т.е. в 10 раз большим, чем солесодержание шахтной воды. Отметим, что данный рассол пересыщен сульфатом кальция. Содержание иона сульфата в нем составит около 4210 мг/л (87,71 мг-экв/л). Содержание иона кальция не приведено в анализах, есть только общая жесткость. По данным лаборатории предприятия содержание иона кальция в шахтной воде в 4 раза больше, чем магния. Таким образом, из жесткости рассола 62,2 мг-экв/л на долю кальция приходится около 51,9 мг-экв/л (1000 мг/л). Общее содержание ионов сульфата и кальция составит 5210 мг/л, а растворимость сульфата кальция составляет 1100 мг/л (16,2 мг-экв/л). Теоретически могут выделиться около 51,9 – 16,2 = 35,7 мг-экв/л $CaSO_4$, т.е. около 2428 мг/л, следовательно, солесодержание рассола должно уменьшиться с 14 г/л до 11,57 г/л.

Объем добавочной шахтной воды должен уменьшиться на расход рассола (8,2 м^3/ч) и составит:

- в летнем режиме 93,16 м^3/ч;
- в зимнем режиме (81,39 – 8,2) = 73,19 м^3/ч.

Солесодержание оборотной воды получит следующие значения:

- в летнем периоде $C_{об.р}^{лет} = 2{,}37$ г/л;
- в зимнем периоде $C_{об.р}^{зим} = 2{,}08$ г/л.

В летнем периоде наблюдается заметное превышение норматива предприятия по солесодержанию оборотной воды. Однако можно добиться соблюдения норматива при переводе обогатительной фабрики на пермеат вместо воды из скважины (поз.12 на рис.) в количестве 40,69 м^3/ч. Солесодержание пермеата не превышает 0,4 г/л [3]. Тогда получим величины солесодержания оборотной воды:

- в летний период $C_{об.р}^{лет} \approx 2{,}0$ г/л;
- в зимнем периоде $C_{об.р}^{зим} = 1{,}71$ г/л.

Нормативы предприятия не превышаются ни в одном периоде эксплуатации оборотной системы. Отсюда следует, что утилизация рассола обратноосмотической установки сбросом в оборотную систему обогатительной фабрики вполне допустимо.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кульский Л.А., Гороновский И.Т., Когановский А.М., Шевченко М.А. Справочник по свойствам, методам анализа и очистке воды, в 2^x т. –К.: Наукова думка, 1980, 1206 с.

2 Журба М.Г., Соколов Л.И., Говорова Ж.М. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений. В 3[x] томах, Т. 1, С.77–94.
3 Высоцкий С.П., Гулько С.Е. Очистка, кондиционирование и использование вод повышенной минерализации. – Донецк :«Каштан», 2014, 316 с.
4 Пилипенко А.Т. Комплексная переработка минерализованных вод/ А.Т. Пилипенко, И.Г. Вахнин, И.Т. Гороновский и др. // К.: Наукова думка, 1984. 284 с.
5 Милованов Л.В., Краснов Б.П. Методы химической очистки сточных вод горнорудных предприятий цветной металлургии. М.: Недра, 1967, 148 с.
6 Кучеренко Д.И., Гладков В.А. Оборотное водоснабжение. М.: Стройиздат., 1980. 168 с.
7 Парахонский Э.В. Охрана водных ресурсов на шахтах и разрезах. Недра, 1992, 198 с.
8 Найманов А.Я., Никиша С., Насонкина Н.Г., Омельченко Н.П., Маслак В.Н., Зотов Н.И., Найманова А.А. Водоснабжение. Донецк: Норд Компьютер. 2006, 654 с.

УДК 628.161.2

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО РЕКОНСТРУКЦИИ ВОДОПРОВОДНЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ Г.АНАПА КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ

Р.В. Федотов, Р.В. Исраилов, Д.А. Заичко
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия
В.Н. Снопок
АО «Анапа Водоканал», г. Анапа, Россия
П.Н. Демченко
ООО «АПИКС ГРУПП», г. Краснодар, Россия

Представлены проектные технологические решения по реконструкции водопроводных очистных сооружений с применением методов углевания, преаммонизации и стабилизационной обработки воды.

Водопроводные очистные сооружения (ВОС), расположенные в г. Анапа Краснодарского края, построены по проекту Кисловодского отделения Гипрокоммунводоканал в 1971 году. Источником водоснабжения площадки очистных сооружений является р. Кубань. Проектная производительность очистных сооружений водопровода –

50 тыс. $м^3$/сут. Фактическая производительность очистных сооружений по состоянию на 2023 г. в летний период достигает 80 тыс. $м^3$/сут., а зимой снижается до 40 тыс. $м^3$/сут. Значительная разница в режимах водопотребления в летний и зимний периоды года обусловлены тем, что г. Анапа относится к городам-курортам, высокое водопотребление в теплый период года которых обуславливается значительным ростом туристических потоков в летний период.

Существующая технологическая схема работы очистных сооружений представлена двумя вертикальными вихревыми смесителями, шестью горизонтальными отстойниками совмещенными камерами хлопьеобразования и шестью скорыми фильтрами с боковым каналом. В качестве реагентов в настоящий момент используются сернокислый алюминий $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ ГОСТ 12966-85 [1], гелеобразный полиакриламид (ПАА), для обеззараживания воды применяется газообразный хлор. В тёплое время года для достижения более длительного бактерицидного действия хлора используется сульфат аммония по ТУ2141-006-50685486-2004 марки А. Образующийся осадок из отстойников, и промывные воды скорых фильтров направляются в систему канализации, по которой выводятся за пределы площадки очистных сооружений.

В таблице представлены усредненные результаты многолетнего наблюдения за составом природной воды по физико-химическим показателям.

Согласно приведенных данных вода в водоисточнике не соответствует требованиям СанПиН 1.2.3685-21 по следующим показателям [2]: мутность, цветность, железо общее и перманганатная окисляемость.

В рамках реализации инвестиционной программы АО «Анапа Водоканал» по развитию централизованных систем холодного водоснабжения и водоотведения муниципального образования город-курорт Анапа на 2020 – 2023 г. ООО «АПИКС Групп» (г. Краснодар) и ООО НПП «ЭКОФЕС» (г. Новочеркасск) были разработаны проектные решения по реконструкции водоочистных сооружений в г. Анапа, которые были направлены не только на улучшение показателей качества воды не соответствующей требованиям СанПиН 1.2.3685-21 [2], но и на увеличение производительности с 50 тыс. $м^3$/сут. до 100 тыс. $м^3$/сут. путем строительства новой очереди очистных сооружений, рассчитанной на производительность 100 тыс. $м^3$/сут. с последующим выводом из эксплуатации существующего комплекса очистки воды в связи с аварийным состоянием некоторых технологических блоков, таких как смесители, отстойники и пр.

Таблица. **Усредненные показатели качества воды р. Кубань**
(11.05.2018 – 06.07.2023 гг.)

Определяемый показатель	Ед. изм.	ПДК по СанПиН 1.2.3685-21	Усредненные фактические значения в водоисточнике
Нефтепродукты	мг/дм^3	0,1	0,029 (0,25*)
Кадмий	мг/дм^3	0,001	0
Цинк	мг/дм^3	5,0	0,065
Взвешенные вещества	мг/дм^3		143
Свинец	мг/дм^3	0,01	0,0056
Фториды	мг/дм^3	1,5	0,38
γ-ГХЦГ (линдан)	мг/дм^3		0,000061
2,4 Д	мг/дм^3		0
ДДТ	мг/дм^3		0,000031
АПАВ	мг/дм^3		0
Растворенный кислород	мгO_2/дм^3		13
Марганец	мг/дм^3	0,1	0
Медь	мг/дм^3	1,0	0,005
Молибден	мг/дм^3	0,07	0
Мышьяк	мг/дм^3	0,01	0,0025
Ртуть	мг/дм^3	0,0005	0,000074
$БПК_5$	мгO_2/дм^3		2,4
Фенолы	мг/дм^3	2	0,00233
Гидрокарбонаты	мг/дм^3	2	**3,05**
Цветность	град	20	**69**
Мутность	мг/дм^3	1,5	**209**
pH	ед. pH	6–9	8,12
Хлориды	мг/дм^3	350	132
ПО	мгO_2/дм^3	5	**6,6**
Нитраты	мг/дм^3	45	6,54
Нитриты	мг/дм^3	3	0,054
Жесткость общая	град. Ж	7	4,78
Сухой остаток (общая минерализация)	мг/л	1000	421
Сульфаты	мг/дм^3	500	163
Железо общее	мг/дм^3	0,3	**2,03**

Примечание: *– указано значение концентрации загрязнений, возникающее при техногенных авариях в водоисточнике

В рамках выполнения реконструкции площадки очистных сооружений предусматриваются следующие мероприятия:

– строительство блока водоочистки производительностью отстойников до 100 000 м^3/сут, с подключением его к сооружениям

обработки промывной воды и к узлу хранения и приготовления реагентов, рассчитанного на производительность нового блока;

– строительство сооружений обработки промывной воды;

– строительство сгустителей осадка;

– строительство сооружений обезвоживания осадка с подключением их к действующим очистным сооружениям;

– строительство насосной станции второго подъема;

– строительство резервуаров чистой воды;

– строительство очистных сооружений ливневых стоков;

– переоборудование существующего резервуара чистой воды объёмом 2000 м^3 в резервуар промывной воды.

– переоборудование существующей насосной станции в насосную станцию промывных вод;

– вывод из эксплуатации существующего блока очистки воды.

В соответствии с требованиями ГОСТ 2761-84 «Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Гигиенические, технические требования и правила выбора» вода в водоисточнике по цветности и железу соответствуют второму классу, для которого ГОСТ 2761-84 рекомендует проводить коагулирование, отстаивание, фильтрование, обеззараживание, при наличии фитопланктона – микрофильтрование [3].

Предлагаемая в рамках проектных решений технологическая схема водоподготовки выбрана в соответствии с рекомендуемым приложением Б СП 31.133330.2012.

Рекомендуемая технология очистки воды для класса источника воды $А_1$, подкласс 6, временного фактора t_2 и группы примесей II, представляющих собой загрязнения в коллоидном состоянии основана на подборе по таблице Б.4 СП 31.13330.2012 [4] и доработана для обеспечения требований СанПиН 1.2.3685-21 [2].

Проектируемая схема очистки воды будет выглядеть следующим образом:

$$ХЛ_1 \rightarrow К(Ф) \rightarrow ХлО \rightarrow СкФР \rightarrow ХЛ_2$$

где $ХЛ_1$ – первичное обеззараживание (обработка гипохлоритом натрия); К(Ф) – обработка воды коагулянтами и флокулянтами; ХлО – хлопьеобразование скоагулированных частиц в свободном или стесненном объеме; СкФР – реагентное скорое фильтрование; $ХЛ_2$ – вторичное обеззараживание (обработка гипохлоритом натрия).

Согласно исходным данным в р. Кубань в пробах воды регистрируется повышение концентрации нефтепродуктов, не соответствующее фоновым значениям в водоисточнике и не имеющее выраженного периода повторяемости, что обусловлено техногенными авариями в русле реки выше водозаборных сооружений.

Для удаления из исходной воды нефтепродуктов предусмотрено строительство узла приготовления и дозирования порошкообразного активированного угля (ПАУ). Разрыв по времени 10 минут до ввода последующих реагентов обеспечивается контактными камерами с механическим перемешиванием. Общее время контакта ПАУ с обрабатываемой водой с учетом времени пребывания воды в контактных камерах коридорного типа составляет 20 минут.

Требуемый суммарный объём контактных камер составил 740 м^3. Проектными решениями предусмотрено строительство двух контактных камер размерами 8,5×8,5×5,5(h) м.

На следующем этапе обработки воды выполняется введение сульфата аммония и первичное дозирование гипохлорита натрия.

Принятые дозы регентов составляют: сульфат аммония – 2 мг/дм^3, гипохлорит натрия – 8 мг/дм^3 по эквиваленту активного хлора (э.а.х.).

Удаление взвешенных веществ, коллоидных веществ, обуславливающих цветность воды, и продуктов окисления и гидролиза соединений железа предусмотрено в два этапа – осаждение в горизонтальных отстойниках и фильтрование на скорых фильтрах.

Для интенсификации процесса седиментации проектными решениями предусмотрено введение в обрабатываемую воду коагулянта – сульфат алюминия и флокулянта Praestol 650TR. Поддержание щелочного резерва и стабилизация воды после коагулирования предусмотрено введением в обрабатываемую воду раствора кальцинированной соды.

Смешение реагентов с очищаемой водой производится в коридорных контактных камерах, обеспечивающих гидравлическое перемешивание реагентов с обрабатываемой водой. Дозирование реагентов осуществляется в разные отсеки, что обеспечивает соблюдение нормативного разрыва во времени между введением реагентов не менее 2 минут при максимальной нагрузке на очистные сооружения.

Проектными решениями предусмотрено строительство четырех коридорных контактных камер, каждый объёмом 185 м^3 и размерами в плане a × b = 6,0 × 7,0 м (7 коридоров по 1 метру). Высота коридора контактной камеры 4,5 м. Вода на перемешивание подается насосами Omega-D-300-315/22 расходом 552 м^3/ч и напором 10 м.в.ст. К установке принято 3 насосных агрегата (2 рабочих, 1 резервный).

Вода после смешения реагентами подается в проектируемые камеры хлопьеобразования вихревого типа, совмещенные с горизонтальными отстойниками. Предлагаемыми решениями предусмотрено строительство десяти горизонтальных отстойников длиной отстойной части 60,0 м, и шириной одной секции 4,5 м, что обеспечивает нормативную скорость движения воды в сооружении. Проектная производительность каждого отстойника составляет 450 м^3/ч, в форсированном режиме до 650 м^3/ч.

Сброс осадка из отстойников предложено выполнить с помощью

системы напорного смыва, при этом надосадочные воды в объеме 405 м^3 отводят в голову сооружений при помощи насосных агрегатов. После откачивания надосадочных вод, предусмотрена операция взмучивания подачей воды в толщу осадка, после чего взмученный осадок сбрасывается в самотечном режиме. Разовый объём выпускаемого осадка с учетом разбавления при гидросмыве составляет 650 м^3.

После горизонтальных отстойников, осветлённая вода подается на проектируемые скорые фильтры с центральным каналом – 18 шт. Проектирование скорых фильтров выполнено с учетом рекомендаций, изложенных в п. 9.75-9.90 СП 31.13330.2021. Проектом приняты скорые фильтры с центральным каналом. Размер одно фильтра составляет l × b = 6,0 × 6,0 м, ширина центрального канала – 0,7 м. Проектными решениями предусмотрена загрузка фильтров фильтрующим материалом ОДМ-2Ф. Исходя из опыта эксплуатации существующих очистных сооружений водопровода, по согласованию с АО «Анапа Водоканал» проектными решениями предусмотрено устройство нижнего дренажа фильтров из полимерного бетона и водяная промывка фильтрующей загрузки.

После скорых фильтров проектными решениями предусмотрено вторичное хлорирование для поддержания санитарного состояния резервуаров чистой воды (РЧВ) и сетей водоснабжения. Введение низкоконцентрированного гипохлорита натрия дозой до 3.5 мг/дм^3 предусмотрено в трубопровод очищенной воды перед РЧВ. Для удобства обслуживания точки ввода регента находятся в помещении скорых фильтров. Дозирование раствора гипохлорита натрия предусмотрено пропорционально концентрации остаточного хлора в обрабатываемой воде, согласно показаниям датчиков активного хлора, устанавливаемых перед РЧВ.

Согласно техническому заданию проектом предусмотрено строительство узла обработки промывных вод, сгущения и обезвоживания осадка.

Промывные воды скорых фильтров и осадок горизонтальных отстойников направляются на сооружения повторного использования, состоящих из сооружений песколовок, резервуаров-усреднителей, отстойников промывных вод, сгустителей и декантеров.

Расчёт вертикальных песколовок выполнен на максимальный расчётный приток промывных вод от промывки скорого фильтра, с учетом скорости протекания воды и времени пребывания в сооружении. В качестве расчётного максимального притока принимаем расход промывной воды после промывки одного скорого фильтра $q_{пр}$ = 648,0 л/с. Скорость осаждения взвеси при диаметре задерживаемых частиц не более 15 мм принята U_o = 0,0187 м/с. В соответствии с выполненными расчетами принято две песколовки шириной 6 м. Каждая песколовка разделена на

четыре отделения шириной 1,5 м и длиной 9,0 м. Выгрузка осадка из песколовок предусмотрена с помощью гидроэлеваторов.

Резервуары-усреднители рассчитаны на максимальный приток промывной воды от промывки скорых фильтров и равномерную подачу в отстойники промывных вод, максимальный проектный объем накопления составляет $W_{пр} = 745{,}0$ м^3. Проектом принято строительство двух резервуаров общим объёмом 1490 м^3. При высоте каждого резервуара 4,0 м размеры одного резервуара в плане составляют 9,0 х 21,0 м.

Концентрация взвешенных веществ в промывной воде, поступающей в отстойники промывных вод, согласно материальному балансу очистных сооружений водопровода составляет 209,3 мг/дм^3, что согласно п. 9.9 СП 31.13330.2021 относится к высокомутным водам. Вместимость отстойников промывных вод следует принять на 20 % больше объема воды, подаваемой после резервуаров-усреднителей. Исходя из усредненного расхода поступления промывных вод в отстойник $q_{пр} = 233{,}3$ м^3/ч, общий регулирующий объем отстойников составил 280,0 м^3.

Предлагаемыми решениями предусмотрено строительство четырех горизонтальных отстойников (3 рабочих, 1 резервный) длиной отстойной части 8,0 м, и шириной одной секции 3,0 м, что обеспечивает нормативную скорость движения воды в сооружении. Рабочая высота горизонтального отстойника принята $H = 4{,}5$ м. Размеры одного отстойника принятые из условия возможности выведения одного отстойника в ремонт и с учётом удельной нагрузки, отнесённой к площади зеркала воды, $q_{уд} = 4{,}6 – 5{,}5$ м^3/ч·м^2.

Осадок из горизонтальных отстойников после взмучивания системой гидросмыва в самотечном режиме направляется в сгустители, а осветленная вода после отстойников промывных вод равномерно подается в трубопровод перед коридорными контактными камерами.

Сгустители с медленным механическим перемешиванием предусмотрены для ускорения уплотнения осадка из горизонтальных отстойников основного технологического цикла и осадка отстойников промывных вод. Расчет сгустителей с медленным механическим перемешиванием промывных вод был выполнен на основании рекомендаций к расчету, приведенных в пособии к СНиП 2.04.02-84 «Проектирование сооружений для обезвоживания осадков станций очистки природных вод». В соответствии с результатами выполненных технологических расчетов на очистных сооружениях водопровода предусмотрено строительство четырех сгустителей, диаметром каждый 12,0 м, средней глубиной h = 3,5 м, расчетным объемом одного выпуска осадка до 400 м^3.

Осадок из горизонтальных отстойников после взмучивания системой гидросмыва в самотечном режиме направляется в сгустители, а

осветленная вода после отстойников промывных вод равномерно подается в трубопровод перед коридорными контактными камерами.

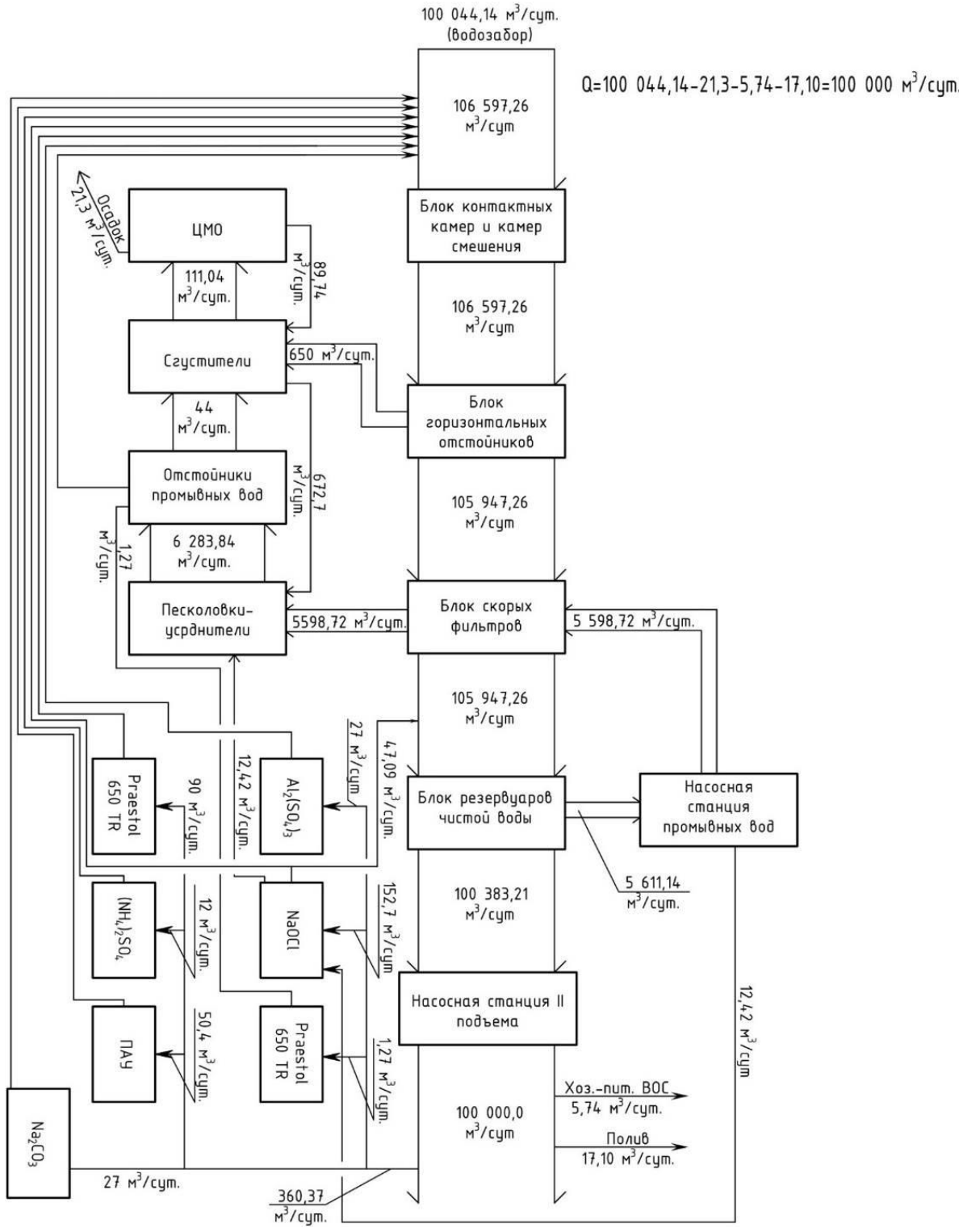


Рисунок. **Балансовая схема водопроводных очистных сооружений г. Анапа**

Блок механического обезвоживания разработан с применением декантеров типа DDE 5342, фирмы HAUS, с максимальной производительностью до 20 $м^3/ч$. Количество принятых к установке декантеров – 2 шт. (1 рабочий, 1 резервный). Установка оборудования предусмотрена в отдельно стоящем здании цеха механического обезвоживания. Фугат после обезвоживания возвращается обратно в сгустители через промежуточную накопительную емкость, обезвоженный осадок складируется в осадкоприемные баки и в дальнейшем вывозится на полигон.

В соответствии с принятыми проектными решениями по реконструкции площадки очистных сооружений г. Анапа была разработана балансовая схема по расходам воды, представленная на рисунке.

В соответствии с фактическими сезонными колебаниями производительности очистных сооружений, по согласованию с АО «Анапа Водоканал», при разработке проектных решений учтено разделение технологических этапов очистки воды на независимые параллельно работающие линии, что обеспечит эксплуатирующей организации возможность частичного вывода из работы сооружений в соответствии с режимом водопотребления.

Так при минимальной нагрузке на очистные сооружения водопровда в работе будут оставаться две из четырех коридорных контактных камеры суммарная производительность, которых составит 53 тыс. $м^3$/сут. Для поддержания гидравлического режима перемешивания вводимых реагентов с обрабатываемой водой предусмотрена рециркуляция при помощи насосных агрегатов.

При разработке временного регламента по эксплуатации площадки очистных сооружений водопровода г. Анапа после реконструкции рекомендовано предусмотреть частичное отключение из работы горизонтальных отстойников при снижении водопотребления для предотвращения слеживания осадка и поддержания оптимального режима эксплуатации отстойников, сгустителей и цеха механического обезвоживания осадка. Необходимо отметить, что мероприятия по частичному выводу из работы скорых фильтров не предусмотрены на этапе проектирования площадки, поскольку в случае вывода сооружения из эксплуатации и консервации, дальнейший ввод сооружения обратно в систему необходимо осуществлять только после предварительного замачивания и отмывки фильтрующей загрузки, а также поле выполнения санации сооружения и трубопроводов.

ВЫВОДЫ

1. При разработке проектных решений по реконструкции очистных сооружений установлено, что существующая площадка водопроводных очистных сооружений г. Анапа, построенная в 1971 г., имеет проектную

производительность до 50 тыс. м^3/сут., а фактическое водопотребление в летний период достигает 80 тыс. м^3/сут., что превышает проектные показатели в 1,6 раза.

