ГК «АУРАТ», Россия

ООО НПП «ЭКОФЕС», г. Новочеркасск

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

ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ВОДЫ «ТЕХНОВОД-2023»

Материалы XIV Международной научно-практической конференции
18 – 21 апреля 2023 года
г. Кисловодск

Новочеркасск
Лик
2023

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.

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. – 369 с.
ISBN 978-5-907708-17-4

В настоящем сборнике представлены материалы докладов XIV Международной научно-практической конференции «Технологии очистки воды» – ТЕХНОВОД-2023 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 978-5-907708-17-4

© Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, 2023
© Авторы, 2023

С О Д Е Р Ж А Н И Е

ПРЕДИСЛОВИЕ……7
Памяти ***Серпокрылова Николая Сергеевича***.....10
I. КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ, ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ. ТЕХНОЛОГИИ, МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ……..…….....12
Демченко Н.В., Бондарев А.А. Обзор существующего законодательства по приему сточных вод в водные объекты……...12
Вурдова Н.Г. Методы организации замкнутого цикла водопользования для промышленных предприятий…….……..24
Лесной В.И.,, Нездойминов В. И., Жибоедов А. В. Использование шахтных вод в системах водоснабжения населённых пунктов ДНР……...27
Тхай Тхи Ким Тьи. Количественная оценка факторов, влияющих на формирование наводнения в бассейне реки Меконг……31
Турсунова Э.А. Пути улучшения водоснабжения промышленных предприятий……...36
Смирнов А.Д., Герасимов М.М., Беляк А.А. Условия и алгоритмы реализации срочных мероприятий для повышения барьерных функций водопроводов крупных городов при экстраординарных загрязнениях водоисточников…….42
Шипилов А.А., Иевлева Н.Е., Латыпова Р.А. Выбор схемного решения системы водоснабжения промышленного предприятия……45
Москвичева Е.В., Радченко О.П., Клочков Д.П. Сточные воды автотранспорта на строительных площадках……50
Костюков В.П., Антонян Д.В. Влияние сероводорода на токопроводящие элементы оборудования очистных сооружений канализации.....55
Абросимова И.А., Семенов А.Б., Мохов А.И. Наилучшие и доступные технологии в достижении цели устойчивого развития «Чистая вода и санитария» ООН»……..58
Кашарин Д.В. Обоснование применения гибких водопроводящих (деривационных) сооружений для условий водоснабжения в горных и предгорных условиях……63
Гостева Ю.В., Турчина Г.С. Анализ состояния сети водоснабжения крупного города……68
Янцен О.В., Гогина Е.С., Колосова К.Г., Спасибо Е.В. Применение «серой» воды для целей непитьевого водоснабжения……73
Продоус О.А., Якубчик П.П., Балашов С.С. О повышении точности гидравлического расчета металлических водопроводов с внутренними отложениями……..80
Продоус О.А., Якубчик П.П., Балашов С.С. Экспертная оценка продолжительности остаточного периода эксплуатации изношенных водопроводных сетей с внутренними отложениями……85
Черкесов А.Ю. Дохлорирование воды: проблемы проектирования……90

Продоус О.А., Якубчик П.П., Балашов С.С. О влиянии толщины слоя внутренних отложений в металлических водопроводах на величину фактических потерь напора в трубах……..96
Асатрян А.А., Хецуриани Е.Д., Бондаренко В.Л. Основные способы и техники орошения древесно-кустарниковой растительности и цветочных культур на объектах рекреационного значения……101
Балобанов А.С. Опыт водоочистных станций в решении проблем очистки сложных поверхностных вод……...105
Трипутько А.И., Гуринович А.Д., Коваленко В.Н. Электронное моделирование гидравлики водопроводной сети города-курорта при сезонной неравномерности водопотребления……..111
Хецуриани Е.Д., Асатрян А.А., Хецуриани Те.Е., Бырин Д.С. Мониторинг территорий рекреационных объектов в городской среде для составления проекта реконструкций……116
Шипилов А.А., Иевлева Н.Е., Латыпова Р.А. Комплексный подход к проектированию систем водоснабжения и водоотведения в особых горноклиматических условиях…….……123
Турчина Г.С., Найманов А.Я. Способы оценки надежности сети водоснабжения с учетом ее конструктивных особенностей……...130
Трипутько А.И., Гуринович А.Д., Коваленко В.Н. Интегральная оценка технических состояний объектов инженерной инфраструктуры систем водоснабжения и канализации……135
Первов А.Г., Спицов Д.В., Тет Зо Аун. Новая область применения мембранного метода обратного осмоса на станциях питьевого водоснабжения – приготовление концентрированных растворов хлорида натрия из обрабатываемой воды…….……140
Гуринович А.Д., Примин О.Г. Проблемы профессионализма законодательных и технических нормативов в области водоснабжения и канализации……..……..147
Медведько В.В., Первов А.Г. Вторичные загрязнения водопроводной воды: условия, прогнозирование, доочистка……152
Черкесов А.Ю., Исраилов Р.В., Денисова И.А. Очистка от дурнопахнущих веществ вентиляционных выбросов в системах водоотведения.....157
Сухоносов Н.А. Алюминий хлоргидрат – лидер по импортозамещению в парфюмерно-косметической промышленности….163
Хецуриани Е.Д., Суржко О.А., Ларин Д.С., Хецуриани Те.Е. Исследование донных отложений поверхностных водоемов, как техногенное месторождение полезных ископаемых и способы их извлечения……167
Горелкина А.К., Тимощук И.В. К вопросу повышения качества воды для пищевой отрасли……177
Онкаев А.В., Онкаев В.А,. Скрябин А.Ю. Использование электрохимических процессов для производства гипохлорита кальция из многотоннажных промышленных отходов…….……..180

Фесенко Л.Н., Черкесов А.Ю., Пчельников И.В. Блочно-модульные электролизные станции: преимущества и недостатки…….185
Рученин А.А., Осокина Е.С. Внедрение коагулянтов производства ГК «АУРАТ» в технологию очистки сточных вод на очистных сооружениях предприятий мясоперерабатывающей промышленности…193
Костюков В.П., Антонян Д.В., Вербина К.В. Доочистка биологически очищенных сточных вод с помощью каменноугольной суспензии…….....201
Каберская Д.В., Федотов Р.В., Игнатенко С.И. Исследование влияния скорости фильтрования борсодержащей воды на сорбционную емкость активированной окиси алюминия……..206
Лобанов Ф.И. Применение соединений кальция при очистке сточных вод коммунальных очистных сооружений…….……...210
Москвичева Е.В., Тимофеев А.Г., Юрьев Ю.Ю., Куцуба А.А. Метод очистки сточных вод предприятий с использованием отхода в качестве вспомогательного сырья…….….…216
Чесноков В.А. Реагенты неокислительного действия в очистке и обеззараживании воды, в предотвращении биообрастания и снижении коррозии трубопроводов……..…221
Пчельников И.В., Пчельникова А.С., Кузьменко Л.В., Каберская Д.В., Антонян Д.В. Производство гипохлорита натрия электролизом подземной воды……...224
II. ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ И ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СООРУЖЕНИЙ ВОДОПОДГОТОВКИ……..……234
Кулаков А.С., Фесенко Л.Н. Изменение фоновых концентраций бромидов при очистке донской воды……234
Бутко Д.А. Выбор схем обработки промывных вод скорых фильтров и отстойников……240
Черкесов А.Ю., Щукин С.А., Щукина Ю.С. Выбор и обоснование железо-каталитического метода очистки природных сероводородных вод…….....245
Григорьева А.Н. Повышение эффективности хлопьеобразования в процессе водоподготовки……...254
Долмат А.С., Федотов Р.В. Формирование и распространение фторсодержащих вод……..260
Тронь И.А., Поповьян Г.В. Результаты внедрения дополнительной реагентной обработки воды поверхностного водоисточника, подверженного значительному антропогенному загрязнению катионным полиакриламидом в тяжелые для водоподготовки периоды на очистных сооружениях АО «Ростовводоканал»……266
Князева Н.И., Федотов Р.В., Щукин С.А. Сезонное изменение жесткости воды в нижнем течении р. Дон…….....270
Фесенко Л.Н., Игнатенко С.И., Каберская Д.В., Пчельников И.В., Заичко Д.А. Технико-экономический анализ и исследование

кислотной промывки катодов электролизера растворами соляной и сульфаминовой кислот……..277
Черкесов А.Ю., Щукин С.А., Щукина Ю.С. Обоснование экономической эффективности технологии железо-каталитического окисления при подготовке природных сероводородных вод…….284
Булыжев Е.М., Алякин Ю.Б., Голованов В.Н. Гиперпроизводительное осветлительное фильтрование воды……...290
Фесенко А.А. Финансово-экономический анализ использования технологий обеззараживания воды с помощью хлорсодержащих веществ…….299
III. ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ И ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ……305
Продоус О.А., Шлычков Д.И. Оценка изменения стоимости эксплуатационных затрат на содержание сети водоотведения с осадком в лотковой части труб……..…….305
Бутко Д.А., Долженко Л.А.. Реинжиниринг очистных сооружений водоотведения малых городов и поселений…….309
Рожков В.С., Васильева Ю.В. Очистка городских сточных на сооружениях с эрлифтными биореакторами……...314
Нездойминов В.И., Могукало А.В. Теоретические предпосылки снижения патогенности активного ила…….319
Челоненко А.Г., Шлычков Д.И. Зависимость гидравлических характеристик самотечных сетей канализации от толщины слоя отложений в лотковой части труб……..323
Мартыненко Г.Д., Найманов А.Я., Найманова А.А. Очистка шахтных вод рудника цветных металлов на опытно-промышленной установке…….….326
Чернышев В.Н., Ручка В.В. К вопросу снижения продолжительности аэробной стабилизации смеси осадков городских сточных вод…….336
Чечевичкин А.В., Якунин Л.А. Опыт очистки сильнозагрязнённых поверхностных сточных вод сложного состава с применением фильтров ФОПС®……341
Спасибо Е.В., Гогина Е.С., Гульшин И.А. Исследование работы затопленного биофильтра в условиях его периодического использования……..347
Булыжев Е.М., Худобин Л.В., Алякин Ю.Б. Оптимизация условий эксплуатации водоразбавляемых синтетических смазочно-охлаждающих жидкостей в контексте масштабного применения при металлообработке для предотвращения залповых стоков на разложение…….353
Булыжев Е.М., Худобин Л.В., Алякин Ю.Б. Предотвращение залповых стоков синтетических смазочно-охлаждающих жидкостей на разложение и утилизацию путем оптимизации условий эксплуатации……358
Информационно-рекламные материалы……...364

ПРЕДИСЛОВИЕ

Международная научно-практическая конференция «Технологии очистки воды», сокращенно «ТЕХНОВОД», четырнадцатая по счету, «ТЕХНОВОД-2023» проводится 18 – 21 апреля в г. Кисловодске. 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».

«ТЕХНОВОД-2023» третий раз собирает участников конференции в г. Кисловодске. Весна, чудесное, завораживающее природное творение на фоне величественного Эльбруса, а также «голод» от долгого отсутствия общения, по нашему мнению, вызвали энтузиазм для встречи в этом городе.

Вновь мы скорбим по невосполнимой утрате нашего коллеги, друга – профессора, доктора технических наук **Серпокрылова Николая Сергеевича,** постоянного участника наших конференций, члена редакционной коллегии. О нем мы скорбим, и будем его помнить всегда как прекрасного человека, ученого, литератора.

«ТЕХНОВОД» в канун своего 20-летнего юбилея вновь подтвердил 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 живет 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 начать 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-2023». 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-2023» будет выпущен очередной сборник научных трудов, отражающий основные направления научных школ РФ. Это работы ученых городов: Новочеркасска, Самары, Санкт-Петербурга, Ростова-на-Дону, Воронежа, Москвы, Ульяновска, Волгограда и др., а также зарубежных авторов – из Вьетнама, Узбекистана, Белоруссии.

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-2023» 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.

За период времени с 2004 года, когда состоялась первая конференция «ТЕХНОВОД» в г. Новочеркасске, и до сих пор, на страницах сборника

было опубликовано более 650 научных работ, которые были либо первым пером исследовательской деятельности молодых ученых, либо обобщающим материалом многих лет работы в определенной области знаний маститых ученых. Традиционные дискуссии после выступления докладчиков придают особый фон конференции, переводя ее из формальной в творческую.

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

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, заведующему кафедрой ВХИСЗОС ЮРГПУ(НПИ), г. Новочеркасск; Игнатенко С.И. – к.т.н., заместителю директора по научной работе ООО НПП «ЭКОФЕС», г. Новочеркасск. Особенно следует отметить Енгибарьянц Н.В. – ведущего инженера ЮРГПУ(НПИ), ответственного секретаря редакционной коллегии, принимающую участие в творческом оформлении сборников трудов конференций «ТЕХНОВОД».

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

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

В период работы Международной научно-практической конференции «ТЕХНОВОД-2023» 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-2023» благодарит всех докладчиков и гостей за участие в конференции, желает интересной творческой и полезной работы, крепкого здоровья и благополучия!

ОРГКОМИТЕТ

ПАМЯТИ СЕРПОКРЫЛОВА НИКОЛАЯ СЕРГЕЕВИЧА

3 октября 2022 года на 77 году ушел из жизни известный ученый, профессор кафедр «Водное хозяйство, инженерные сети и защита окружающей среды» «Южно–Российского государственного политехнического университета (НПИ) имени М.И. Платова» (г. Новочеркасск) и «Водоснабжение и водоотведение» Донского государственного технического университета (г. Ростов-на-Дону), профессор, доктор технических наук ***Серпокрылов Николай Сергеевич.***

В 1964 году Николай Сергеевич из всех вузов Юга страны выбрал Новочеркасский политехнический институт и остался верен ему до конца жизни.

С первых студенческих лет – комсомольский активист, организатор, поэт, журналист, прекрасно владеющий словом, он стал яркой личностью на строительном факультете. И при такой насыщенной общественной работе – отличник, член студенческого научного общества, участник студенческих научных конференций, организатор и душа агитбригад, комиссар студенческого строительного отряда, «целинник» со стажем.

Николай Сергеевич успевал все: отлично учиться, писать стихи и заметки в вузовскую газету «Кадры индустрии», посещать литературную секцию, руководить студенческим коллективом самодеятельности, готовить для фестивалей и студенческих вечеров сценарии и тексты. А по

вечерам, после репетиций, еще и выполнять работу члена Совета общежития, считать и чертить курсовые, помогая при этом всем, кто обращался за помощью. Это был поистине верный друг и товарищ, который пронес эту дружбу сквозь годы, расстояния и границы.

Есть люди, чья жизнь целиком посвящена делу. Делу – в хорошем понимании этого слова. Делу, синонимом которого можно назвать «долг». Николай Сергеевич Серпокрылов был именно таким человеком – человеком долга.

Николай Сергеевич обладал глубокой научной эрудицией, широким кругозором, которые позволяли ему быстро находить и входить в сущность текущих проблем, видеть не очевидное большинству исследователей. Обладая колоссальной работоспособностью, он успевал принимать активное участие не только в различных тематических семинарах, конференциях, общественных слушаниях, но и вести подготовку, как минимум, 10 аспирантов, успешно доводя их до защиты. В результате им подготовлено 77 кандидатов и 3 доктора наук.

Николай Сергеевич во все свои начинания вкладывал и силы, и талант, и душу. Несколько лет назад он проехал по местам работы студенческих строительных отрядов, желая увидеть спустя 50 лет, что сохранилось в этих местах. И был очень горд, что памятник погибшим в Великую Отечественную войну жителям, который студенческий отряд воздвиг за свои собственные деньги, стоит и поныне!

Горько говорить о Николае Сергеевиче в прошедшем времени, но вся его жизнь надолго оставила вехи в учениках, учебниках, в научных разработках. И это не просто память – это живое участие. И значит, он – с нами! Эпитафией для него может быть «С ВК – на века!».

При всей фанатичной преданности работе Николай Сергеевич был человеком, любящим и понимающим искусство, обладающим высокой эрудицией, литературным талантом.

Николай Сергеевич обладал прекрасными человеческими качествами – жизнелюбием, исключительной порядочностью, искренностью, прекрасным чувством юмора, доброжелательностью. Он всегда был готов оказать любую поддержку и помощь всем, кто нуждается в ней.

Николай Сергеевич много лет принимал участие в ежегодных научных конференциях Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД», входил в состав редакционной коллегии.

Уход из жизни **Николая Сергеевича** – это большая невосполнимая утрата для близких, друзей, коллег и товарищей, для науки и техники в области коммунального хозяйства.

Члены оргкомитета «ТЕХНОВОД-2023» скорбят и выражают соболезнование близким в связи с кончиной нашего коллеги, товарища и друга **Серпокрылова Николая Сергеевича.**

.

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

УДК 34: 628.3

ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩЕГО ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА ПО ПРИЕМУ СТОЧНЫХ ВОД В ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ

Н.В. Демченко, А.А. Бондарев
ООО «Атмосфера-Н», г. Новочеркасск, Россия

Обосновывается необходимость разработки новых нормативов качества окружающей среды для химических и физических показателей, в том числе, водных объектов.

1. ***Высокие концентрации консервативных веществ в воде р. Дон на участке: плотина Цимлянского водохранилища – устье.***

В настоящее время повышенные концентрации сульфатов и магния обусловлены многолетним дефицитом воды в Ростовской области, т.е. область забирает воды больше, чем поступает с водосборной площади. Увеличилось число дней с аномальной температурой и, следовательно, за счет повышенного испарения содержание главных ионов и минерализация возросла. Систематический недобор воды до НПУ в Цимлянском водохранилище, увеличенное испарение с водной поверхности способствует этому. По некоторым данным среднегодовой сток р. Дон снизился на 40 % по сравнению со среднемноголетними величинами.

Поверхностный сток с территории Донецкого кряжа, сток рек: Северский Донец, Маныч, Сал так же вносят существенную долю в увеличение содержания консервативных веществ. В большинстве случаев высокие концентрации главных ионов обусловлены процессами формирования химического состава воды водных объектов.

Немалую роль играют сбросы сточных вод с очистных сооружений

шахтных вод. Очистные сооружения построены в период ликвидации шахт и их затопления и эффективны в какой-то мере только при снижении содержания железа. Очистные сооружения в свое время были переданы на баланс районных администраций. Созданные предприятия эксплуатируют только переданные им органами местного самоуправления очистные сооружения. Если отсутствуют современные ОСК, то вина в этом точно лежит не на муниципальных предприятиях.

Вместе с шахтной водой на поверхность земли поступают высокоминерализованные воды, которые без очистки сбрасываются в водные объекты. Общий объем сброса превышает 10 млн. м^3, а минерализация – до 10 г/дм^3. Прекратить откачку невозможно из-за существенных негативных последствий. Безопасная глубина затопления горных выработок определена из условия предотвращения негативных последствий: загрязнения продуктивных водоносных горизонтов, подтопление застроенных территорий и пр.

Засоление воды р. Дон происходит за счет боковой приточности.

В качестве примера. Содержание сульфатов в воде Цимлянского водохранилища ниже или на уровне ПДК, установленных для водных объектов рыбохозяйственного значения (100 мг/дм^3). В районе Ростова содержание сульфатов составляет уже 300 мг/дм^3 и более. Здесь мы не говорим о нагонных явлениях в устье реки.

2. *Пересмотр ПДК – это тупиковый вариант*. Пересмотр консервативных веществ в сторону увеличения даст положительный эффект только в плане снижения платежей за негативное влияние, потому что существующие схемы очистки сточных вод их не снижают. Ставки платы за главные ионы небольшие, но основная нагрузка психологическая – постоянные жалобы в прокуратуру от природоохранных организаций. Кроме этого, большой повышающий коэффициент (100) при расчете платы за негативное влияние.

Существующие методы обессоливания воды подразделяют на две основные группы: с изменением и без изменения агрегатного состояния воды. К первой группе методов относят: дистилляцию, нагрев воды до сверх критической температуры (350 °С), замораживание, газогидратный метод; ко второй – ионообмен, электродиализ, обратный осмос (гиперфильтрация), ультрафильтрация, экстракцию и др. Наиболее распространены в практике – дистилляция, ионообмен, электродиализ и обратный осмос.

Электродиализ основан на способности ионов перемещаться в объеме воды под действием напряженности электрического поля. Ионоселективные мембраны пропускают через себя либо катионы, либо анионы. В объеме, ограниченном ионообменными мембранами, происходит снижение концентрации солей. Недостаток – образование сточных вод, имеющих повышенное содержание главных ионов.

Деминерализация с помощью ионного обмена называется деионизацией. В ходе этого процесса вода обрабатывается в двух слоях ионообменного материала для того, чтобы удаление всех растворенных солей было более эффективным. Основным недостатком обессоливания ионным обменом является:

- существенный расход реагентов на регенерацию ионитных смол: регенерацию Н-катионитовых фильтров осуществляют кислотой (серная, соляная); регенерацию ОН-анионитных фильтров осуществляют раствором щелочи;
- значительный объем засоленных стоков.

Обратный осмос – это процесс, являющийся составной частью высокопрофессиональной очистки воды. Принцип его необычайно прост – вода продавливается через полупроницаемую тонкопленочную мембрану. Через мельчайшие поры, имеющие размеры, сопоставимые с размерами молекулы воды, способны просочиться под давлением только молекулы воды и низкомолекулярные газы – кислород, углекислый газ, а все примеси, остающиеся по другую сторону мембраны, сливаются в дренаж. Проводить глубокую очистку на мембране можно только с водой, прошедшей предварительную комплексную очистку, т.е. нужна очистка сточных вод от взвесей. При очистке воды с помощью обратного осмоса образуется пермеат (обессоленная вода) и концентрат. Объемы их примерно равны, но солесодержание анионов и катионов в концентрате более чем в 2 раза выше, чем в пермеате.

Применение специальных методов для снижения солесодержания в сточных водах приводит к образованию сточных вод, содержание удаляемых веществ в которых выше, чем в исходной воде, поэтому в практическом плане это невыполнимо. Возникает вопрос – как их утилизировать.

В соответствии с вышеизложенным, необходимо признать сброс сточных вод с очистных сооружений с повышенными концентрациями главных ионов производственной необходимостью без принятия природоохранных мероприятий, направленных на снижение до уровня ПДК концентраций кальция, магния, натрия, хлоридов и сульфатов.

При изменении водности водного объекта, т.е. когда повышается атмосферная составляющая водного баланса и уменьшается грунтовый и подземный сток снижается величина минерализации речной воды.

Лет 30 – 40 назад ПДК были теми же, но эта проблема так остро не стояла. Тут правда есть одно но. Например, содержание сульфатов в воде Цимлянского водохранилища до 100 мг/дм^3, в воде Веселовского водохранилища составляет 500 – 600 мг/дм^3, а в р. Дон – в районе Ростова 350 мг/дм^3 и как это сочетается с тем, что эти водные объекты отнесены с высшей категории водных объектов рыбохозяйственного значения.

В постановлении Правительства от 28.02.2019 г. № 206 говорится о критериях отнесения к водным объектам рыбохозяйственного значения, но там нет ни слова о химическом составе воды. Если по химическим показателям идет нарушение и иногда существенное, то, как в таких объектах существуют гидробионты. Напрашивается вопрос, а проводились ли исследования на предмет установления допустимой нормы.

Поэтому как раньше говорили, нужно оставить за скобками данную проблему пока не будет методов по изменению ситуации, т.е. «хотелки» оставим на потом. Ну, невозможно это сделать сейчас, но мы с тупым упорством внедряем это. А если это ошибочный вариант.

Положение «О разработке, установлении и пересмотре нормативов качества окружающей среды для химических и физических показателей состояния окружающей среды» Утверждено Постановлением правительства от 13.02.2019 г. № 149 для водных объектов рыбохозяйственного значения в соответствии с приказом Минсельхоза. Подав заявку на изменение ПДК мы приходим в ту организацию, которая предложила существующие нормы. За время, прошедшее с момента появления приказа № 552 Минсельхоза, региональные ПДК установлены только для двух водных объектов по 3 показателям.

3. ***Нормирование.*** Федеральный закон N 7-ФЗ. Статья 22. Нормативы допустимых выбросов, нормативы допустимых сбросов.

1. Нормативы допустимых выбросов, нормативы допустимых сбросов определяются для стационарного источника и (или) совокупности стационарных источников в отношении загрязняющих веществ, включенных в перечень загрязняющих веществ, установленный Правительством Российской Федерации, расчетным путем на основе нормативов качества окружающей среды, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций, с учетом фонового состояния компонентов природной среды.

2. Расчет нормативов допустимых выбросов, нормативов допустимых сбросов производится юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями, планирующими строительство объектов I и II категорий (при проведении оценки воздействия на окружающую среду), а также осуществляющими хозяйственную и (или) иную деятельность на объектах II категории.

НДС должны быть рассчитаны в соответствии с требованиями методики «Разработка нормативов допустимых сбросов загрязняющих веществ в водные объекты для водопользователей», утвержденной приказом МПР России от 29 декабря 2020 года N 1118. Зарегистрировано в Минюсте РФ 30 декабря 2020 г. (регистрационный № 61973).

Пункты 18, 19 и 20 раздела II Методики утратили силу с 1 сентября 2022 г. Приказ Минприроды от 18.05.2022 г. N 343 (с 1 сентября 2022 г.

НДС разрабатываются без учета нормативов допустимого воздействия на водные объекты).

В соответствии с этим, расчет величин НДС производится на основании требований раздела III Методики.

П. 21. Величины НДС определяются для всех категорий водопользователей как произведение максимального часового расхода сточных вод на допустимую концентрацию загрязняющего вещества. При расчете условий сброса сточных вод сначала определяется значение допустимой концентрации загрязняющего вещества, обеспечивающее нормативное качество воды в контрольных створах с учетом требований настоящей Методики, а затем определяется НДС согласно формуле:

$$\text{НДС} = q \cdot C_{\text{ндс}},$$

где q – максимальный часовой расход сточных вод, м^3/ч; $C_{\text{ндс}}$ – допустимая концентрация загрязняющего вещества, г/м^3.

П. 22. Основная расчетная формула для определения $C_{\text{ндс}}$ без учета неконсервативности вещества:

$$C = n \cdot \left(C_{\text{пдк}} - C_{\text{ф}}\right) + C_{\text{ф}},$$

где $C_{\text{пдк}}$ – предельно допустимая концентрация загрязняющего вещества (ПДК) в воде водотока, г/м^3; $C_{\text{ф}}$ – условная фоновая концентрация загрязняющего вещества в водотоке (г/м^3) выше выпуска сточных вод, определяемая в соответствии с действующими методическими документами по проведению расчетов условных фоновых концентраций химических веществ; n – кратность общего разбавления сточных вод в водотоке, равная произведению кратности начального разбавления $n_{\text{н}}$ на кратность основного разбавления $n_{\text{о}}$ (основное разбавление, возникающее при перемещении воды от места выпуска к расчетному створу) и определяемая по следующей формуле:

$$n = n_{\text{н}} \cdot n_{\text{о}}.$$

Кратности начального и общего разбавления рассчитать не представляется возможным в связи с отсутствием морфометрических характеристик водных объектов при 95 % обеспеченности водного стока.

Таким образом, расчетная формула приобретает вид:

$$C = n \cdot \left(C_{\text{пдк}} - C_{\text{ф}}\right) + C_{\text{ф}} = C_{\text{пдк}} - C_{\text{ф}} + C_{\text{ф}} = C_{\text{пдк}}.$$

П. 8. Если фоновая концентрация химического вещества в воде водного объекта и (или) микробиологические показатели, связанные с применяемыми технологиями и особенностями производственного (технологического) процесса на объекте организации-водопользователя, не позволяют обеспечить норматив качества воды в контрольном пункте (створе), за исключением ситуаций, указанных в п.п. 3, 9 настоящей методики, НДС по этим показателям разрабатываются исходя из соблюдения в сточных водах нормативов качества воды водного объекта.

П. 3. В случаях, когда условные фоновые концентрации химических веществ в водах поверхностных водных объектов, сформировавшиеся под влиянием природных факторов и характерные для конкретного речного бассейна или его части, водного объекта или его части, превышают значения гигиенических или рыбохозяйственных нормативов, то НДС разрабатываются с учетом п. 15 Положения о разработке, установлении и пересмотре нормативов качества окружающей среды для химических и физических показателей состояния окружающей среды, утвержденного Постановлением N 149.

Постановление Правительства от 13 февраля 2019 г. N 149 «О разработке, установлении и пересмотре нормативов качества окружающей среды для химических и физических показателей состояния окружающей среды, а также об утверждении нормативных документов в области охраны окружающей среды, устанавливающих технологические показатели наилучших доступных технологий».

П. 15. Постановление Правительства N 149. В случаях если природные фоновые концентрации химических веществ в водах поверхностных водных объектов, сформировавшиеся под влиянием природных факторов и характерные для конкретного речного бассейна или его части, водного объекта или его части, превышают значения гигиенических или рыбохозяйственных нормативов, нормативы качества разрабатываются и устанавливаются на уровне значений (в интервале допустимого отклонения от значений) показателей природных фоновых концентраций химических веществ в этом речном бассейне или его части, водном объекте или его части.

П. 11. Методики. Величины НДС разрабатываются и утверждаются для действующих и проектируемых организаций-водопользователей. Разработка величин НДС осуществляется как организацией-водопользователем, так и по его поручению проектной или научно-исследовательской организацией. Если фактический сброс действующей организации-водопользователя меньше расчетного НДС, то в качестве НДС принимается расчетный НДС.

Согласно П. 13. Методики расчет или разработка и утверждение новых НДС в установленном постановлением Правительства РФ от 23 июля 2007 г. N 469 порядке до истечения сроков, осуществляется в следующих случаях при:

а) изменении на 30 и более процентов годового объема сточных вод;

б) изменении перечня сбрасываемых вредных веществ;

в) изменении технологии производства, методов очистки сточных вод;

г) получении впервые сведений о величинах условных фоновых концентраций или обновлении таких сведений;

д) утверждении в соответствии с постановлением Правительства РФ от 28 июня 2008 г. N 484 «О порядке разработки и утверждения нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения» (п. 1) региональных нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водного объекта рыбохозяйственного значения;

е) получении впервые информации о количественных и качественных характеристиках водного объекта – приемника сточных вод, а также гидрометеорологической информации или обновлении таких сведений;

ж) обнаружении ошибок или недостоверной информации в расчетах НДС.

При наступлении указанных обстоятельств расчеты НДС, комплексное экологическое разрешение, декларация о воздействии на окружающую среду признаются действующими до момента расчета новых НДС в соответствии с указанными обстоятельствами и пересмотра комплексного экологического разрешения, в заявке на получение которого содержатся расчеты новых НДС, или предоставления декларации о воздействии на окружающую среду, приложением к которой являются расчеты новых НДС в пределах сроков, на которые выдано комплексное экологическое разрешение или предоставлена декларация о воздействии на окружающую среду, соответственно, но не более 6 месяцев.

В случаях, предусмотренных Федеральным законом «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 21.07.2014 N 219-ФЗ (ч. 1.1 введена Федеральным законом от 25.12.2018 г. N 496-ФЗ; в редакции Федерального закона от 26.07.2019 г. N 195-ФЗ) (ст. 11, ч. 1.1), а также в случаях, когда НДС были утверждены до 01.01.2019 г., утвержденные в порядке, установленном постановлением Правительства РФ от 23 июля 2007 г. N 469, НДС признаются действующими до момента получения разрешения на сбросы веществ (за исключением радиоактивных веществ) и микроорганизмов в водные объекты (далее – разрешения на сбросы) на основании утвержденных расчетов новых НДС в пределах срока действия, указанного в ранее выданном разрешении на сброс, но не более 6 месяцев.

При установлении нормативов НДС, на основании требований, изложенных в нормативных документах, необходимо руководствоваться следующими основными положениями:

- НДС устанавливаются для каждого выпуска сточных вод проектируемых (реконструируемых) и действующих предприятий-водопользователей, исходя из условий

недопустимости превышения ПДК вредных веществ в контрольном створе в максимально загрязненной струе или на участке водного объекта с учетом всех видов его целевого использования, а при превышении ПДК в контрольном створе;

- исходя из условия сохранения (не ухудшения) состава и свойств водных объектов, сформировавшихся под влиянием природных факторов;
- если в водном объекте под воздействием природных факторов по отдельным веществам превышается ПДК, то для этих водных объектов могут разрабатываться и использоваться региональные нормативы качества воды;
- при сбросе сточных вод в водные объекты, используемые для хозяйственно-питьевых и коммунально-бытовых целей, НДС устанавливаются исходя из условия, что концентрации вредных веществ и продукты их трансформации не будут превышать гигиенические нормативы химических веществ и микроорганизмов в воде водотока в створе не далее 500 м от места выпуска и в радиусе 500 м от места сброса на акватории – на непроточных водоемах и водохранилищах;
- при сбросе сточных вод в водные объекты, используемые для рыбохозяйственных целей, нормативы качества воды в них или ее естественный состав и свойства в случае превышения этих нормативов («Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения», приложение к приказу Минсельхоза России от 13 декабря 2016 года N 552) следует соблюдать в пределах всего рыбохозяйственного участка, начиная с контрольного створа, определяемого в каждом конкретном случае территориальным органом федерального органа управления, использованием и охраной рыбных ресурсов, но не далее 500 м от места сброса сточных вод;
- для сбросов сточных, в том числе дренажных вод, в границе населенного пункта НДС определяются исходя из отнесения требований к качеству воды в водном объекте в местах сброса сточных, в том числе дренажных вод, установленных для видов водопользования, осуществляемых на водном объекте, к самим сточным водам независимо от типа выпуска сточных вод;
- в случае одновременного использования водного объекта для различных целей к составу и свойствам воды принимаются наиболее жесткие нормы из числа установленных;

- при определении кратности разбавления сбрасываемых сточных вод в контрольном створе (на участке водопользования) принимаются следующие расчетные условия: для незарегулированных водных объектов – расчетный минимальный среднемесячный расход воды года 95 % обеспеченности (при надлежащем обосновании – минимальные среднемесячные расходы по лимитирующим сезонам года 95 % обеспеченности); для зарегулированных водных объектов – установленный гарантированный расход воды ниже плотины (санитарный пропуск) с учетом исключения возможных обратных течений в нижнем бьефе;
- сброс сточных и дренажных вод в водные объекты питьевого, хозяйственно-бытового и рекреационного водопользования в черте населенных мест через существующие выпуски допускается лишь в исключительных случаях при соответствующем технико-экономическом обосновании и по согласованию с территориальными отделами Роспотребнадзора. В данном случае нормативные требования, предъявляемые к составу и свойствам сточных вод должны соответствовать требованиям, предъявляемым к воде водных объектов питьевого, хозяйственно-бытового и рекреационного водопользования;
- отведение поверхностного стока с промышленных площадок и жилых зон через дождевую канализацию должно исключать поступление в нее хозяйственно-бытовых, производственных сточных вод и промышленных отходов. К отведению поверхностного стока в водные объекты предъявляются такие же требования, как к сточным водам;
- не допускается сбрасывать в водные объекты сточные воды, которые содержат вещества (или продукты их трансформации), для которых не установлены ПДК или ОБУВ, а также отсутствуют методы их определения в природных и сточных водах.

4. ***Инвентаризация сточных вод.*** Для формирования списка нормируемых веществ должна проводиться инвентаризация сбросов – процесс, в ходе которого определяются вещества, по которым необходимо устанавливать нормативы допустимых сбросов.

Постановлением Правительства РФ от 13.07.2019 г. № 891 утверждены Правила проведения инвентаризации сбросов загрязняющих веществ в окружающую среду (далее – Правила). Правила предназначены для организаций, эксплуатирующих централизованные системы водоотведения (далее – ЦСВ) поселений или городских округов, а также отдельные объекты таких систем со сбросом сточных вод в водные объекты.

На мой взгляд, свалить этот список контролируемых веществ на водоканалы это что-то. Почему мы не знаем этих героев, которые формировали этот список. Опять, почему на водопользователя при подаче документов на принятие «Решение по использованию водного объекта для сброса сточных вод» возлагается обязанность по обоснованию списка нормируемых веществ?

5. *Приказ №30 МПР России от 06.02.*2007 г. *№ 30 «Об утверждении форм и порядка представления сведений, полученных в результате наблюдений за водными объектами, заинтересованными федеральными органами исполнительной власти, собственниками водных объектов и водопользователями».*

Отчетность по формам 3.1., 3.2. и 3.3 это понятно, но замер расходов с определением морфометрии водного объекта – это что-то. На наш взгляд, это избыточное требование. Кто-нибудь из авторов этого приказа объяснил, зачем это нужно и где может пригодиться? Никто.

6. *Согласование деятельности с Росрыболовством*. Постановление Правительства Российской Федерации от 30.04.2013 г. № 384 «О согласовании Федеральным агентством по рыболовству строительства и реконструкции объектов капитального строительства, внедрения новых технологических процессов и осуществления иной деятельности, оказывающей воздействие на водные биологические ресурсы и среду их обитания».

Основные виды деятельности, подлежащей согласованию.

1. Капитальное строительство, реконструкция объектов капстроительства, линейных объектов.

Строительство / реконструкция многоквартирных и индивидуальных жилых домов, строительство / реконструкция автодорог, трубопроводов, газопроводов, линий ВОЛС и т.д., капитальное строительство иных объектов в акватории, прибрежной защитной полосе, рыбоохранной зоне, водоохранной зоне, пойме водных объектов.

2. Деятельность, не связанная с капитальным строительством/

Расчистка русел рек, дноуглубительные работы и прочее изъятие грунта из русел рек, забор воды из водных объектов с сопутствующим обустройством водозаборного сооружения или при использовании уже существующего водозаборного сооружения, обустройство инфраструктуры рыбоводных и рыбопромысловых участков, не связанное с капитальным строительством, установка быстромонтируемых зданий и сооружений («вагончиков», беседок и проч.).

3. Деятельность, связанная с эксплуатацией объектов.

Эксплуатация ранее построенных зданий и обустроенных территорий в границах прибрежной защитной полосы, рыбоохранной зоны, водоохранной зоны, поймы водных объектов: офисных зданий, санаториев, гостиниц, пляжей, баз отдыха, портов, промышленных

объектов и иных объектов (не жилых домов).

Принимается Решение на право пользования водным объектом для сброса сточных вод. Оно выдается, предприятие работает. Тут появляются представители территориального управления и требуют согласование деятельности с ними. Ладно в части сооружения объектов капитального строительства в водоохранной зоне, но сброс сточных вод. Почему раньше это было в ПП от 30.12.2006 г. № 844 и сброс сточных вод согласовывался с Росрыболовством, теперь в ПП от 19.01.2022 г. № 18 этого нет (это убрали в 2018 г.). И появляются претензии.