2. Многолетний анализ состава воды водоисточника показал выраженную сезонность превышения предельно допустимых концентраций загрязнений по таким показателям: мутность, цветность, железо общее, перманганатная окисляемость и, в отдельных случаях, по содержанию нефтепродуктов, что обусловило необходимость учитывать последнее при разработке новых проектных решений при реконструкции очистных сооружений.
3. Предложенная новая технологическая схема учитывает сезонные колебания концентрации загрязнений, возникновение техногенных аварий в водоисточнике и реализуется в рамках реконструкции существующих очистных сооружений.
4. Предлагаемая новая технологическая схема учитывает современные требования по снижению антропогенного воздействия на окружающую среду и предусматривает реализацию мероприятий по обработке и повторному использованию промывных вод, сгущению и обезвоживанию образующихся осадков.
5. Предлагаемая новая технологическая схема предусматривает возможность вывода из эксплуатации части технологических блоков и вспомогательного оборудования в периоды сезонного снижения водопотребления, без нарушения технологических параметров работы очистных сооружений.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 12966-85. Алюминия сульфат технический очищенный. Технические условия; – введ. 01.01.87. – М.: ИПК ИЗДАТЕЛЬСТОВ СТАНДАРТОВ, 2014. – 10 с.
2. Санитарные правила и нормы СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания», изд. официальное. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2021. – 1028 с.
3. ГОСТ 2761-84 Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Гигиенические, технические требования и правила выбора; – введ. 01.01.86. – М.: Стандартинформ, 2006. – 11 с.
4. СП 31.13330.2021. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения «Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84». – М., 2021. 161 с. [Электронный ресурс]/URL:www.minstroyrf.gov.ru/upload/iblock/02f/31.pdf (дата обращения: 03.01.2024).

III. ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ И ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

«Я не знаю краше места, чем родной мой НПИ…»
С огромной благодарностью моим преподавателям и коллегам всегда! Прекрасным учителям, благодаря которым, спустя столько лет, всё так же познаются механизмы биологической очистки сточных вод, ищутся пути решения экологических проблем, а накопленный опыт передаётся младшему поколению

УДК 628.336

АНАЛИЗ ЭЛЕМЕНТОВ ЭКОНОМИКИ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА НА ПРИМЕРЕ УТИЛИЗАЦИИ ИЗБЫТОЧНОГО АКТИВНОГО ИЛА И ПИВНОЙ ДРОБИНЫ

В.Ю. Белоусова
Санкт-Петербургский политехнический университет им. Петра Великого,
г. Санкт-Петербург, Россия

В статье приводится анализ исследований по совместной утилизации отходов пивоваренного производства – пивной дробины и избыточного активного ила после биологической очистки сточных вод данного производства, как элемент внедрения принципов экономики замкнутого цикла для решения экологических проблем предприятия.

Экологические проблемы, возникшие перед человечеством во второй половине XX века, стали предметом озабоченности всего мирового сообщества и по сегодняшний день. Так появилась концепция устойчивого развития.

Среди наблюдаемых проявлений глобальных экологических проблем вопрос ущерба от загрязнения природных экосистем и жилых территорий отходами производства и потребления стоит особенно остро.

В связи с этим все большее число производителей товаров и услуг и их потребителей становятся приверженцами новой концепции экономического развития, основанной на вторичном использовании. Она получила название «экономика замкнутого цикла», наравне с понятиями «циркулярная» или «циклическая» экономика.

Экономика замкнутого цикла – модель управления материальными ресурсами, которая нацелена на их максимально эффективное использование в производстве, долгий жизненный цикл полученной продукции, минимизацию отходов, снижение негативного воздействия на окружающую среду на всех стадиях жизненного цикла продукции путём возвращения ресурсов в производство.

Одним из показателей в Российской Федерации, по которому будет оцениваться достижение к 2030 году национальной цели по обеспечению комфортной и безопасной среды для жизни (Указом Президента РФ от 21 июля 2020 г. № 474), является создание устойчивой системы обращения с твердыми коммунальными отходами (ТКО), обеспечивающей сортировку 100 % отходов и снижение объема отходов, направляемых на полигоны, в два раза.

Рассмотрим такие отходы, как пивная дробина, которая образуется непосредственно в пивоваренном производстве, и избыточный активный ил от биологической очистки сточных вод этого же производства на примере ООО «Пивоваренная компания «Балтика»» (рис.).



Рисунок. **Пивная дробина в лабораторных условиях**

Доля пивной дробины в общей массе отходов пивоваренного производства доходит до 80 %. Ежегодно 1 пивоваренный завод средней мощности производит до 35 000 тонн пивной дробины, и таких заводов в России около 400 [1].

Пивная дробина представляет собой смесь растительных и микробных белков, сложных углеводов, органических кислот и других веществ, таблица 1 [2].

Таблица 1. **Состав пивной дробины**

№	Показатель	Ед. имз.	Сырая дробина
1	Влажность, %	%	77
2	Зола	г/кг СВ	50
3	Сырой протеин	г/кг СВ	250
4	Сырой жир	г/кг СВ	85
5	Сырая клетчатка	г/кг СВ	180
6	Безазотистые экстрактивные вещества	г/кг СВ	433

Примечание: *СВ – сухое вещество

На сегодняшний день пивную дробину используют как кормовую добавку в животноводстве, удобрение в сельском хозяйстве.

Предлагается использовать пивную дробину совместно с избыточным активным илом как вторичный ресурс.

Избыточный активный ил на «Балтике» образуется после ступени биологической очистки сточных вод, состоящей из аэротенков и вторичных остойников.

Активный ил отличается высоким содержанием белковых и азотистых веществ. Количество общего азота, входящего главным образом в состав белков, достигает 4,4 – 9,0 % по отношению к абсолютно сухому веществу. Содержание белка в органической части активного ила составляет 62 %. Наиболее известные способы утилизации избыточного активного ила приведены в таблице 2 [3].

Рассматривая активный ил как ценное белковое сырье, пригодное для использования в народном хозяйстве, профессор С.Н. Строганов ещё в далёком 1946 г. выдвинул идею использования активного ила, подсушенного на вальцовых сушилках до 10 % влажности, как корм для птиц и животных. В ходе исследований выяснили, что сухой и размолотый ил похож на сухие кормовые дрожжи. Общая белковая питательность 1 кг активного ила составляет 0,5 кормовых единицах или 50 г перевариемого белка [4].

Как уже было сказано, в кормлении сельскохозяйственных животных пивную дробину используют как в свежем виде, скармливая ее в составе рациона смесью с другими ингредиентами, так и в высушенном, добавляя в комбикорма и зерновые смеси, и другие добавки.

Таблица 2. **Способы утилизации избыточного активного ила**

№ п/п	Метод	Описание
1	Применение активного ила в производстве цемента	Сначала проходит стадию удаления органической части путем сжигания, во время которого выделяется дополнительная тепловая энергия.
2	Депонирование	Способ, который предусматривает хранение избыточного активного ила на иловых картах
3	Микробиологическое окисление	Процесс происходит с помощью колоний окисляющих бактерий, Получается компост для плодородия почвы
4	Биологические методы	В процессе частично испаряются летучие вещества, разрушаются органические компоненты, погибает патогенная флора. После стабилизации осадок не подвержен гниению и легче высыхает.
5	Термическая обработка	Сжигание и термическое разложение (сушка пиролизом)

Предлагается в качестве добавки использовать избыточный активный ил. Отметим важное, активный ил можно использовать в качестве кормовой добавки, удобрения, предварительно определив его влажность, микробиологические показатели – численность и конечный состав микрофлоры, количество колониеобразующих единиц (КОЕ) бактерий и микромицетов, а также содержание в иле наиболее опасных тяжёлых металлов, таких как: свинец, кадмий, цинк, медь, никель, хром, ртуть, мышьяк [5]. Совместное использование активного ила и пивной дробины в качестве корма – это один из способов внедрения элементов экономики замкнутого цикла на производстве.

Другим способом совместной утилизации приведённых выше отходов является их переработка в удобрение. Примером является изобретение, включающее перемешивание послойно уложенных пивной дробины, органических отходов и торфа, загрузку смеси в ферментер, и последующее аэробное её компостирование посредством периодического вентилирования воздухом при влажности 50 – 60 %. При этом органические отходы и торф вместе с пивной дробиной берут в соотношении 50 : 50, может быть и другое соотношение [6]. Органические отходы и торф предварительно измельчают до гранулометрического состава от 0,1 до 10 мм. Кроме того, в качестве органических отходов берут навоз и птичий помет в количестве, мас.%, 35 и 15 соответственно, в компостируемой смеси. Либо это можно заменить избыточным активным илом. Только предварительно необходимо в нём снизить влажность, простимулировать размножение актиномицетов и бактерий за счет одновременного добавления в активный ил органических веществ из ряда: навоз КРС, солома, торф, лузга подсолнечника, минерального удобрения, содержащего азот, или их комбинации, а также кальцийсодержащей

добавки – гипса.

Таким образом, совместное использование избыточного активного ила и пивной дробины в качестве кормовой добавки или удобрения позволит решить проблему хранения и утилизации этих отходов, что способствует положительному росту эколого-экономического эффекта воздействия предприятия на окружающую природную среду.

ЛИТЕРАТУРА

1. Слугин В.В., Колясов Д.С., Смятская Ю.А. Изучение сорбционных свойств материалов на основе пивной дробины // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: сборник материалов XII Международной конференции аспирантов и студентов / ДОННТУ, ДонНУ. – Донецк: ГОУ ВПО «ДОННТУ», 2018. 364 с.
2. Батищева Н.В. Инновационные способы утилизации пивной дробины // Научное обозрение. Технические науки. – 2016. – № 6. С. 10–14.
3. Зайнуллина З.З., Зайнуллин Р.Х. Методы утилизации избыточного активного ила // Инновационная наука. 2023. – № 11-1.
4. Корчагина А.Ю. Разработка технологии переработки древесных отходов и активного ила очистных сооружений [Текст]: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук (4.3.4) / Корчагина Анна Юрьевна; Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова.– Воронеж, 2023.
5. Пат. 2680579 Российская Федерация, МПК C05F 3/00 C05F 15/00. Способ приготовления компоста с использованием пивной дробины [Текст] / Ковалев Н.Г., заявитель и патентообладатель Государ. науч. исслед. учреждение Всероссийский науч.-исслед. ин-т сельскохоз. использования мелиорированных земель. № 2003138196/12, 2003.12.31.
6. Пат. 2249581 Российская Федерация, МПК C05F 7/00. Способ получения почвогрунта из активного ила [Текст] / Гаврилов М.М., заявитель и патентообладатель ООО Научно-Производственное Предприятие «Экотон». № 2017121966, 2017.06.21.

УДК 628.3

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА СТОЧНЫХ ВОД НА ФАУНУ АЭРОТЕНКОВ

В.П. Костюков, Е.Г. Угроватова

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

В статье приводятся результаты оценки качества работы очистных сооружений канализации промышленного предприятия посредством гидробиологического исследования активного ила.

Биологическая очистка бытовых и производственных сточных вод в аэротенках является одним из самых распространённых и действенных методов удаления органических и бактериологических загрязнений.

Главную роль в изъятии и окислении органических загрязнений играют бактерии. Состав бактериального населения активного ила разнообразен и зависит от состава обрабатываемой воды и условий биологической очистки. Значительная роль в очистке принадлежит индикаторным организмам, по размерам, состоянию и соотношению которых, судят о работе системы биологической очистки. К таким организмам относятся простейшие, микроскопические животные, водоросли, грибы, черви. Они регулируют количество бактерий в активном иле, поддерживая его на оптимальном уровне, способствуют осаждению ила, поглощая взвешенные вещества, создают подвижное равновесие экосистемы активного ила, осветляют очищенную сточную воду.

При гидробиологическом исследовании активного ила оценивают видовое разнообразие организмов, их соотношение и подвижность, чёткость и сохранность контуров их тела и внутренних органов. Гидробиологическое исследование играет существенную роль при комплексной оценке качества работы аэротенков и может выявить серьёзные проблемы и сбои в процессе биологической очистки.

В иле аэротенка, который работает эффективно, обычно находят 10 – 15 видов простейших, представленных достаточно равномерно либо с незначительным преобладанием одного-двух видов, соотношение прикреплённых и свободноплавающих организмов примерно одинаково. В таком иле редко обнаруживаются мелкие амебы и жгутиковые, в основном развиваются разнообразные инфузории, но преобладают брюхоресничные и кругоресничные инфузории. Организмы активны и подвижны. Хлопок ила плотный компактный, быстро оседает в виде крупных тяжёлых хлопьев.

Любое нарушение в работе аэротенка приводит к снижению числа видов простейших, преобладанию одного или двух видов, к изменению размера и подвижности организмов.

Основные виды организмов-индикаторов активного ила представлены на рисунке 1.

Для оценки качества работы сооружений биологической очистки предприятия по производству кормов для животных на кафедру «Водное хозяйство, инженерные сети и защита окружающей среды» была предоставлена проба активного ила из аэротенка, так как в его работе были выявлены нарушения, которые привели к снижению эффективности процесса очистки сточных вод. Для решения возникшей проблемы целесообразно проведение гидробиологического анализа предоставленной пробы.

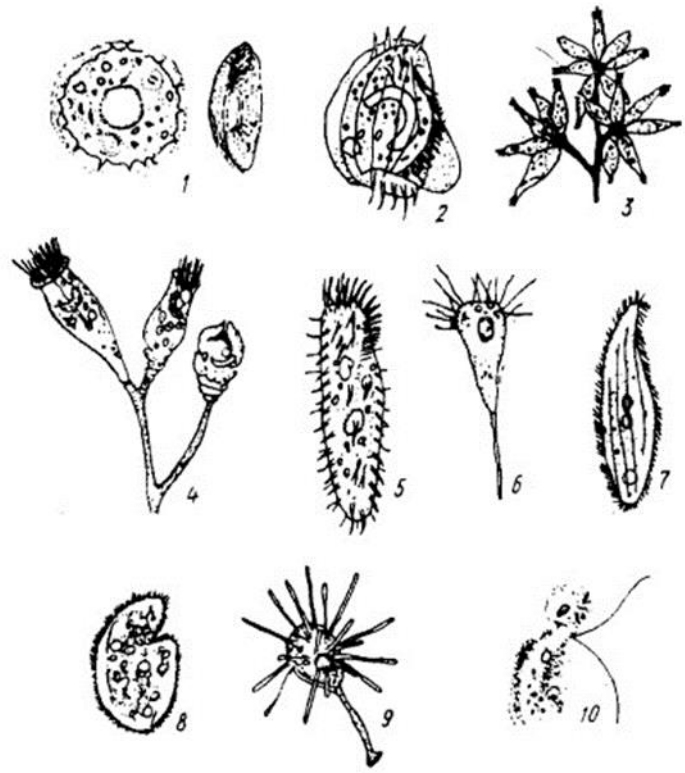


Рисунок 1. **Некоторые индикаторные простейшие активного ила.**
Организмы – показатели хорошей работы аэротенка:
1 – Arcella discoldes; 2 – Aspidisca turrida; 3 – Opercularia glomerata; 4 – Epistylis plicatilis; 5 – Oxytricha pellionella; 6 – Tokophrya lemnarum.
Организмы – показатели плохой работы аэротенка: 7 – Litonotus lamella; 8 – Colpoda steini; 9 – Podophrya collini; 10 – Bodo edax

Гидробиологический анализ представленного активного ила осуществлялся известным методом «раздавленная капля» с последующим микроскопированием и идентификацией гидробионтов в поле зрения, используя «Атлас фауны аэротенков» и «Методику технологического контроля работы очистных сооружений городской канализации». Ил имел классический тёмно-коричневый цвет, землистый запах без посторонних неприятных включений. После тридцатиминутного отстаивания в цилиндре объёмом 100 мл активный ил имел объём 46 мл, надосадочная жидкость прозрачная, при этом хлопок ила мелкий и рыхлый. Видовое разнообразие микроорганизмов в пробе представлено на фото 1–5:

- активный ил не отличался видовым разнообразием;
- подвижность микроорганизмов отсутствовала;
- тела микроскопических животных были полупрозрачные без чётких внутренних органов;
- прикреплённые микроорганизмы имелись в незначительном количестве и были оторваны от своих оснований;
- размеры микроорганизмов довольно мелкие.

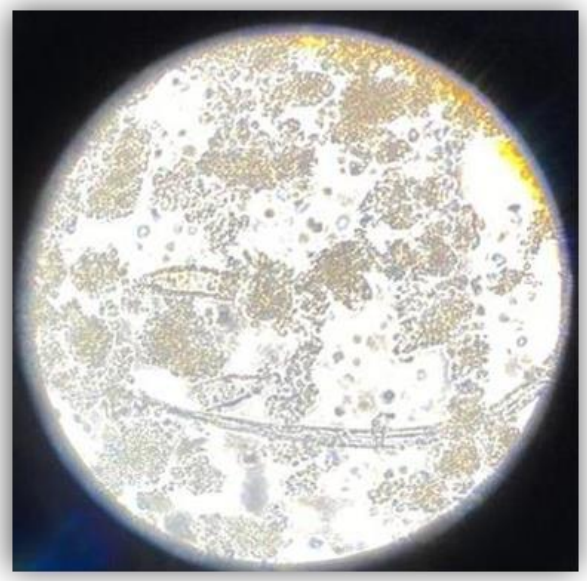


Фото 1. **Nematoda, Philodina roseola (коловратка)**

На представленном фото коловратки неподвижны, имеют только контуры, без чётких внутренних органов. Червь также сохранял неподвижность.



Фото 3. **Opercularia coarctata, Amoeba**

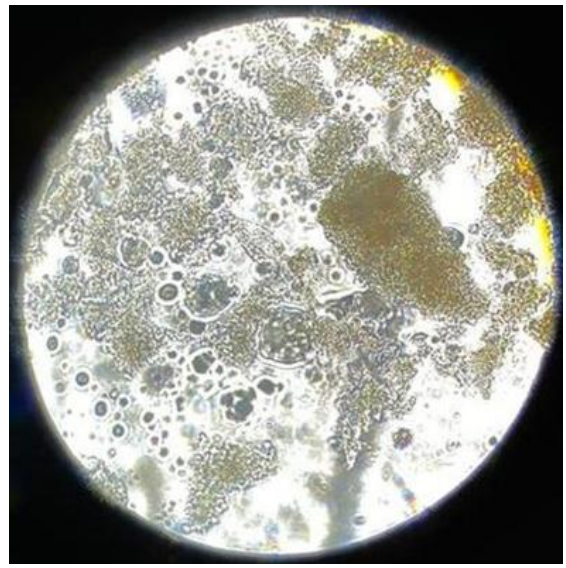


Фото 2. **Arcella discoider**

Opercularia (фото 3) оторвана от основания, также очевидны крупные посторонние включения загрязнений. На фото 4 наблюдаются цисты амёб, что указывает на неудовлетворительную работу ила и недостаток питательных веществ.

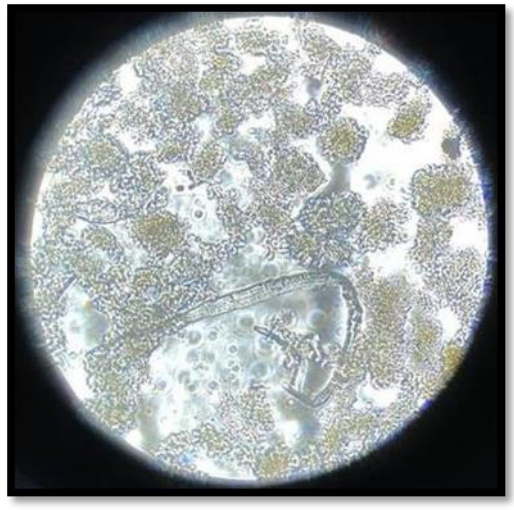


Фото 4. **Nematoda. цисты Amoeba**

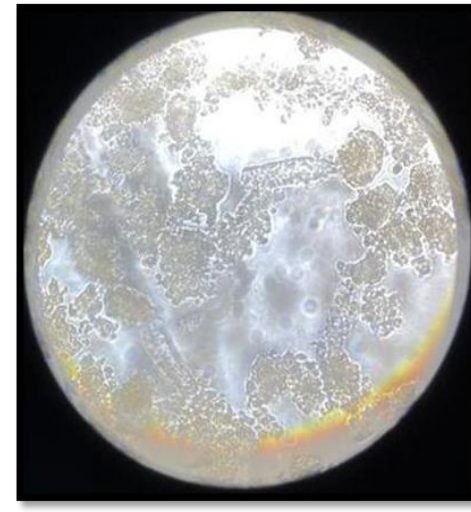


Фото 5. **Amoeba, Philodina roseola** (коловратка)

Частота встречаемости микроорганизмов отражена в таблице.

Таблица. **Частота встречаемости микроорганизмов в пробе активного ила из аэротенка**

№ п/п	Встречаемые организмы	Частота встречаемости в пересчёте на 1 мл сточной жидкости
1	Коловратки	40–50
2	Nematoda	10–30
3	Amoeba и её цисты	50–60
4	Opercularia	10–20
5	Зооглейные скопления	80–100

Согласно «Методике технологического контроля работы очистных сооружений городской канализации», представленные фотографии в данный момент времени характеризуют состояние активного ила в данной пробе как:

голодающий ил – развивается при низкой концентрации органических веществ, характеризуется мелкими размерами простейших, организмы становятся прозрачными, их пищеварительные вакуоли исчезают, частично инфузории превращаются в цисты, коловратки образуют цисты позже, чем инфузории;

ил при недостатке кислорода – opercularia с замкнутым ресничным диском, неподвижные. Коловратки неподвижные, застывшие в вытянутом состоянии, отмирающие. Наличие червей также характеризует недостаточно аэрируемый ил.

Полученные результаты позволяют сделать своевременные выводы о работе аэротенка, принять незамедлительные меры по ликвидации выявленных нарушений в работе очистных сооружений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методика технологического контроля работы очистных сооружений городской канализации. Изд. 3-е, перераб. и доп. М., Стройиздат, 1977. 299 с.
2. Фауна аэротенков (Атлас). – Л, Наука, 1984. 264 с.
3. Голубовская Э.К. Биологические основы очистки воды. М.: Высшая школа, 1978. 268 с.

УДК 628.3

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТОЧНЫХ ВОД ПОСЛЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ДЛЯ ПОЛИВА ПАРКОВОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

А.А. Асатрян, Е.Д. Хецуриани, Е.Г. Угроватова
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия

В статье рассматривается потенциал использования сточных вод для полива древесно-кустарниковой растительности в городской среде, как инновационного решения, способного снижать негативное воздействие на пресные водные ресурсы. Представленная обзорная информация служит важным исходным пунктом для молодых исследователей и опытных практиков, заинтересованных в устойчивом управлении водными ресурсами и развитии городской инфраструктуры. Авторами проанализированы преимущества и недостатки такого подхода оптимизации процесса полива парковой растительности [1].

Вода – это неотъемлемый ресурс для жизни на планете Земля, ее рациональное пользование в городской среде становится все более важным. Города, как живые экосистемы, в своей многогранной структуре содержат древесно-кустарниковую растительность, которая поддерживает экологический баланс и влияет на качество жизни горожан. Одновременно с этим, деревья, кустарники и цветочные культуры требуют значительных объемов воды для ухода, и в этом контексте, сточные воды после биологической очистки могут представлять интересное решение как для удовлетворения потребностей растений различных форм, так и для содействия экологической устойчивости городов [2].

С использованием сточных вод после биологической очистки для полива парковой растительности города связаны как потенциальные преимущества, так и вызовы. С одной стороны, это может способствовать более эффективному использованию водных ресурсов в городской среде и снижению негативного воздействия на окружающую среду. С другой стороны, необходимо тщательно изучить влияние сточных вод на качество почвы и состояние древесно-кустарниковой растительности, а также разработать современные методы очистки воды, чтобы гарантировать ее безопасность для использования в городских условиях [3].

Целью данной статьи является предоставление комплексного анализа текущего состояния и перспектив использования сточных вод после биологической очистки для полива древесно-кустарниковой растительности города. Будут рассмотрены различные методы биологической очистки сточных вод, преимущества и ограничения использования для полива в городской среде, современные технологии обработки сточных вод и их влияние на окружающую среду, а также экологические и экономические аспекты данного подхода [4].

Этот обзор призван поддержать дальнейшие исследования и разработки в области устойчивого городского хозяйства, где вода, как ценный ресурс, может быть использована более эффективно и экологически безопасно для поддержания городской флоры [5].

Биологическая очистка сточных вод представляет собой важный этап в процессе подготовки сточных вод для повторного использования, в том числе для полива древесно-кустарниковой растительности в городской среде. Этот этап включает в себя разнообразные методы и технологии, которые направлены на устранение органических и биологически активных загрязнений. Все биологические процессы очистки сточных вод основаны на работе активного ила. Активный ил представляет собой сообщество микроорганизмов, таких как бактерии и грибы и т.д., использующих загрязнения в качестве источника питания и преобразующие эти загрязнения в биомассу и биогаз. Активный ил может быть эффективен при удалении органических загрязнений, но требует системы по непрерывной поддержке и контролю биологического процесса.

В биологической очистке сточных вод применяются естественные и искусственные системы [6]:

- *аэротенки* представляют собой искусственные железобетонные резервуары, заполненные активным илом с постоянно работающей системой аэрации. Эти сооружения обладают высокой эффективностью при очистке различных сточных вод, включая высококонцентрированные, однако при этом требуют значительных энергозатрат и постоянного контроля качества работы;
- *системы лагун* представляют собой открытые бассейны с поверхностями воды, в которых сточные воды проходят процесс самоочистки, где микроорганизмы разлагают загрязнения под воздействием солнечного света и кислорода. Системы лагун обладают низкой энергозатратностью, но требуют большой площади и подвержены влиянию климатических условий;
- *фильтры с использованием растительности*, также известные как фитофильтры используют растения для удаления загрязнений. Растения, такие как осоки и камыш, способствуют адсорбции и нейтрализации загрязнений, а их корни обеспечивают место для

роста биологически активных микроорганизмов. Фитофильтры могут быть эффективными в удалении различных загрязнений и обладают экологической дружественностью;

- *биологические реакторы* представляют собой контейнеры, в которых сточные воды контактируют с биологически активными бактериями и грибами. Эти биологические агенты разлагают органические загрязнения и улучшают качество воды. Биологические реакторы могут работать на разных стадиях очистки сточных вод и могут быть частью комплексных систем очистки;
- *биофильтры* представляют собой специализированные емкости, наполненные загрузкой с развитой площадью поверхности для роста микроорганизмов. Они эффективно удаляют органические и биологически активные загрязнения. Биофильтры широко используются в системах очистки сточных вод.

Выбор метода биологической очистки зависит от различных факторов, включая состав сточных вод, климатические условия и экономические ограничения. Для обеспечения эффективной биологической очистки сточных вод необходимо провести тщательный анализ и выбрать соответствующий метод, который соответствует конкретным потребностям и условиям городской среды. Информация об эффективности и ограничениях каждого из представленных методов биологической очистки сточных вод представлена в таблице.

Таблица. **Преимущества и недостатки различных биологических методов очистки сточных вод**

Метод биологической очистки сточных вод	Преимущества	Недостатки
Аэротенки	Высокая эффективность в удалении органических загрязнений	Требует постоянной мониторинга и управления для обеспечения стабильной производительности
	Очистка различных сточных вод, включая высококонцентрированные	Низкая эффективность в удалении некоторых токсичных веществ
	Эффективны при соблюдении тщательного контроля и управления процессом	Требует значительных энергозатрат для поддержания биологического процесса
Системы лагун	Эффективны в удалении органических загрязнений при соблюдении правильного дизайна и управления	Зависимость от климатических условий; экстремальные температуры и замораживание могут снизить эффективность

	Низкие операционные затраты и минимальное использование химических реагентов	Требуют большой площади для создания лагун, что может быть недоступно в городской среде
	Системы лагун могут поддерживать биоразнообразие и предоставлять природные экосистемные услуги	Менее эффективны в удалении некоторых микробиологических патогенов
Фильтры с использованием растительности (фитофильтры)	Эффективны в удалении органических загрязнений и некоторых тяжелых металлов	Могут иметь ограниченную способность обрабатывать высококонцентрированные загрязнения
	Поддерживают биоразнообразие и обеспечивают экологическую устойчивость	Требуют времени для установления растительности и достижения максимальной эффективности
	Могут быть интегрированы в городскую ландшафтную архитектуру.	Не всегда подходят для всех типов сточных вод и климатических условий
Биологические реакторы	Высокая эффективность в удалении органических загрязнений	Требуют постоянного обслуживания и контроля процесса
	Относительно компактны и могут быть легко интегрированы в существующие системы очистки	Более высокие затраты на оборудование и эксплуатацию по сравнению с некоторыми другими методами
	Эффективны в обработке сточных вод различного происхождения	Менее эффективны при очень низких температурах
Биофильтры	Высокая эффективность в удалении органических загрязнений	Требуют регулярной замены и обслуживания фильтрующего материала
	Эффективны в обработке сточных вод с переменным составом	Менее эффективны в удалении некоторых микробиологических патогенов
	Могут быть компактными и легко интегрироваться в существующие системы очистки	Зависимость от качества фильтрующего материала

Комбинирование различных методов может иногда быть наиболее эффективным решением для обработки сточных вод. Схематичное представление широко используемого метода биологической очистки сточных вод с помощью биореактора изображено на рисунке [7].

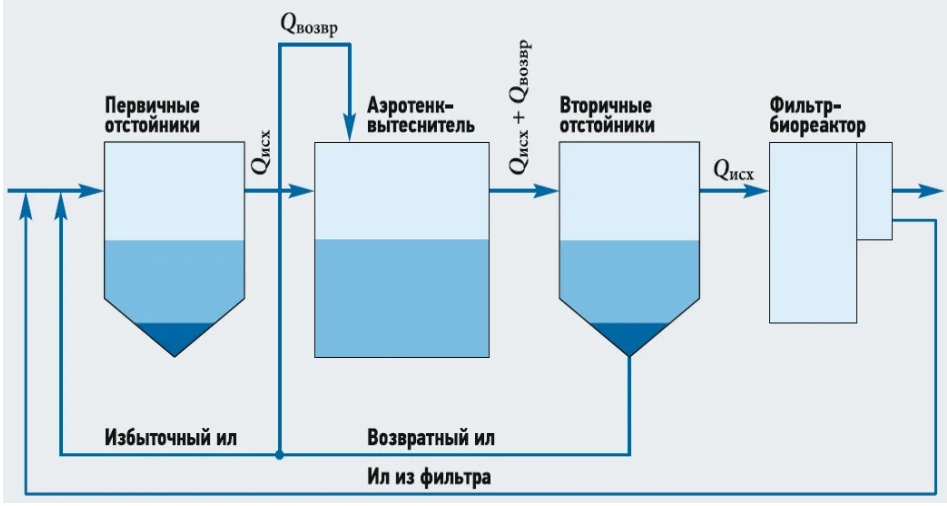


Рисунок. **Технологическая схема биологической очистки сточных вод**

Технологии очистки сточных вод для полива растительности. Использование сточных вод для полива растительности требует эффективной системы очистки, чтобы гарантировать благоприятные условия, как для растений, так и для окружающей среды. Помимо биологической очистки существует ряд других технологий очистки сточных вод, которые могут быть использованы для этой цели [8]:

1. *Механическая очистка* является первым этапом в процессе обработки сточных вод. Она включает в себя физическое удаление крупных твердых частиц и плавающих веществ с помощью решеток, сорбционных фильтров и отстойников. Это предотвращает засорение систем и предоставляет более чистую воду для последующей обработки.

2. *Физико-химическая очистка* использует химические процессы и физические методы для удаления загрязнений из сточных вод. К примеру, флокулянты и коагулянты используются для связывания мелких частиц в более крупные, которые легче удалить. Этот процесс также может быть использован для удаления тяжелых металлов и других неорганических загрязнений.

3. *Фильтрация* включает в себя прохождение сточных вод через фильтры, которые улавливают твердые частицы и микроорганизмы. Различные виды фильтров, включая песчаные и мембранные фильтры, могут использоваться в зависимости от требований к очистке.

4. *Дезинфекция* предполагает хлорирование, ультрафиолетовую обработку и озонирование, которые являются типичными методами и обезвреживают патогенные микроорганизмы.

5. *Рециркуляция и повторное использование* могут быть частью системы очистки. Это позволяет повторно использовать уже очищенные сточные воды, снижая потребление пресной воды.

Подбор конкретной технологии зависит от характеристик сточных вод, требований к качеству воды и экологических ограничений. Важно

также учесть затраты на оборудование, операционные расходы и энергопотребление при выборе альтернативных способов очистки сточных вод для полива.

Полив парковой растительности сточными водами, влияние сточных вод на почву и растения. Парки и другие общественные зеленые зоны являются важным элементом городской инфраструктуры, предоставляя горожанам место для отдыха, релаксации и взаимодействия с природой. Важным аспектом управления общественными пространствами считается обеспечение надлежащего ухода и поддержания благоприятных условий для роста и развития растительности. Наглядность этому предаст учет различных требований к активному использованию сточных вод для обслуживания естественных объектов ландшафта [9]:

- *экономия водных ресурсов* – использование сточных вод снижает зависимость от пресной воды, что особенно важно в условиях дефицита водных ресурсов в некоторых регионах;
- *снижение негативного воздействия на окружающую среду* – полив сточными водами может снизить нагрузку на природные водоемы и уменьшить риск загрязнения водных экосистем;
- *увеличение доступности для полива* – места обработки сточных вод находятся ближе к городским зеленым зонам, что сокращает транспортные расходы и снижает выбросы парниковых газов;
- *улучшение почвенной фертильности* – стоки из сточных вод могут содержать питательные вещества, которые улучшают плодородие почвы и способствуют здоровью растений;
- *ограничения и аспекты безопасности* – необходимо обеспечить высокое качество очищенных сточных вод перед их использованием для полива, чтобы избежать негативного воздействия на растения и почву;
- *мониторинг и контроль* – регулярный мониторинг состава сточных вод и их воздействия на растительность необходим для обеспечения безопасности и эффективности полива;
- *технологии очистки* – выбор технологии очистки сточных вод и эффективная эксплуатация сооружений играют решающую роль в обеспечении безопасности и качества воды;
- *легислативные и регуляторные аспекты* – соблюдение местных и государственных нормативов и законов по использованию сточных вод в городском озеленении является важным аспектом внедрения данной практики.

Полив древесно-кустарниковой растительности в городах сточными водами представляет собой перспективный и устойчивый подход к управлению городскими зелеными зонами. Правильное планирование, мониторинг и обеспечение качества воды сделают этот метод более

доступным и безопасным, обеспечивая уход за зелеными зонами при одновременном соблюдении принципов экологической устойчивости.

Экологические и экономические аспекты. Дальнейшие исследования будут направлены на анализ экономических выгод и рисков, связанных с использованием сточных вод для полива. Это включает в себя моделирование водоэкономики, оценку стоимости инфраструктуры и операционных расходов, а также оценку потенциальных рисков для здоровья и окружающей среды. Подробное изучение указанной области исследований может ориентироваться на инновационные решения, способные повысить эффективность очистки сточных вод, улучшить качество полива и уменьшить негативное экологическое воздействие. Сравнительные анализы могут быть проведены для сопоставления различных подходов к использованию сточных вод для полива в городах по всему миру. Обмен опытом между разными городами и регионами может способствовать распространению наилучших практик [10].

ВЫВОДЫ

Использование сточных вод после биологической очистки для полива растений в городской среде представляет собой актуальное решение, которое может принести существенную пользу. Этот метод открывает возможности для более интегрированного и устойчивого подхода к управлению водными ресурсами и созданию зеленых зон в городах. Однако, несмотря на его потенциал, необходимо учитывать ограничения, связанные с использованием сточных вод для полива. Это включает в себя строгий контроль качества воды, разработку эффективных систем очистки, обучение персонала и экологического просвещения общества, разработку подходящих законодательных и регуляторных рамок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеевский Н.И. Гидрофизика: учеб. для студ. вузов / Н.И. Алексеевский. М.: Академия, 2006. 176 с.
2. Асатрян А.А., Хецуриани Е.Д., Бондаренко В.Л. Основные способы и техники орошения древесно-кустарниковой растительности и цветочных культур на объектах рекреационного значения // Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2023»: материалы XIV Межд. науч.-практ. конф., г. Кисловодск, 18-21 апреля 2023 г. /Юж-Рос. гос. политехн. ун-т. (НПИ) имени М.И. Платова – Новочеркасск: Лик, 2023. С. 101–105.
3. Ахметов Н.С. Общая и неорганическая химия: учеб. для студентов хим.-технол. специальностей вузов / Н.С. Ахметов. – 7-е изд., стер. – М.: Высшая школа, 2009. 743 с.
4. Василенко Л.В. Методы очистки промышленных сточных вод: учеб. пособие / Л.В. Василенко, А.Ф. Никифоров, Т.В. Лобухина. –

Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. университет, 2009. 174 с.
5. Краткий справочник физико-химических величин / сост. Н.М. Барон [и др.]; под ред. А.А. Равделя, Л.М. Пономаревой. – 2-е изд. М.: АРИС, 2010. 240 с.
6. Липунов И. Н. Химия окружающей среды: курс лекций / И. Н. Липунов, А. Ф. Никифоров. Екатеринбург: УГЛТУ, 2006. 319 с.
7. Теоретические основы физико-химических процессов очистки: учеб. пособие / А.Ф. Никифоров, И.Г. Первова, И.Н. Липунов, Л.В. Василенко. Екатеринбург: УГЛТУ, 2008. 170 с.
8. Методы физико-химического анализа в экологии: учеб. пособие / И.Н. Липунов, Л.В. Василенко, А.Ф. Никифоров, М.В. Винокуров. Екатеринбург: УГЛТА, 1998. 204 с
9. Хецуриани Е.Д., Васильев С.М. Аспекты разработки конструктивно-технологических устройств для безопасной работы водозаборов мелиоративных систем // Аграрный научный журнал. 2022. № 5. С. 96–100.
10. Хецуриани Е.Д., Хецуриани Т.Е., Черкесова Ю.В., Дутуев З.А. Экологическая безопасность водозаборных сооружений – залог жизнеобеспечения городской среды обитания // Информационные технологии в обследовании эксплуатируемых зданий и сооружений: материалы XX межд. научн.-техн. конф., Новочеркасск. 2021. С. 31–38.

УДК 628.381

ВЛИЯНИЕ ПЕРОКСИДА ВОДОРОДА НА РАЗРУШЕНИЕ КЛЕТОЧНОГО ВЕЩЕСТВА АКТИВНОГО ИЛА

В.И. Нездойминов, А.В. Могукало, В.В. Ручка
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
г. Макеевка, Россия

При аэробной стабилизации активного ила внесение перекиси водорода увеличивает распад беззольной части и относительную стабильность осадка к загниванию. Ускорение распада связано с химическим окислением липидов и белков с выделением в жидкую среду минерального азота.

При реконструкции и модернизации канализационных очистных сооружений, актуальной задачей сегодняшнего дня является предотвращение накопления иловых осадков на территориях очистных сооружений. Как известно, из научных работ [1–2] избыточный активный ил (ИАИ) обладает удобрительными свойствами за счет высокого содержания органических и биогенных элементов (азот, фосфор, калий), и может применяться в качестве удобрительного материала для рекультивации неплодородных почв. Основным препятствием

повсеместного использования ИАИ выступает с одной стороны высокая бактериальная обсеменённость патогенными микроорганизмами, а с другой подверженность ила к загниванию с выделением дурнопахнущих веществ.

На кафедре ВВиОВР ФГБОУ ВО «ДОННАСА» было предложено технологическое решение, направленное на снижение патогенной обсеменённости ила с применением предварительной аэробной стабилизации ИАИ с последующим введением негашёной извести. Аэробная стабилизация сопровождается протеканием двух одновременных биологических процессов. Гетеротрофы разрушают беззольную часть ила с образованием аммония, который нитрифицирующими микроорганизмами окисляется до нитратов с повышением окислительно-восстановительного потенциала (ОВП). Известно, что патогенные микроорганизмы в большинстве являются анаэробами, поэтому при создании аэробных условий большинство их погибает. Так, попадая в среду с ОВП более +300 мВ, ферменты патогенных микроорганизмов ингибируются, что приводит к их гибели [3]. Нами установлено, что снижение патогенной обсеменённости в процессе аэробной стабилизации происходит на 75…80 % [6]. Полная гибель патогенных микроорганизмов достигается при введении негашёной извести порядка 10 % от массы сухого вещества. Щелочная среда (pH ≥ 9) влияет на знак заряда поверхности клеток, что приводит к изменению проницаемости клеточной мембраны по отношению к питательному субстрату и нарушению нормального процесса обмена веществ. В конечном счете ингибируется активность эндо- и экзоферментов, интенсивность и направление биохимических реакций, что приводит к гибели патогенных микроорганизмов. Предлагаемая технология позволяет получить экологически безопасный и стабильный продукт с полным удалением из него бактериальной группы кишечной палочки и сальмонеллы.

Стоит отметить, что добавление извести определенной дозы в осадок приводит к повышению щелочности и содержанию кальция, это несколько ограничивает использование данного вида удобрительного материала. Данный осадок рекомендуется использовать для почв с повышенной кислотностью. Исходя из этого, нами изыскиваются новые методы обработки осадков по снижению патогенной обсеменённости и обеспечению стабильных свойств ИАИ. Для достижения данных целей предлагается использовать реагентную обработку перекисью водорода (H_2O_2).

Перекись водорода относится к окислителям, применение которого не сопровождается экологически вредными последствиями. Практический опыт применения перекиси водорода в процессах водоотведения показывает, что данный реагент имеет ряд преимуществ: обладает ярко выраженными бактерицидными свойствами, не увеличивая

солесодержание; сравнительная простота аппаратурного оформления процесса введения H_2O_2 в жидкость; эффективность в бактерицидном отношении в большом интервале значений pH среды и температуры [4].

Исходя из вышеизложенного, целью работы являлось изучение воздействия перекиси водорода на распад беззольной части активного ила и повышение относительной стабильности обработанного осадка при аэробной стабилизации.

Экспериментальные исследования аэробной стабилизации активного ила проводились на двух лабораторных установках, каждая объемом 5 дм^3. Исходная концентрация активного ила составляла 4,4 г/дм^3 по сухому веществу, зольность 29 %. Концентрация растворенного кислорода в иловой воде поддерживалась на уровне 2…3 мг/дм^3. В одну из установок была внесена экспериментально подобранная доза перекиси водорода 45 мг H_2O_2/г осадка по сухому веществу, а вторая была в качестве сравнения. Аэробная стабилизация осуществлялась в течение двух суток, после чего были определены следующие параметры: концентрация ила, pH среды, щелочность, концентрации азота нитратного, ОВП. Полученные данные представлены в таблице.

Таблица 1. **Изменение физико-химических показателей**

Продолжительность аэробной стабилизации, сут	Показатели				
	Концентрация ила по беззольному веществу, г/дм^3	Концентрация азота нитратного $N\text{-}NO_3^-$, мг/дм^3	pH	ОВП, мВ	Щёлочность, HCO_3^-, мг·экв/дм^3
Первоначальные значения					
	3,12	5,10	7,10	+220	6,40
Аэробная стабилизация активного ила без внесения H_2O_2					
2	2,90	46,29	6,10	+490	3,40
Аэробная стабилизация активного ила с добавление перекиси водорода 45 мг H_2O_2/г осадка					
2	2,65	16,80	6,20	+347	5,80

Полученные результаты свидетельствуют, что при аэробной стабилизации без внесения H_2O_2 распад беззольной части ила составил 7 %, а при внесении H_2O_2 в количестве 45 мг/г ила распад увеличился до 15 %. Удельная скорость распада беззольной части ила гетеротрофными микроорганизмами составила 1,52 мг/г$_{безз}$·ч, при внесении H_2O_2 эта величина увеличилась до 3,26 мг/г$_{безз}$·ч. Ускорение распада связано с химическим окислением макромолекулярных компонентов микроорганизмов ила.

Эффективность процесса нитрификации оценивалась по образованию нитратов и убыли щелочности с добавкой перекиси водорода и без добавки. В процессе аэробной стабилизации удельная скорость образования нитратов составила 0,19 мг $N/г_{без}$ ·ч, при этом добавление перекиси снижает скорость образования нитратов до 0,05 мг $N/г_{без}$ ·ч. Выбранная концентрация перекиси водорода оказывает негативное влияние на рост автотрофных нитрифицирующих микроорганизмов.

Полученные результаты сравнивались с полученными значениями при расчете по модели «Модель активного ила № 1» (ASM 1). Ранее были выявлены стехиометрические коэффициенты для расчета биохимических процессов, протекающих при аэробной стабилизации [5]. Откорректированные коэффициенты применяются при расчете роста автотрофных и гетеротрофных микроорганизмов. Описание процесса нитрификации при расчете в модели и полученные результаты при аэробной стабилизации с добавлением перекиси водорода в лабораторных условиях, позволило установить, что скорость нитрификации с перекисью водорода снижается на 35 %. Также не происходит снижение потребления щелочности, за счет ингибирования жизнеспособности нитрифицирующих микроорганизмов.

Экспериментально определялось влияние H_2O_2 на стабильность осадка к загниванию. Стабильность осадка рассчитывалась согласно выражению (1) по аналогии стабильности сточных вод.

$$S = (1 - 0{,}794^{\tau})100\ \%, \qquad (1)$$

где S – относительная стабильность, %; τ – время снижения rH_2 до «критического» значения, сутки.

В качестве «критического» значения rH_2 принимается величина, равная 16, снижение этого показателя свидетельствует о преобладании восстановительных процессов над окислительными. Величина rH_2 зависит от окислительно-восстановительного потенциала (Eh) и pH в соответствии с уравнением (2):

$$rH_2 = \frac{Eh}{0.029} + 2 \cdot pH \qquad (2)$$

На графике (рис.) представлена динамика изменения rH_2 жидкой фазы осадка без внесения кислорода.

Согласно выражению (1) была рассчитана относительная стабильность осадка, которая равна 81 % после двухсуточной стабилизации, при этом внесение перекиси водорода повышает относительную стабильность осадка до 93 %. Это соответствует 12 суткам преобладания окислительных процессов в осадке после завершения процесса стабилизации. При этом количество патогенных микроорганизмов на примере бактериальной группы кишечной палочки снижается на 70 %.

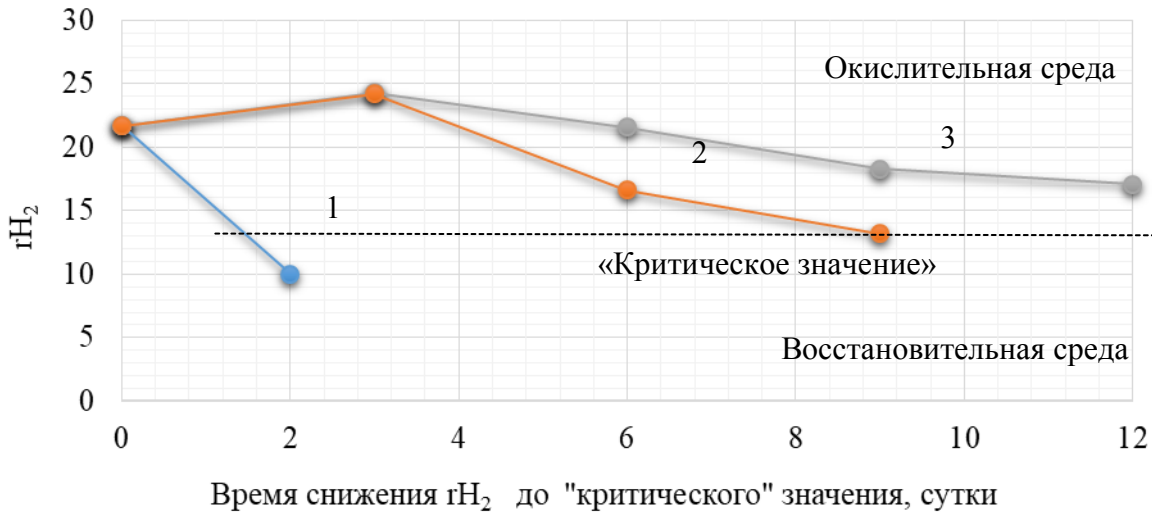


Рисунок. **Динамика изменения rH_2 жидкой фазы осадка без внесения кислорода:**
1 – не стабилизированный избыточный активный ил; 2 – после двухсуточной стабилизации; 3 – после двухсуточной стабилизации с добавление перекиси водорода с дозой 45 мг H_2O_2/г осадка

Таким образом, применение перекиси водорода при аэробной стабилизации активного ила в течение двух суток позволяет в два раза увеличить распад беззольной части ила и увеличить относительную стабильность осадка к загниванию. Ускорение распада связано с химическим окислением липидов, белков и нуклеиновых кислот микроорганизмов активного ила с образованием аммонийного азота. Скорость образования окисленных форм азота и величина ОВП среды снижается.

ЛИТЕРАТУРА

1. Касатиков, В.А. Агрогеохимические свойства осадков городских сточных вод и торфоиловых компостов [Текст] / В.А. Касатиков // Агрохимия. 1996. № 8–9. С. 87–96.
2. Валиев, В.С. Способы утилизации осадков городских сточных вод [Текст] / В.С. Валиев, Д.В. Иванов, Р.Р. Шагидуллин / Российский журнал прикладной экологии // 2020. № 4. С. 52 – 63.
3. Габидуллин З.Г. Условно патогенные грамотрицательные и грамположительные бактерии: учебное пособие / З.Г. Габидуллин, Т.А. Савченко, Ю.З Габидуллин [и др.]. – Уфа: Издательство ГБОУ ВПО БГМУ Минздрава России, 2014. 82 с.
4. Дроздова, Т.И. Исследование бактерицидной активности пероксида водорода в сточных водах [Текст] / Т.И. Дровозова, Н.Н. Паненко, Е.С. Кулакова // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – №7(49). С. 18–20.

5. Могукало, А.В. Комплексная обработка избыточного активного ила от патогенной обсеменённости: дис. … канд. техн. наук: Донбасская национальная академия строительства и архитектуры. Макеевка, 2023. 125 с.
6. Нездойминов В.И., Могукало А.В. Влияние окислительно-восстановительного потенциала на снижение патогенной обсеменённости активного ила при аэробной стабилизации // Сетевое научное периодическое издание журнал «Современное промышленное и гражданское строительство». 2022. Т. 18 № 4. С. 167–175.

УДК 628.16.081

УСЛОВИЯ ПЕРЕХОДА С ПРОТОЧНОЙ ОЧИСТКИ СТОКОВ НА ОЧИСТКУ СТОКОВ ПАРТИЯМИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ МОЛОЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И МАСЛОЭКСТРАКТНЫХ ЗАВОДАХ

А.А. Рученин, Е.С. Осокина
ГК «Аурат-ВВ», г. Казань, Россия

Рассмотрены проблемы очистки стоков при эксплуатации канализационных очистных сооружений на предприятиях молочной промышленности и маслоэкстрактных заводах.

С 1985 г. СНиП 2.04.03-85 практически не менялся. В нем отсутствуют требования для локальных очистных сооружений с малой производительностью, т.к. в СССР таких очистных сооружений просто не было, а минимальным объемом стоков в СНиПе считается объем в 200 $м^3$/сутки [1]. Действительно, отсутствие единых строительных норм и правил для проектирования и строительства канализационных очистных сооружений (КОС), предприятий молочной промышленности и маслоэстрактных заводов (МЭЗ), привело к тому, что на сегодняшний день для данной отрасли было построено немало типовых КОС, на которых не получается добиться необходимой степени очистки установленным нормативам, или имеют место отклонения хотя бы по одному из параметров. При этом, при проектировании реагентной очистки, проектировщиками преимущественно закладывается применение КОС, работающих в проточном режиме очистки, что далеко не всегда является лучшим решением. Существующие канализационные очистные сооружения условно можно разделить на 2 типа – работающие в проточном режиме (таких абсолютное большинство), и работающие по очистке стоков партиями (очистка определенных объемов воды, т.е. пока одна партия стоков очищается, другая набирается). В свою очередь КОС, работающие в проточном режиме, можно условно разделить на КОС с

полностью автоматизированным технологическим процессом, с частичной автоматизацией и не автоматизированные КОС. Даже на полностью автоматизированных КОС молокозаводов, где pH стоков регулируется автоматически, все равно приходится вручную корректировать дозу коагулянта, в связи с изменением концентрации взвешенных веществ находящихся в поступающих стоках. Что касается КОС, работающих в полуавтоматическом или ручном режиме, достичь стабильных результатов очистки стоков очень трудно, аппаратчик КОС должен быстро реагировать на изменение расхода и pH регулировкой доз щелочи, кислоты, коагулянта и флокулянта. Для того чтобы упростить очистку стоков и улучшить качество очистки зачастую лучше перейти на очистку стоков партиями.