7. Водный кодекс. 74-ФЗ.

Статья 44. Использование водных объектов для целей сброса сточных, в том числе дренажных, вод.

3. Запрещается сброс сточных, в том числе дренажных, вод в водные объекты, расположенные в границах: (в ред. Федерального закона от 21.10.2013 N 282-ФЗ)^

1) зон санитарной охраны источников питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения; (в ред. Федерального закона от 14.07.2008 N 118-ФЗ).

Вводной закон к ВК 73-ФЗ.

Статья 6.4. Сброс сточных, в том числе дренажных, вод в водные объекты, расположенные в границах второго и третьего поясов зон санитарной охраны источников питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, хозяйственными и иными объектами, которые введены в эксплуатацию или разрешение на строительство которых выдано до введения в действие Водного кодекса Российской Федерации, допускается с соблюдением санитарных правил и норм в соответствии с **Федеральным законом** от 30 марта 1999 года N 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения».

Это как? И до сих пор уже 16 лет действует такая норма.

Предприятия водопроводно-канализационного хозяйства (ВКХ) – самые крупные водопользователи, осуществляющие эксплуатацию централизованных систем водоотведения (ЦСВ) городов и населенных пунктов, отвод сточных вод, их очистку (при наличии соответствующих очистных сооружений) и сброс в водные объекты.

Преимущественно сбросы хозяйственно-бытовых сточных вод осуществляются в природные водные объекты естественного характера – реки, протоки, моря.

Сброс сточных вод требует определенного пакета разрешительной документации, что регламентируется нормативными правовыми актами.

Основными документами для оформления сброса сточных вод из ЦСВ в водные объекты являются:

- решение на право пользования водным объектом для сброса;
- проект нормативов допустимого сброса;

- комплексное экологическое разрешение или декларация о воздействии на окружающую среду.

Функция водопользования предусматривает необходимость экологических платежей за сброс, реализацию природоохранных и водохозяйственных мероприятий, соблюдение значительного количества нормативных правовых актов федерального и местного значения.

Контроль за сбросами предприятий ВКХ и наличием у них пакета разрешительной документации осуществляют надзорные структуры: бассейновая природоохранная прокуратура, Росприроднадзор, БВУ и т.д.

Если предприятие имеет современные очистные сооружения канализации (ОСК), то у него меньше возникает проблем с надзорными органами, экологические платежи за сброс минимальны. Но, к сожалению, таких предприятий ВКХ в России мало.

На практике эффективная система очистки у среднестатистического водопользователя – это редкость. Если и имеются ОСК, то они либо выработали свой эксплуатационный ресурс, либо не отвечают современным экологическим требованиям.

Большинство предприятий ВКХ в России не имеют никаких систем очистки сточных вод. Соответственно, с определенной периодичностью при проверках таким предприятиям выписывают административные штрафы, потому что, по мнению надзорных органов, такой сброс является нарушением водного законодательства.

Вводной закон к ВК 73-ФЗ.

Статья 60.

6. При эксплуатации водохозяйственной системы запрещается:

1) осуществлять сброс в водные объекты сточных вод, не подвергшихся санитарной очистке, обезвреживанию (исходя из недопустимости превышения нормативов допустимого воздействия на водные объекты и нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водных объектах или технологических нормативов, установленных в соответствии с Федеральным законом от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды»).

Согласно данной норме, при эксплуатации водохозяйственной системы запрещается осуществлять сброс в водные объекты сточных вод, не подвергшихся санитарной очистке, обезвреживанию (исходя из недопустимости превышения нормативов допустимого воздействия на водные объекты и нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водных объектах).

Рассматриваемая норма подп. 1 ч. 6 статьи 60 – одна из наиболее специфических в Водном кодексе РФ и рассчитана она на наличие у тех, кто ее применяет, специальных познаний в области гидрологии, водопользования и очистки сточных вод.

Что понимается под водохозяйственной системой, санитарной очисткой и обезвреживанием сточных вод? У водоохранных организаций однозначная трактовка – сброс запрещен.

Предприятия ВКХ эксплуатируют только переданные им органами местного самоуправления объекты коммунальной инфраструктуры. Если в перечне переданных объектов отсутствуют современные ОСК, то вина в этом точно лежит не на предприятиях ВКХ.

8. *Недоказанный вред водным ресурсам.* Иногда возникает такая вещь, когда концентрация консервативного вещества в сточной воде ниже его содержания в речной. Это характерно для бассейна р. Тузлов, Маныч и других. Нарушение на бумаге. В действительности разбавление сточной водой речных, а не наооборот.

УДК 628.387:628.179.2

МЕТОДЫ ОРГАНИЗАЦИИ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Н.Г. Вурдова
ГМС Нефтемаш, г. Тюмень, Россия

Внедрение мало- и бессточных систем водного хозяйства на предприятиях является наиболее рациональным способом защиты окружающей среды от загрязнения и соответствует принципам наилучших доступных технологий (НДТ). Технологические приемы, позволяющие организовать замкнутые водооборотные циклы на промышленном предприятии, постоянно совершенствуются и представляют большой научный и практический интерес. В международной практике такие технологии получили название – «нулевого жидкого сброса» или ZLD (англ., Zero Liquid Discharge). Как любой проект экологической направленности ZLD требует тщательного эколого-экономического обоснования, основанного на принципе эколого-экономической сбалансированности. Проведен анализ подходов международной и отечественной реализации инвестиционного проекта по модернизации канализационных очистных сооружений (КОС) нефтеперерабатывающего завода.

Сточные воды предприятий нефтепереработки и нефтехимии имеют сложный физико-химический состав, включающий десятки опасных для окружающей среды и человека компонентов, требующих многоступенчатую очистку [1–2]. Выбранный метод (или комплекс методов) должен быть простым, а также экономически и экологически целесообразным в конкретных условиях. Особое внимание следует уделить извлечению ценных компонентов, утилизации отходов, регенерации осадков, повторному использованию очищенной воды в оборотной системе технического водоснабжения.

Классическая технология очистки сточных вод включает в себя: отстаивание, механическую фильтрацию, физико-химический и

биохимический метод, сорбцию и обеззараживание, при этом осуществляется оценка соответствия НДТ технологических процессов, оборудования, технических способов, методов, применяемых на объекте [3–4]. Очищенные до требуемых нормативов сточные воды, как правило, сбрасываются в близлежащие водоемы. Современные предприятия, опирающиеся на политику устойчивого развития, организуют мало сточные и замкнутые водооборотные системы, применяя так называемые технологии *ZLD*.

Требования к технологической воде, в том числе и для повторного использования, устанавливаются в каждом случае в зависимости от ее назначения, особенностей технологического процесса, в котором она используется, применяемого оборудования и т.п. Однако, в любом случае, качество воды, выходящей со стандартных КОС нефтеперерабатывающего предприятия, недостаточно для возврата этой воды в производство.

Повышение эффективности работы КОС промышленных стоков может быть достигнуто добавлением одной или нескольких стадий доочистки, усовершенствованием конструкции действующих аппаратов, изменением технологического процесса одной из стадий очистки на более эффективную. Выбор оптимального метода повышения эффективности очистки сточных вод нефтеперерабатывающих предприятий достаточно сложен. Он должен, несомненно, опираться на всесторонний технологический и экономический анализ существующей ситуации. Кроме того, всегда целесообразно проводить предварительные лабораторные и опытно-промышленные изыскания, позволяющие удостовериться, что в заданных условиях будет достигнуто требуемое качество очистки.

Далее приведем результаты таких изысканий, проведенных на одном из НПЗ ЮФО. Работа носила комплексный характер. Ее задачами являлись: 1) анализ работы систем БОВ, водоотведения и существующих КОС, 2) разработка оптимальных решений и схем модернизации БОВ предприятия, 3) проработка технических мероприятий, направленных на повышение эффективности системы оборота воды, сокращение объемов сбрасываемых сточных вод завода и уменьшение объемов забора сырой воды за счет организации подпитки очищенными стоками современных блоков оборотного водоснабжения. Проведенные исследования показали, что без модернизации существующих КОС не представлялось возможным направить очищенные стоки в оборот. Следующим этапом было выполнено технико-экономическое сравнение различных технологических решений по модернизации КОС. Оценив на предварительной стадии инвестиционные издержки, заказчиком принято решение о поэтапном проведении дальнейших работ. В соответствии с заданием заказчика, были проведены технико-экономические расчеты трех вариантов реконструкции очистных сооружений НПЗ, которые позволили разработать программу обоснования инвестиций с поэтапным строительством [5].

Технологическая схема КОС после модернизации выстраивалась в следующую цепочку: усреднение > мехочистка и физ.-хим. очистка > очистка на БХО > 2-х ступенчатое фильтрование: осветлительное и сорбционное > мембранное обессоливание > обезвоживание и обезвреживание жидких отходов КОС. Для возможности организации замкнутых или малосточных систем в качестве альтернатив были рассмотрены варианты доочистки сточных вод на *MBR,* подбор фильтрующих загрузок, включая природные сорбенты, доступные крупнотоннажно в регионе присутствия, комбинация технологий обратного осмоса и электродиализа, выпарная установка. По сути, этот процесс и являлся *ZLD*, который включает три стадии: предварительную подготовку, концентрацию и тепловую обработку. Запуску проекта реконструкции КОС способствовало наличие на предприятии высокоорганизованной системы риск-менеджмента. При этом учет и анализ различных рисков и разработка противорисковых мероприятий проводятся на системной основе. При этом были рассмотрены варианты как количественной оценки вероятности возникновения негативных процессов и явлений, снижающих качество окружающей среды, так и количественная оценка возможных ущербов от их проявления в случае отказа от принятия решения по реконструкции КОС.

ВЫВОДЫ

Таким образом, очистка сточных вод промышленного предприятия является весьма дорогостоящим мероприятием. В рассматриваемом случае внедрение мало- и бессточных (замкнутых) систем водного хозяйства на предприятии оценивалось около 9 млрд. рублей. Несмотря на существенные капитальные затраты качественно обоснована необходимость и возможность реализации проекта с приемлемой эффективностью, основанная на принципе эколого-экономической сбалансированности. Результаты проведенных расчетов и исследований будут использованы в инвестиционной программе предприятия, рассчитанной на ближайшие пять лет.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пономарев В.Г., Иоакимис Э.Г., Монгайт И.Л. Очистка сточных вод нефтеперерабатывающих заводов: монография. М.: Химия, 1985. 255 с.
2. Степанов А.С. Биомембранная и биосорбционно-мембранная очистка сточных вод нефтехимического производства // Изв. КазГАСУ. 2009, №1. С. 226–229.
3. ИТС 8-2022. Очистка сточных вод при производстве продукции (товаров), выполнении работ и оказании услуг на крупных предприятиях.
4. ИТС 10-2019. Очистка сточных вод с использованием централизованных

систем водоотведения поселений, городских округов.
5. Вурдова Н.Г., Юрьев Ю.Ю. Инвестиционный проект создания замкнутых водооборотных циклов на промышленном предприятии // Изв. ВУЗов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 4. С. 529–538. DOI: 10.21285/2227-2917-2022-4-529-538.

УДК 628.11

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ШАХТНЫХ ВОД В СИСТЕМАХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ НАСЕЛЁННЫХ ПУНКТОВ ДНР

В.И. Лесной, В.И. Нездойминов, А.В. Жибоедов
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,
г. Макеевка, Россия

В статье рассмотрены проблемы водоснабжения населённых пунктов ДНР, связанные с прекращением работы основного источника питьевой воды в регионе – канала Северский Донец – Донбасс. Рассмотрены мероприятия по замещению недостающих объёмов воды. Одним из источников питьевого и технического водоснабжения могут стать шахтные воды систем водоотлива, прошедшие очистку до требуемого качества. Однако остаётся острым вопрос утилизации концентрированных стоков, образующихся при обессоливании шахтных вод.

Основным источником водоснабжения в ДНР с 1962 по 2022 гг. был канал Северский Донец – Донбасс.

Это канал энергетического типа длиной 133,4 км, является уникальным гидротехническим сооружением, соединяющим Северский Донец с истоком реки Кальмиус. При этом 107 км представляют собой традиционный наземный канал трапецеидальной формы [1] шириной по дну от 2 до 4 м, шириной поверху 30 – 40 м и глубиной от 6 до 30 м. Остальные 26,4 км представляют собой трубные мосты или дюкеры, состоящие из нескольких трубопроводов диаметром более 2 м, которые пересекают реки, железнодорожное полотно и другие преграды.

Для подъёма воды на Донецкий кряж применяется 4 насосных станции. Общая высота подъёма составляет около 200 метров. Изначально канал был рассчитан на расход 25 м^3/с воды. После реконструкции 1979 года пропускная возможность канала увеличилась до 43 м^3/с.

В связи с боевыми действиями работа канала была прекращена, насосные станции отключены и заминированы. Теперь огромный регион ежесуточно не имеет возможности получать воду в количестве 2,1 – 3,7 млн. м^{3,}, что значительно повлияло на водный баланс региона. Большинство эксплуатируемых подземных источников истощены и, даже в сезон естественного пополнения запасов, уровни воды в них близки к минимальным.

По течению канала для обеспечения его бесперебойной работы в случае аварии было создано пять резервных водохранилищ [1]: Карловское, Волынцевское, Артёмовское, Горловское и Верхне-Кальмиуское общим объёмом 64 млн м^3. На данный момент их ресурс практически исчерпан.

Более года жители городов и посёлков ДНР получают техническую воду один раз в три дня в течение 2 часов. Предприятия остановлены или перешли в режим жёсткой экономии водных ресурсов. Питьевые потребности населения решаются исключительно за счёт реализуемой на розлив питьевой или бутилированной воды, получаемой гражданами в качестве гуманитарной помощи.

В связи с этим, правительством поставлена задача увеличения объёмов подачи питьевой и технической воды. Для этого прорабатываются и уже реализуются следующие мероприятия:

1. строительство водоводов из р. Дон до Верхне-Кальмиуского водохранилища. Проектная суточная производительность составляет 0,3 млн. м^3;
2. поиск альтернативных источников водоснабжения, а именно подземных источников, в которых качество и химический состав воды позволит с минимальными затратами подготовить её на нужды хоз-питьевого водоснабжения;
3. использование шахтных вод системы водоотлива, прошедших очистку на локальных очистных сооружениях угледобывающих предприятий.

При этом принято максимально использовать существующий канал на участках, контролируемых МО РФ. С учетом воды из Дона в канал суммарно будет поступать примерно 450 – 500 тыс. м^3/сут. При этом минимальная потребность региона в воде составляет около 1 млн. м^3/сут. и для круглосуточной бесперебойной подачи воды нужно полностью восстановить работу канала «Северский Донец-Донбасс». Сделать это невозможно без освобождения территории Славянского района и части Харьковской области.

Шахтные воды Донбасса при откачке зачастую попадают в поверхностные или грунтовые воды и могут служить источником технической и питьевой воды. Однако химический состав таких вод характеризуется высокими концентрациями по следующим показателям:

- жёсткость от 8,8 до 17,2 мг-экв./л;
- солесодержание от 2,0 до 5,5 г/л;
- железо – свыше 1,0 мг/л;
- марганец – свыше 0,5 мг/л;
- сульфаты – от 0,9 до 1,5 г/л.

В связи с высокими концентрациями солей жёсткости, сульфатов и солесодержанием, единственным эффективным и отработанным методом

подготовки воды до качества, соответствующего СанПИН 1.2.3685-21 [2], является обратный осмос. Данная технология, при наличии дополнительных мероприятий, способна выполнить частичное обессоливание шахтных вод. Однако существенным недостатком в этом случае является сброс 25–35 % концентрата. В данном конкретном случае объёмы концентрата будут весьма значительны, и возникает серьёзный вопрос о способах его утилизации.

Так нами был рассчитан один из вариантов применения шахтных вод. Рассмотрены были воды четырёх шахт: СП «ЛШ им. В. И. Ленина» (г. Горловка), СП «ВОК ЛШ «Красный Профинтерн» (г. Енакиево), СП «ЛШ «Ольховатская» (г. Енакиево), шахта Глубокая (г. Макеевка).

Принято, что шахтные воды после обработки на установках обратного осмоса (далее УОО) направляются в сеть водоснабжения ближайших населённых пунктов для снижения дефицита потребления питьевой воды. В ближайших к шахтам посёлках население дополнительно получит воду, подготовленную на УОО, в количестве 34 050 м^3/сут. При этом основные показатели будут в пределах норм, установленных СанПИН 1.2.3685-21 [2]. Результаты расчётов сведены в таблицу.

Таблица. **Определение химсостава хозяйственно-питьевой воды после частичного обессоливания на УОО**

Показатель	Ед. изм.	Норматив	Шахта Ленина	Шахта Профинтерн	Шахта Ольховатская	Шахта Глубокая
Сухой остаток	мг/дм^3	1000	792,3	998,6	720,9	909,1
Жесткость общая	ммоль/дм^3	7	3,6	3,0	6,5	2,7
Кальций	мг/дм^3	не норм.	51,6	27,6	64,5	24,7
Магний	мг/дм^3	50	12,4	19,7	39,4	17,7
Натрий	мг/дм^3	200	199,1	277,6	109,5	259,3
Сульфаты	мг/дм^3	500	312,2	389,0	348,8	224,2

Нами были выполнены расчёты, позволяющие ориентировочно определить объёмы концентратов и концентрации солей в концентрате. Пример расчётов приведен на схеме (рис. 1).

При расчётах принято, что объём сбрасываемого концентрата составляет 35 % от объёма шахтных вод, поданных на УОО.

Концентрат после УОО предлагалось направить в узел подачи воды из р. Дон для смешения и получения приемлемых концентраций. Расход концентрата составил 13 230 м^3/сут., что составляет около 5 % от суточного объёма воды, подаваемой из р. Дон.

Нами были выполнены расчёты, позволяющие ориентировочно

определить солесодержание при смешении концентратов с водой из р. Дон. Результаты расчётов приведены на схеме (рис. 2).

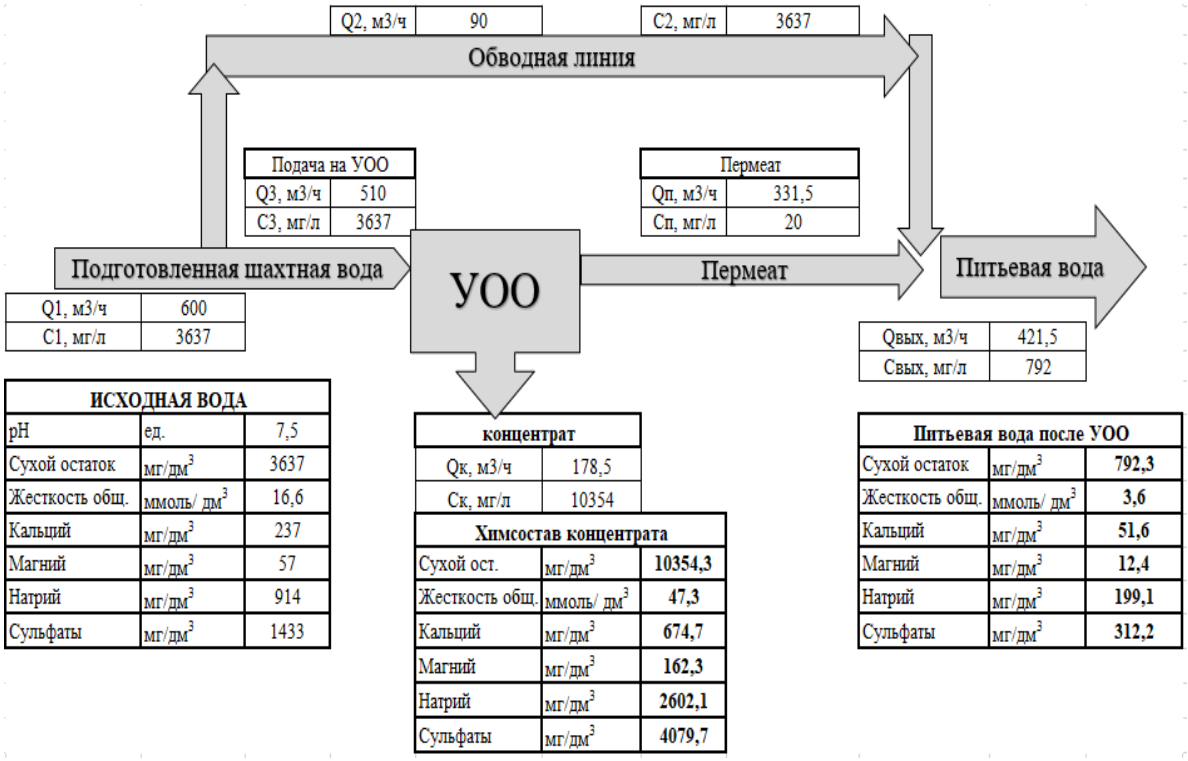


Рисунок 1. **Определение химсостава концентрата после УОО на примере шахтных вод, сбрасываемых СП «ЛШ им. В. И. Ленина»**

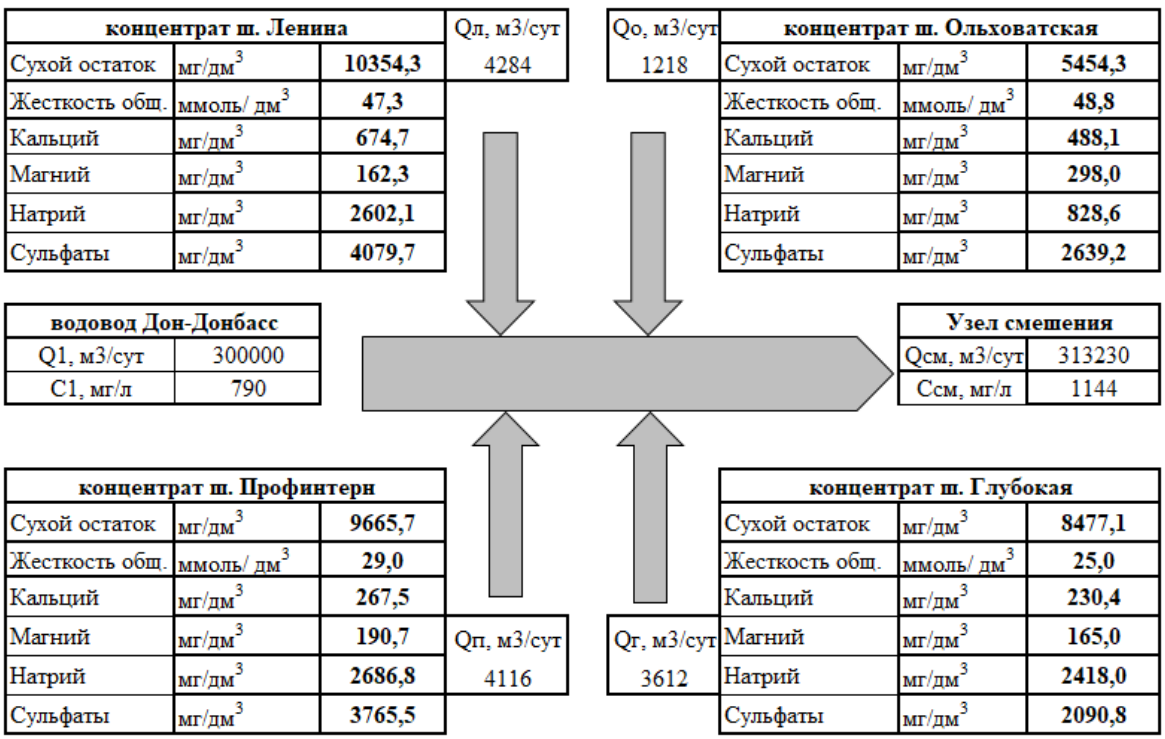


Рисунок 2. **Смешение концентрата после УОО с Донской водой**

ВЫВОДЫ

На основании предложенной схемы использования шахтных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения выполнены расчёты, позволяющие установить возможные расходы и концентрации в питьевой воде, в концентрате и в узле подачи воды из р. Дон.

В ближайших к шахтам посёлках население дополнительно получит воду, подготовленную на УОО, в количестве 34 050 м^3/сут., с солесодержанием 0,8 – 1,0 г/л.

В узле смешения солесодержание будет немного выше допустимого 1,1 – 1,15 г/л, что планируется сбалансировать за счёт подачи дополнительных объёмов воды из подземных и поверхностных источников с более низким солесодержанием.

Планируется, что общая производительность гидроузла будет составлять около 0,5 млн. м^3/сут. При этом минимальная потребность региона в воде составляет около 1 млн. м^3/сут. и для круглосуточной бесперебойной подачи воды нужно искать дополнительные возможности пополнения гидроузла до полного восстановления работы канала «Северский Донец-Донбасс».

ЛИТЕРАТУРА

1. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 6. Украина и Молдавия. Вып. 3. Бассейн Северского Донца и реки Приазовья / Под ред. М.С. Каганера. Л.: Гидрометеорологическое издательство.
2. СанПИН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания: утверждены 28 января 2021 г.: введены в действие 01.03.2021 – Москва: 2021. 1025 с.

УДК 627.01

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ФОРМИРОВАНИЕ НАВОДНЕНИЯ В БАССЕЙНЕ РЕКИ МЕКОНГ

Тхай Тхи Ким Тьи
Университет транспорта и коммуникации, г. Ханой,
Социалистическая республика Вьетнам

Наводнение является опасным природным явлением, приводит к гибели людей и причиняет большой ущерб. Существует множество факторов, влияющих на формирование и развитие наводнений. Поэтому необходимо оценить их важность, особенно при определении зон риска затопления. В этой статье проведена количественная оценка факторов, влияющих на формирование наводнения в бассейне реки Меконг с помощью метода анализа иерархий АНР.

Река Меконг является одной из самых крупнейших рек мира. Ее длина достигает 4500 км, площадь бассейна составляет более 810 тыс. км^2 и распределяется по территории шести государств. Часть бассейна реки Меконг во Вьетнаме имеет площадь около 71 000 км^2, или 8 % площади бассейна и 20 % территории страны [1]. Гидрологический режим Меконга характеризуется чередованием дождливого и сухого сезонов. В дельте Меконга происходят наводнения во время летнего юго-западного муссона, а в сухой сезон сток реки резко уменьшается. Вместе с засухой, наводнение является обычной опасностью в дельте реки [2–3]. Наводнения разной интенсивности периодически приводят к затоплению земель и расположенных на них строений и инженерных сооружений в этой области.

Факторы, участвующие в формировании риска наводнений, включают физическую географию, социально-экономические факторы и инфраструктуру. Эти факторы включают несколько составляющих с разными степенями, влияющими на формирование наводнения. Поэтому необходимо определить, какие факторы оказывают наибольшее влияние на риск наводнения в районе исследования и количественно оценить эти факторы.

В этой статье рассматриваются следующие факторы: количество осадков, тип почво-грунтов, склон и растительный покров. Эти факторы были выбраны исходя из физических условий территории бассейна реки Меконг. Вес различных факторов определены с помощью метода анализа иерархий (МАИ или Analytic Hierarchy Process – AHP).

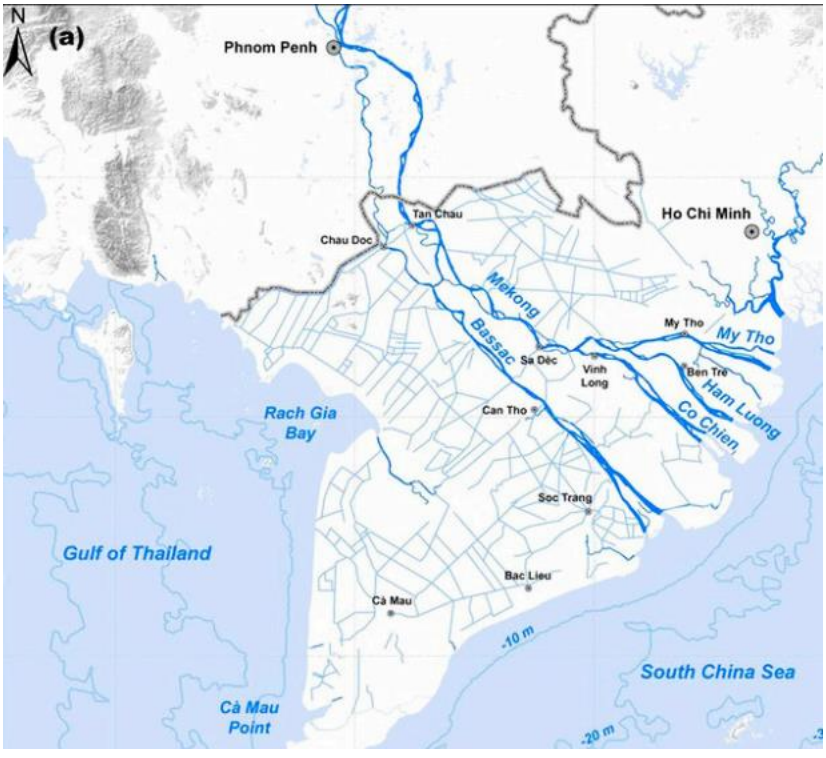


Рисунок 1. **Дельта реки Меконг во Вьетнаме**

Анализ иерархии является методом решения проблем многокритериального анализа, который был разработан американским математиком Томасом Саати в начале 1970-х годов [4]. Суть метода заключается в построении иерархии взаимодействия объект-критерий. Алгоритм метода анализа иерархий AHP включает следующие этапы: формирование иерархии целей; выставление приоритетов для критериев; выставление приоритетов для объектов; синтез приоритетов.

Для выполнения бинарной комбинации используется шкала, предложенная Saaty. Для каждой пары по каждому критерию дается оценка в диапазоне от 1 до 9.

Таблица 1. **Фундаментальная вербально-числовая шкала относительной предпочтительности критериев**

Степень важности	Определение
1	Одинаковая значимость
3	Некоторое преобладание значимости одного действия перед другим (слабая значимость)
5	Существенная или сильная значимость
7	Очень сильная или очевидная значимость
9	Абсолютная значимость
2, 4, 6, 8	Промежуточные значения между соседними значениями шкалы

Матрица парных сравнений критериев X для случая m критериев, имеет вид:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} \dots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} \dots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots \ \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} \dots & x_{mm} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где m – количество критериев; x_{ij} – отношение критерия i к критерию j $(1 \le i, j \le m)$.

Нормализованные оценки вектора локальных приоритетов первого уровня определяются по следующей формуле:

$$w_i = \frac{Z_i}{\sum_{i=1}^{m} Z_i}, \quad (2)$$

где Z_i – нормализованный вектор.

Вес критериев i определяется по следующей формуле:

$$W_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^{m} w_{ij} . \quad (3)$$

Для оценки приемлемости степени согласованности элементов матрицы используется отношение согласованности (consistency ratio – CR),

задаваемое в виде:

$$CR = \frac{CI}{RI}, \tag{4}$$

где CR – отношение согласованности, $CR \le 0{,}1$, если $n \ge 5$; RI – среднее значение индекса согласованности, полученное экспериментально в результате обработки большого количества сгенерированных случайным образом матриц парных сравнений. CI – индекс согласованности.

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1}. \tag{5}$$

Таблица 2. **Средние значения** RI

n	1	2	3	4	5	6	7	8
RI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41

В этой работе был проведен, опрос пяти экспертов, работающих в области гидрологии и управления рисками. Эксперты представили свои суждения об относительной важности одного фактора по сравнению с другим. Баллы варьировались от 1 до 9. Чем выше балл, тем важнее критерий.

Вес критериев, присвоенных одним из наших экспертов, представлен ниже. Выбранные критерии: количество осадков, тип почво-грунтов, склон, растительный покров и плотность дренажа.

Матрица парных сравнений, заданная 1-м экспертом, может быть представлена следующим образом:

$$X_1 = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} & x_{14} & x_{15} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} & x_{24} & x_{25} \\ x_{31} & x_{32} & x_{33} & x_{34} & x_{35} \\ x_{41} & x_{42} & x_{43} & x_{44} & x_{45} \\ x_{51} & x_{52} & x_{53} & x_{54} & x_{55} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 5 & 3 & 2 & 2 \\ 1/5 & 1 & 1/2 & 1 & 1 \\ 1/3 & 2 & 1 & 2 & 1 \\ 1/2 & 1 & 1/2 & 1 & 1 \\ 1/2 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \tag{6}$$

Этот эксперт считает, что количество осадков существенно важнее, чем тип грунтов (уровень важности 5). Тип грунтов, растительный покров и плотность дренажа имеют одинаковую значимость. Склон важнее, чем тип грунтов и растительный покров (уровень важности 2).

Нормализованная матрица имеет вид:

$$Z_1 = \begin{bmatrix} 0.39 & 0.5 & 0.5 & 0.29 & 0.33 \\ 0.08 & 0.1 & 0.08 & 0.14 & 0.17 \\ 0.13 & 0.2 & 0.17 & 0.29 & 0.17 \\ 0.20 & 0.1 & 0.08 & 0.14 & 0.17 \\ 0.20 & 0.1 & 0.17 & 0.14 & 0.17 \end{bmatrix} \tag{7}$$

Окончательная векторная матрица весов, заданная 1-м экспертом,

имеет вид: $\left[0.4 \;\; 0.11 \;\; 0.19 \;\; 0.14 \;\; 0.15\right]$.

Отношение согласованности рассчитывается с использованием уравнения (8):

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} = 0{,}05. \qquad (8)$$

Поскольку среднее значение индекса согласованности (RI) в данном случае $(n = 5)$ равно 1,12, то отношение согласованности определяется следующим образом:

$$CR = \frac{CI}{RI} = 0{,}045. \qquad (9)$$

Отношение согласованности находится в допустимом диапазоне $(CR \le 0{,}1)$ и дополнительной информации от лиц, принимающих решения, или повторных процедур не требуется.

В результате, по мнению эксперта, количество осадков, тип почво-грунтов, склон, растительный покров и плотность дренажа обладают соответственно весами: 40 %, 12 %, 19 %, 14 % и 15 %.

На заключительном этапе были рассчитаны веса факторов, влияющих на формирование наводнения в бассейне р. Меконг с использованием средних значений нормализованных весов критериев, полученных от всех экспертов. Полученные веса представлены в таблице 4.

Веса факторов, влияющих на формирование наводнения в бассейне р. Меконг, которые даны всеми экспертами, представлены в таблице 3.

Таблица 3. **Веса факторов данные всеми экспертами**

Факторы	Эксперты					Среднее
	1	2	3	4	5	
Количество осадков	0,4	0,35	0,39	0,38	0,31	0,366
Тип почво-грунтов	0,12	0,15	0,13	0,16	0,16	0,144
Склон	0,19	0,22	0,17	0,15	0,14	0,174
Растительный покров	0,14	0,14	0,13	0,16	0,13	0,14
Плотность дренажа	0,15	0,14	0,18	0,15	0,26	0,176

Согласно данным таблицы 3 количество осадков, тип почво-грунтов, склон, растительный покров и плотность дренажа обладают соответственно весами: 36,6 %, 14,4 %, 17,4 %, 14 % и 17,6 %.

Чем выше вес, тем выше влияние этого критерия на риск наводнения. Полученные веса показывают, что количество осадков и плотность дренажа являются наиболее существенными факторами формирования наводнения (36,6 % и 17,6 %). Результаты этой статьи могут быть использованы для построения карты зонирования риска наводнений и карты подверженности наводнениям для предупреждений о наводнениях в бассейне реки Меконг.

ВЫВОДЫ

В данной работе веса факторов, влияющих на формирование наводнения в бассейне р. Меконг были определены с помощью метода анализа иерархий (AHP). Веса факторов, таких как количество осадков, тип почво-грунтов, склон, растительный покров и плотность дренажа составляют – 36,6 %, 14,4 %, 17,4 %, 14 % и 17,6 % соответственно. Среди них наиболее значимыми влияющими факторами являются количество осадков (36,6 %) и плотность дренажа (17,6 %). Полученные веса могут быть использованы для определения зон риска затопления и принятия решений по управлению рисками наводнения в опасных районах, таких как дельта реки Меконг.

ЛИТЕРАТУРА

1. Adamson PT, Rutherfurd ID, Peel MC, Conlan IA. 2009. The hydrology of the Mekong River. In Biophysical Environment of an International River Basin, Campbell IC (eds). Elsevier: USA, 53–76.
2. Delgado JM, Apel H, Merz B. 2010. Flood trends and variability in the Mekong River. Hydrology and Earth System Sciences 14: 407–418.
3. Climate Risk Country Profile: Vietnam, The World Bank Group and the Asian Development Bank, 2021
4. Satty, T. (1980) The Analytical Hierarchy Process. McGraw Hill, New York..

УДК 504.062.2

ПУТИ УЛУЧШЕНИЯ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ.

Э.А. Турсунова
Ташкентский архитектурно-строительный институт,
г. Ташкент, Республика Узбекистан

В статье рассмотрены актуальные для производственных комплексов Узбекистана аспекты улучшения водоснабжения промышленных предприятий путём внедрения замкнутых систем производственного водоснабжения. Рассмотрены пути улучшения водоснабжения производственных предприятий, условия, при которых рационально внедрение систем замкнутого водоснабжения в производство, а также достоинства именно замкнутых систем водообеспечения.

Водная проблематика во многих уголках мира становится самой злободневной проблемой современности. Сейчас в мире наблюдаются последствия изменения климата, включая рост числа засух и наводнений, таяние льдов, изменения в частоте и количестве выпадении осадков. Увеличилось количество периодов сильной жары. Особенно остро стоит

вопрос влияния изменения климата на водные ресурсы – одного из важнейших и наиболее уязвимых по отношению к изменению климата.

Сегодня актуальна для всего мира проблема, связанная с интенсивным потреблением и, как следствие, загрязнением водных ресурсов. Известно, что запас пресной воды на Земле, при наличии определенных условий, имеет свойство восстанавливаться, совершая круговорот в природе. Но, несмотря на это доля воды, пригодная для использования, остается ничтожно малой. В связи с приростом населения и развитием производства человечество столкнулось с увеличением дефицита пресных водных ресурсов.

Указанный факт сочетается с глобальным изменением климата, что в свою очередь, ведёт к усложнению ситуации. Процесс нарастания дефицита водных пресных ресурсов происходит повсеместно, затрагивая все виды потребностей общества и природы. Существуют также отдельные регионы, где дефицит пресной воды намного интенсивней, одним из которых является Центральная Азия [1].