Рассмотрим решение данной проблемы на примерах КОС масло-экстрактного завода ООО «НИВА» п. Утевка и АО «Ядринмолоко», г. Ядрин.

1. Масло-экстрактный завод ООО «НИВА», п. Утевка

Технологическая схема КОС представляет собой типовую станцию со следующими сооружениями и оборудованием: резервуар-усреднитель 60 м^3, змеевик 79 м (для ввода и перемешивания щелочи, кислоты, коагулянта и флокулянта), радиальный флотатор, узел подготовки реагентов, узел обезвоживания осадка. Схема работы КОС двухсменная, по 12 часов. Подача стоков на КОС составляет 4 – 6 м^3/час, в среднем около 5 м^3/час. Изменение водородного показателя поступающих в резервуар-усреднитель стоков по часам суток показано в таблице.

Таблица. **pH стоков из резервуара-усреднителя**
(за период 25.01.–26.01.2024 г**.)**

07-00	6,68	13-00	8,82	19-00	7,12	01-00	7,75
08-00	5,81	14-00	10,1	20-00	6,09	02-00	9,11
09-00	4,60	15-00	11,4	21-00	4,92	03-00	10,9
10-00	5,53	16-00	10,6	22-00	4,70	04-00	9,33
11-00	6,46	17-00	9,32	23-00	5,82	05-00	8,12
12-00	7,33	18-00	8,14	24-00	6,90	06-00	7,05

Как видно из таблицы среднее pH с 8 до 20 часов имеет значение 7,93; среднее pH с 20 до 8 часов – 7,28, т.е. подщелачивать или подкислять воду перед вводом коагулянта не требуется, т.к. значения лежат в пределах 6,5 – 9 (т.е., если бы очистка осуществлялась партиями, накопленных за 12 часов стоков, подщелачивание и подкисление их бы не потребовалось). В проточном же режиме потребовалось подщелачивание или подкисление.



Рисунок 1. **Поверхность радиального флотатора**

Как видно из рисунка 1, ввиду того, что аппаратчик не успевает своевременно отреагировать с регулировкой реагентов в проточном режиме, очищенная вода имеет соответствующий вид. При этом при правильно установленной дозе коагулянта (190 – 290 мг/л) очищенные стоки на рисунке 1 могли бы выглядеть как на рисунке 2.

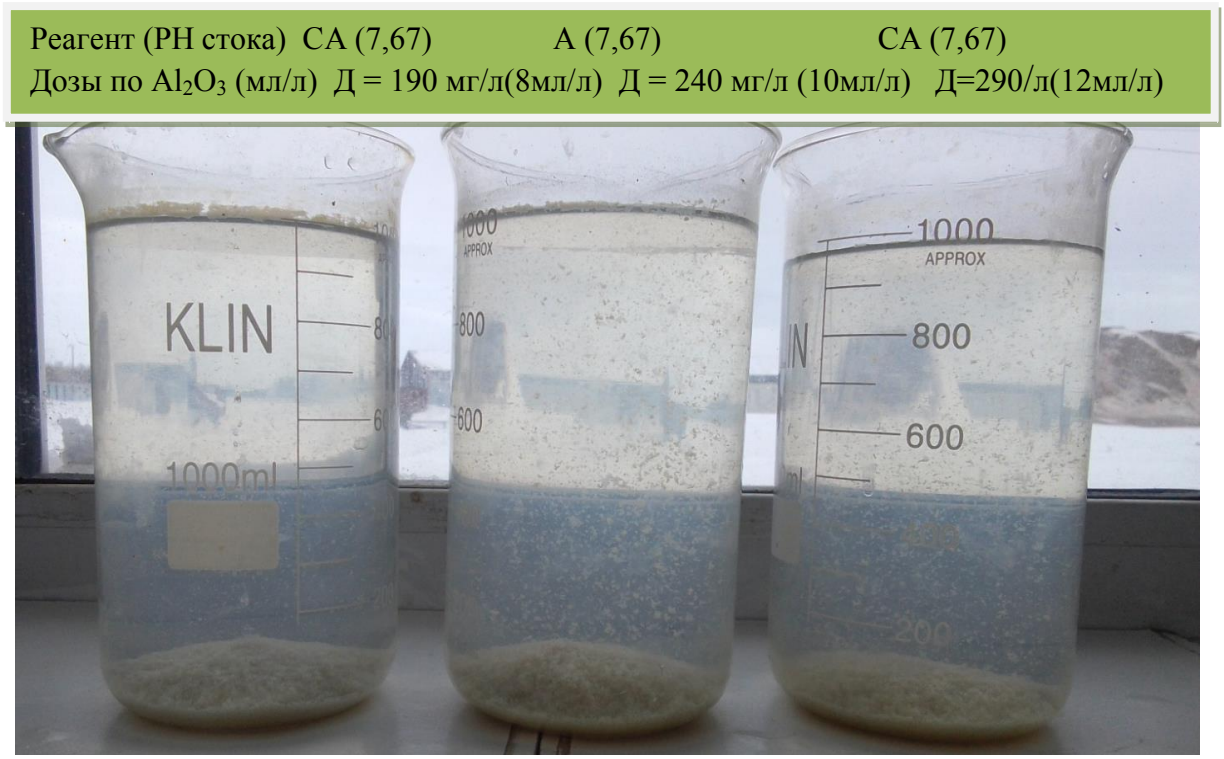


Рисунок 2. **Пробное коагулирование для стоков (**см. рис. 1)

Таким образом, для получения на КОС ООО «НИВА» стабильных результатов по очистке стоков необходимо либо полностью

автоматизировать процесс очистки стоков и очищать стоки в проточном режиме, либо дополнительно установить еще один резервуар–усреднитель емкостью 60 м^3 и очищать стоки партиями. Предпочтительный режим устанавливается на основании технико-экономического расчета.

2. ОАО «Ядринмолоко», г. Ядрин

Также как и для масло-экстрактных заводов, общим для стоков всех молочных заводов является: относительно высокая температура 16 – 35 °С, возможность резких колебаний кислотности (pH = 3,2 – 12), большое содержание органических примесей, составляющих основную часть взвешенных веществ (до 90 %). Концентрация взвешенных веществ колеблется в широких пределах и зависит, в основном, от ассортимента продукции, технологии производства и применяемого оборудования.

КОС ОАО «Ядринмолоко» г. Ядрин состоит из: железобетонного резервуара-усреднителя объемом 600 м^3 (суточный объем), змеевика 46 м (труба пэ ду110, для ввода и перемешивания щелочи, коагулянта и флокулянта), два горизонтальных флотатора, узел подготовки реагентов, узел обезвоживания осадка. Схема работы КОС двухсменная, по 12 часов, режим работы: с 7 до 19 часов и с 19 до 7 часов утра. Подача стоков на КОС составляет 14 – 16 м^3/час. Колебание РН стоков от 3,9 до 12.



Рисунок 3. **Ж/б резервуар-усреднитель ОАО «Ядринмолоко»**

Режим притока кислых и щелочных стоков приблизительно такой же как на КОС ООО «НИВА», однако резервуар-усреднитель имеет суточный объем хранения стоков – 600 м^3, что делает его очень удобным для очистки стоков партиями по 300 м^3. Для этого достаточно устроить перегородку в резервуаре и незначительно изменить коммуникации по откачке стоков.



Рисунок 4. **Горизонтальный флотатор КОС ОАО «Ядринмолоко»**

Как видно из рисунка 4, качество очистки не высокое. В течение суток чередуется плохая и удовлетворительная очистка. При переходе на очистку партиями экономический эффект сложится из экономии едкого натра (кислоты) и исключения штрафных санкций за сброс стоков, не удоволетворяющих условиям сброса на биологические очистные сооружения г. Ядрин.

Технико-экономический расчет.

Экономия будет складываться из сокращения расходов на закупку щелочи и устранения штрафных санкций.

Исходные данные (по данным технолога):

- среднечасовой расход стоков составляет (Qч) = 14 м^3/ч;
- среднемесячный расход едкого натра (Qен) = 2 т/мес;
- стоимость едкого натра Сен = 90 000 руб/т с НДС и доставкой;
- штрафные санкции за 2023 г. (Шс) = 646 220 рублей.

Э год = Qен х 2 х 12 + Шс = 90 000 х 2 х 12 + 646 220 = 2 806 220 руб.

Подавляющее большинство молокозаводов и экстрактных заводов имеет расход стоков 5 – 50 м^3/час, с резервуарами-усреднителями 60 – 600 м^3. Для реализации схемы очистки партиями на действующих КОС необходима установка еще одного резервуара-усреднителя такого же объема. Время накопления партии стоков не должно превышать 12 часов (из-за роста ХПК). При существующих сегодня предложениях типовых резервуаров-усреднителей: металлических, пластиковых, железобетонных объемом 60 – 600 м^3 их стоимость составляет от 350 000 рублей до 2 000 000 рублей.

ВЫВОДЫ

В случаях, когда на предприятиях с действующими КОС не удается стабильно очищать стоки по причине трудности регулировки и выдерживания установленных доз подачи реагентов, целесообразно рассмотреть очистку стоков партиями. Тем более, в ряде случаев, это еще несет и не малый экономический эффект.

ЛИТЕРАТУРА

1. СНиП 2.04.03-85 «Канализация. Наружные сети и сооружения».

УДК 628.3

ОЧИСТКА НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ СТОКОВ КОТЕЛЬНЫХ

В.И. Кириленко, В.К. Тучков
Военный институт (инженерно-технический) Военной академии материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева, г. Санкт-Петербург, Россия

В статье рассмотрены основные источники образования нефтесодержащих сточных вод мазутных хозяйств котельных установок и ТЭЦ и указаны возможные характерные концентрации нефтепродуктов, присущие им. Показана возможность повышения эффективности систем очистки таких сточных вод.

Эксплуатация мазутных хозяйств отопительно-производственных котельных сопровождается образованием значительного количества нефтесодержащих (замазученных) вод, которые в настоящее время не подвергаются дальнейшему использованию, а собираются в накопительные емкости и, как правило, в дальнейшем сдаются на специализированные полигоны.

Сточные воды, загрязненные нефтепродуктами, представлены в основном сточными водами мазутных хозяйств следующих видов: отстойные воды из мазутных резервуаров; загрязненный мазутом конденсат; вода от дренажных насосов мазутного хозяйства, мазутонасосной и от маслохозяйства; обмывочные воды от мытья сливных эстакад и площадок, полов производственных помещений; воды с загрязненных поверхностей эстакад и сливных площадок из колодца сбора ливнестоков [3, 7].

Отстойные воды в мазутных резервуарах образуются в результате обводненности топлива, и может достигать 10…12 %. Возможные концентрации мазута в отстойной воде – от 500 до 100 000 мг/л и более. Расход отстойных вод из мазутных резервуаров определяется пропускной способностью сифонных кранов (от 10 до 20 л/с).

Мазутосодержащий конденсат образуется по причине загрязнения пара мазутом, поступающим в паровую часть различных мазутоподогревателей через неплотности конструктивного характера и ввиду разрушения материала труб от коррозии и эрозии.

При хорошем техническом состоянии мазутных подогревателей содержание мазута в воде невелико: не превышает 20 мг/л. При коррозионных и эрозионных нарушениях плотности трубопроводов содержание мазута в конденсате может быть очень большим. Расход загрязненного конденсата устанавливается по расходу греющего пара в мазутном хозяйстве (1…5 $м^3$/ч).

Вода от дренажных и нефтяных насосов мазутного хозяйства, мазутонасосной и от маслохозяйства загрязнена мазутом до 50 мг/л.

Обмывочные воды от мытья площадок, эстакад, полов в мазутонасосной образуются из расчета 3 – 4 л/$м^2$ при каждой помывке (один раз в неделю в течение часа). Загрязненность таких вод нефтепродуктами составляет 20 – 100 мг/л.

Атмосферные (дождевые, талые) воды с открытых загрязненных мазутом поверхностей оцениваются по объему годового слоя осадков с учетом коэффициентов стока. Их загрязненность может быть в пределах 50…200 мг/л [7].

При эксплуатации мазутного хозяйства и работе котлов на мазуте потери воды включают следующие расходы [3-6]:

$$G_{мх} = 1{,}01(G_{жд} + G_{псу} + G_{хр} + G_{под} + G_{ф} + G_{обд}),\ м^3, \qquad (1)$$

где 1,01 – коэффициент, учитывающий расход воды при паровых продувках оборудования и трубопроводов мазутного хозяйства; $G_{жд}$ – потери воды при сливе мазута из железнодорожных цистерн, $м^3$; $G_{псу}$ – потери воды при поддержании в резерве приемно-сливного устройства мазутного хранилища, $м^3$; $G_{хр}$ – потери воды при хранении мазута, $м^3$; $G_{под}$ – потери воды при подогреве мазута в мазутоподогревателях, $м^3$; $G_{ф}$ – потери воды при сжигании мазута в паромеханических форсунках, $м^3$; $G_{обд}$ – потери воды при паровых обдувках поверхностей нагрева паровых котлоагрегатов, $м^3$.

Авторами произведена оценка плановых расходов воды на эксплуатацию мазутного хозяйства и работу котлов на мазуте котельной, оборудованной паровыми котлами ДКВР-20 (5 котлов) и водогрейными котлами ПТВМ-50 (4 котла). Мощность паровой части котельной – 80 Гкал/ч, водогрейной – 200 Гкал/ч.

Основное топливо котельной – природный газ, а резервным топливом является мазут, поставляемый на объект цистернами железнодорожным транспортом. Для слива мазута котельная оборудована приемным устройством, состоящим из лотков, приемной емкости, трех подземных резервуаров по 400 $м^3$ каждый, мазутоподогревателями и

мазутонасосной станции. При отрицательных температурах наружного воздуха приемно-сливочное устройство поддерживается в горячем резерве.

В качестве исходных были приняты следующие данные: расчетный период – 744 ч; количество слитого мазута – 600 т; температура мазута при хранении и сливе – 60 °С; количество хранящегося мазута – 4400 т; сожженного мазута – 108 т.

Результаты расчета: потери воды при сливе мазута из железнодорожных цистерн, $G_{жд}$, составили 28 м^3; потери воды при поддержании в резерве приемно-сливного устройства мазутного хранилища − $G_{псу}$ = 74 м^3; потери воды при хранении 4400 т мазута $G_{хр}$ = 253 м^3; при подогреве 108 т мазута в мазутоподогревателях расходуется $G_{под}$ = 12 м^3; при сжигании в форсунках 108 т мазута $G_{ф}$ = 3 м^3; при обдувках паром поверхностей нагрева котлов $G_{обд}$ = 1 м^3.

Таким образом, суммарные потери воды при эксплуатации мазутного хозяйства и работе котлов на мазуте составили:

$$G_{мх} = 1{,}01(28 + 74 + 253 + 12 + 3 + 1) = 375 \text{ м}^3.$$

В Военном институте (инженерно-техническом) накоплен многолетний опыт по очистке нефтесодержащих (замазученных) сточных вод и дальнейшему их использованию для восполнения потерь воды на собственные нужды и процессы теплоэнергетических объектов МО РФ путем возврата для этого части очищенных сточных вод. Для решения этих проблем специалистами института разработана ресурсосберегающая технология очистки нефтесодержащих сточных вод (замазученных вод мазутных хозяйств котельных), получившая условное название «СКОН-ГРИН» (рис.) [2–3].

«СКОН-ГРИН» является результатом многолетних теоретических и экспериментальных исследований. Ее работа проверена в реальных условиях эксплуатации на теплоэнергетических комплексах военного и гражданского назначения.

Система предназначена, как для газовых котельных (резервное топливо), так и для котельных использующих мазут М100, как основное топливо, и относится к ресурсосберегающим системам природоохранного (экологического) назначения. Система обеспечивает повышение экономичности, надежности, маневренности объектов ТЭК с паровыми и водогрейными котлами среднего и низкого давления отечественного и импортного производства при работе на отечественном мазуте [1–2].

Система «СКОН-ГРИН» разработана для выделения из сточных вод объектов ТЭК топливных остатков, отработанных масел и других нефтеотходов с целью их дальнейшей утилизации и огневого обезвреживания в топках котлов в составе топливной смеси. Система представляет собой готовый комплекс сооружений очистки сточных вод от механических и взвешенных загрязнений, нефтепродуктов и ПАВ. Оборудование комплекса наземного исполнения, и может быть

установлено как в помещениях капитальных строений, так и в перспективе в блок-контейнерах на открытых площадках или на базе шасси передвижных средств.

Система «СКОН-ГРИН» позволяет осуществить: максимальное извлечение ценных нефтепримесей для использования их по назначению; повторное применение очищенных сточных вод для технических нужд и процессов теплоэнергетических объектов; очистку нефтесодержащих сточных вод до норм сброса в городскую канализацию и природные водоемы; минимальный сброс сточных вод в водоём в соответствии с действующими нормативами [2–3].

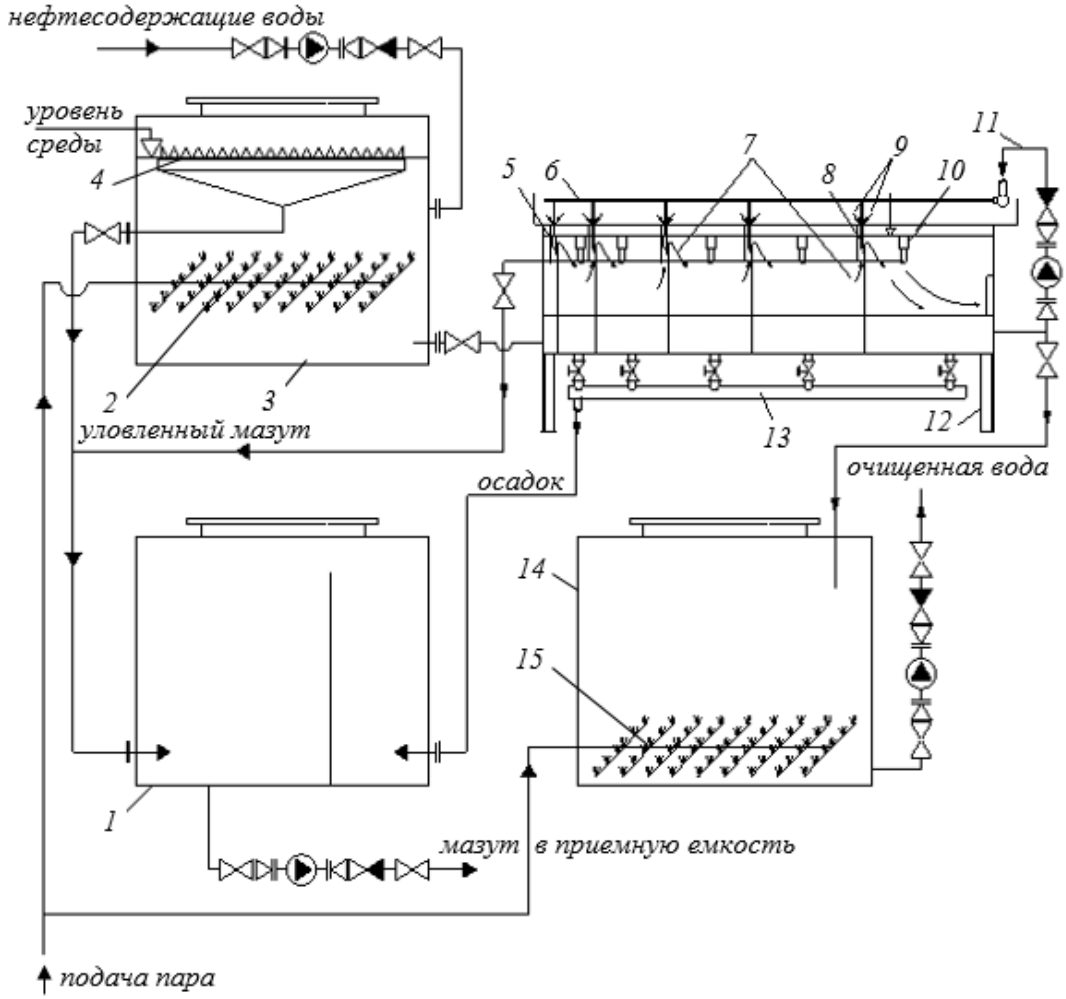


Рисунок 1. **Принципиальная схема системы комплексной очистки нефтесодержащих сточных вод «СКОН-ГРИН»:**
1 – приемная емкость выделенного мазута (нефтепродуктов); 2, 15 – перфорированный распределитель пара; 3 – приемная емкость нефтесодержащих сточных вод; 4 – пороговый скиммер с зубчатой приемной частью; 5 – струйно-аэрационная флотационная установка (патент РФ № 2448050); 6 – коллектор; 7 – путь рециркуляции очищенной воды; 8 – щелевой канал; 9 – эжектируемый воздух; 10 – водовоздушные эжекторы; 11 – рециркуляция очищенной воды; 12 – опорные стойки; 13 – труба удаления осадка; 14 – приемная емкость очищенной воды

В комплектации системы «СКОН-ГРИН» реализованы различные методы очистки сточных вод:

- в приемной камере *3* очищаемые нефтесодержащие воды барботируются паром через перфорированный распределитель *2*, что позволяет максимально выделить из них и обеспечить всплытие нефтепродуктов (отходов) на поверхность очищаемой жидкости;
- для сбора плавающих нефтепродуктов с поверхности жидкости используется механическое устройство – пороговый (барьерный) скиммер нефтепродуктов с зубчатой приемной частью *4*, принцип работы которого основан на разнице в плотностях нефти и воды. Зубчатый порог пропускает верхний слой с нефтепродуктами, отделяя их от основной части воды. Отделенные нефтепродукты сливаются в емкость для сбора, из которой поступают на обработку и огневое обезвреживание;
- **о**бработанная в барботажной емкости вода, поступает в струйно-аэрационную флотационную установку *5*, в которой завершается очистка воды от эмульгированных масел и нефтепродуктов. Загрязнения захватываются мелкими пузырьками воздуха, образуя флотационную пену, которая удаляется с поверхности зеркала воды и далее в безнапорном режиме отводится в емкость сбора выделенных нефтеотходов *1*. Очищенная вода самотеком поступает в накопительную емкость *14*, после чего подается на основные очистные сооружения или используется повторно для собственных нужд котельной [2–3].

По физико-химическим показателям нейтрализованные и очищенные от нефтепродуктов воды отвечают требованиям, предъявляемым к технической воде, подаваемой на технические и технологические нужды котельных и ТЭЦ. Это позволяет сократить отбор воды из водоема, а очищенные стоки вернуть в технологический оборот.

ЛИТЕРАТУРА

1 Кириленко В.И., Тучков В.К. Система комплексной очистки нефтесодержащих сточных вод из котельных МО РФ. Перспективы развития эксплуатационного содержания фондов Министерства обороны РФ. Сборник статей форума «Армия 2021»/СПб: ВА МТО, 2021. С. 84–91.

2 Методика определения потребности в топливе, электрической энергии и воде при производстве и передаче тепловой энергии и теплоносителя в системах коммунального теплоснабжения, разработанная ЗАО «Роскоммунэнерго», согласованная ФЭК РФ 22.04.2003 г. № ЕЯ-1357/2 (утверждена заместителем председателя Госстроя РФ 12.08.2003 г.).

3 Методические указания по определению расходов топлива, электроэнергии и воды на выработку тепла отопительными котельными коммунальных теплоэнергетических предприятий. – М.: АКХ им. Панфилова, 1994.
4 Слепченок В.С. Расчет потребности в ресурсах для производства и передачи тепловой энергии. / Слепченок В.С., Кузнецов Е.П., Зак М.Л., Быстров В.Д. – СПб.: ПЭИПК, 2010. 252 с.
5 Стахов Е.А. Очистка нефтесодержащих сточных вод предприятий хранения и транспорта нефтепродуктов. – Л.: Недра, 1983 г.

УДК 69:502

СТОЧНЫЕ ВОДЫ АВТОТРАНСПОРТА

Е.В. Москвичева
Волгоградский государственный технический университет,
г. Волгоград, Россия
О.П. Радченко, Д.П. Клочков, Ю.Ю. Юрьев
Институт архитектуры и строительства, г. Волгоград, Россия

В статье рассматриваются вопросы экологии городов, экологической безопасности при функционировании промышленных и автотранспортных предприятий. Представлена схема вредного воздействия автотранспорта на воздушные, водные, биологические и земельные ресурсы. Рассмотрены основные показатели оценки сточных вод на автотранспортных предприятиях. В таблице приведены концентрации вредных веществ в стоках предприятий в сравнении с нормативами. Даны рекомендации по улучшению экологической ситуации на автопредприятиях путем внедрения и усовершенствования имеющихся оборотных систем очистки сточных вод.

Одной из проблем урбанизированных территорий является изменение под влиянием автотранспортных средств свойств окружающей среды. Стимулируя развитие экономики, и обеспечивая комфортабельные условия жизнедеятельности людей, автомобильный транспорт одновременно оказывает отрицательное воздействие на окружающую среду: происходит загрязнение атмосферы, гидросферы и литосферы, нарушаются принципы функционирования экосистем, происходит деградация и потеря устойчивости [1–2].

Вопрос об экологических проблемах автомобильного транспорта актуален, проблемы и задачи, а также пути решения ставятся перед обществом широко и рассматриваются на всевозможных конференциях [3]. Рассмотрим степень воздействия автотранспорта на окружающую среду, представленную на рисунке 1.



Рисунок 1. **Степень антропогенного воздействия автотранспорта на окружающую среду.**

Как видим из рисунка 1, существенное антропогенное воздействие оказывается автотранспортом и автотранспортными предприятиями на окружающую среду, особенно на гидросферу при сбросе в нее неочищенных сточных вод.

Автотранспортные предприятия относятся к крупным водопользователям, расходующим воду питьевого назначения на технологические и хозяйственные нужды. На рисунке 2 изображены автобусы автотранспортного предприятия г. Волгограда перед заездом на автомойку.



Рисунок 2. **Степень загрязненности автотранспорта перед автомойкой**

Как видно из рисунка 2, автобусы достаточно сильно загрязнены, что естественно отражается на степени загрязнения сточных вод после мойки автотранспорта.

Потребление воды зависит от производительности предприятия, а также от организации производственного цикла.

Для автотранспортных предприятий норматив водопотребления на мойку одного автобуса составляет 0,75 м^3. [4], при этом согласно [5] ежегодное количество моек для автобусов составляет – 90 моек, а удельное водоотведение – 0,6 м^3 на один автобус. Таким образом, перемножая количество автобусов автотранспортных предприятий на расход воды на один автобус, получаем огромные объемы сточных вод, которые необходимо очищать до нормативов последующих реализаций [6].

Вода, потребляемая в технологическом процессе, расходуется на мойку автотранспорта, но большая ее часть после использования сбрасывается в канализацию. В качестве иллюстрации на рисунке 3 приведена схема водного баланса Муниципального Волгоградского пассажирского автотранспортного предприятия – типичного предприятия средней мощности.

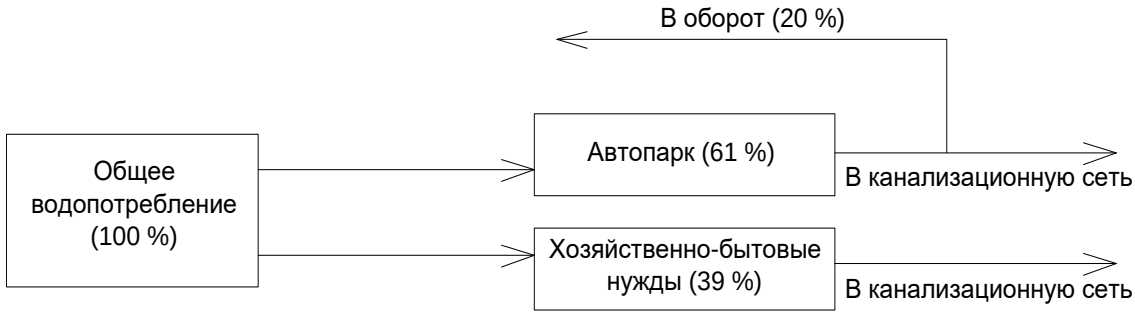


Рисунок 3. **Усредненная балансовая схема водопотребления автотранспортного предприятия**

В условиях увеличения количества автотранспорта водопотребление на технологические нужды на крупных предприятиях и частных автомойках возрастает. Отсутствие жестких нормативов и требований к качеству отводимых сточных вод не создавало предпосылок для рассмотрения вопроса об усовершенствовании систем очистки сточных вод на автопредприятиях. Это косвенно подтверждается отсутствием научных разработок по данной проблеме.

Положение резко изменилось после принятия 30 марта 1999 года Федерального закона № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения», а также в 1992 г. «Закона об охране окружающей природной среды» и известного постановления Правительства РФ № 632 от 28.08.92 г. «Об утверждении порядка определения платы и ее предельных размеров за загрязнение природной среды, размещение отходов, другие виды вредного воздействия, пользования природными ресурсами и тарифах за загрязнение природной среды». Потребляемая предприятиями вода стала достаточно ценным природным ресурсом. Плата за водопользование и сброс сточных вод, в

особенности штрафы за превышение допустимых к сбросу концентраций загрязнений, способствовали удорожанию производства. Предприятия-водопользователи, в частности автопредприятия, расходующие воду в больших количествах на мойку автотранспорта вынуждены были внедрять оборотные системы водоотведения, а также искать пути усовершенствования имеющейся системы очистки сточных вод.

Зачастую автотранспортные предприятия сбрасывают загрязненные сточные воды, в которых состав и количество загрязнений во много раз превышает нормативные показатели. Пагубное влияние автотранспорта усугубляется ещё и тем, что в последние годы бурно стала развиваться система автосервиса, включающая в себя посты мойки автомобилей, которые имеют неразвитую систему водоочистки и зачастую сбрасывают в ближайшие системы ливневой канализации стоки «как условно чистые» [8].

Примером также являются автомойки, сбрасывающие неочищенные стоки, загрязненные большим количеством ПАВ, нефтепродуктами и взвешенными веществами непосредственно на рельеф местности.

Между тем автолюбители всё в больших объёмах пользуются синтетическими моющими средствами (СМС), которые значительно уменьшают расход воды при мойке легковых автомобилей, автобусов и автофургонов, однако синтетические поверхностно-активные вещества, входящие в их состав, представляют существенную опасность для водоёмов. Большинство СПАВ и продукты их распада токсичны для различных групп гидробионтов: микроорганизмов (0,8 – 4,0 мг/дм^3), водорослей (0,5 – 6,0 мг/дм^3), беспозвоночных (0,01 – 0,9 мг/дм^3) даже в малых концентрациях [9]. Эти соединения относятся к «экологически жестким»: они очень трудно ассимилируются водной средой и крайне неблагоприятно изменяют состояние водоемов. На их окисление расходуется много растворенного кислорода, а это сокращает распад в воде других вредных примесей. Под воздействием даже небольших количеств СПАВ, в водоемах образуется обильная и стойкая пена, которая скапливается там, где течение реки задерживается плотинами, запрудами, шлюзами и другими перегораживающими устройствами. Присутствие в водоемах поверхностно-активных веществ изменяет химический состав природных вод и естественный ход протекающих в них химических и биохимических процессов, угнетающе действует на биоценозы водной среды, у рыб СПАВ вызывают жаберное кровотечение и удушье, у теплокровных животных – нарушения химических процессов в клеточных мембранах, вызывает гибель многих гидробионтов. Так, смертельная концентрация ПАВ для многих рыб составляет 3 – 5 мг/л [10].

Нефть и нефтепродукты, входящие в состав сточных вод автопредприятий, не менее губительны для водных ресурсов. Они представляют собой чрезвычайно сложную, непостоянную и

разнообразную смесь веществ (низко- и высокомолекулярные предельные, непредельные алифатические, нафтеновые, ароматические углеводороды, кислородные, азотистые, сернистые соединения, а также ненасыщенные гетероциклические соединения типа смол, асфальтенов, ангидридов, асфальтеновых кислот). Понятие «нефтепродукты» в гидрохимии условно ограничивается только углеводородной фракцией (алифатические, ароматические, алициклические углеводороды) [11]. В сточных водах в основном они присутствуют в виде опалесцирующей пленки различной толщины, растворенном и эмульгированном состоянии, а также во взвешенном в виде клочков. Легкие фракции растворяются в воде, тяжелые нефтепродукты откладываются на дне водоема. Нефтяная пленка изменяет физико-химические процессы: повышается температура поверхностного слоя воды, ухудшается газообмен. Ядовитые растворимые компоненты нефти становятся причиной гибели рыб, морских птиц, фитопланктона. Попадающие в природные воды из различных источников, нефтяные загрязнения имеют тенденцию к рассеиванию и миграции.

Необходимо отметить, что основными загрязнителями сточных вод, образующихся на автотранспортных предприятиях, являются взвешенные вещества, нефтепродукты, СПАВ [12]. Данные сточные воды необходимо очищать до нормативных требований.

Хорошо известно, что системы очистки сточных вод во многом индивидуальны. На это указывает и многообразие известных схем очистки, хотя количество используемых процессов (методов) очистки весьма ограничено. Для каждого типа промстоков необходимо проведение научных исследований по изучению особенностей поведения загрязнений в процессах очистки и выбору наиболее целесообразных методов очистки и режимов работы оборудования, обеспечивающих высокий эффект изъятия загрязнений.

Задача усовершенствования технологии очистки сточных вод автотранспортных предприятий состоит в выборе оптимальных методов очистки и совершенствовании их применительно к составу загрязняющих веществ и их содержанию в стоках, с учетом динамики образования сточных вод. При этом остается вопрос целесообразности применения либо сложных систем очистки общего стока, либо локальных (по цехам или участкам производства). Аргументами в пользу применения локальных систем очистки являются:

- предприятия, как правило, размещаются в городской черте в условиях плотной застройки и поэтому на них легче разместить оптимальную локальную систему очистки, чем одно большое общее отдельно стоящее очистное сооружение;
- нет никакой необходимости производить очистку хозяйственно-бытовых сточных вод;

- существующий опыт эксплуатации очистных сооружений показывает, что легче производить очистку конкретных сточных вод;
- есть вероятность использования отработанных материалов из сточных вод в качестве вторичного сырья [10–12].

ЛИТЕРАТУРА

1. Методы очистки сточных вод от нефтепродуктов. Сборник трудов «Проблемы и перспективы современной науки» с материалами Четвертой Международной Телеконференции «Фундаментальные науки и практика», Т. 3 № 1. Томск. 2011. Автор Черненко Т.В., Иматуллина, Г.К.,Резуанов Д.А., Киреева А.Т., Халитов А.К;
2. Муратова, Л.А., Гольдин, А.Я., Молодов, П.В. Водопотребление и водоотведение автотранспортных и авторемонтных предприятий. М.: Транспорт, 1988. 207 с.
3. Алексеев, Е.В. Физико-химическая очистка сточных вод: Учебное пособие. М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2007. 248 с.
4. ОНТП-01–91. Общесоюзные нормы технологического проектирования предприятий для автомобильного транспорта.
5. Рябчиков В.Е. Современные методы подготовки воды для промышленного и бытового использования. М.: Де Липринт, 2004. 300 с.
6. Перфильев, А.В. Исследование сорбционных свойств гидрофобных органо-минеральных адсорбентов в различных условиях эксплуатации /А.В. Перфильев, А.А. Юдаков, А.Д. Арефьева, Т.В. Ксеник – Владивосток, 2012 г.
7. Журба М.Т. Пенополистирольные фильтры. М.: Стройиздат, 1992. С. 34.
8. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Альянс, 2005. 753 с.
9. Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты, Москва, 1998.
10. Кичигин В.И. Водоотводящие системы промышленных предприятий: Учебное пособие. – М.: Изд-во АСВ, 2011. 656 с.
11. Воронов, Ю.В. Водоотведение / Ю.В. Воронов, Е.В. Алексеев, В.П. Саломеев, Е.А. Пугачев. – М.: ИНФРА-М, 2008. 413 с.
12. Воронов Ю.В., Яковлев С.В. Водоотведение и очистка сточных вод – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006. 704 с.

УДК 628.3

ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ГИПОХЛОРИТОМ НАТРИЯ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ПОЛИВА ПАРКОВОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

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

С увеличением городской плотности и промышленного развития сточные воды стали одним из основных экологических вызовов современности. В представленной статье приводится оценка эффективности метода очистки сточных вод с использованием гипохлорита натрия и его влияние на благоприятность древесно-кустарниковой растительности.

Сохранение окружающей среды и устойчивое использование водных ресурсов стали одними из наиболее актуальных вызовов, с которыми сталкивается человечество в XXI веке. Вода, как один из ключевых элементов жизни на Земле, становится все более ценным ресурсом, подверженным угрозам, вызванным промышленным загрязнением, изменением климата и ростом населения. Особое внимание уделяется вопросу очистки сточных вод и их устойчивому использованию для различных целей. В данной статье рассматривается один из перспективных методов очистки сточных вод и их последующего использования в качестве источника воды для полива парковой растительности [1].

Целью работы является оценка эффективности и безопасности метода очистки сточных вод с применением гипохлорита натрия и последующего использования этих вод для полива парковой растительности, а также возможность снижения негативного воздействия сточных вод на окружающую среду и обеспечение устойчивого использования водных ресурсов [2].

С увеличением числа городов и развитием индустриальных секторов, объемы сточных вод значительно увеличились, и их неконтролируемое сбрасывание в природные водные объекты стало вызывать серьезные экологические проблемы. Эти сточные воды содержат широкий спектр загрязнений, включая органические вещества, тяжелые металлы и микроорганизмы, которые могут иметь разрушительное воздействие на экосистемы водных тел.

В свете этой проблемы возникает вопрос: как можно эффективно обеззараживать сточные воды и одновременно использовать их в рамках

устойчивого развития, чтобы минимизировать отрицательное воздействие на окружающую среду? В поисках ответа акцентировали внимание на использование гипохлорита натрия (NaClO) как средства обеззараживания сточных вод и последующего использования их в поливе зеленых территорий [3].

Гипохлорит как окислительное средство. Гипохлорит натрия, химическая формула NaClO, представляет собой соль натрия и хлорноватистой кислоты. Это химическое соединение широко используется в области водоочистки, так как обладает сильными окислительными свойствами. Гипохлорит разлагается при контакте с органическими и бактериальными загрязнениями, что позволяет уничтожить их и снизить уровень загрязнения в сточных водах [5–6].

Процесс очистки сточных вод с использованием гипохлорита основывается на таких химических реакциях, как диссоциация, гидролиз и разложение [5–6].

Гипохлорит натрия – неустойчивое соединение, легко разлагающееся с выделением кислорода. Процесс самопроизвольного разложения ($2NaOCl \rightarrow 2NaCl + O_2$) происходит даже при нормальной комнатной температуре за относительно короткий период времени, например, в течение 40 суток. Наиболее стабильная форма химического вещества – пентагидрат ($NaOCl \times 5H_2O$), теряет около 30 % активного хлора.

При нагревании гипохлорит натрия параллельно с его разложением происходит реакция диспропорционирования: $3NaOCl \rightarrow NaClO_3 + 2NaCl$. В водном растворе гипохлорит натрия претерпевает химическую реакцию, приводящую к образованию хлорноватистой кислоты и гипохлорит-иона. Эти процессы взаимодействия определяются не только содержанием веществ в растворе, но и его pH-уровнем. Точное соотношение между гипохлорит-ионом и хлорноватистой кислотой зависит от степени гидролиза гипохлорита натрия и диссоциации хлорноватистой кислоты.

Растворяясь в воде, гипохлорит натрия диссоциирует на катионы натрия и анионы хлорноватистой кислоты: $NaOCl \rightarrow Na^+ + OCl^-$. Так как хлорноватистая кислота (HOCl) является очень слабой, гипохлорит-ион в водной среде подвергается гидролизу: $OCl^- + H_2O \leftrightarrow HOCl + OH^-$.

Процессы обеззараживания сточных вод с использованием гипохлорита. Хлорирование применяется для обработки как бытовых, так и промышленных вод с целью уничтожения живых организмов и нейтрализации запахов, особенно тех, которые образуются из серосодержащих веществ. Кроме того, хлорирование используется для обезвреживания промышленных сточных вод, включая те, которые содержат цианистые соединения [5–6].

Стоки, поступающие в очистные сооружения, обычно обладают высокой степенью органической загрязненности. Для эффективного обеззараживания сточных вод вводят активный хлор. Экспериментально

установленные значения концентраций активного хлора в сточных водах могут достигать 15 мг/л. Точные дозы и продолжительность контакта определяются путем пробного хлорирования. Для ориентировочных расчетов обеззараживания стоков принимают следующие дозы активного хлора: после механической очистки – 10 мг/л; после полной биологической очистки – 3 мг/л, после неполной – 5 мг/л.

Для обеспечения эффективного хлорирования устанавливают производительность установки с запасом, рассчитывая на дозу активного хлора с коэффициентом 1,5. Продолжительность контакта хлора с водой зависит от его формы. Для свободного активного хлора она составляет 0,5 часа, а для связанного активного хлора – 1 час. Остаточное содержание хлора в воде после контакта должно соответствовать: свободному активному хлору – 1 мг/л, связанному активному хлору – 1,5 мг/л.

Доза активного хлора должна превышать удельное хлоропоглощение воды, чтобы обеспечить требуемый технологический эффект (степень обеззараживания, осветление и т. д.). При расчете дозы активного хлора для обработки загрязненной воды учитывается хлоропоглощение воды, определяемое в соответствии с требованиями стандарта ASTM D 1291-89.

Применение жидкого хлора для хлорирования сточных вод является более распространенным методом по сравнению с использованием гипохлорита натрия. Хлор вводят в сточную воду либо непосредственно, что называется прямым хлорированием, либо с использованием специальных устройств, таких как хлораторы. В случае использования гипохлорита натрия в качестве хлорагента, рабочий раствор вводится в обрабатываемую воду с помощью насосов-дозаторов, использующих метод пропорционального дозирования.

Фильтрация и нейтрализация. Далее, очищенные сточные воды могут быть подвергнуты процессам фильтрации и нейтрализации для устранения остаточных химических соединений и подготовки их к использованию [4]:

- Фильтрация – очищенные сточные воды проходят через фильтры, которые удаляют остаточные частицы и осадки, которые могли образоваться в процессе очистки.
- Нейтрализация – для обеспечения уровня pH, который подходит для полива растений, может потребоваться нейтрализация. Это может включать в себя добавление щелочных или кислотных реагентов в зависимости от характеристик воды.

Эти процессы обеспечивают окончательное очищение сточных вод и их готовность к использованию в поливе парковой растительности, минимизируя негативное воздействие на окружающую среду.

Безопасность и эффективность использования очищенных сточных вод. Одним из ключевых аспектов устойчивого использования очищенных сточных вод является обеспечение безопасности для парковой

растительности и окружающей среды. Полив зеленых территорий с использованием очищенных сточных вод требует тщательной оценки качества воды, а также понимания воздействия этого метода на растительный мир и почву. Далее рассмотрены вопросы безопасности и эффективности использования очищенных сточных вод для полива парковой растительности.

Прежде чем использовать очищенные сточные воды для полива, необходимо обеспечить качество воды стандартам, устанавливаемым для подобных целей. Это включает в себя контроль над содержанием остаточных загрязнений, тяжелых металлов и бактерий в воде. Регулярный мониторинг и анализ воды необходимы для обеспечения ее соответствия стандартам.

Исследования показывают, что полив парковой растительности очищенными сточными водами может оказать как положительное, так и отрицательное влияние на рост и развитие растений, в зависимости от качества воды и специфических потребностей растений. Неконтролируемое использование воды с высоким содержанием солей или тяжелых металлов может привести к фитотоксичности и ухудшению состояния растений. С другой стороны, правильно подготовленные очищенные сточные воды могут обеспечить растениям необходимые питательные элементы и влагу.

Использование очищенных сточных вод для полива также имеет экономическую и экологическую ценность, что позволяет значительно снизить объем сточных вод, сбрасываемых в природные водные объекты, уменьшает их загрязнение и содействует сохранению водных ресурсов. Кроме того, это может сэкономить ресурсы для орошения, так как сточные воды будут использоваться повторно.

Важно отметить, что применение очищенных сточных вод для полива парковой растительности может иметь различную эффективность в разных климатических условиях. В засушливых регионах этот метод может быть особенно ценным, поскольку позволяет экономить пресную воду. В то же время, в зонах с избытком водных ресурсов, он может быть менее необходимым.

ВЫВОДЫ

Использование очищенных сточных вод для полива парковой растительности представляет собой многообещающий метод, который может способствовать устойчивому использованию водных ресурсов и снижению воздействия на окружающую среду. Однако успешное внедрение этого метода требует тщательной оценки качества воды, учета потребностей растений и адаптации к конкретным климатическим условиям. Дополнительные исследования и практические испытания необходимы для определения оптимальных методов и условий

использования очищенных сточных вод в контексте полива зеленых территорий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Головачев А.В. Применение гипохлорита натрия при обеззараживании воды / А.В. Головачев, Е.М. Абросимова // Водоснабжение и санитарная техника. 2009. № 4. С. 8–12.
2. Григорьев А.Б., Расс Р. Сравнительная оценка высоко- и низкоконцентрированного гипохлорита натрия для дезинфекции питьевых вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2006. № 10. С. 42–46.
3. Ричмонд Ч. Прошлое, настоящее и будущее методов хлорирования // Британско-советский семинар по водным ресурсам и сточным водам. 1988. С. 25–31.
4. 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.
5. Фесенко Л.Н., Денисов В.В., Скрябин А.Ю. Дезинфектант воды – гипохлорит натрия: производство и применение: монография / Л.Н. Фесенко., В.В. Денисов, А.Ю. Скрябин; под ред. проф. В.В. Денисова; ООО НПП «ЭКОФЕС», Юж.-Рос. гос. техн. ун.-т. – Новочеркасск: Лик, 2012. С. 9–21.
6. Черкасов С.В. Гипохлорит натрия. Свойства, теория и практика применения [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://wwtec.ru/index.php?id=410

УДК 628.35

МОДЕЛЬ АКТИВНОГО ИЛА ASM3P-2SND ДЛЯ ОПИСАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СИМУЛЬТАННОЙ НИТРИ-ДЕНИТРИФИКАЦИИ

В.С. Рожков, В.И. Нездойминов, Ю.В. Васильева
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
г. Макеевка, Россия

Предложена математическая имитационная модель одновременной нитри-денитрификации ASM3P-2SND для городских сточных вод. Указанная модель учитывает преобразования соединений фосфора при жизнедеятельности гетеротрофов и автотрофов, описывает взаимные преобразования окисленных форм азота – нитратов и нитритов, а также учитывает диффузионные ограничения проникновения субстрата и кислорода в хлопок активного ила при одновременной нитри-денитрификации. Выполнена проверка на сходимость, настройка и калибровка предложенной модели на действующих сооружениях с симультанной нитри-денитрификацией.

Для математического описания и расчета процессов биологической очистки сточных вод населенных пунктов в настоящее время практикуется ряд методов, которые можно условно разделить на 2 группы: последовательные расчеты и моделирование процессов [1–2].

На методах последовательных расчетов базируется ряд нормативов, действующих в европейских, североамериканских странах [3–4], отечественных разработок [5–6]. Данные методы основаны на определении максимальной нагрузки на активный ил, определении минимального возраста ила на основе эмпирических зависимостей.

Более общим подходом, используемым в области научных исследований, является моделирование биохимических процессов [7–8]. Моделирование подразумевает описание процессов биологической очистки сточных вод с помощью биохимических зависимостей (уравнения Моно) с составлением и решением системы дифференциальных уравнений.

Матричное выражение описанных функций позволяет систематизировать достаточно сложные биохимические преобразования для визуализации и упрощения понимания проходящих процессов [9]. Наибольшее распространение в настоящее время получили модели ASM2d и ASM3+Bio-P [10].

Существующие имитационные модели, характеризуются рядом недостатков, которые затрудняют их применение для описания биологических процессов в системах с симультанной нитри-денитрификацией. Ни одна из существующих моделей не учитывает диффузионные ограничения субстрата, кислорода и биогенных элементов в системах с активным илом, что становится актуально при моделировании процессов SND (ОНД – одновременной нитри-денитрификации). Большинство распространенных моделей не разделяют нитрат и нитрит, а учитывающие двухступенчатость процессов нитри-денитрификации не учитывают преобразования фосфора в этих процессах. Так, высвобождение фосфора при гидролизе нерастворенного субстрата Xs, согласно моделям ASM3+Bio-P, New General, UCTPHO+, ASM2d+TUD составляет 0,005 – 0,01 г/м^3 при гидролизе 1 г/м^3 нерастворенного органического субстрата. Другие модели (ASM1, ASM3) не учитывают преобразования соединений фосфора.

Отсутствие такие решений дает результативные ошибки как при имитационном моделировании, так и при проектировании систем водоотведения. Очевидно, что в процессе биологической очистки, концентрация фосфатов на выходе может оказаться выше концентрации на входе из-за гидролизного разложения нерастворенного субстрата.

Для решения этого вопроса предложена новая модель активного ила – ASM3P-2SND (табл. 1, отличия от существующих моделей выделены жирным шрифтом.):

1. «ASM3» в написании модели обозначает, что использована теория эндогенного дыхания микроорганизмов без разделения растворенного субстрата на ЛЖК (летучие жирные кислоты) и иную органику (что характерно для подхода ASM2d, New General, UCTPHO+);
2. индекс «P» обозначает, что модель учитывает преобразования соединений фосфора при жизнедеятельности ординарных гетеротрофов и нитри-денитрификации (в отличие от модели Bio-P, где учитываются процессы УБУФ);
3. «2..ND» – обозначает, что модель учитывает двухступенчатую нитри-денитрификацию (2 окислительных и 2 восстановительных процессов), а именно: автотрофные процессы нитритации и нитратации, гетеротрофные процессы восстановления нитрата и нитрита;
4. индекс «S» в «2SND» обозначает, что учитываются диффузионные ограничения одновременности процессов нитри-денитрификации.

В предложенной имитационной модели коэффициенты, учитывающие диффузионные ограничения при одновременной нитри-денитрификации введены только для кислорода и органического субстрата (соответственно, коэффициенты $K_{D,O}$ и $K_{D,SS}$). Оставлены без внимания диффузионные ограничения для соединений азота S_{NH} S_{NO2} S_{NO3}. Это связано с допущением, что в процессе одновременной нитри-денитрификации нитрат и нитрит образуются в верхних слоях хлопка ила с проникновением в более глубокие слои ила. В то же время кислород и органический субстрат для проникновения вглубь хлопка должны диффундировать через верхние слои, образованные как автотрофами (потребляют кислород), так и ординарными гетеротрофами (потребляют и кислород, и органический растворенный субстрат).