Одним из способов сокращения объемов потребления свежей воды на предприятии и количества сбрасываемых сточных вод является создание замкнутых систем водоснабжения, заключающихся в возврате очищенной сточной воды в технологический процесс.

Замкнутые системы водопотребления – рациональное решение проблемы использования воды в промышленности. Применение замкнутых водооборотных систем при проектировании предприятий позволяет размещать эти объекты в районах с ограниченными водными ресурсами, но обладающими благоприятными экономико-географическими условиями. Такое инженерно-экологическое направление является наиболее прогрессивным и перспективным, позволяя одновременно решать проблемы водообеспечения и охраны окружающей среды.

Организация замкнутой системы целесообразна, когда затраты на очистку воды и рекуперацию веществ ниже суммарных затрат на водоподготовку и очистку сточной воды до нормативных показателей, позволяющих сбрасывать её в водные объекты, т.е. без загрязнения последних. Замкнутые системы водного хозяйства следует вводить на вновь строящихся, действующих и подлежащих реконструкции предприятиях. В последнем случае внедрение замкнутых систем идёт постадийно, с постоянным увеличением оборотного водоснабжения по мере усовершенствования технологии. Создание замкнутых систем водного хозяйства промышленных предприятий возможно при коренном изменении существующих принципов в водоснабжении, канализации и очистке сточных вод. К основным принципам создания таких систем можно отнести следующие:

1. Водоснабжение и канализация должны рассматриваться в

совокупности, когда на предприятии создаётся единая система водного хозяйства, включающая водоснабжение, водоотведение и очистку сточных вод, как подготовку для их повторного использования. При этом необходимо установить научно обоснованные требования к качеству потребляемой в производстве и отводимой воды.

2. Создание замкнутых систем водообеспечения должно сочетаться с организацией малоотходного производства, технология которого ориентирована на максимальное извлечение из сырья основных продуктов с одновременной регенерацией ценных компонентов и доведением образующихся отходов до товарного продукта или вторичного сырья при минимальных материальных и энергетических затратах.
3. Потоки сточных вод следует различать по видовому, фазовому, концентрационному, энтальпийному признакам для разработки соответствующих способов локальной очистки каждого потока, вплоть до потоков отдельных стадий технологического процесса.
4. При замкнутых системах следует объединить цехи водоподготовки и локальной очистки предприятия, а также использовать ливневой сток с промышленной площадки в системе оборотного водоснабжения. Основными для водоснабжения должны являться очищенные производственные и городские сточные воды, а также поверхностный сток. Свежая вода в производстве должна использоваться только для особых целей и восполнения воды в системах.
5. Регенерации должны подвергаться локальные потоки отработавших технологических растворов и сточных вод, при этом должны создаваться локальные замкнутые системы водоснабжения, которые являются основным звеном замкнутых систем водного хозяйства промышленных предприятий.

К основным потокам образующейся на предприятии сточной воды, с некоторыми возможными вариациями, относятся: производственные, хозяйственно-бытовые и ливневые стоки. Производственные сточные воды подразделяются на четыре основных типа:

1. Так называемые условно чистые сточные воды, используемые в качестве хладагента в теплообменных аппаратах, применяемых для охлаждения готовой продукции или сырья без непосредственного контакта с ними.

2. Стоки, используемые в системах гидротранспортировки сырья или готовой продукции.

3. Аналогичные по составу сточные воды второго типа, но имеющие повышенную температуру.

4. Стоки содержат вещества, используемые в производственных

технологических процессах, и относятся в основном к отработанной промывочной воде, являющейся поглотителем загрязнений механического характера или растворенных веществ.

Использование очищенной сточной воды в системе замкнутого водоснабжения зависит от требований технологии основного производства. Поэтому системы замкнутого водоснабжения, используемые на предприятии, должны иметь тесную взаимосвязь с безотходными технологиями, связанными с использованием основного технологического сырья, с одновременным обеспечением максимального выхода промежуточной и готовой продукции. С учетом этого очистка образующейся сточной воды заключается в ее регенерации с целью повторного использования в технологическом процессе. [2].

Экономия водных ресурсов может быть достигнута и в процессе последовательного использования воды. Например, в процессах обогащения минерального сырья может быть применена оборотная вода, поступающая из охладительных систем:– она предварительно смешивается со свежей водой и затем распределяется на несколько этапов этого технологического процесса;

- первая часть воды используется для промывки сырья и удаления шлама, а вторая часть используется в процессе флотационного обогащения и последующей фильтрации;
- фильтрационная вода возвращается на стадию флотации;
- при этом часть воды периодически выводится из процесса за счет увеличения концентрации ионов кальция, способствующих отложению нерастворимых солевых осадков, и после очистки вновь возвращается в систему использования воды [3]. Кроме того, перед повторным использованием вода проходит стадию механической очистки для отделения взвешенной фазы шламовых частиц.

Нарастающие требования к снижению потребления водных ресурсов промышленными компаниями Узбекистана сводятся к необходимости реконструкции существующих оборотных систем водоснабжения, а также созданию новых, использующих последние технологии.

Первостепенными путями разрешения проблем, направленных на улучшение водоснабжения производственных предприятий являются: создание новых технологий для снижения потребления водных ресурсов и образования загрязнённых стоков или абсолютное исключение их из технологических процессов; разработка локальных установок для очищения и обезвреживания стоков, с извлечением полезных компонентов после очищения и переработку для вторичного пользования; конструирование замкнутых водооборотных систем, а также сбор и вторичное применение обезвреженных как сточных и паводковых вод, так и атмосферных осадков с местности производств.

Рациональность и необходимость систем замкнутого водоснабжения в производстве обуславливают три важных аспекта:

1. нехватка пресной воды, которая помимо постоянного роста водопотребления обусловлена ухудшением качества природных водных источников из-за поступления в них сточных вод;
2. понижение способности самоочищения и разбавления (обезвреживания) у водоёмов от сточных вод;
3. превосходство в плане экономии, сравнительно с очищением сточных вод до необходимого уровня, предусматривающее их дальнейший сброс в открытые водоёмы.

Стоки с производств имеют тяжёлые физико-химические составляющие. В сточных водах содержится многообразие элементов, при взаимодействии которых не представляется возможности подбора универсального абсорбента и структуры бессточных схем для очистки и дальнейшего пользования в отраслях промышленности. На значительное снижение потребления водных ресурсов могут повлиять: комбинирование технологических процессов, повторное применение охлаждающей воды (оборотное водоснабжение) и сокращение использования реагентов. [4].

По экономическим соображениям рационально применение метода распределения оборотного водоснабжения совместно с подключением к оборотным системам ограниченного числа технических устройств на функционирующих производственных комплексах. Необходимо применение системы дискретной канализации, которая подразделяется на фекально-хозяйственную, ливневую, очищенную условно для производственных и ливневых вод. Данная система даёт возможность разделить каналы с учётом качества, характера загрязнителей и уровня загрязнённости и подбирать наиболее подходящие и бюджетные способы очищения. Например, такие типы вод как кислые или щелочные требуют подготовки отдельного отвода для встречной нейтрализации и впоследствии экономии реагентов. Или напротив, стоки, состоящие из нефтепродуктов, нежелательно соединять со стоками, содержащими элементы, которые зачастую формируют практически не разрушаемые эмульсии, устойчивую пену либо способные усугублять потери от испарения. [5].

В процессе конструирования замкнутых систем водооборота важно грамотно подойти к формированию аргументированных научных требований касательно качества воды, применяемой в технологических операциях. Зачастую в процессе технологической работы отсутствует потребность применения питьевой воды. Также целесообразно изначально определить границы базовых норм качества воды следующими пунктами:

- недопустимо ухудшение качества выработанного продукта;
- необходимо обеспечить безаварийную работу установок с наименьшей интенсивностью коррозийных образований и

различных отложений;

- недопустимо нанесение вреда здоровью сотрудников в связи с изменением эпидемиологических и токсикологических свойств воды. [6].

При внедрении в технологический цикл промышленных предприятий замкнутых водооборотных систем, водоподготовительные мероприятия и очищение сточных вод необходимо рассматривать как целостную систему. Конструирование замкнутых комплексов желательно проводить совместно с проектировкой основного производства. При переходе от частично оборотных систем к абсолютно замкнутым оборотным комплексам решаются две основные задачи, которые связаны с перекрытием потерь оборотной воды и устранением минерализации, но в свою очередь, данные решения влекут за собой дополнительные капитальные затраты на строительство. [7].

Разработка систем оборотного водоснабжения предприятий – задача сложная, но вполне выполнимая и целесообразная, учитывая, что абсолютно замкнутая система водообеспечения имеет только положительные стороны. Её наличие предполагает постоянный как количественный, так и качественный состав воды, использование энергосберегающих установок, предупреждает минеральные и биологические отложения, предотвращает коррозийные образования, а также исключает сброс сточных вод в природные водоёмы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Файзиева М.Ф. К вопросу санитарной охраны водоёмов в условиях Узбекистана // Вестник науки и образования. 2018. № 4 (16). С. 70–72.
2. Турсунова Э.А. The use of domestic wastewater for agricultural irrigation [Использование бытовых сточных вод для орошения в сельском хозяйстве] // Вестник науки и образования. 2019. № 10.
3. Иванов С.Н. Дорофеева О.И. Организация замкнутых систем водоснабжения промышленных производств // WATERMAGAZINE. RU № 9. 2021.
4. Парамонова С.В., Федоров Г.Ю. Использование систем оборотного водоснабжения промышленных предприятий // Вестник магистратуры № 6. 2018.
5. Федяева О.А. Замкнутые системы водного хозяйства промышленных предприятий. 2020.
6. Утемиров Ш.Р. Анализ систем оборотного водоснабжения и проблем качества воды промышленных предприятий // European science. № 2 (51) Part II 40 2020.
7. Турсунова Э.А. Актуальные вопросы создания замкнутых систем производственного водоснабжения // Проблемы современной науки и образования. 2019.

УДК 628.16: (556.18 + 504.5)

УСЛОВИЯ И АЛГОРИТМЫ РЕАЛИЗАЦИИ СРОЧНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ БАРЬЕРНЫХ ФУНКЦИЙ ВОДОПРОВОДОВ КРУПНЫХ ГОРОДОВ ПРИ ЭКСТРАОРДИНАРНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЯХ ВОДОИСТОЧНИКОВ.

А.Д. Смирнов, М.М. Герасимов, А.А. Беляк
АО «НИИ ВОДГЕО», г. Москва, Россия

Показаны пути повышения уровня барьерных функций на водопроводах крупных городов при экстраординарных загрязнениях водоисточника.

Экстраординарное загрязнение водоисточника – это появление в ней токсичных или потенциально токсичных компонентов нетрадиционных загрязняющих веществ, или многократное превышение концентраций традиционных примесей. Последние, особенно природного генезиса, как правило, находятся в дисперсном, или, в частности, коллоидном состоянии, а поступление их обычно, можно предположить заранее, и вследствие чего риски при этом не велики.

Иное дело антропогенные события, в т.ч. техногенные катастрофы и чрезвычайные ситуации (ЧС). Наибольшие проблемы в большинстве случаев экстраординарных катастрофических загрязнений водоисточников состоят в запаздывании входящей информации о полном составе примесей, что ограничивает реальные возможности действий персонала очистных сооружений. Причем при ЧС информация о вероятных примесях, порой может поступать постепенно, в течение 1 – 3-х суток, в то время как время прохождения воды от водоисточника к потребителям (с учетом РЧВ и сетей) обычно, измеряется часами, в связи с чем важным фактором становится получение результатов анализов загрязнений на самом водопроводе (хотя нужно иметь в виду, что проведение анализов на нетрадиционные техногенные компоненты длится часами, на элементоорганические соединения – до суток, а на микробиологические компоненты – до 3-х суток).

Подвоз воды в города с населением 50 – 500 тыс. чел (с минимальным водопотреблением 75 % – по 5 л/чел·сут + 25 % – по 20 л/чел·сут, т.е. 250 и 2500 м^3/сут) лимитируется логистикой доставки и санитарным состоянием города на 3-й ÷ 5-й день событий (средняя продолжительность ЧС на водоисточнике порядка 5 – 10 дней).

Вследствие указанного, целесообразно и возможно обеспечить дополнительные барьерные функции действующих водопроводов на период ЧС, учитывая следующее:

- высокобарьерные противовирусные и противомикробные системы должны быть универсальными и включены

предварительно (или быть в постоянной работе) т.к. истинная информация о зараженности воды придет лишь на 2-й или 3-й день;

- применение кратно высоких доз сильных окислителей, в т.ч. хлора и озона, несет новые, возможно еще большие риски, из-за вероятности образования высокотоксичных хлорорганических и перекисных соединений (так как состав загрязнений на момент ЧС не известен);
- система дополнительных барьеров должна быть универсальной (широкого спектра действия и по отношению к молекулярным, и комплексным формам токсикантов, и к органическим, и элементоорганическим соединениям, а также к тяжелым металлам и радионуклидам).

Кроме того она обладать следующими обязательными характеристиками:

А – быстро отделять удаляемые токсиканты и их производные из потока очищенной воды, и не накапливать в процессе очистки и в сооружениях;

Б – легко вписываться в различные, реально работающие, технологические схемы водоподготовки, быть быстромонтируемыми и дешевыми (то есть менее 5 % стоимости основных традиционных сооружений, и менее 5 % энергопотребления), и монтироваться без вмешательства в работу станции;

В – запускаться в работу в течение 2 – 3-х часов не более, с регулированием дополнительных барьерных функций по целевым группам токсикантов от 1 до 90 – 95 %, с полной остановкой вне ЧС (без издержек в нерабочий период), и с возможностью применения и вне режимов ЧС для решения текущих ординарных задач;

Г – оборудование и расходные материалы подобных комплексов должны быть только отечественного производства.

Многолетний отечественный опыт в городах: Уфа, Санкт-Петербург, Ростов-на-Дону, Саранск, Тольятти, Хабаровск, Москва, Киров и др. [1–14] показывает реализуемость всех указанных выше требований и высокую эффективность отечественных технологий и оборудования в водоподготовке при экстраординарных загрязнениях водоисточников и режимах ЧС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Smirnov A.D., Semenov S.J., Belyak A. «Pilot tests of dioxin-remuving technologies for water plants», // Chemosphere, vol. 32, № 3, pp.479-489, 1996.
2. Герасимов М.М., Смирнов А.Д., Беляк А.А., Давлятерова Р.А., Гусева О.А., Задоянный А.Г., Домнин К.В. Проблемы обеспечения населения

качественной питьевой водой в условиях работы водоканалов крупных городов // Мат. регион. НПК, 28–29 июня 2006 г. // Ижевск, 2006. С. 32–34.
3. Смирнов А.Д., Миркис В.И., Кантор Л.И. Углевание воды при экстраординарных загрязнениях водоисточника – р. Уфы // Водоснабжение и санитарная техника, 2001. № 5, ч. 2. С. 21–22.
4. Домнин К.В., Архипова Е.Е., Самчук И.С., Алешко Д.С., Дунаевская Е.В., Кузьминова Ю.А., Герасимов М.М, Смирнов А.Д., Давлятерова Р.А. Проблемы обеспечения населения качественной питьевой водой в условиях чрезвычайной ситуации // Водоснабжение и санитарная техника, 2007. № 6, ч. 2. С. 28–31.
5. Беляк А.А., Смагин В.А., Шевчук С.В., Гусева О.А., Смирнов А.Д., Семенова И.Ю. Пилотные испытания технологических схем очистки воды р. Сура с целью модернизации очистных сооружений Сурского водопровода г. Саранска // Вода: Технология и экология, 2007. № 3. С. 12–24.
6. Раментьев А.А., Беляк А.А., Герасимов М.М., Смагин В.А., Шевчук С.В., Смирнов А.Д. Разработка технологии очистки подземных высокоцветных газонасыщенных вод Западной Сибири / Решение водохозяйственных проблем в Сибирском регионе. Материалы II-й межд. НПК, 27–28 октября 2005 г. – Новосибирск, 2005. С. 14–15.
7. Домнин К.В. Архипова Е.Е., Давлятерова Р.А., Герасимов М.М., Гусев Е.Е., Талалаев С.А., Смагин В.А., Шибаева О.А., Смирнов А.Д. Повышение барьерной роли очистных сооружений водопровода г. Хабаровска // Обезвоживание, реагенты, техника. 2005. № 13–14. С. 47–53.
8. Бабенков Е.Д., Лимонова Т.П. Технологические аспекты совместного углевания и коагулирования воды // Водоснабжение и санитарная техника. 1975. № 11. С. 14–16.
9. Смирнов А.Д., Алифанова Н.Н., Семенов С.Ю., Садова Н.И. Повышение барьерной роли водопроводов в период паводков и аварий // Водоснабжение и санитарная техника. 1994. № 12. С. 12–13.
10. Домнин К.В., Архипова Е.Е., Алешко Д.С., Дунаевская Е.В., Кузьминова Ю.А., Герасимов М.М., Смирнов А.Д., Давлятерова Р.А. Обеспечение населения качественной питьевой водой в условиях чрезвычайной ситуации // Водоснабжение и санитарная техника. 2007. № 6, ч. 2. С. 28–31.
11. Смирнов А.Д. Современные технологии защиты питьевой воды от антропогенных загрязнений // Водоснабжение, водоотведение, гидротехника, инженерная гидрогеология: тез. докл. НПК, посвящ. 70-летию ФГУП «НИИ ВОДГЕО» – М.: Изд. ЗАО «Дар/Водгео», 2004. С. 35–36.
12. Смирнов А.Д., Миркис В.И., Кантор Л.И. Углевание воды при

экстраординарных загрязнениях водоисточника – р. Уфы // Водоснабжение и санитарная техника, 2001. № 5, С. 21–22.
13. Костюченко С.В., Волков С.В., Смирнов А.Д., Смагин В.А., Герасимов М.М., Давлятерова Р.А. Транспортно-технологический контейнер для порошкообразных сорбентов. Патент на изобретение RU 2513085 C2, 20.04.2014. Заявка № 2012129653/1 от 13.07.2012.
14. Беляк А.А., Смагин В.А., Шевчук С.В., Гусева О.А., Смирнов А.Д., Семёнова И.Ю. Пилотные испытания технологических схем очистки воды р. Сура с целью модернизации очистных сооружений сурского водопровода г. Саранска // Вода: технология и экология, 2007. № 3, с. 12,

УДК 628.144.23

ВЫБОР СХЕМНОГО РЕШЕНИЯ СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

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

Для выбора схемного решения по устройству объединенного хозяйственно-питьевого и противопожарного водопровода выполнен анализ гидравлических расчетов при различных гидравлических параметрах сети и приведены графики по результатам расчета. Предложены эффективные варианты гидравлического расчета с использованием специальных программных продуктов для выбора схемного решения системы водоснабжения промпредприятия.

Основной задачей системы водоснабжения является подача потребителям необходимых расходов воды заданного качества и под требуемым напором. Для ее решения следует выполнить целый ряд технологических процессов:

- выполнить забор воды из источника водоснабжения (возможно из нескольких источников, а также с различными параметрами качества и напора воды) и при необходимости подать воду на установки, в которых будут откорректированы ее основные показатели (качество воды, требуемый напор);
- обеспечить регулирование и распределение подачи воды во времени между основными ее потребителями;
- организовать при необходимости хранение требуемых запасов воды на различные нужды (хозяйственно-питьевые, производственные и (или) противопожарные);

- осуществить транспортировку к местам размещения потребителей воды и распределение расчетного количества воды между ними [1].