Таблица 1. **Процессы ASM3P-2SND и выражения скорости реакций**

№	Процесс	Скорость
1	Гидролиз	$k_H*(X_S/X_H)/(K_X+X_S/X_H)*X_H$
2	Аэробное накопление X_{STO}	$k_{STO}*[S_O/(K_{O,H}+S_{O2})]*[S_S/(K_{SS,H}+S_S)]*X_H$
3	Аноксидное накопление X_{STO} при NO_3-NO_2	$k_{STO}*\eta_{NO3}*[K_{O,H}/(K_{O,H}+\mathbf{K_{D,O}}*S_{O2})]*[S_{NO3}/(K_{NO3,H}+S_{NO3})]*$ $*[\mathbf{K_{D,SS}}*S_S/(K_{SS,H}+\mathbf{K_{D,SS}}*S_S)]*X_H$
4	Аноксидное накопление X_{STO} при NO_2-N_2	$k_{STO}*\eta_{NO2}*[K_{O,H}/(K_{O,H}+\mathbf{K_{D,O}}*S_{O2})]*[S_{NO2}/(K_{NO2,H}+S_{NO2})]*$ $*[\mathbf{K_{D,SS}}*S_S/(K_{SS,H}+\mathbf{K_{D,SS}}*S_S)]*X_H$

№	Процесс	Скорость
5	Аэробный рост X_H	$\mu_H*[S_{O2}/(K_{O,H}+S_{O2})]*[S_{NH4}/(K_{NH4,H}+S_{NH4})]*[S_{ALK}/(K_{HCO,H}+$ $+S_{ALK})]*[\mathbf{S_{PO4}/(K_{PO4,H}+S_{PO4})}]*[(X_{STO}/X_H)/(K_{STO}+X_{STO}/X_H)]$ $*X_H$
6	Аноксидный рост X_H (денитрификация) NO_3-NO_2	$\mu_H*\eta_{NO3}*[K_{O,H}/(K_{O,H}+\mathbf{K_{D,O}}*S_{O2})]*[S_{NO3}/(K_{NO3,H}+S_{NO3})]*$ $*[S_{NH4,H}/(K_{NH4,H}+S_{NH4})]*[S_{ALK}/(K_{HCO,H}+S_{ALK})]*[\mathbf{S_{PO4}/(K_{PO4,H}+S_{PO4})}]*[(X_{STO}/X_H)/(K_{STO}+X_{STO}/X_H)]*X_H$
7	Аноксидный рост X_H (денитрификация) NO_2-N_2	$\mu_H*\eta_{NO2}*[K_{O,H}/(K_{O,H}+\mathbf{K_{D,O}}*S_{O2})]*[S_{NO2}/(K_{NO2,H}+S_{NO2})]*[S_{NH4}/(K_{NH4,H}+S_{NH4})]*[S_{ALK}/(K_{HCO,H}+S_{ALK})]*[\mathbf{S_{PO4}/(K_{PO4,H}+S_{PO4})}]*$ $*[(X_{STO}/X_H)/(K_{STO}+X_{STO}/X_H)]*X_H$
8	Аэробное эндогенное дыхание X_H	$b_{H,O2}*[S_{O2}/(K_{O,H}+S_{O2})]*X_H$
9	Аноксидное эндогенное дыхание X_H NO_3-NO_2	$b_{H,O2}*\eta_{H,endNO3}*[K_{O,H}/(K_{O,H}+\mathbf{K_{D,O}}*S_{O2})]*[S_{NO3}/(K_{NO3,H}+S_{NO3})]*X_H$
10	Аноксидное эндогенное дыхание X_H NO_2-N_2	$b_{H,O2}*\eta_{H,endNO2}*[K_{O,H}/(K_{O,H}+\mathbf{K_{D,O}}*S_{O2})]*[S_{NO2}/(K_{NO2,H}+S_{NO2})]*X_H$
11	Аэробное разложение X_{STO}	$b_{STO,O2}*[S_{O2}/(K_{O,H}+S_{O2})]*X_{STO}$
12	Аноксидное разложение X_{STO} NO_3-NO_2	$b_{STO,O2}*\eta_{H,endNO3}*[K_{O,H}/(K_{O,H}+\mathbf{K_{D,O}}*S_{O2})]*[S_{NO3}/(K_{NO3,H}+$ $+S_{NO3})]*X_{STO}$
13	Аноксидное разложение X_{STO} NO2-N_2	$b_{STO,O2}*\eta_{H,endNO2}*[K_{O,H}/(K_{O,H}+\mathbf{K_{D,O}}*S_{O2})]*[S_{NO2}/(K_{NO2,H}+$ $+S_{NO2})]*X_{STO}$
14	Рост X_{AOB} (Нитритация)	$\mu_{AOB}*[S_{O2}/(K_{O,AOB}+S_{O2})]*[S_{NH4}/(K_{NH4,AOB}+S_{NH4})]*[\mathbf{S_{PO4}/}$ $\mathbf{/(K_{PO4,A}+S_{PO4})}][S_{ALK}/(K_{HCO,A}+S_{ALK})]*X_{AOB}$
15	Аэробное эндогенное дыхание X_{AOB}	$b_{AOB}*[S_{O2}/(K_{O,AOB}+S_{O2})]*X_{AOB}$
16	Аноксидное эндогенное дыхание X_{AOB}	$b_{AOB}*\eta_{AOB}[K_{O,AOB}/(K_{O,AOB}+S_{O2})]*[S_{NO3}/(K_{NO3,H}+S_{NO3})]*X_{AOB}$
17	Рост X_{NOB} (Нитратация)	$\mu_{NOB}*[S_{O2}/(K_{O,NOB}+S_{O2})]*[S_{NH4}/(K_{NH4,H}+S_{NH4})]*[S_{NO2}/$ $/(K_{NO2,NOB}+S_{NO2})]*[\mathbf{S_{PO4}/(K_{PO4,A}+S_{PO4})}]*[S_{ALK}/(K_{HCO,A}+S_{ALK})]*X_{NOB}$
18	Аэробное эндогенное дыхание X_{NOB}	$b_{NOB}*[S_{O2}/(K_{O,NOB}+S_{O2})]*X_{NOB}$
19	Аноксидное эндогенное дыхание X_{NOB}	$b_{NOB}*\eta_{NOB}*[K_{O,NOB}/(K_{O,NOB}+S_{O2})]*[S_{NO3}/(K_{NO3,H}+S_{NO3})]*X_{NOB}$

Проверка предложенной модели выполнялась на очистных сооружениях п.г.т. Новый Свет Старобешевского района ДНР на аэротенке-отстойнике с симультанной нитри-денитрификацией (рис. 1).



Рисунок 1. **Фото исследуемого аэротенка-отстойника №4**

Результаты калибровки в сравнении с фактическими показателями качества очистки по азоту аммонийному, нитрату, нитриту и фосфатам представлены на рисунках 2–5.

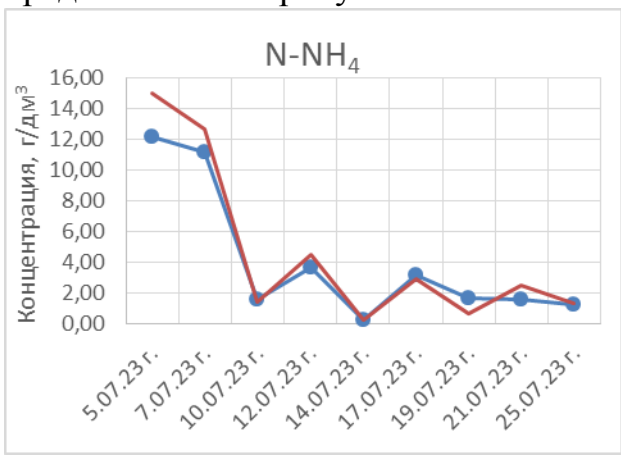


Рисунок 2. **Результаты калибровки по $N\text{-}NH_4$ на выходе из сооружения:**
-•- фактические концентрации

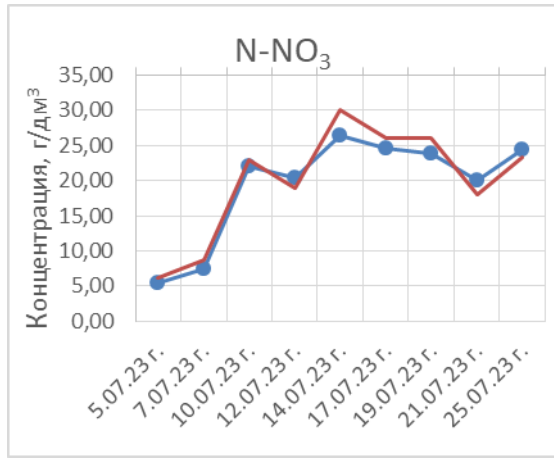


Рисунок 3. **Результаты калибровки по $N\text{-}NO_3$ на выходе из сооружения:**
-- расчетные по ASM3P-2SND

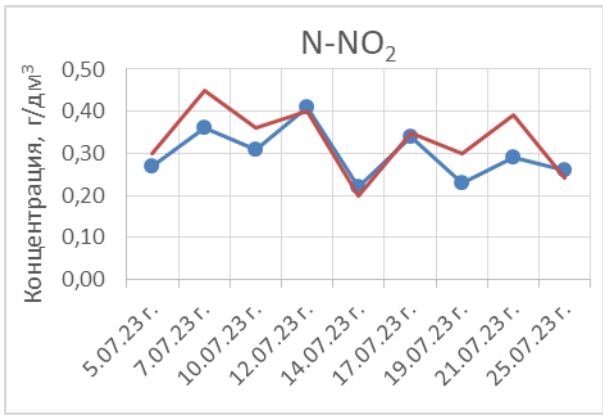


Рисунок 4. **Результаты калибровки по N $\text{-}NO_2$ на выходе из сооружения:**
-•- фактические концентрации

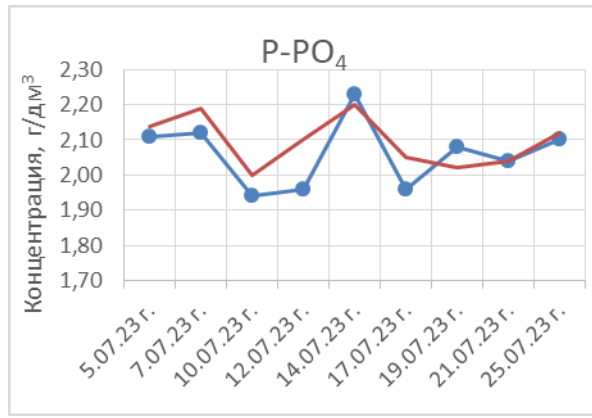


Рисунок 5. **Результаты калибровки по P $\text{-}PO_4$ на выходе из сооружения:**
-- расчетные по ASM3P-2SND

Таким образом, можно утверждать о калибруемости предложенной имитационной модели и ее близком соответствии с протекающими в натурных условиях биологическими процессами очистки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев С.Ю. Степанов С.В., Стрелков А.К. Математическое моделирование процесса биологической очистки сточных вод в аэротенке-вытеснителе // Водоснабжение и санитарная техника. – 2022. – № 12. С. 31–36.
2. Швецов В.Н., Морозова К.М. Расчет сооружений биологической очистки сточных вод с удалением биогенных элементов // Водоснабжение и санитарная техника. – 2013. – № 11. С. 42–47.
3. Standard ATV-DVWK-A 131E. Dimension of Single-Stage Activated Sludge Plants. – 2000. С. 57.
4. United States Environmental Protection Agency. Nutrient Control Design Manual. State of Technology Review Report. Cincinnati, Ohio : Office of Research and Development / National Risk Management Research Laboratory. – 2009. 102c.
5. Швецов, В.Н., Морозова К.М., Степанов С.В. Расчет сооружений биологической очистки городских и производственных сточных вод в аэротенках с удалением биогенных элементов // Водоснабжение и санитарная техника. – 2018. – № 9. С. 26–39. – EDN XYHQSD.
6. Мишуков, Б.Г. Технология удаления азота и фосфора в процессах очистки сточных вод / Мишуков, БГ, и др. – СПб.: Изд-во журнала «Вода: технология и экология». – 2008. – 144 с.
7. Рожков В.С., Васильева Ю.В. Сравнение подходов к моделированию биологической очистки сточных вод в Украине и других странах // Киев: IWA, 2013. Сборник статей 5-ой Восточно-Европейской конференции «Опыт и молодость в решении водных проблем». – 2013.
8. Баженов, В.И. Критерий оптимизации аэротенков с продольной рециркуляцией иловой смеси «карусельного типа» // Экология и промышленность России. – 2008. – № 12. С. 20–23.
9. Henze, M. и др. Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2D, ASM3. London: IWA publishing. – 2006. 121c.
10. Швецов, В.Н. Сравнение результатов расчета аэротенков по моделям НИИ ВОДГЕО/СамГТУ и ASM2d / В.Н. Швецов, С.В. Степанов, О.В. Харькина // Водоснабжение и санитарная техника. – 2021. – № 5. С. 18–29.

УДК 628.247

КАПИТАЛЬНЫЙ РЕМОНТ СЕТЕЙ ВОДООТВЕДЕНИЯ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Д.А. Бутко, О.В. Сажина
Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Россия

В работе рассматривается вопрос экспертного сопровождения капитального ремонта линейных объектов.

Высокий износ самотечных трубопроводов хозяйственно-бытовой канализации, особенно коллекторов, требует от муниципальных органов власти или организаций, осуществляющих эксплуатацию таких сетей, незамедлительных мер по их капитальному ремонту или реконструкции. Вопрос нехватки средств на ремонт сетей мы сейчас оставим открытым, ибо даже в условиях выделения целевых средств субъектом федерации или получении их из фондов, предназначенных для ликвидации чрезвычайных ситуаций, остается достаточно неразрешенных вопросов. Кафедра «Водоснабжение и водоотведение» ФГБОУ ВО ДГТУ в течение уже десятка лет занимается экспертизой выполненных работ на объектах систем водоснабжения и водоотведения, накопив значительный опыт в этом направлении деятельности. В последнее время к нам все чаще стали обращаться органы местного самоуправления с вопросами проведения экспертизы выполняемых работ по муниципальным контрактам капитального ремонта участков сетей водоотведения. Это связано не только с перераспределением ответственности, но и нехваткой профильных специалистов в департаментах ЖКХ. Кроме того, есть случаи, когда муниципальные контракты получают малоизвестные фирмы, не обладающие обширным «портфолио» выполненных объектов, при этом идущие на значительное снижение стоимости. Все перечисленное привело к тому, что наши специалисты (эксперты) проводили только в прошлом году работы по четырем муниципальным контрактам общей стоимостью более 280 млн. рублей.

Основные вопросы, поставленные перед экспертами, заключались в определении объемов работ и качества их выполнения. В ответах на данные вопросы было бы хорошо опереться на проектную документацию, но ее состав оказался сжат до Раздела 9 «Смета затрат». Согласно Градостроительному кодексу Российской Федерации (п.12.2 ст. 48) «в случае проведения капитального ремонта объектов капитального строительства, финансируемого с привлечением средств бюджетов бюджетной системы Российской Федерации… осуществляется подготовка сметы на капитальный ремонт…. Застройщик по собственной инициативе вправе обеспечить подготовку иных разделов проектной документации…» [1].

«Смета затрат» позволяет проверить объемы работ, но вот проверка качества выполнения остается под большим вопросом. Хотя и в вопросе объема работ постоянно сталкиваемся с проблемами, т.к. далеко не всегда понятно, исходя из каких соображений, они посчитаны. Например, при проверке объема выполненных работ по капитальному ремонту объекта «Восстановление канализационного коллектора. Ду 2000 мм от ул. Чехова, 357 по улице Галицкого до пересечения улицы Галицкого и Поляковского шоссе (в границах территории города Таганрога). 2 этап К22-К26 протяженностью 478 м.» количество котлованов, запланированных в «смете затрат» предусмотрено вдвое больше реально необходимого, а объем земляных работ по расчистке вообще не ясно, как был определен. И такие примеры встречаются постоянно.

ГОСТ Р ИСО 9000-2001 определяет термин качество как «степень соответствия совокупности присущих характеристик … требованиям…» [2]. ГОСТ Р ИСО 9000:2015 дает следующее понятие качество: «качество продукции и услуг организации определяется способностью удовлетворять потребителей и преднамеренным или непреднамеренным влиянием на соответствующие заинтересованные стороны» [3]. Исходя из этого можно сказать, что качество выполненных работ должно соответствовать проектным решениям и (или) действующим нормативным документам. При этом отсутствуют проектные материалы, а при капитальном ремонте, особенно с использованием бестраншейных технологий, соответствие ремонтируемого объекта, построенного несколько десятилетий назад, действующим сводам правил осуществляется весьма сложно, если не сказать невозможно. Мы уже не говорим о том, что строители, выполняющие капитальный ремонт, вынуждены «фантазировать», каким образом его осуществить, и не всегда в лучшую сторону. Иногда от задумки остается только длина трубы и ее диаметр, а все остальное подгоняется так, чтобы хоть как-то уложиться в смету.

Резюмируя вышесказанное, считаем, что экономия на выполнении проекта хотя бы в части изысканий (при необходимости) и «Технологические и конструктивные решения линейного объекта. Искусственные сооружения» негативно сказывается на выполнении работ по капитальному ремонту линейных объектов и не способствует повышению надежности работы системы водоотведения в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Градостроительный кодекс РФwww.consultant.ru. Дата обращения 23.03.2024.
2. ГОСТ Р ИСО 9000-2001.Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. www.consultant.ru. Дата обращения 23.03.2024.
3. ГОСТ Р ИСО 9000:2015 Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. www.consultant.ru. Дата обращения 23.03.2024.

УДК 628.32

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ТРАНСПОРТНО-МОЕЧНЫХ ВОД САХАРНОГО ЗАВОДА

В.И. Щербаков, Т.В. Степанова, А.В. Крысоватая
Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия

Представлен механизм оптимизации результатов исследования комплексной системы очистки отходов свеклосахарного производства с применением кавитационных гидродинамических генераторов, комплекса химической обработки и системы озонирования. Получен результат очистки, удовлетворяющий основным требованиям, включая европейские стандарты качества очистки сточных вод.

Проблема чистой воды становится с каждым годом все более острой темой, количество доступной пресной воды в местах жизнедеятельности людей стремительно уменьшается.

Одним из факторов, существенно влияющих на доступность питьевой воды, является сброс сточных вод, недостаточно очищенных или неочищенных полностью в экосистему жизнедеятельности человека. Особенно опасными являются воды, имеющие органические заражения, которые могут не только стать причиной вспышки инфекционных и прочих заболеваний, но и обладать кумулятивным эффектом.

При производстве сахара на свеклосахарных заводах используется большое количество воды. Она применяется для предварительной обработки, поступающей на завод сахарной свеклы, гидротранспорта, систем охлаждения. Вода используется для растворения различных реагентов, необходимых для технологических процессов производства.

В сахарной промышленности в виде отходов производства выступают в основном сточные воды, которые очищаются с помощью биологической очистки на полях фильтрации, занимающих площади в десятки, а иногда и в сотни раз большие, чем территория самого сахарного завода.

Рассматривая состав сточных вод, можно выделить следующие технологические особенности.

Транспортерно-моечная вода проходит очистку в отстойнике, после чего возвращается в производственный цикл. Образовавшийся осадок насосами подаётся на уплотнение в земляные отстойники, откуда отфильтрованная вода самотёком поступает на поля фильтрации, а накопленный обезвоженный осадок выгружается и хранится на земляных валах по периметру полей. При этом загрязняющие вещества просачиваются в почву, а затем в грунтовые воды.

Вода второй категории направляется в пруд-охладитель, откуда поступает на мойку и транспортировку свёклы. На большинстве

предприятий отсутствует градирня, поэтому после наполнения пруда-охладителя вся избыточная вода и конденсат направляются на поля фильтрации.

Сточные воды третьей категории (диффузные, жомовые, канализационные и др.) являются наиболее загрязнёнными, так как содержат большое количество растворённых органических веществ. Поэтому очистка стока этой категории наиболее важна для окружающей среды и требует более тщательного подхода.

Но зачастую на большинстве сахарных заводов сброс стока третьей категории на малые поля фильтрации производится без какой-либо предварительной очистки, что наносит колоссальный вред окружающей среде за счёт инфильтрации стоков в грунтовые воды [1].

На территории Российской Федерации, согласно изменениям, подготовленным в федеральный закон «Об охране окружающей среды», планируется к 2025 году полный запрет на сброс отработанных сточных вод на поля фильтрации.

Поэтому назрела необходимость внедрения в технологический процесс оборотного водоснабжения при полном замкнутом цикле. Данный тип воды содержит в своем составе минеральные и органические вещества в больших количествах. [2]

Таблица 1. **Среднегодовые нормы потребления и отведения воды для свеклосахарного производства**

Потребление	Норма воды, $м^3$/т свеклы
Оборотная, последовательно используемая вода	20
Свежая вода В том числе: 1. техническая 2. питьевая для нужд: • производственных • хозяйственных	2,49 1,64 0,05 0,05
Отведение	
Общее количество сточных вод, в том числе подлежащих очистки от загрязнений: 1. производственных 2. бытовых 3. не требующих очистки	1,7 1,62 0,08 0

Мировое производство сахара в 2019 году увеличилось до 181 млн. тонн. Из общего производства сахара в мире на долю сахарной свеклы приходится около 40 % [4], т.е. в 2019 году из сахарной свеклы было получено приблизительно 72,4 млн. т сахара. При коэффициенте 1,7 $м^3$ сточных вод на 1 т сахарной свеклы это составляет около 820 млн. $м^3$ сточных вод за 2019 год. Общий объем сбрасываемых сточных вод всей

жизнедеятельности человека составляют более 2 триллионов тонн.

При использовании воды сахарными заводами существуют допустимые показатели воды при их заборе из водоисточника[5]. Как уже отмечалось, сточные воды сахарного завода содержат большое количество разных примесей. Показатели этих вод приведены в таблице 2 [5].

Таблица 2. **Характеристика сточных вод сахарных заводов**

Показатель	Значение показателей
Температура, °С	12–28
Цвет	Серо-коричневый
Запах	Затхлый, гнилостный
Прозрачность, см	0
Содержание взвешенных веществ, мг/л	666–49 948
pH среды	7,5–8,9
Растворенный кислород, мг/л	0
$БПК_{кон}$, мгO_2/дм^3	3 248–7 636
Показатель	Значение показателей
ХПК, мгO_2/дм^3	4 547–10 110
ХПК, мгO_2/дм^3	4 547–10 110
Сухой остаток, мг/л	3 760–10 133
Содержание, мг/л 1.Азот органических соединений 2. Аммиак и соли аммония 3. Нитриты, нитраты 4. Сероводород 5. Сульфаты 6. Фосфаты 7. Хлориды 8. Сапонин	 18–136 3,5–22,4 Следы 1,9–13,5 9,8–131 1,2–16,0 17–198 5–12
Общая жесткость, мг-экв/л	8,3–32,8

Таблица 3. **Нормативные характеристики транспортно-моечных вод**

Показатель	Транспортно-моечная вода		
Содержание в воде, мг/л: 1. Взвешенные вещества 2. Сухой остаток 3. Остаток после прокаливания 4. Общий азот 5. Аммиак и соли аммония 6. Сульфаты 7. Фосфаты 8. Хлориды	 1971–22 820 462–3 648 185–1 128 9,4–27 2,1–12 74–101 2,8–12,1 18,5–126	 1200–8 500 450–3 500 150–1000 10–30 2–12 10–100 2–9 20–140	 150–300 300–2 500 150–1 250 10–30 2–12 1–100 2–9 15–135
pH	6,0–7,3	10–12	10–12
ХПК, мгO_2/дм^3	611–5 394	600–5 200	600–5 200
$БПК_5$, мгO_2/дм^3	470–4 150	400–4 000	400–4 000

В транспортно-моечных водах содержится большой объем осадка и взвешенных веществ. Перед сбросом этих вод в отстойники производится частичное удаление механических примесей различными способами.

Транспортно-моечная вода заводов по производству сахара содержит как биологические, так и химические загрязнения, которые состоят, в основном, из минеральных солей, сахара, микроорганизмов. В 1 г свекловичной стружки содержится $5{,}7 \cdot 10^{10}$ различных микроорганизмов. [5]

Во многих работах по очистке транспортно-моечных вод сахарных заводов большое внимание уделяется осветлению воды [6], а вопрос о микробиологических загрязнениях не рассматривается. [7–8].

Нами была произведена работа по оптимизации технологии очистки транспортно-моечных вод сахарного завода, как от взвешенных веществ, так и от различных микробиологических загрязнений.

В процессе работы гидродинамических генераторов в воде возникают высокоэнергетические эффекты (холодное кипение или кавитация), которые не только способствуют эффективной очистке воды, но и приводят к изменению ее структуры, усилению физико-химической и биологической активности [9]. Кавитация – это процесс нарушения однородности водного слоя с образованием и схлопыванием парогазовых пузырьков и их скоплений. Ранее было исследовано влияние воды, подвергнутой кавитации, на рост рыб [10], уничтожение дафний [11], на состав крови собак [12].

За основу исследуемого раствора были взяты неочищенные сточные воды Перелевского сахарного завода. В качестве механической очистки применялся стандартный барабанный фильтр БФ50 (производительностью до 50 $м^3$/ч). Очистка производилась 2 раза, предварительная и окончательная после проведения всех процедур очистки.

В качестве основных систем очистки были выбраны следующие:

– кавитационный генератор роторного типа. Электродвигатель 2,5 кВт, объем рабочей камеры $19*10^{-3}$ $м^3$, скорость вращения 2800 об/мин с числом кавитации 0,03.

– химическая обработка: $(NH_4)_2SO_4$ (сульфат аммония) и NaOCl (гипохлорит натрия).

Реагенты готовились в виде водных растворов с различной концентрацией.

Озонирование. Применялся озонатор Алтай 100, мощностью 0,3 г озона. Исследования проводились на исходном растворе одной партии при постоянном выдерживании всех параметров, за исключением изменяемого. Точность показаний обеспечивалась 5-ти кратным повторением измерений при каждом изменении.

Определение порядка проведения очистки основывалось на проведенных литературных исследованиях и сравнительной

экспериментальной базе по основным параметрам.

Первоначально применялся кавитатор, исследовалось оптимальное время кавитации. Использование кавитатора обосновывается несколькими факторами: прямое воздействие на исследуемый образец, изменение структуры исследуемого образца с целью более эффективных последующих стадий обработки.

Дальнейшим методом очистки было определено использование химических реагентов и нахождение оптимального соотношения и количества внесения, в качестве основных действующих химических соединений были выбраны $(NH_4)_2SO_4$ (сульфат аммония) и NaOCl (гипохлорит натрия).

Финишной стадией обработки является озонирование, которое позволяет полностью окислить гидролизованные соединения предыдущей стадии и максимально вывести оставшиеся соединения в осадок или полностью окислить до простейших соединений (CO_2, H_2O). Подбиралось оптимальное время озонирования.

Для обеспечения чистоты эксперимента проводилась последующая финишная механическая очистка.

Результаты:

а) проведение кавитационной обработки**.**

Температура среды обработки (начальная) 22 °С. Потребление электричества 2,5 кВт/ч, объем рабочей камеры $19 \cdot 10^{-3} м^3$, скорость вращения 2800 об/мин с числом кавитации 0,03.

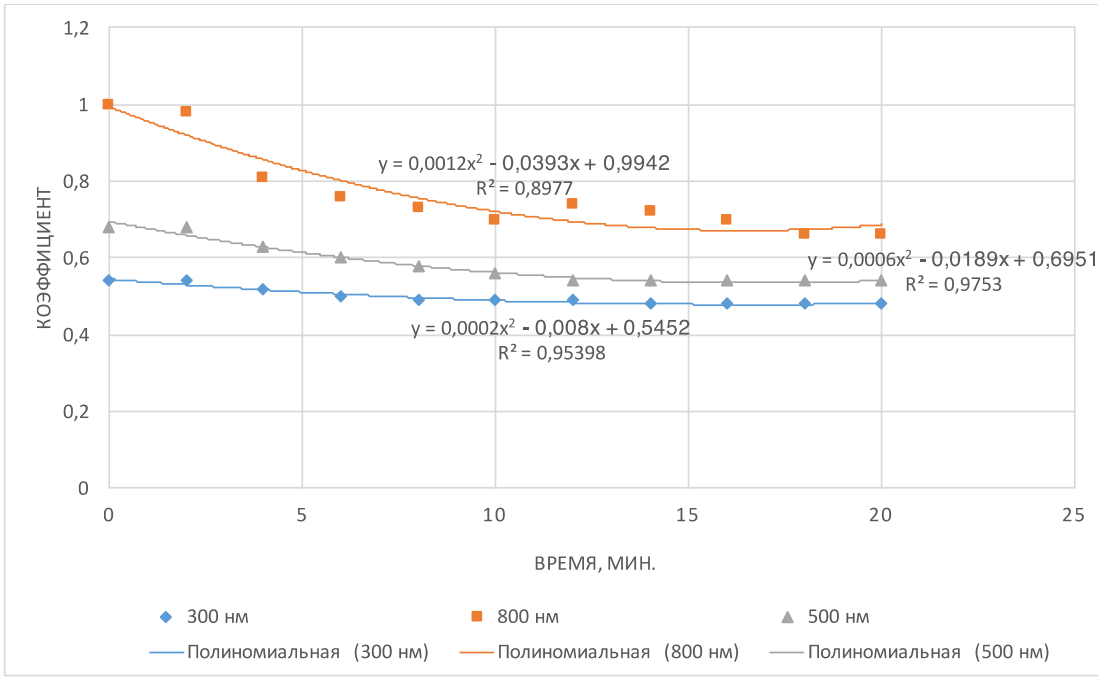


Рисунок 1. **Зависимость коэффициента поглощения при различных длинах волн от времени кавитации**

При кавитации с увеличением времени обработки наблюдается повышение температуры воды более чем на 50 %. Данные изменения хорошо коррелируют с произведенными исследованиями для водопроводной воды [7].

Основным направлением исследования была задача очистки исследуемого состава и внесения оптимальных изменений для последующих воздействий, поэтому при фиксировании изменений pH, ORP, температуры и коэффициентов поглощения при различных длинах волн выбиралось последнее для оптимизации. В качестве эталонного раствора применялась дистиллированная вода. 5-кратная повторяемость замеров с записью среднего значения.

б) Проведение стадии химической очистки при использовании исходного раствора и раствора определенного как оптимальный при кавитации**.**

Применение различных дозировок$(NH_4)_2SO_4$ и NaOCl.

Соответственно условия для проведения химической очистки были определены идентичные для стадии кавитации. Время экспонирования всех растворов при добавлении химических реагентов составляло 120 мин.

Поверхности изменений оптической плотности для стадии химической очистки соответственно исходного раствора.

Выводы по результатам химической очистки. Построение поверхностей производилось методом точечной диаграммы аппроксимацией результатов. Последующее дифференцирование показывает следующие значения оптимальных дозировок для снижения оптической плотности.

Для длины волны 300 нм. Исходный раствор $(NH_4)_2SO_4$ – 3,854 % и NaOCl – 7,345 %. Предварительно кавитационно обработанный раствор $(NH_4)_2SO_4$ – 3,6 % и NaOCl – 6,495 %.

Для длины волны 500 нм. Исходный раствор $(NH_4)_2SO_4$ – 4,183 % и NaOCl – 7,975 %. Предварительно кавитационно обработанный раствор $(NH_4)_2SO_4$ – 4,012 % и NaOCl – 7,342 %.

Для длины волны 800 нм. Исходный раствор $(NH_4)_2SO_4$ – 3,912 % и NaOCl – 4,156 %. Предварительно кавитационно обработанный раствор $(NH_4)_2SO_4$ – 3,632 % и NaOCl – 7,117 %.

Анализируя полученные данные, мы видим следующие закономерности. Разница изменений оптической плотности для предварительно кавитационно обработанной воды при химическом воздействии в зоне оптимального значения дозировок $(NH_4)_2SO_4$ и NaOCl составляет 12,2 %, что так же показывает актуальность проведения кавитации и порядок произведения технологических операций.

Пользуясь приоритетным значением оптической плотности при длине волны 300 нм (для наиболее полного устранения сапонинов)

оптимальными дозировками определяем $(NH_4)_2SO_4$ – 3,6 % и NaOCl – 6,495 % для обработки после кавитации.

Органолептическое описание результатов оптимального дозирования химических реагентов. Для исходного раствора, после кавитации 20 мин и химической обработки с дозировками $(NH_4)_2SO_4$ – 3,6 % и NaOCl – 6,495 % получаем следующие показатели: мутно-бежевый цвет, выделяется не резкий запах хлора, на дне наблюдается темный серо-зеленый осадок. На поверхности жидкости наблюдается пенообразование. pH = 4,7.

Озонирование**.** При проведенных ранее исследованиях были получены оптимальные результаты по кавитации и химической обработки раствора.

Оптимальным результатом для оптической плотности при 300 нм, как области наиболее интересной по содержанию сапонина были определены следующие параметры: время кавитации 20 мин; дозировка$(NH_4)_2SO_4$ – 3,6 %, дозировка NaOCl – 6,495 %. Провели озонирование полученного раствора.

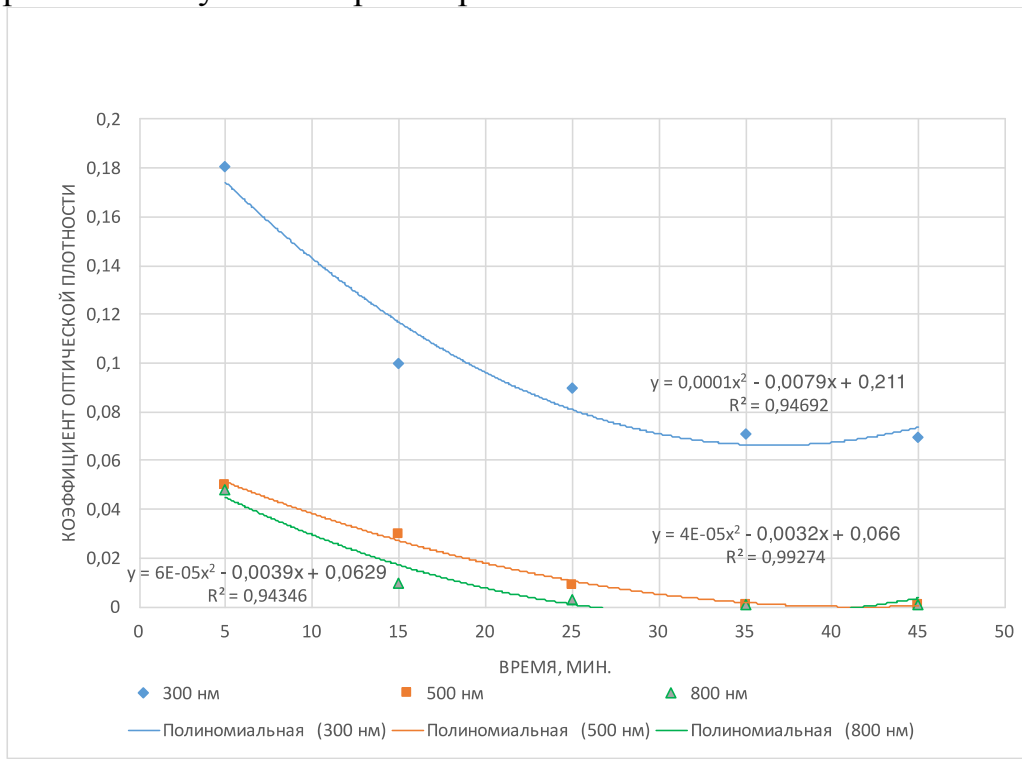


Рисунок 2. **Зависимость оптической плотности при различных длинах волн при озонировании предварительно химически и кавитационно обработанного раствора**

Получаем следующие оптимальные значения обработок: время кавитации 20 мин, дозировка $(NH_4)_2SO_4$ – 3,6 %, дозировка NaOCl – 6,495 %, время озонирования 32,5 мин. Полученный раствор проанализировали по параметрам необходимым для оценки качества воды перед сбросом в экосистему.

Таблица 4. **Конечные показатели воды очищаемой воды для оптимального технологического режима очистки**

Показатель	Максимальное значение
Температура, °С	25
Цвет	без цвета
Запах	без запаха
Прозрачность, см	25
Взвешенные вещества, мг/л	70
Реагирующие среды pH	6,5–7,5
ХПК мгO_2/дм^3	210
$БПК_5$ мгO_2/дм^3	190
Сухой остаток, мг/л	1200
Жесткость, мг-экв/л: 1. общая 2. карбонатная	 12 6

Полученные данные показывают качество воды не хуже чем исходное, а по большинству показателей даже превышает исходную воду, забираемую на производство.

Проделанная работа является индивидуальной для данного раствора и его соотношения органических включений, однако определенные тенденции рассмотренные в статье будут адекватны и применимы к подобным органическим растворам и в конечном итоге позволят определить конечную универсальную концепцию и подход к вопросам очистки, как сточных вод, так и других жидкостей, требующих различных родов воздействий.

Метод оптимизации обработки исследуемого раствора может быть расширен и применим для оптимизации по другим исследуемым факторам, включая экономическую составляющую, что позволит приблизиться к оптимальному способу обработки сточных вод по оптимальному соотношению всех существенно влияющих параметров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зубов М.Г., Гетманский А.С. Очистка сточных вод сахарных заводов при сезонном режиме работы // САХАР, 2017. № 4, С. 2.
2. Савостина О.А., Крицкая Е.Б. Отходы сахарного производства // Успехи современного естествоведения .2008. №7. С. 68.
3. Гатаулина, Г.Г. Растениеводство: учебник / Г.Г. Гатаулина, П.Д. Бугаев, В.Е. Долгодворов; под ред. Г.Г. Гатаулиной. – Москва: ИНФРА-М, 2018. 608 с.
4. Поливанова Т.В., Морозова В.А., Уваркина А.В. Очистка транспортно-моечных вод свеклосахарного производства. Сб. науч. работ. – Курск: РНИИСП. 1999. С. 112–117.

5. Спичак В.В., Пузанова Л.Н., Рыжкова Е.П., Базлов В.Н., Ананьсова П.А., Поливанова Т.В. Водное хозяйство сахарных заводов. Курск: ГНУ РНИИСП Россельхозакадемии, 2005, 167с.
6. Сорокин А.И. Оборотное водоснабжение сахарных заводов: приложение к журналу «Сахарная свекла: производство и переработка». М.: Агропромиздат, 1989. 176 с.
7. Бугаенко И.Ф. Анализ производственных и сточных вод сахарного производства, М.: Телер, 2000, 63 с.
8. Будыки Т.А., Франтова В.В. Очистка транспортно-моечных вод сахарного завода. / Вестник РУДН. Серия инженерные исследования. 2011. № 2. С. 47–50.
9. Яценко В.М., Бабкин В.Ф., Евсеев Е.П., Захаров П.Д. Патент на изобретение № 2680509. Способ утилизации отработанного активного ила очистных сооружений. 21.02.2019 г.
10. Демиденко Н.Д., Кулагин В.А., Шокин Ю.И. Моделирование и вычислительные технологии распределенных систем. Новосибирск: Наука, 2012, 424 с.
11. Dubrovskaja O.G., Yevstigneev V.V., Kulagin V.A. // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies, 6 (2013 6) P. 680–689.
12. Барбин Н.М. и др. Особенности роста рыб в кавитационно-обработанной воде // Сб. VIII международный конгресс Слабые и сверхслабые поле и излучение в биологии и медицине, 2018, С. 6.
13. Барбин Н.М. и др. Воздействие кавитации на водные микроорганизмы // Актуальные вопросы биологической физики и химии, 2017, Т. 3, № 4, С. 910.
14. Барбин Н.М., Чирков А.А. Изменение показателей крови собак при их лечении водой, прошедшей гидродинамическую обработку // Актуальные вопросы биологической физики и химии, 2017, Т. 2, № 1, С. 423.

УДК 628.35

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД НА ПРИМЕРЕ ОСК Г. НОВОРОССИЙСК

В.П. Костюков, Д.В. Антонян, Т.Р. Заплохова, П.В. Костюков
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия,

В работе представлены результаты математического моделирования сооружений биологической очистки сточных вод с удалением азота и фосфора.

Развитие технологий биологической очистки с удалением соединений азота и фосфора определяет применение для расчета сооружений зависимостей, описываемых уравнениями ферментативной кинетики одно-, двух- и более субстратных реакций, баланса массы загрязнений и биомассы активного ила.

Определение объемов сооружений и основных технологических параметров процесса обработки в данном случае подразумевает применение математических методов, что реализуется в виде как использования стандартных приложений операционных систем (Microsoft Excel), приложений для математических и инженерных вычислений (Mathcad), так и специализированных программных комплексов динамического моделирования очистных сооружений (GPS-X, WEST).

Ниже представлен отчет моделирования очистных сооружений на примере сооружений биологической очистки г. Новороссийска производительность. 150 тыс. $м^3$/сут. из программы WEST с модулем для проектировщиков.

Концентрации загрязняющих веществ в исходной и очищенной воде представлены в таблице.

Таблица. **Концентрации загрязняющих веществ в исходной и очищенной воде**

№ п/п	Показатель	Концентрация загрязняющих веществ, $мг/дм^3$
1	Взвешенные вещества	131,0
2	$БПК_п$	172,4
3	$БПК_5$	143,7
4	Азот аммонийный NH_4	23,7
5	Азот нитритный NO_2	0,09
6	Азот нитратный NO_3	0,9
7	Фосфор фосфатов $P\text{-}PO_4$	3,8
8	ХПК	273,3

Технологическая схема сооружений (рис. 1) предусматривает наличие анаэробных, аноксидных и аэробных зон. Для эффективного использования объемов сооружений применено секционирование зон с возможностью изменения кислородного режима (зоны переменных условий).

Результаты моделирования представлены на рисунках 2–6. На рисунке 7 показано распределение активного ила по уровням во вторичном отстойнике.