Систему водоснабжения различных объектов следует выбирать с учетом следующих факторов:

- инженерной защиты и комплексного использования водных ресурсов (источников водоснабжения);
- кооперирования (объединения) потребителей в группы по основным характеристикам и показателям воды;
- перспективы дальнейшего развития территории или объекта;
- применения современных и энергоэффективных методов и установок очистки природных и сточных вод, способов повышения давления воды.

Систему водоснабжения отдельного объекта (производственного предприятия) следует рассматривать совместно с системой водоотведения, и предусматривать, где это возможно, использование очищенных стоков для нужд производственного или противопожарного водоснабжения.

Наиболее простой, экономически обоснованной и надежной в процессе эксплуатации является схема хозяйственно-питьевого или объединенного хозяйственно-противопожарного водопровода объекта (промпредприятия) 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 промпредприятие, либо аналогичный объект расположены 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).

На рисунке 1 приведена принципиальная схема присоединения хозяйственно-питьевого водопровода промпредприятия к магистральному коммунальному водопроводу населенного пункта [2].

Как правило, противопожарный водопровод промышленных предприятий 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. Существует множество комбинаций схемных решений внутриплощадочных сетей промышленных предприятий – от полных раздельных до полностью объединенных сетей.

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 [3].

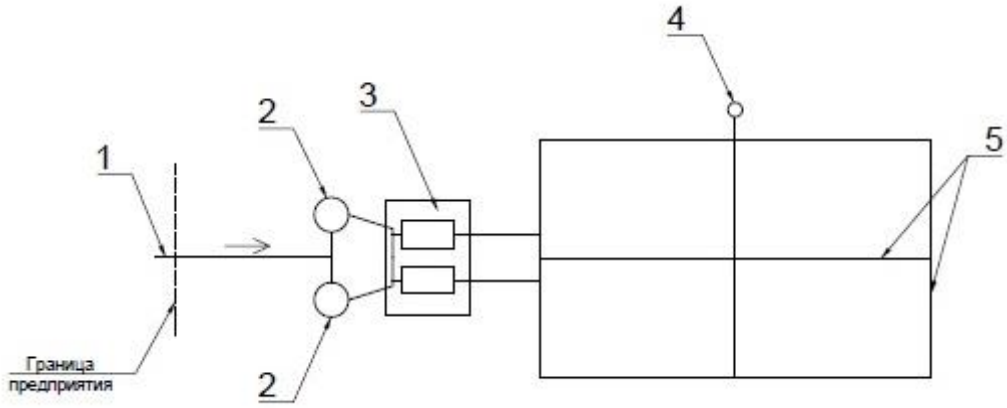


Рисунок 1. **Схема присоединения хозяйственно-питьевого водопровода промпредприятия к магистральному коммунальному водопроводу:**
1 – городской водопровод; 2 – резервуары запаса воды; 3 – повысительная насосная станция, 4 – внутриплощадочная сеть промпредприятия

В процессе проектирования при выборе наиболее экономически обоснованного с гидравлической точки зрения схемного решения внутриплощадочных сетей водопровода возникает основной вопрос: возможность устройства объединенного хозяйственно-питьевого и противопожарного водопровода или устройство раздельных сетей водопровода.

Рассмотрев технические и технологические параметры для определения схемного решения системы водоснабжения, следует отметить, что основными являются:

– расчетный (максимальный секундный) расход воды на хозяйственно-питьевые нужды;

– расчетный (секундный) расход воды на внутреннее и наружное пожаротушение.

Средние значения экономичных расходов, а также отвечающие им значения скоростей и гидравлических уклонов при достаточно равномерном протекании воды для водоводов из неновых металлических и асбестоцементных труб приведены в литературе [2, таб. 15.15 и 15.16], а для водоводов из полиэтиленовых труб – в [4]. При выборе варианта системы водоснабжения в целом, а также при определении наиболее выгодного значения диаметров водоводов и магистральных линий сети обычно используют сопоставление нескольких расчетных вариантов. Сечения труб при этом назначаются в вариантах, определяемых из приведенных средних значений экономичных скоростей и

дополнительных, учитывающих специфические местные условия и особенности.

При рассмотрении одного из вариантов системы водоснабжения в процессе построения характеристики водопроводной сети при постоянном диаметре сети и постоянных фиксированных максимальных значениях скорости течения воды в трубопроводе (в расчетном режиме v_{max} = 1,5 м/сек, в режиме тушения пожара v_{max} = 2,8 м/сек) определено, что характеристика сети в режиме тушения пожара является продолжением характеристики в расчетном режиме. Графики приведены на рисунке 2.

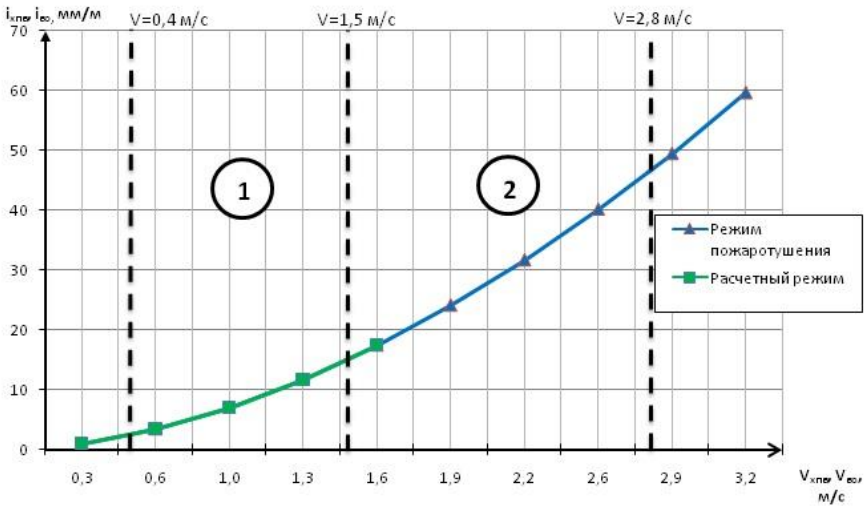


Рисунок 2. **График характеристики водопроводной сети при постоянном диаметре сети**

На представленном на рисунке 2 графике имеются две зоны работы характеристики сети:

- ***первая зона*** – зона возможной работы трубопроводной сети в режиме подачи расхода воды на хозяйственно-питьевые нужды, ограниченная минимальной v_{min} = 0,4 м/сек и максимальной скоростью v_{max} = 1,5 м/сек;
- ***вторая зона*** – зона возможной работы трубопроводной сети в режиме подачи расхода воды на хозяйственно-питьевые и противопожарные нужды, ограниченная минимальной v_{min} = 0,4 м/сек и максимальной скоростью v_{max} = 2,8 м/сек.

Из графика видно, что чем меньше величина расхода воды на хозяйственно-питьевые нужды, тем более широкий диапазон величины расхода воды на противопожарные нужды для обеспечения соблюдения предела максимальной скорости v_{max} = 2,8 м/сек.

Проанализировав различные варианты устройства объединенных водопроводных сетей хозяйственно-питьевого и противопожарного назначения (изменение расчетного расхода воды на хоз-питьевые нужды,

изменение расхода воды на противопожарные нужды, изменение диаметра водопроводной сети как в целом по основному кольцу, так и на отдельных его участках, изменение конфигурации сети и точек приложения пожара) построены следующие графические зависимости:

– относительных значений $q_{\max}^{объед} / q_{\max}^{хпв}$ в зависимости от диаметра $D_{тр}$ проектируемого водопровода при величинах максимального секундного расхода на хоз-питьевые нужды $q_{\max}^{хпв} = 5 л/сек$ и $q_{\max}^{хпв} = 25 л/сек$ (рис. 3а);

– график изменения гидравлических потерь напора $i_{\max}^{объед}$ в зависимости от диаметра $D_{тр}$ при предельной максимальной скорости $v_{max} = 2{,}8$ м/сек в объединенном хоз-питьевом и противопожарном водопроводе (рис. 3б)

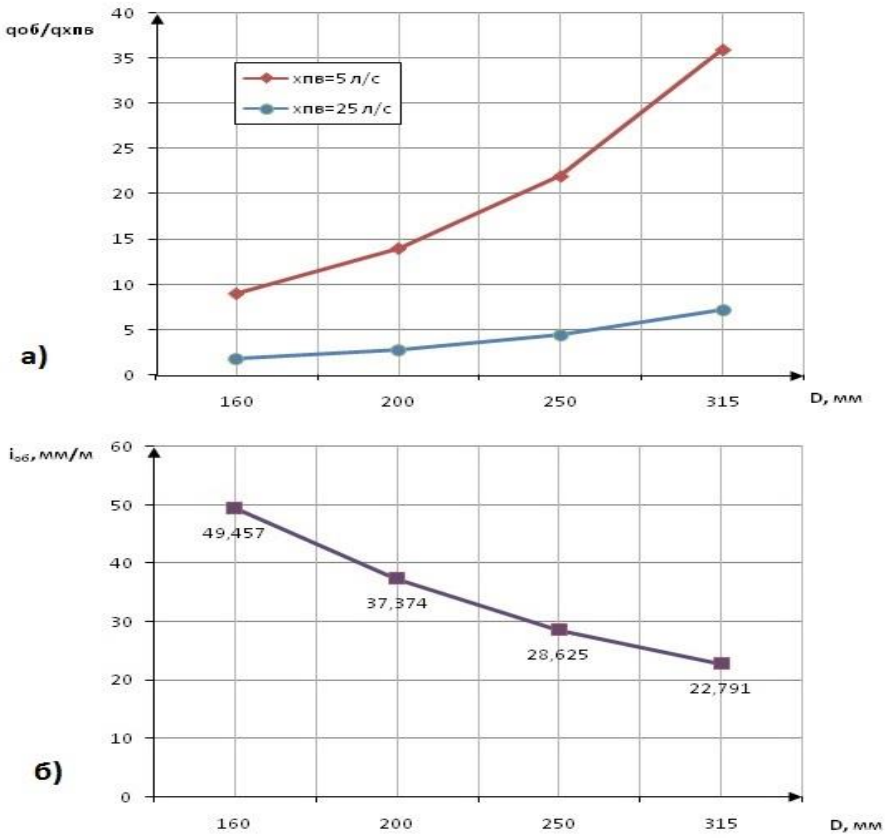


Рисунок 3. **Графики зависимости значений $q_{\max}^{объед} / q_{\max}^{хпв}$ (3а) и гидравлических потерь напора $i_{\max}^{объед}$ (3б) в зависимости от диаметра $D_{тр}$**

В процессе проектирования при принятии решения о возможности устройства объединенной схемы сетей водопровода потребуется построить график при заданном значении максимального секундного расхода на хозяйственно-питьевые нужды $q_{\max}^{хпв}$, по относительной величине $q_{\max}^{объед} / q_{\max}^{хпв}$ определяем требуемый диаметр сети (см. график рис. 3а) и величину гидравлических потерь напора $i_{\max}^{объед}$ (см. график рис. 3б).

Если полученная скорость течения воды $v_{max}^{хпв}$ в трубопроводе принятого диаметра $D_{тр}$ будет меньше, чем нормативная $v_{min}^{хпв}$, то устройство объединенного хозяйственно-питьевого и противопожарного водопровода невозможно и потребуется принимать раздельную схему устройства сетей.

ВЫВОДЫ

1. При наличии всех исходных данных можно быстро спрогнозировать выбор схемного решения по устройству системы наружного водопровода.
2. На основании графиков, изображенных на[рисунке 3 видно, что при увеличении диаметра трубопровода имеется возможность обеспечить более высокое значение противопожарного расхода.
3. При соблюдении предела максимальной скорости V_{max} = 2,8 м/сек в объединенном хозяйственно-питьевом и противопожарном водопроводе при увеличении его диаметра существенно снижаются потери напора в водопроводе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьмин Ю.М., Кошелев Г.Н. Водоснабжение. Ч. 1. Водоснабжение объектов общевойскового строительства. ЛВВИСКУ, 1981.
2. Справочник проектировщика. Водоснабжение населенных мест и промышленных предприятий. / Под ред. И.А. Назарова. М., Стройиздат, 1967.
3. Дикаревский В.С. Водоводы. Монография. Труды РААСН. Строительные науки. Т. 3. – М.: РААСН, 1997. С. 200.
4. Продоус О.А. Таблицы для гидравлического расчета труб напорных из полиэтилена. Справочное пособие. Издание 3-е дополненное. СПб.: ООО «Свое издательство», 2017. 240 с.

УДК 69:502

СТОЧНЫЕ ВОДЫ АВТОТРАНСПОРТА НА СТРОИТЕЛЬНЫХ ПЛОЩАДКАХ

Е.В. Москвичева, О.П. Радченко, Д.П. Клочков
Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Россия
Институт архитектуры и строительства, г. Волгоград, Россия

В работе рассмотрен вопрос охраны окружающей среды на строительных производствах, вопросы экологической безопасности при функционировании промышленных площадок. Определены типы экологических загрязнений при некоторых видах строительных работ. Рассмотрены основные показатели оценки

сточных вод на автотранспортных предприятиях. Даны рекомендации по очистке сточных вод, образующихся при мойке автотранспорта на строительных площадках.

В процессе эксплуатации автотранспорта на производстве происходит загрязнение внешних поверхностей машин строительной пылью, нефтепродуктами и мелкодисперсными фракциями почвенных загрязнений (глина, песок и др.) [1]. Обязательным условием на строительном производстве является обмыв поверхностей автотранспорта при выезде со строительной площадки, для этого строительные площадки оборудуют пунктами мойки колес (рис.).

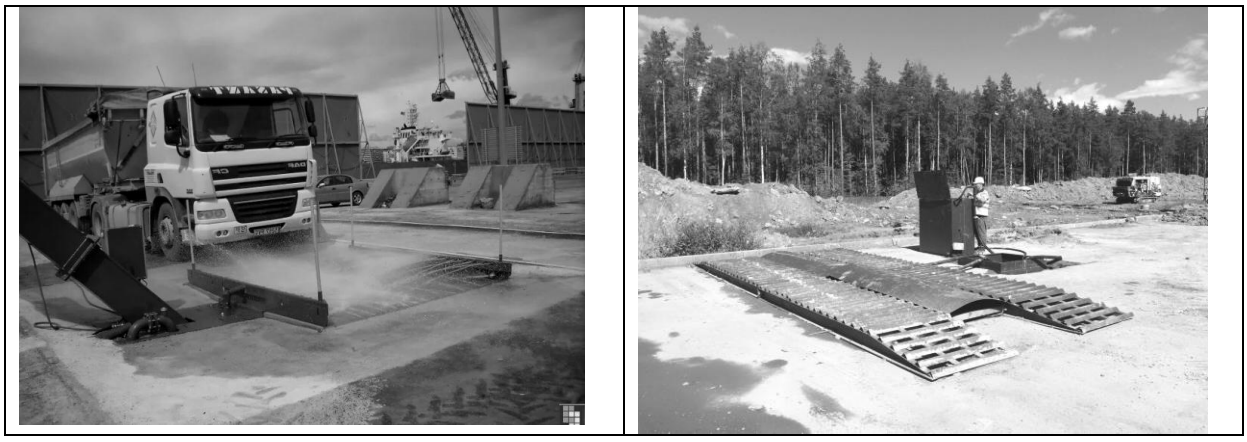


Рисунок. **Пункты мойки колес на стройплощадках**

В процессе обмыва образуются сточные воды, загрязненные глинистыми частицами, мелкодисперсной пылью и нефтепродуктами [2–3]. Характеристика состава стока является важным параметром при анализе подбора системы очистки, так в зависимости от состава примесей, накапливающихся на промышленных площадках, предприятия и отдельные их территории можно разделить на две группы:

– к первой группе относятся предприятия и производства, сток с территории которых по составу примесей близок к поверхностному стоку с селитебных территорий и не содержит специфических веществ с токсичными свойствами. Основными примесями, содержащимися в стоке с территории предприятий первой группы, являются грубодисперсные примеси, нефтепродукты, сорбированные главным образом на взвешенных веществах, минеральные соли и органические примеси естественного происхождения. К данной группе относятся предприятия черной металлургии (за исключением коксохимического производства), машино- и приборостроительной, нефтяной, строительной, легкой, пищевой промышленности, серной и содовой подотраслей химической промышленности, энергетики, автотранспортные предприятия, речные порты, ремонтные заводы, а также отдельные производства нефтеперерабатывающих, нефтехимических, химических и других

предприятий, на территорию которых не попадают специфические загрязняющие вещества.

– ко второй группе относятся предприятия, на которые по условиям производства не представляется возможным в полной мере исключить поступление в поверхностный сток специфических веществ с токсичными свойствами или значительных количеств органических веществ, обусловливающих высокие значения показателей ХПК и $БПК_{20}$ стока. К ним относятся предприятия цветной металлургии, коксохимического производства, бытовой химии, целлюлозно-бумажной, нефтеперерабатывающей, производства химической и электрохимической обработки поверхностей металлов (гальванические производства), окрасочные производства, производства синтетических моющих средств (СМС) и др. [13–14].

Характеристика сточных вод по основным показателям загрязнений для предприятий первой и второй группы приведена в таблице 1.

Таблица 1. **Характеристика сточных вод по основным показателям загрязнения для предприятий первой и второй групп**

Показатель	Значение показателей загрязнения, мг/дм3	
	первая группа предприятий	вторая группа предприятий
Взвешенные вещества	400 – 4000*	500 – 2000
Солесодержание	200 – 300	50 – 3000
Нефтепродукты	10 – 30 (100*)	до 500
ХПК фильтрованной пробы	100 – 150**	до 1400
$БПК_{20}$ фильтрованной пробы	20 – 30**	до 400
Специфические компоненты	Отсутствуют	В зависимости от профиля производства содержат тяжелые металлы, фенолы, СПАВ, мышьяк, роданиды, фосфор, аммиак, фтор, жиры, масла, белки, углеводороды и т.д.

*высокие значения для предприятий с интенсивным движением транспорта и значительным потреблением горюче-смазочных материалов, а также АЗС.
**с учетом диспергированных примесей эти показатели увеличиваются в 2–3 раза [13]

Как показали исследования и анализ получаемых данных, каждое промышленное производство, в том числе строительное, оказывает огромное влияние на окружающую среду.

Авторы данной статьи провели исследование по определению концентрации загрязняющих веществ в сточных водах после мойки автотранспорта [4–5]. В таблице 2 приведены результаты полученных значений количества загрязнителей в сточных водах от мойки автотранспорта.

Таблица 2. **Полученные значения концентраций загрязняющих веществ в сточных водах на строительных площадках в сравнении с нормативами**

№ п/п	Наименование показателя	Концентрация, мг/л	СанПиН 2.1.5.980
1	СПАВ (анионоактивные)	10	0,9
2	Взвешенные вещества	2500 – 5000	0,75
3	Нефтепродукты	30 – 80	0,3

Необходимо отметить, что основными загрязнителями сточных вод, образующихся на строительных предприятиях являются взвешенные вещества, нефтепродукты, СПАВ [6–7]. 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. Зачастую в процессе очистки нефтезагрязненных сточных вод удается улавливать лишь верхний слой всплывающих нефтепродуктов, находящихся в свободном состоянии, а более сложная фракция эмульсий и растворенная в воде нефть остается не «тронутой», что существенно снижает эффективность степени извлечения нефтепродуктов.