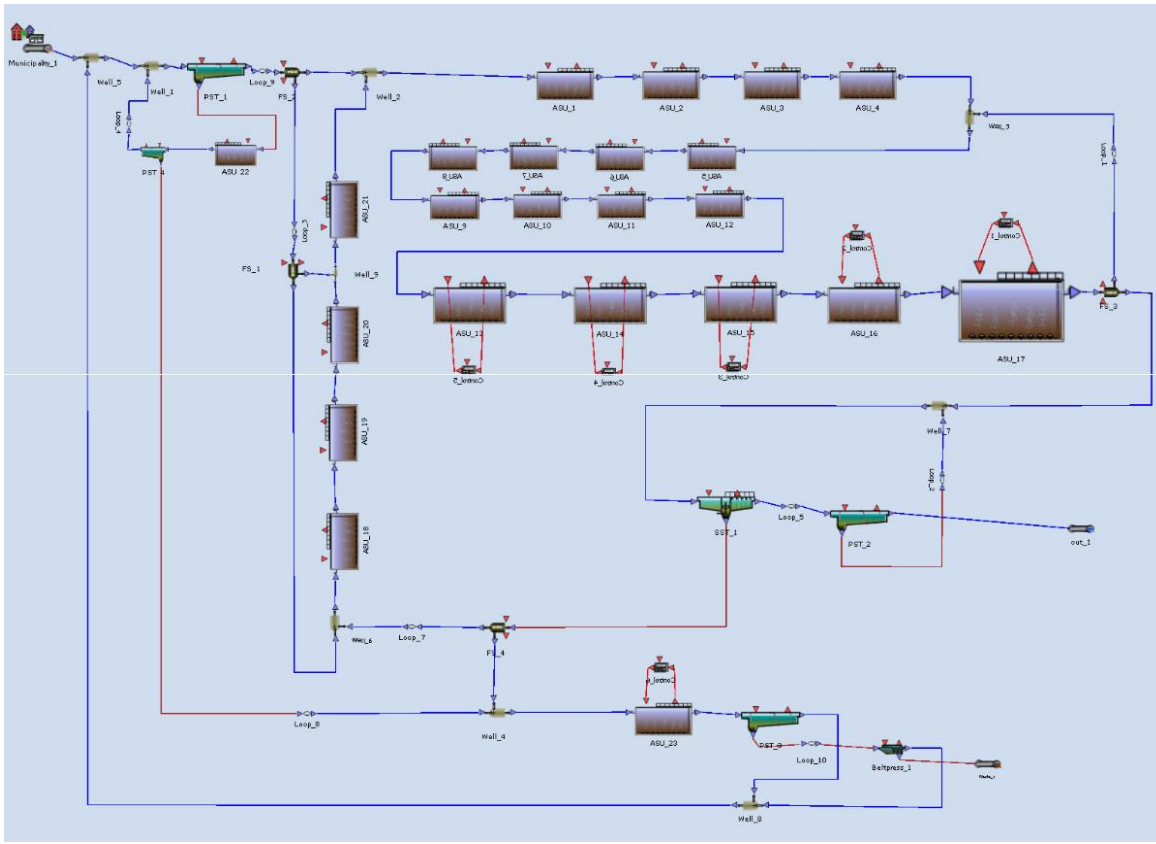


Рисунок 1. **Применяемая технологическая схема очистки сточных вод**

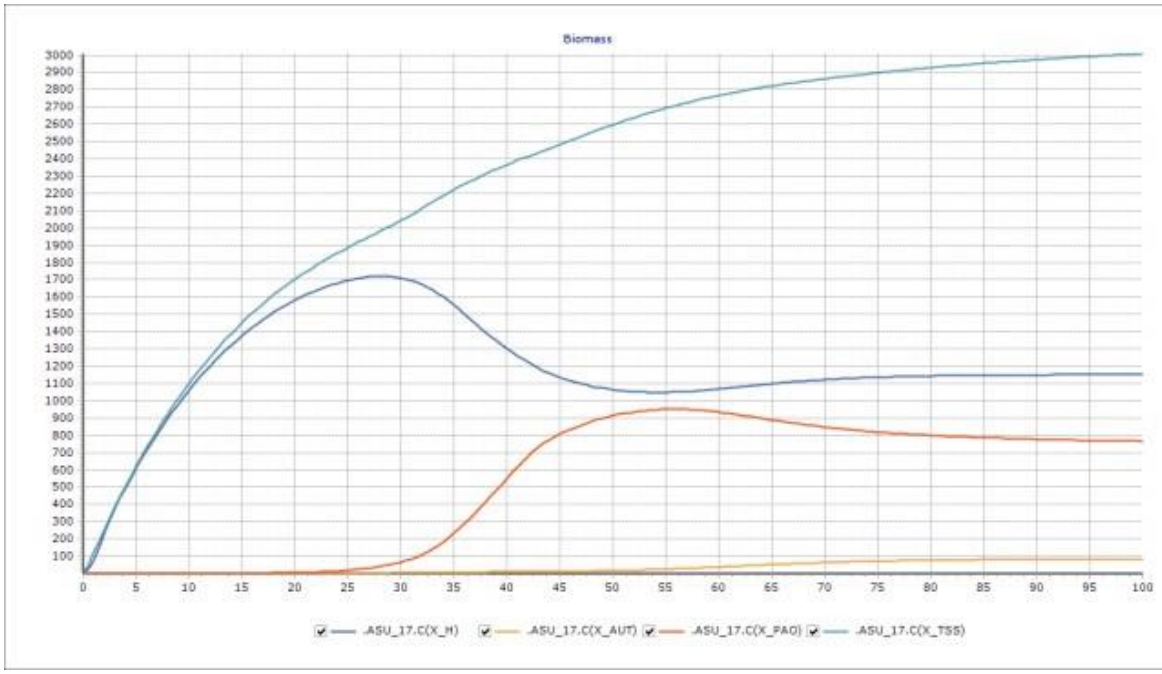


Рисунок 2. **График биомассы**

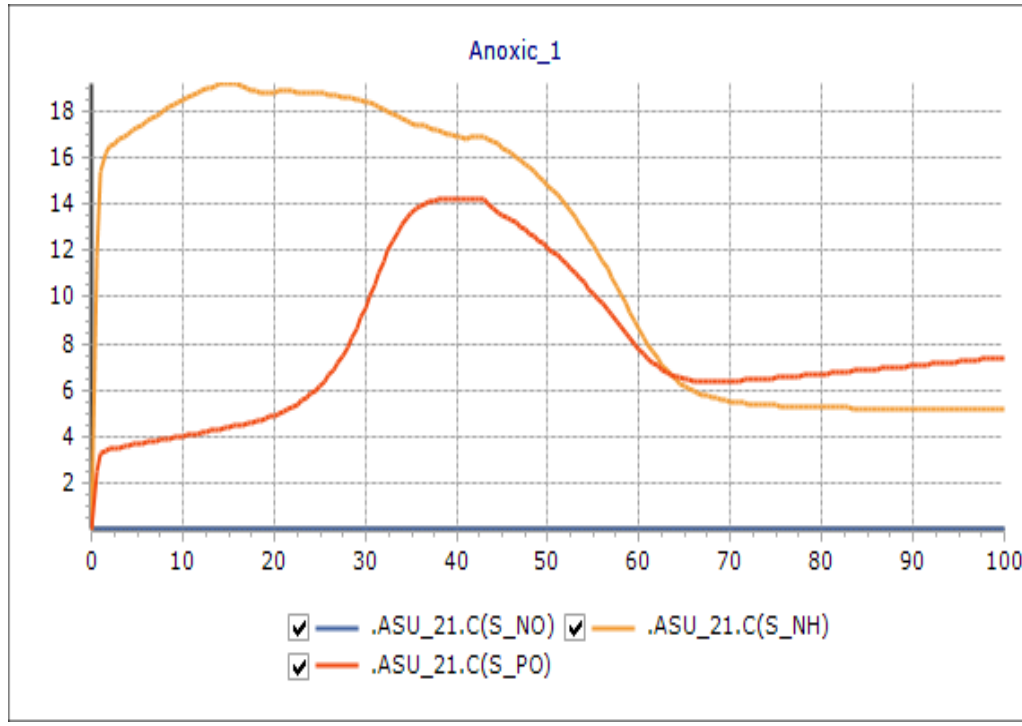


Рисунок 3. **График аноксидной зоны**

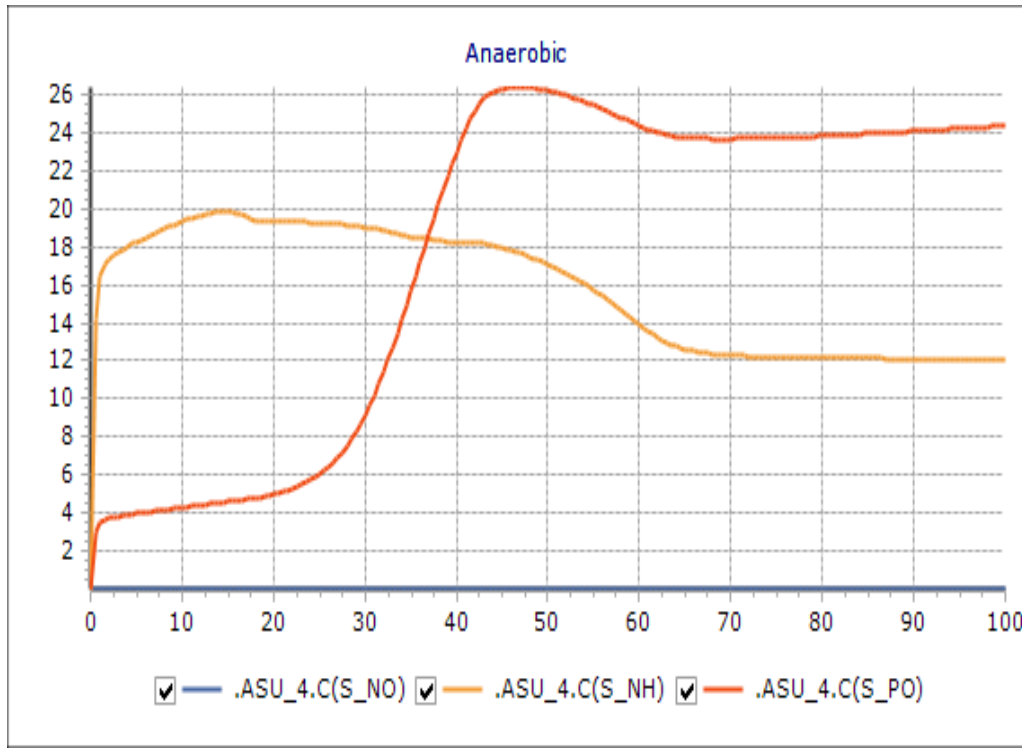


Рисунок 4. **График анаэробной зоны №1**

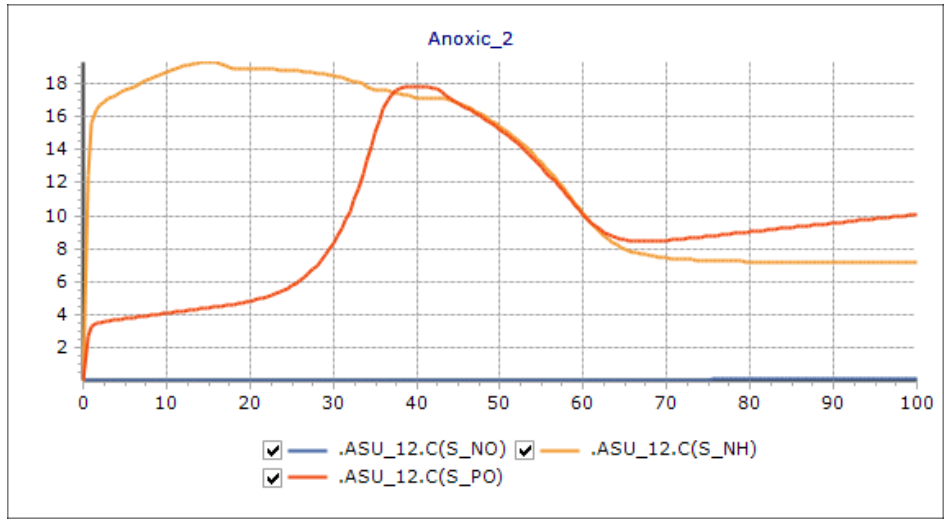


Рисунок 5. **График аноксидной зоны № 2**

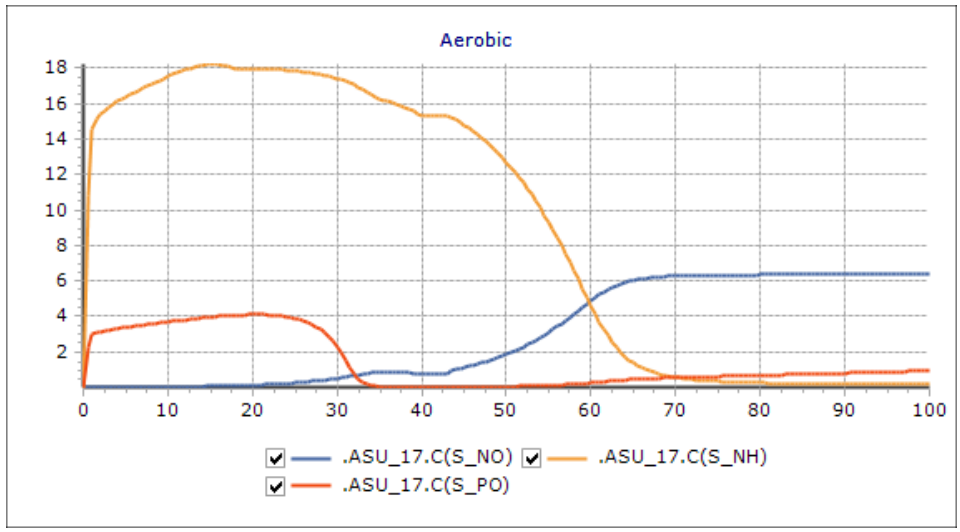


Рисунок 6. **График аэробной зоны**

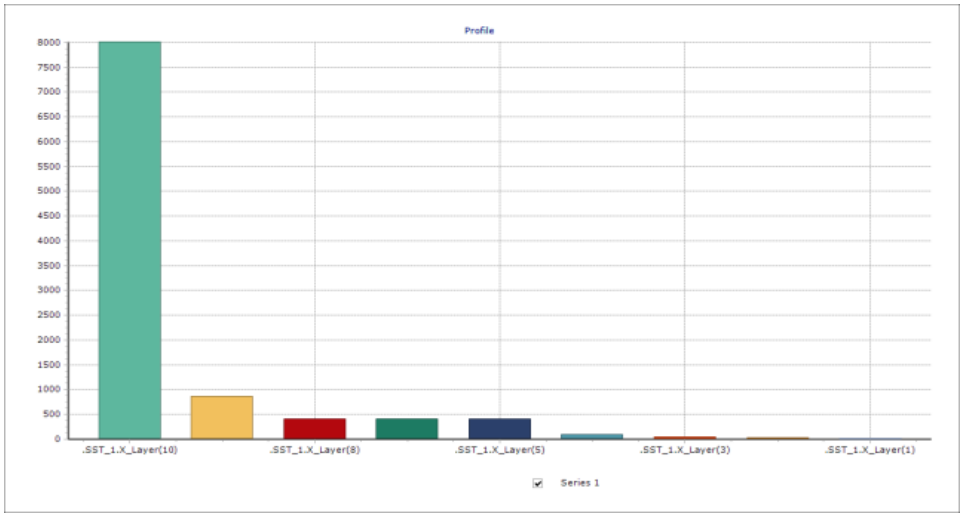


Рисунок 7. **График распределения активного ила по уровням во вторичном отстойнике**

Из данной модели и графиков видно, что принятая технологическая схема с использованием биологических процессов удаления азота и фосфора обеспечивает достижение показателей качества очищенных вод, установленных постановлением Правительства Российской Федерации от 15 сентября 2020 г. N 1430.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чегодаева, М.А. Функциональность информационной модели на этапах проектирования, строительства и эксплуатации [Электронный ресурс] / М.А. Чегодаева // Молодой ученый. – 2016. – № 25. С. 102–105. – URL: https://moluch.ru/archive/129/35716/ (дата обращения: 20.05.2021).
2. Скворцов, А.В. Модели данных BIM для инфраструктуры [Текст] / А.В. Скворцов // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2015. №1 (4). С. 16–23.
3. Al-Khateeb, T. History of BIM [Electronic resource] / T. Al-Khateeb // Cycle of author's publications about building information modeling. – 2015.–URL:https://thebimhub.com/2015/02/18/history-of-bim/#.WwMyskiFPIW (accessed: 23.05.2021).
4. Чегодаева, М.А. Этапы формирования и перспективы развития BIM-технологий [Электронный ресурс] / М.А. Чегодаева // Молодой ученый. 2017. – №10. С. 105–108. – URL: https://moluch.ru/archive/144/40481/ (дата обращения:23.05.2021).

УДК:621.9.079

ОБРАЗОВАНИЕ СТОКОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ СИСТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ СИНТЕТИЧЕСКИХ И ПОЛУСИНТЕТИЧЕСКИХ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ ЖИДКОСТЕЙ

Ю.Б. Алякин
Ульяновский государственный университет, г. Ульяновск, Россия
Е.М. Булыжев
Ульяновский государственный технический университет, г. Ульяновск, Россия

Описана проблема многократного уменьшения объёмов водных стоков синтетических и полусинтетических СОЖ, образующихся при механической обработке заготовок деталей автомобилей. Дана характеристика стоков и объёмы их образования. Представлена методика анализа системных технологических комплексов централизованного применения синтетических СОЖ.

Смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ) являются неотъемлемым компонентом процессов металлообработки [1–2].

Ранее широко применялись водоэмульсионные СОЖ. Проблема

образования водных стоков СОЖ ранее достаточно подробно изучалась, успешно разрабатывали системные технологии и техники применения СОЖ, включая их разложение [3–4].

За последние 20 лет в стране был запущен переход на синтетические водоразбавляемые СОЖ. Синтетические СОЖ обладают высокой физико-химической стойкостью и требуемой технологической эффективностью [5]. Прогнозируемый срок службы синтетических СОЖ составляет 2 – 3 года. Однако на практике их срок службы не превышал 4 – 6 месяцев [6].

Возникшая проблема многократного увеличения объёмов водных стоков, образующихся в производствах при масштабном применении синтетических и полусинтетических (СиПС) СОЖ исследовалась на Заводе двигателей (ЗД). На ЗД эксплуатируются в настоящее время 29 централизованной системы применения (ЦСП) СиПС СОЖ. В результате обследования комплекса ЦСП установлено (табл.), что:

- на 21 ЦСП применяются синтетическая СОЖ 205; на 1 ЦСП – полусинтетическая СОЖ 46 (ЦСП 15) и на 7 ЦСП смесь СОЖ 205 и 46;
- ЦСП обслуживают технологические линии лезвийной обработки и шлифования;
- материал заготовок деталей (сталь «Ст», чугун «Ч», алюминиевый сплав «Ал»);
- производительность систем образует ряд 3,4; 3,8; 4,3; 4,4; 4,7; 4,8; 5,3; 5,5; 6,0; 6,5 $м^3$/ч – определяется конструктивно-технологическими особенностями структуры цехов механической обработки и инфраструктуры производства;
- заправочный объём составляет ряд: 34; 38; 66; 75; 95; 105; 114; 130; 150; 165; 180 $м^3$;
- – число замен СОЖ 2 – 3 раза в год;
- концентрация СОЖ α образует ряд: 0,03; 0,04; 0,05; 0,06; 0,07; 0,08; 0,09.

В процессе эксплуатации комплекса систем применения заправочный объём СиПС СОЖ $V_О$ циркулирует в прерывистом режиме. При отсутствии компенсации потерь СОЖ вследствие утечек, проливов, разбрызгивания и т.д. часть СОЖ теряется, а циркулирующий объём уменьшается. Концентрация СиПС СОЖ снижается за счёт разности скоростей потерь воды и компонентов СОЖ, а эффективность её уменьшается. Поэтому периодически один раз в 1,5 – 2 недели потери СиПС СОЖ компенсируются, а её состав корректируется.

Исследование комплекса ЦСП проводили посредством изучения годовых балансов расходов СОЖ, оценки величин потерь объёмов СОЖ в течение года.

Годовой баланс расходов СиПС СОЖ выглядит следующим образом:

$$V_{ЗГ} + V_{КГ} – (V_{ЗСГ} + V_{РПГ}) = 0; \quad (1)$$

$$V_{ЗГ} + V_{КГ} = V_{ДГ};\ V_{ЗСГ} + V_{РПГ} = V_{РГ}, \quad (2)$$

где индексы – «$_З$», «$_К$», «$_{ЗС}$», «$_{РП}$», «$_Д$» и «$_Р$» означают «замена объёма», «коррекция», «залповый сброс», «распределённые потери», «добавка» и «расход»; индекс «$_Г$» характеризует промежуток времени – год, соответствующий данному расходу. $V_{ДГ}$ – зависит от обслуживающего персонала, а $V_{РПГ}$ – полностью определяется техническим состоянием инфраструктуры ЦСП, её составом, совершенством и изношенностью оборудования.

Как правило, $V_{РПГ}$ формируется в процессе проектирования, изготовления и эксплуатации ЦСП и по существу необратимы и распределены в пространстве цеха и во времени.

Каждая ЦСП функционирует с различной производительностью Q и заправочной ёмкостью $V_О$. Поэтому целесообразно использовать в качестве одной из основных характеристик ЦСП распределённые часовые потери СиПС СОЖ:

$$\nu_{РПГ} = V_{РПГ}/ T_Г, м^3/ч. \quad (3)$$

В ряде случаев перед сбросом СиПС СОЖ на разложение прекращается компенсация их потерь, объём которой оценивается параметром $\Delta V_{ЗСГ}$. При этом уменьшается годовой объём СиПС СОЖ на коррекцию:

$$V_{КГМ} = V_{КГ} - \Delta V_{ЗСГ}, м^3/год. \quad (4)$$

Годовой объём приготавливаемой СОЖ составляет:

$$V_{ПГ} = V_{ЗСГ} + V_{КГМ}, м^3/год. \quad (5)$$

Годовой объем расходов равен:

$$V_{РГ} = V_{ПГ}, м^3/год. \quad (6)$$

В свою очередь:

$$V_{РПГ} = V_{РГ} - V_{ЗСГ}, м^3/год. \quad (7)$$

Степень добавки СиПС СОЖ, приходящаяся на 1 час действительного годового фонда времени:

$$\nu_Д = V_{ПГ}/ T_Г, м^3/ч, \quad (8)$$

где $T_Г = 4120$ ч.

Степень годовой распределённой потери (утраты) СиПС СОЖ:

$$\nu_{РУ} = V_{РПГ}/ T_Г, м^3/ч. \quad (9)$$

Степень относительной потери (утраты) СиПС СОЖ:

$$\psi_У = \nu_{РПГ} / \nu_{РГ}. \quad (10)$$

Отнесённые к производительности Q степени $\nu_Д$ и $\nu_{РУ}$ наблюдаемые в системах комплекса оцениваются по выражениям:

$$\xi_Д = \nu_Д /Q \quad и \quad \xi_{РУ} = \nu_Д /Q. \quad (11) \text{ и } (11,а)$$

Доля распределённых потерь добавляемых добавках СиПС СОЖ:

$$\Psi_Р = \xi_{РУ} / \xi_Д. \quad (12)$$

Показатели эксплуатационной эффективности комплекса централизованных систем применения СиПС СОЖ Завода двигателей после ранжирования величины $\nu_Д$ и $\nu_{РУ}$ представлены в таблице.

Таблица. **Показатели эксплуатационной эффективности комплекса централизованных систем применения СОЖ завода двигателей**

№ п/п	ЦСП №	Технологическая ситуация			Производительность	Объем бака	Концентрация	Число замен	Замена установки в год	Объем приготовления замен годовой = $M_{ЗГ}$·α	Корректировка установки в год	Объем коррекции годовой = $M_{КГ}$·α	Объем залповых стоков годовой	$V_{ЗГ} - V_{ЗСТ}$	$V_{КГ} + \Delta V_{ЗСГ}$	$V_{ЗГ} + V_{КГМ}$	$V_{РГ} = V_{ПГ}$	$V_{РГ} - V_{ЗСТ}$	$V_{ПГ}/T_Г$	$V_{РПГ}/T_Г$	$V_{РПГ}/V_{РГ}$	$\gamma_Д/Q \cdot 10^3$	$\gamma_{РУ}/Q \cdot 10^3$
		Состав СОЖ	Материал заготовки	Вид обработки	Q	$V_О$	α	$n_З$	$M_{ЗГ}$	$V_{ЗГ}$	$M_{КГ}$	$V_{КГ}$	$V_{ЗСГ}$	$\Delta V_{ЗСГ}$	$V_{КГМ}$	$V_{ПГ}$	$V_{РГ}$	$V_{РПГ}$	γд	γру	ψу	ξд	ξру
					м³/ч	м³		раз	м³	м³	м³	м³	м³	м³	м³	м³	м³	м³	(м³/ч)/год				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	**24**	205/46	АЛ	Л	180	34	0,09	3	9	100	3,6	40	60	40	80	180	184	124	0,043	0,03	0,673	0,24	0,165
2	**71**	205	Ст	Ш	180	38	0,04	3	4,5	112,5	3,6	90	90	22,5	112,5	225	229	139	0,054	0,03	0,606	0,3	0,185
3	**66**	205	Ст	Ш	360	75	0,03	3	6	200	3,6	120	165	35	155	355	359	194	0,085	0,05	0,540	0,24	0,129
4	**3**	205	Ч	Л	720	130	0,04	2	12	300	6	150	280	20	170	470	476	196	0,113	0,05	0,412	0,16	0,065
5	**4**	205	Ч	Л	1080	180	0,04	2	14	350	18	450	300	50	500	850	868	568	0,204	0,14	0,654	0,19	0,126
6	**59**	205	Ст	Л	720	130	0,04	2	10	250	8,4	210	260	-10	200	450	458	198	0,108	0,05	0,433	0,15	0,066
7	**73**	46/205	АЛ	Л	720	114	0,06	3	21	350	12	200	342	8	208	558	570	228	0,134	0,05	0,400	0,19	0,076
8	**61**	205	Ст	Ш	360	75	0,03	3	6	200	6	200	165	35	235	435	441	276	0,105	0,07	0,626	0,29	0,184
9	**55**	205	Ч	Л	720	150	0,04	2	12	300	12	300	300	0	300	600	612	312	0,144	0,08	0,510	0,2	0,104
10	**58**	205	Ч	Л	720	150	0,04	2	12	300	12	300	300	0	300	600	612	312	0,144	0,08	0,510	0,2	0,104
11	**63**	205	Ст	Л	720	150	0,04	2	12	300	12	300	300	0	300	600	612	312	0,144	0,08	0,510	0,2	0,104
12	**67**	205	Ст	Л	360	105	0,04	2	8	200	12	300	180	20	320	520	532	352	0,125	0,08	0,662	0,35	0,235
13	**70**	205	Ст	Л	360	95	0,04	2	8	200	12	300	160	40	340	540	552	392	0,130	0,09	0,710	0,36	0,262
14	**2**	205	Ч	Л	720	165	0,04	2	14	350	36	900	280	70	970	1320	1356	1076	0,317	0,26	0,794	0,44	0,359
15	**10**	205	Ст	Ш	360	75	0,03	3	6	200	12	400	165	35	435	635	647	482	0,153	0,12	0,745	0,42	0,322
16	**13**	205	Ст	Л	360	75	0,03	3	6	200	12	400	165	35	435	635	647	482	0,153	0,12	0,745	0,42	0,322
17	**14**	205	СТ	Ш	360	75	0,03	3	6	200	12	400	165	35	435	635	647	482	0,153	0,12	0,745	0,42	0,322
18	**15**	46	Ст	Л	1080	167	0,066	2	30	455	30	454,5	420	35,0	489,5	945	975	555	0,227	0,13	0,569	0,21	0,123
19	**56**	205	Ч	Ш	360	75	0,03	3	6	200	12	400	165	35	435	635	647	482	0,153	0,12	0,745	0,42	0,322
20	**8**	205	Ч	Ш	360	66	0,03	3	6	200	12	400	150	50	450	650	662	512	0,156	0,12	0,773	0,43	0,342
21	**69**	205	Ст	Ш	360	66	0,03	3	6	200	12	400	150	50	450	650	662	512	0,156	0,12	0,773	0,43	0,342
22	**72**	205	Ст	Ш	360	66	0,03	3	6	200	12	400	150	50	450	650	662	512	0,156	0,12	0,773	0,43	0,342
23	**12**	205/46	Ст	Л	1080	180	0,08	2	28	350	36	450	300	50	500	850	886	586	0,204	0,14	0,661	0,19	0,130
24	**65**	205	Ст	Л	720	165	0,04	2	13	325	18	450	280	45	495	820	838	558	0,197	0,13	0,666	0,27	0,186
25	**76**	205/46	АЛ	Л	720	130	0,07	3	27	386	42	600	390	-4	596	982	1024	634	0,236	0,15	0,619	0,33	0,212
26	**23**	205/46	АЛ	Л	720	130	0,09	3	33	388	54	635,3	390	-2	633,3	1021	1075	685	0,246	0,16	0,637	0,34	0,229
27	**25**	205/46	АЛ	Л	1080	165	0,08	3	39	487,5	48	600	420	67,5	667,5	1155	1203	783	0,278	0,19	0,651	0,26	0,174
28	**9**	205/46	Ст	Л	720	130	0,07	2	18	257	48	685,7	260	-3	682,7	940	988	728	0,226	0,17	0,737	0,31	0,243
29	**1**	205	Ч	Л	720	167	0,04	2	14	350	48	1200	260	90	1290	1640	1688	1428	0,394	0,34	0,846	0,55	0,477
Σ					**17280**	**3323**	1,35	73	392,5	7911	565,2	11735,5	7012	899	12634,5	**20546**	**21111**	**14099**	4,9	3,4	18,7	8,96	6,3
Ср					595,9	114,6	0,05	2,52	13,5	272,8	19,5	404,7	241,8	31,0	435,7	708,5	728,0	486,2	0,17	0,12	0,65	0,31	0,22

ВЫВОДЫ

1. Образование стоков СиПС СОЖ в технологических комплексах являются важнейшим фактором их системной эффективности и формирует в основном расходы на них.
2. В результате анализа эксплуатационной эффективности комплекса из 29 ЦСП СиПС СОЖ установлено, что относительные показатели ЦСП изменяются в пределах:
3. степень добавления СиПС СОЖ $\nu_Д$ -0,043 (ЦСП 24)-0,394 (ЦСП29);
4. степень распределённых потерь (утрат) $\nu_{РУ}$ -0,03 (ЦСП 24)-0,34 (ЦСП29);
5. Полученные результаты предназначенны для использования при моделировании комплекса ЦСП.
6. Полученная информация позволяет разработать пути и стратегии повышения эксплуатационной эффективности СиПС СОЖ.
7. Среднее значение коэффициента полезного использования СиПС СОЖ равен 0,66, третья часть объёмов СиПС СОЖ сбрасывается в стоки.
8. Среднее соотношение пределов варьирования показателей эксплуатационной эффективности 1:13,5.

ЛИТЕРАТУРА

1. Смазочно-охлаждающие технологические средства: Справочник / Под общей ред. Л.В. Худобина – М.: Машиностроение, 2006. 543 с.
2. Мане С., Кумар С. Смазочно-охлаждающие жидкости и методы их применения при обработке: обзор // Международный журнал научных и инженерных исследований. 2018. Т. 9. № 3. С. 60–63.
3. Булыжев Е.М., Худобин Л.В. Ресурсосберегающее применение смазочно-охлаждающих жидкостей при металлообработке. – М.: Машиностроение, 2004. 352 с.
4. Каримов Р.Р. Биосорбционная технология обезвреживания отработанных смазочно-охлаждающих жидкостей: дисс ... канд. техн. наук: Каз. гос. технол. ун-т. Казань, 2005.
5. Керимов П.М., Ахмедова А.А., Агаев Б.К., Алекперова С.Б., Зейналов Б.К. Смазочно-охлаждающая жидкость на основе синтетических нафтеновых кислот для наружной и внутренней шлифовки чугунных деталей компрессора / Вопросы нефтехимии, 1991, № 17. С. 91–93.
6. Булыжев Е.М., Худобин Л.В., Алякин Ю.Б. Предотвращение залповых стоков синтетических смазочно-охлаждающих жидкостей на разложение и утилизацию путем оптимизации условий эксплуатации / Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2023»: материалы XIV Межд. науч.-практ. конф.; г. Кисловодск, 18-21 апреля 2023 г. / Юж.-Рос. гос. политехн. ун–т. (НПИ) имени М.И. Платова – Новочеркасск: Лик, 2023. С. 358–363.

АУРАТ

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
- дезаприм

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



- 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

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Алешко Д.С.	213, 243
Алякин Ю.Б.	88, 331
Антонян А.В.	246
Антонян Д.В.	326
Асатрян А.А.	278, 306
Архипова Е.Е.	243
Баринов М.К.	201
Белоусова В.Ю.	269
Бессонов В.М.	243
Бокарев М.А.	112
Бубнов В.М.	176
Булыжев Е.М.	88, 331
Бутко Д.А.	155, 316
Васильева Ю.В.	310
Волосухин В.А.	17, 66, 79
Волосухин Я.В.	98
Вурдова Н.Г.	228
Гаврилина Ю.А.	50
Гетманцев С.В.	118
Гостева Ю.В.	208
Гулиев Э.Ш.	122
Демченко П.Н.	259
Денисова И.А.	169
Долмат А.С.	184
Домнин К.В.	243
Дунаевская Е.В.	243
Заичко Д.А.	259
Заплохова Т.Р.	326
Иванкова Т.В.	27
Игнатенко С.И.	10, 133, 148, 192, 232
Иевлева Н.Е.	68, 144
Исраилов Р.В.	259
Каберская Д.В.	36, 133, 148, 192, 201, 232
Казаков А.М.	66
Карандаева Е.Е.	85
Кашарин Д.В.	50, 102
Кириленко В.И.	112, 144, 295
Клочков Д.П.	300
Князева Н.И.	133, 232
Кон Брахима	108
Костюков В.П.	273, 326

Костюков П.В. 326
Крысоватая А.В. 85, 160, 318
Кулаков А.С. 148
Лопатин С.А. 112
Манюшкин Д.К. 218
Мартыненко Г.Д. 252
Могукало А.В. 285
Москвичева Е.В. 300
Найманов А.Я. 252
Найманова А.А. 252
Нездойминов В.И. 285, 310
Онкаев А.В. 122
Осокина Е.С. 290
Половец Н.В. 93
Поповьян Г.В. 133, 192, 232
Продоус О.А. 22, 46, 75, 93
Проскурина С.А. 85
Пурусова И.Ю. 61, 108
Пчельников И.В. 122, 176
Пчельникова А.С. 176
Радченко О.П. 300
Рахал Закария 82
Рожков В.С. 17, 79, 310
Рученин А.А. 290
Ручка В.В. 285
Сажина О.В. 316
Снопок В.Н. 259
Смоляниченко А.С. 82
Стаценко Г.В. 201
Степанова Т.В. 85, 160, 318
Сухоносов Н.А. 163
Тан-Бин Д.В. 36
Терехов Л.Д. 22
Тронь И.А. 133, 192, 232
Тучков В.К. 295
Турчина Г.С. 208
Угроватова Е.Г. 273, 278
Федотов Р.В. 148, 184, 192, 259
Фесенко Л.Н. 10, 17, 27, 79, 122, 148, 169, 176, 218, 246
Чайка В.Ю. 139
Чекима Хамза 82
Черкесова Ю.В. 36, 246
Черкесов А.Ю. 10, 36, 133, 169, 192, 201, 218, 232, 246

Хецуриани Е.Д. 278, 306
Шепелев О.С. 201
Шестаков А.А. 75
Шипилов А.А. 68, 144
Шишова О.П. 155
Шуровская О.В. 201
Шлычков Д.И. 46
Щербаков В.И. 160, 318
Щукин С.А. 10, 36, 133, 169, 192, 201, 218, 232
Щукина Ю.С. 36
Шуцкая Е.Е. 102
Юрьев Ю.Ю. 300
Якубчик П.П. 22, 75, 93
Ярошенко И.Н. 68

Научное издание

Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2024»

Материалы XV Международной научно-практической конференции

Издается в авторской редакции

Подписано в печать 04.04.2024.
Формат 60х84 1/16. Бумага офсетная.
Печать оперативная. Усл. печ.л. 19,8. Уч.-изд. л. 20,2.
Тираж 100 экз. Заказ № 47-10956.

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