Таким образом, вопрос об экологических проблемах автомобильного транспорта актуален, проблемы и задачи, а также пути решения ставятся перед обществом широко и рассматриваются на всевозможных конференциях.

Анализ материалов по вопросу очистки сточных вод на строительных площадках приводит к необходимости разработки и подбору эффективной технологии очистки от эмульгированных нефтепродуктов.

В настоящее время все большее применение для очистки сточных вод находят сорбционные методы. В литературе описаны многочисленные способы получения сорбентов и фильтрующих материалов для очистки воды от нефтепродуктов и технологические схемы их применения. Особенно перспективными считаются пористые фильтрующие загрузки, позволяющие одновременно удалять мелкодисперсные и растворенные нефтепродукты. Извлечение из воды растворенных нефтепродуктов фильтровальной загрузкой возможно, если используемый материал является сорбентом с развитой структурой пор, доступных для молекул примеси [8].

Таким образом, исследования показали:

– что сточные воды, образующиеся после мойки автотранспорта, содержат превышающие нормативы концентрации нефтепродуктов и взвешенных веществ;

– для данного типа сточных вод, загрязненных нефтепродуктами и взвесями, требуется эффективная очистка, которая отвечала бы всем требуемым условиям [8].

ВЫВОДЫ

Авторы данной работы предлагают для очистки стоков использовать сорбционное извлечение загрязняющих веществ. При этом в качестве сорбционного материала предлагается использовать природный алюмосиликатный материал – опоку, которая обеспечивает максимальную степень очистки [9–10].

Исследуемые алюмосиликатные сорбционные материалы показали высокую степень очистки от нефтепродуктов, содержание которых, как показали исследования, в моечных водах автотранспорта превышает требуемые показатели в несколько сотен раз [11].

Немаловажным достоинством сорбционной технологии является простота аппаратурного оформления и возможность полной или частичной автоматизации всего процесса в целом, а также отдельных его частей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Черненко Т.В., Иматуллина, Г.К.,Резуанов Д.А., Киреева А.Т., Халитов А.К. 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.
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. Исследование сорбционных свойств гидрофобных органо-минеральных адсорбентов в различных условиях эксплуатации. Перфильев, А.В., Юдаков, А.А., Арефьева, А.Д., Ксеник, Т.В., Владивосток, 2012.
7. Журба, М.Т. Пенополистирольные фильтры. М.: Стройиздат, 1992. 176 с.

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 697.92 УДК 628.35

ВЛИЯНИЕ СЕРОВОДОРОДА НА ТОКОПРОВОДЯЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ ОБОРУДОВАНИЯ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ КАНАЛИЗАЦИИ

В.П. Костюков, Д.В. Антонян
ООО «Проектный научно-исследовательский институт водоснабжения и водоотведения» г. Ростов-на-Дону, Россия

В данной статье показаны причины образования коррозии от сероводорода на токопроводящих элементах оборудования канализационных очистных сооружения п. Ковалевка с последующим выходом из строя. Показаны существующие проблемы и приведены необходимые основные мероприятия для минимизации возникновения данных проблем.

В связи с ухудшением экологической обстановки в Аксайском районе, вызванной неудовлетворительной работой канализационных очистных сооружений, администрациями Ростовской области и Аксайского района было принято решение о реконструкции станции биологической очистки хозяйственно-бытовых сточных вод в поселке Ковалевка Аксайского района. Финансирование работ по реконструкции проводилось в рамках государственной программы Ростовской области «Обеспечение качественными жилищно-коммунальными услугами населения Ростовской области».

В соответствии с перспективным планом по расширению жилья, суточный приток сточных вод, поступающих на очистные сооружения, был установлен 12 500 м^3/сутки.

За период, предшествующий началу проектных работ по реконструкции объекта, часть прилегающих участков садового товарищества было переведено собственниками в категорию земель,

предназначенных для индивидуальной жилой застройки, что определило необходимость разработки проекта сокращения границ санитарно-защитной зоны (СЗЗ) очистных сооружений.

Уменьшение границ СЗЗ удалось обеспечить, разместив основные технологические блоки в закрытом здании с сосредоточенным выбросом газовоздушной среды.

Согласно нормативной документации, были определены необходимые параметры для создания микроклимата в производственных и административно-бытовых помещениях.

Расчет кратности воздуха в помещениях очистных сооружений канализационных вод был выполнен согласно нормативной документации, на ассимиляцию влаговыделений с открытой водной поверхности сооружений.

В таблице 1 приведены основные расчетные параметры приточно-вытяжной вентиляции в помещениях биологической очистки сточных вод и ВРУ.

Таблица 1. **Воздухообмены в основных помещениях**

Наименование помещений	Температура в помещении, °С	Объем, $м^3$	Расход приточного воздуха, $м^3$/час	Расход вытяжного воздуха, $м^3$/час
Помещение технологических емкостей первой линии	12	7599,9	8550	11315
Помещение технологических емкостей второй линии	12	7599,9	8550	11315
Электрощитовая	21	107,3	320	320

По результатам расчетных данных, был выполнен подбор оборудования инжиниринговой компании NED, отвечающего всем необходимым техническим требованиям.

При производстве строительно-монтажных работ были допущены серьезные нарушения, которые привели к нарушению работы систем вентиляции, основными из которых были:

– не было обеспечено проектное выполнение герметизации технологических помещений;

– отсутствовало подключение приточного вентилятора приточно-вытяжной установки, обслуживающей ВРУ;

– нарушение герметичности воздуховодов;

– не была выполнена комплексная наладка всех систем очистной станции.

После приема сточных вод на очистные сооружения были отмечены

отказы в работе электрооборудования. Последующие замеры газовоздушной среды показали присутствие сероводорода. Наиболее значительное присутствие сероводорода было отмечено в помещении технологических емкостей. Замеры в зоне первичных отстойников показали концентрацию сероводорода равной 21 мг/м^3, при предельно-допустимой концентрации (ПДК) в воздухе рабочей зоны – 10 мг/м^3.

Наиболее уязвимым помещением является вводное распределительное устройство (ВРУ) из-за высокой чувствительности токопроводящих элементов на концентрацию сероводорода в воздухе рабочей зоны. Было принято решение изучить состав газовоздушной среды в помещениях биологической очистки сточных вод – источника поступления сероводорода и помещения ВРУ.

При выполнении систематических замеров состояния газовоздушной среды в помещении ВРУ очистных сооружений, было отмечено постоянное присутствие сероводорода (табл. 2).

Таблица 2. **Концентрация сероводорода без приточной вентиляции в помещении ВРУ**

Дата анализа	20.04.22	27.04.22	04.05.22	11.05.22	18.05.22
Концентрация, мг/м^3	8,2	8,3	7,9	7,5	8,1

Рисунок 1. **Образование коррозии на поверхности медных пластин пускателя КНС**

Рисунок 2. **Образование коррозии на поверхности медных пластин автоматов панели ВРУ со следами возгорания**

Несмотря на то, что среднее значение концентрации сероводорода в рабочей зоне составляло 8 мг/м^3 и не превышало максимально допустимого значения концентрации в 10 мг/м^3, было отмечено развитие коррозионных процессов токопроводящих элементов электрооборудования, в устройстве которого присутствует медь (рис. 1).

Из-за увеличения сопротивления токопроводящих элементов повышалась температура в местах соединений и контактных устройств, что приводило к срабатыванию защитных устройств и отключению технологического оборудования. Дальнейшее развитие негативных процессов может привести к выгоранию токопроводящих элементов, как показано на рисунке 2.

В результате наладки проектного режима работы систем вентиляции и установки дополнительных вытяжных вентиляторов в помещениях технологических емкостей было обеспечено существенное снижение содержания сероводорода в помещениях станции.

Замеры газовоздушной среды в помещении ВРУ показали снижение концентрации сероводорода до 0,1 мг/м^3.

По итогам полученных данных следует сделать следующие выводы:

- при разработке систем вентиляции очистных вооружений необходимо помимо требований нормативных документов производить расчет на уменьшение концентрации вредных веществ в газовоздушной среде;
- системы вентиляции и кондиционирования следует предусматривать из коррозионностойких материалов;
- основное электрооборудование следует устанавливать по возможности вне помещений очистных сооружений, либо размещать в чистой зоне с подачей наружного воздуха под избыточным давлением;
- обеспечивать выполнение пусконаладочных работ систем вентиляции в полном объеме.

УДК 543.3: 628.16

НАИЛУЧШИЕ И ДОСТУПНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ДОСТИЖЕНИИ ЦЕЛИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ «ЧИСТАЯ ВОДА И САНИТАРИЯ» ООН»

И.А. Абросимова, А.Б. Семенов
Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия
А.И. Мохов
Совет по экологическому строительству, г. Москва, Россия

Предложена композиционная модель для оценки показателей доступности НДТ при нормативной модели с целью принятия технологического решения улучшения степени очистки сточных вод.

В настоящий момент Правительство Российской Федерации уделяет особое внимание очистке сточных после их использования, а также ищет способы по их повторному использованию. Бюро НДТ в 2015 году утвердило и ввело в пользование Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям «Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов».

Несмотря на хорошее нормативное обеспечение технологий очистки сточных вод, возникает вопрос – как определить доступность технологий и выбрать наилучшую для очистки данного вида воды.

В настоящее время любое современное здание представляет собой комплексную систему, который состоит из нескольких информационных и эксплуатационных слоев (рис. 1)

Рисунок 1. **Инфографическая модель комплексного объекта строительства**

Опишем модель комплексный объект переустройства (КОП). Здание, сооружение имеет собственную придомовую территорию (слой 1) и подключено к инженерным коммуникациям (слой 2), поставляющим зданию, сооружению (слой 3) ресурс для функционирования. С другой стороны, в здание, сооружение включено оборудование (слой 5), преобразующее поступивший ресурс в эксплуатационные услуги (слой 6). Причем качество преобразования существенно зависит от используемой технологической платформы (слой 4), а само преобразование формирует услуги (традиционные и альтернативные) для потребителей. Причем

автоматизированные системы являются основой технологической платформы здания (слой 4).

Таким образом, каждый верхний слой системного объекта организует функционирование ниже расположенного слоя, формируя условия, необходимые потребителю услуг здания для его деятельности и жизнедеятельности. Изменения, возникающие в каждом из слоев и оформленные соответствующими организационно-технологическими решениями, могут быть представлены как формирование эксплуатационного качества. Заметим, что в современном строительстве важным становится элемент КОП «Технологическая платформа», сопровождающий функционирование здания технологиями обработки поставляемого в это здание ресурса. Автоматизированные системы при этом обеспечивают функциональные изменения в здании, сооружении. Каждый из слоев комплексного объекта переустройства представляет собой «комплексную систему», являющуюся результатом комплексного объединения систем, повышающим функциональный ресурс этих систем, а также, использующая этот ресурс для достижения своих целей (целей потребителя). Под функциональным ресурсом системы будем понимать совокупность материальных, энергетических, информационных и других запасов, предназначенных для выполнения функции и включенных в состав системы.

Интеграция автоматизированных систем в здании или сооружении может принимать разнообразные формы, отсюда много форм реализуемых интеллектуальных зданий, создаваемых системными интеграторами. Системная интеграция с автоматизированными системами осуществляется с использованием следующих методологических принципов: системного единства, развития, комплексности, информационного единства, совместимости, инвариантности. При этом автоматизированная система управления производством и здание с автоматизированными системами (АС) поддерживают соответствующие процессы функционирования и управления, как показано на рисунке 2.

Модель на рисунке 2 иллюстрирует объединение АС в специализированное интеллектуальное здание[1], для случая, когда функционирование и управление поддерживаются АС независимо друг от друга.

Для комплексной и эффективной работы здания необходимо подобрать наилучшие доступные технологии, касаемо инженерных систем,

[1]Специализированное интеллектуальное здание (по Мохову А.И. 2003г.) - это строение, содержащее систему организационно-технических модулей, объединенную электрической сетью, формирующую связь потребителей услуг и обслуживающего персонала с исполнительными механизмами инженерного и прочего обеспечения строения, управляющую изменением потребительских характеристик строения в процессе эксплуатации и реализации услуг.

связанных с водоотведением. Авторы предлагают применить двухуровневую композиционную модель по определению «доступной» технологии.

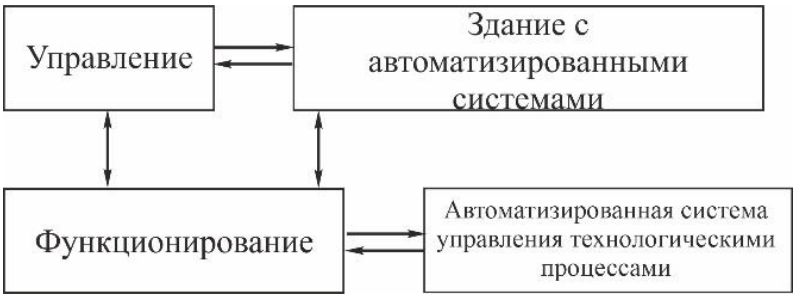


Рисунок 2. **Комплексное интеллектуальное здание**

Для определения критерия «доступности» была произведена выборка среди параметров, которыми руководствуются предприятия после принятия решения о внедрении новой технологии. Согласной данной выборке, удалось получить математическое выражение критерия «доступности» (Д), по которому происходит отбор наилучшей доступной технологии (НДТ) с применением интеллектуального анализа, формируется следующими показателями:

$$\int f(а \dots з) dS \rightarrow max$$

где а – исходная информация о характеристиках; б – требования к строительным решениям и конструкциями зданий и сооружений; в– анализ соответствия нормативным требованиям; г – оценка факторов окружающей среды (не связанные с водой факторы качества); д – экономическая оценка; е – оценка технических факторов; ж – дополнительные требования в особых природных и климатических условиях; з – уровень автоматизации и цифровизации систем и оборудования.

Совокупность критериев доступности удобнее представлять на композиционной модели (рис. 3) описания НДТ набором показателей доступности, которые были взяты из Справочника по НДТ. Описывая данную модель, мы видим, что внешняя сторона модели описывает «идеальную комбинацию параметров» – эталонная модель, внутренняя фигура (отмеченная штриховкой) отражает нормативные параметры по каждой конкретной технологии. Ввод данного аппарата позволяет произвести ранжирование задач, связанных с определением «доступной» технологии. Новизной данного предложения является переход на двухуровневую градацию, позволяющий в рамках интеллектуального анализа выбрать наиболее доступную для проекта технологию.

Критерий «доступность» НДТ характеризуется тремя состояниями показателей:

- показатели стремятся к нулю;
- показатели стремятся к максимуму;
- показатели стремятся к какому-либо промежуточному состоянию.

Действующая модель строительства в описании НДТ имеет различное качество доступности конкретных показателей, причем количественная оценка качества каждого из показателей может быть представлена длиной отрезка на соответствующих векторах внутри окружности, представляющей собой приведенные к единице нормы эталонной модели строительства для каждого показателя.

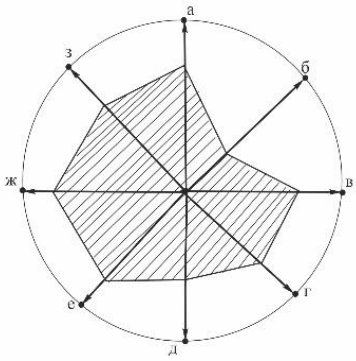


Рисунок 3. **Композиционная модель для оценки показателей доступности НДТ при нормативной модели**

Заметим, что только при достижении указанного норматива качества можно судить об эффективности различных НДТ по критерию их доступности. Если же НДТ № 1 не достигла заданного норматива качества или ее показатели хуже, чем у НДТ № 2, но при этом НДТ № 1 имеет лучший показатель степени использования резервов доступности, по сравнению с показателем НДТ № 2, то эффективность НДТ № 1 следует считать ниже эффективности НДТ № 2.

Применение данной модели поможет сократить время на принятие технологического решения и повысить методы очистки сточных вод в каждом конкретном и индивидуальном случае.

ЛИТЕРАТУРА

1. Продоус О.А., Шлычков Д.И., Абросимова И.А. Обоснование необходимости проведения гидродинамической очистки самотечных сетей водоотведения // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. № 1. С. 106–114.
2. Мохов А.И., Абросимова И.А. «Зеленое» строительное переустойство зданий, сооружений // В сборнике: Зелёные технологии в жизненном цикле зданий и сооружений, сборник докладов научно-технического семинара. Москва, 2022. С. 94–102.
3. Абросимова И.А. Обоснование доступности технологий при «допроектировании» зданий и сооружений // В сборнике: Зелёные технологии в жизненном цикле зданий и сооружений, сборник материалов Всероссийской конференции. Москва, 2022. С. 6–14.

УДК 627.8.03

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ГИБКИХ ВОДОПРОВОДЯЩИХ (ДЕРИВАЦИОННЫХ) СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ УСЛОВИЙ ВОДОСНАБЖЕНИЯ В ГОРНЫХ И ПРЕДГОРНЫХ УСЛОВИЯХ

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

В статье рассматриваются вопросы обоснования материалов и способов прокладки деривационного водовода в сложных условиях горной и предгорной местности.

Строительство в горных условиях водопроводящих (деривационных) сооружений для водоснабжения хозяйственных объектов, в том числе гидроэлектростанций сопряжены со значительными трудностями, связанными с опасными геологическими и метеорологическими явлениями, отсутствием дорожной инфраструктуры по трассе водовода.

Наиболее надежным при таких условиях будет использование для деривации участков тоннелей с прокладкой стальных трубопроводов. Однако, они будут экономически неоправданными, как и подземная прокладка трубопровода в скальных и полускальных грунтах из-за значительных капитальных затрат, необходимости использования дополнительной дорожной инфраструктуры и тяжелой строительной техники, а также сооружений инженерной защиты.

Альтернативой является наружная прокладка трубопроводов, осуществляемая за счет стальных, полиэтиленовых и стекловолоконных трубопроводов. При данном виде прокладки необходимо устройство полок для прокладки и закрепления водоводов, устройство различных видов опор, в том числе компенсирующих температурные воздействия и смещения, а также устройств гашения гидравлического удара. Также при наземной прокладке требуется защита трубопровода теплоизоляционными материалами для предотвращения замерзания транспортируемого вещества при отрицательных температурах воздуха и нагрева стенок труб при воздействии солнечной радиации и повышенных температур воздуха [1–2].

Основные воздействия на водопроводящие сооружения надземной прокладкой для горных и предгорных условий приведены на рисунке 1.

Наибольшие затраты на теплоизоляционные материалы затрачиваются на: стальные трубопроводы, теплопроводность материала которых составляет 58 Вт/(м×°С), на втором месте по затратам полиэтиленовые 0,36 – 0,43 Вт/(м×°С), а на третьем – стекловолоконные 0,25 – 0,33 Вт/(м×°С), Также, если для стальных трубопроводов наиболее

важной проблемой является противокоррозионная защита, то для полиэтиленовых и стекловолоконных труб – воздействие солнечной радиации и ультрафиолетовых лучей, которые подвергают полиэтилен и стекловолокно фотодеструкции, поэтому в качестве стабилизаторов используются производные бензофенов и сажа. Водопроводящие сооружения из стали имеют наибольший вес и модуль упругости, теплопроводность, коэффициент гидравлического сопротивления по сравнению с другими материалами.

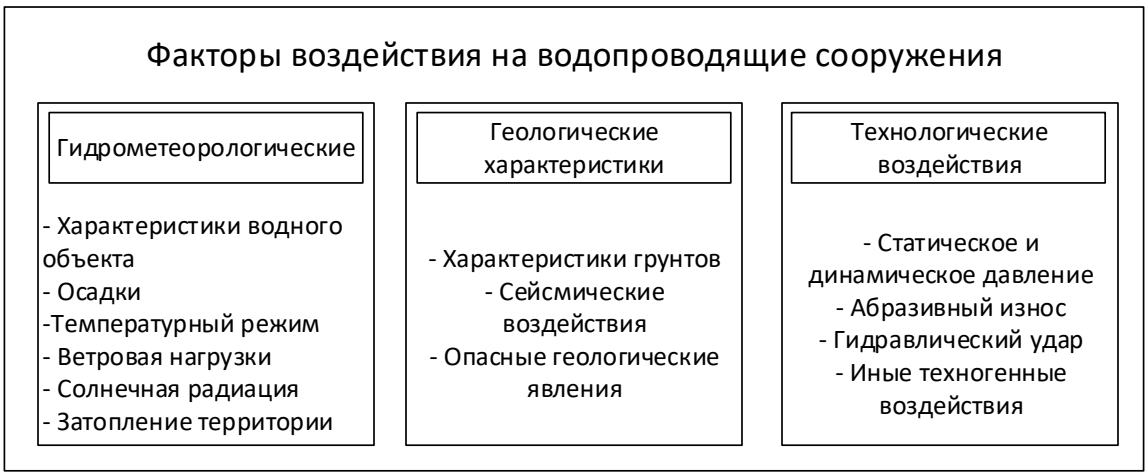


Рисунок 1. **Воздействие на водопроводящие сооружения**

Рассмотрим сравнительные характеристики существующих трубопроводов из традиционных материалов: холоднокатаной стали, и стекловолокна (рис. 2).

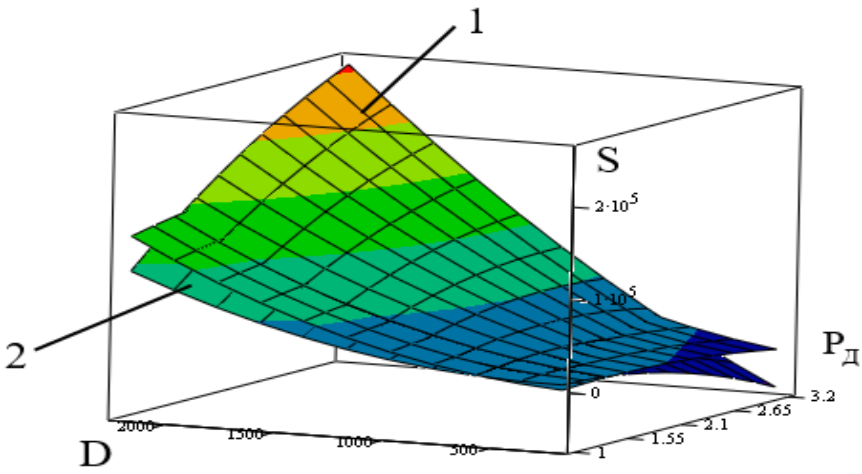


Рисунок 2. **Характеристики стальных и стекловолоконных водоводов в зависимости от диаметра *D* [мм] стоимостных *S* [п. м] рабочего допустимого давления, диапазонов рабочего допустимого давления $P_д$[Мпа] и диаметров трубопроводов стальных (1) и стекловолоконных водоводов (2)**

При диаметрах более 500 мм преимущество имеют стекловолоконные водоводы, их отрицательные свойства – малое сопротивление изгибным усилиям, требования к компенсаторам, дополнительная арматура на участках поворотов.

В связи с этим одной из альтернатив является устройство гибкого водовода, устройство которого исключает значительных работ по прокладке и демонтажу сооружений, а также при обеспечении необходимого скоростного режима нарушения работы в зимний период. В связи с этим нами были запланированы экспериментальные и натурные исследования гибких водоводов, изготовленных из ПВХ ткани для применения на труднодоступных участках со сложным рельефом.

Для испытаний участков водопроводящих сооружения создан лабораторный стенд, представленной на рисунке 3.

Лабораторный стенд обеспечивает исследование гибких водоводов из композитных материалов, а также швов и соединений при различных значениях давлений, задаваемых компрессором и насосом под давлением от 100 до 1216 кПа, что позволило определить надежность материала трубопровода и его соединений посредством сварных и клеевых соединений (рис. 3). Выявлено надежное функционирование водовода из полимерных (композитных) материалов [3–5].

Например, при исследовании гибкого участка водовода из материала Unisol 900, соединенного сварным швом обеспечивалось рабочее давление 520 кПа (рис. 4).

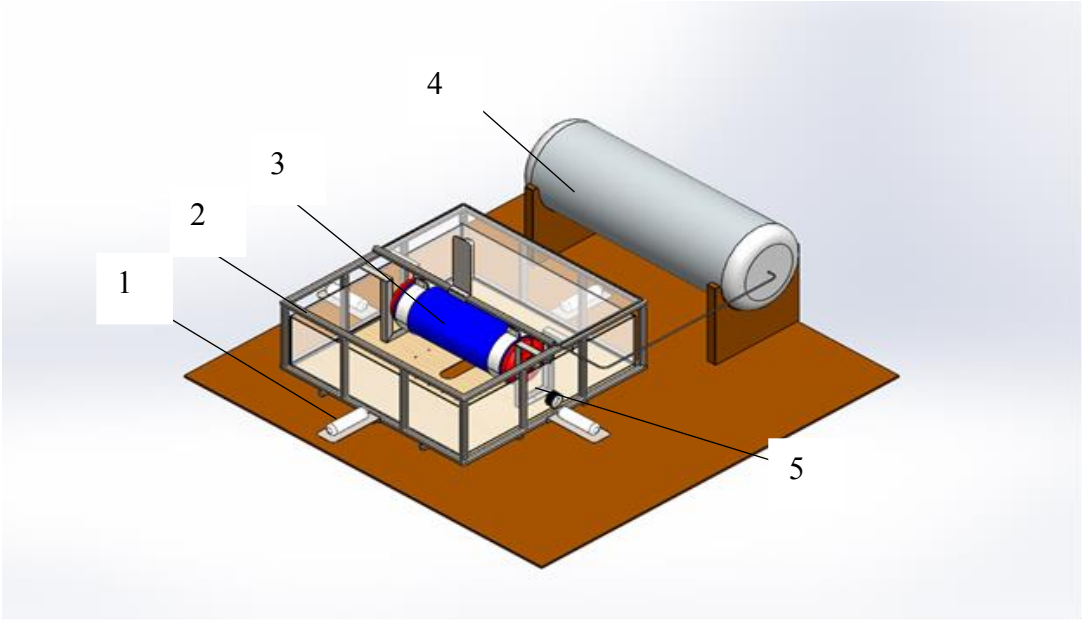


Рисунок 3. **Установка для испытаний композитных материалов водопроводящих сооружений:**
1 – видеокамера; 2 –ограждение из оргстекла;
3 – оболочка, 4 – компрессор

Испытания гибкого водовода на экспериментальной установке.

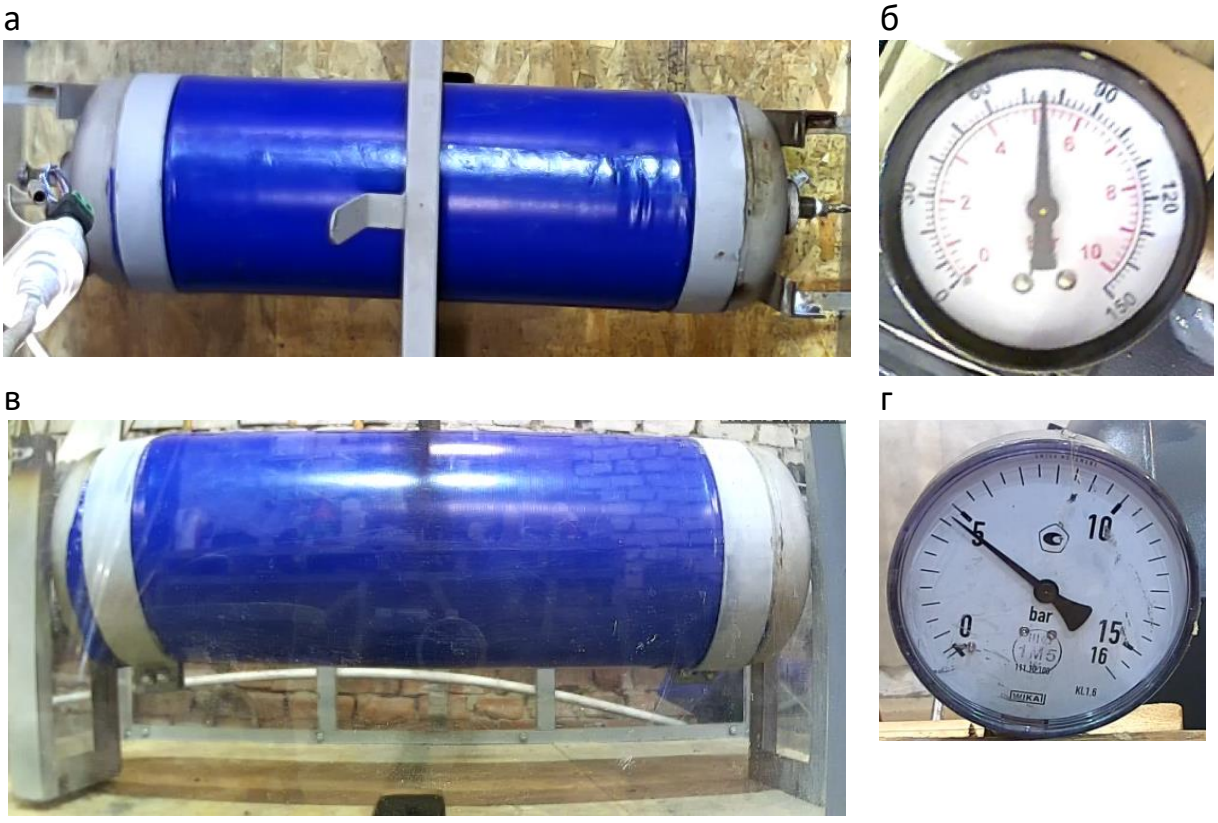


Рисунок 4. **Экспериментальный образец деривационного водовода под давление 520 кПа:**
а) экспериментальный образец вид сверху;
б) показания манометров на входе в экспериментальный образец;
в) экспериментальный образец вид сбоку;
г) показания манометра на выходе из экспериментального образца

Дальнейшие исследования проводились на базе лабораторного комплекса, представленного на рисунке 5. Лабораторный комплекс включал в себя напорный бассейн и участки водовода из стальных и гибких труб. Гибкий участок водовода был выполнен из материала Unisol 900. Его эксплуатация проводилась как в зимний, так и летний периоды.

Было определено, что наиболее рациональным является применение водовода в диапазоне диаметров от 600 до 1200 мм при напорах до (50…60) м мобильные водопроводящие сооружения включают гибкие, в том числе на водонаполняемом или грунтонаполняемом основании. При напорах более 100 м рекомендуется использовать трубы из жёстких материалов.

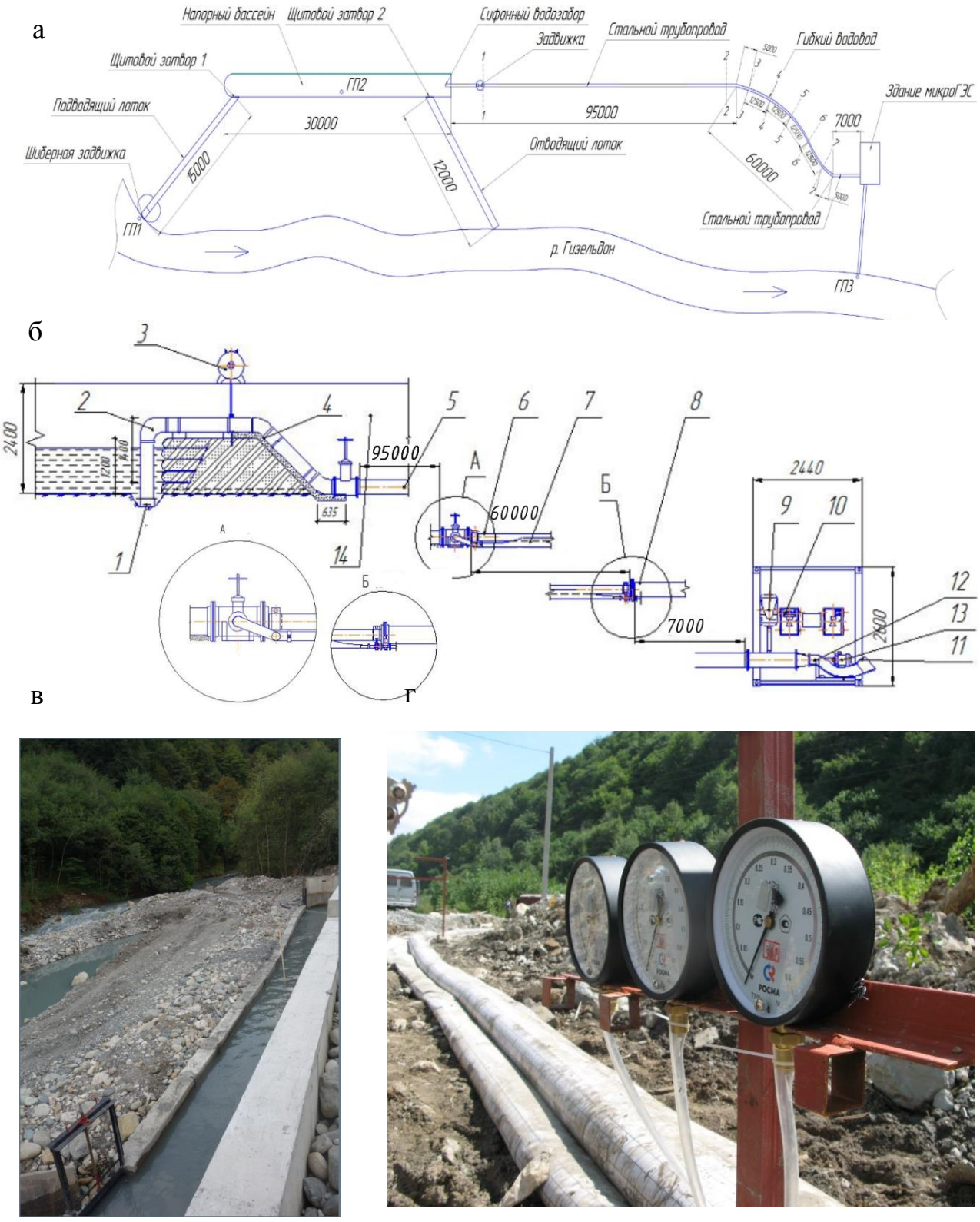


Рисунок 5. **Лабораторный комплекс на р. Гизельдон (Республика Северная Осетия (Алания)):**
а – схема лабораторного комплекса; б – поперечное сечение по оси водоподпорных и водопроводящих сооружений; в – напорный бассейн; г – участок гибкого водовода диаметром 900 мм

ЛИТЕРАТУРА

1. Анализ существующих технических решений, технологий и расчетных положений по децентрализованному и резервному водо- и энергоснабжению объектов рекреации в условиях южного региона Российской Федерации [Текст]: отчет о НИР (промежуточный этап №1) / Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова»; рук. Кашарин Д.В. – Новочеркасск, 2018. – 595 с. № 13.1236.2017/ПЧ.
2. Кашарин Д.В. Мобильные гидроэнергетические сооружения из композитных материалов. // Мелиорация и водное хозяйство. 2007. № 4. С. 45-46.
3. Устройство составного мобильного деривационного водовода и способ его возведения. Патент РФ № 2 667 080
4. Кашарин Д.В., Годин М.А. Область применения и обоснование параметров мобильных микроГЭС рукавного типа для малых водотоков / Д.В. Кашарин, М.А. Годин // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2010. № 20. С. 142–148.
5. Кашарин Д.В. Защитные инженерные сооружения из композитных материалов в водохозяйственном строительстве: монография. – Новочеркасск: Изд-во Политехник, 2012. 323 с.

УДК 628.144

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ СЕТИ ВОДОСНАБЖЕНИЯ КРУПНОГО ГОРОДА

Ю. В. Гостева, Г. С. Турчина
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
г. Макеевка, Россия

В статье представлены результаты исследования работы водопроводной сети города Макеевки. Выполнен анализ отказов на сети в Советском районе города на основании изучения статистических данных о ремонтно-восстановительных работах за период 2018 – 2020 гг. по следующим параметрам: тип аварий, причины их появления, место их возникновения, диаметр и материал трубопроводов, на которых произошли неисправности. На основании исследования представлены фактические количественные данные по каждому из вышеуказанных параметров, что позволяет сделать выводы о распределении отказов на сети водоснабжения района.

Водопроводные сети – достаточно важная и капиталоёмкая часть системы водоснабжения. Одним из основных требований, которые

предъявляются к водопроводу, является беспрерывная подача воды к потребителям при условии обеспечения требуемых расходов и напоров подаваемой воды. Однако даже при условии применения мер для обеспечения бесперебойности, не исключается возможность появления аварий на водопроводных линиях, прежде всего по причине длительного срока эксплуатации. Поэтому возникает необходимость в количественном анализе вероятности появления аварий и в оценке надежности водопроводных сетей в целом.

Вопросы надежности систем водоснабжения рассмотрены в работах ряда ученых, в частности, Макогонова В.С., Ильина Ю.А., Ромейко В.С., Гальперина Е. М. и др. [1–6]. Расчет таких показателей надежности, как интенсивности отказов и восстановления, основывался на проведенном статистическом анализе фактических данных по отказам и восстановлениям систем водоснабжения из разных материалов.

Следует отметить, что под аварией или отказом линейной части трубопроводов имеется в виду остановка или снижение подачи по трубопроводу из-за нарушения герметичности линейной части и вызванного этим отключения одного из участков сети для выполнения ремонтных работ [7]. Кроме этого, утечки также как и аварии, учитываются при расчете показателей надежности водопроводной сети.

На основании данных журналов учета проведения ремонтно-восстановительных работ сетей водоснабжения Макеевского ПУВКХ КП «Компания «Вода Донбасса», было проведено исследование отказов на водопроводных сетях Советского района города Макеевки. За период с 2018 по 2020 год в этом районе было выполнено 3522 ремонтно-восстановительные работы, анализ которых проводился по нескольким параметрам. Во-первых, учитывалось место возникновения аварии: в водопроводном колодце или непосредственно на сети. Во-вторых, рассматривалась причина аварии: износ оборудования, коррозия или перелом труб. Кроме этого, был выполнен анализ количества аварий в зависимости от диаметра и материала труб и запорно-регулирующей и водоразборной арматуры. Отметим, что общая протяженность водопроводной сети города составляет 1562 км, длина сети в пределах Советского района насчитывает 505,6 км.

Ранее авторами Наймановым А.Я и Турчиной Г.С. [8] был проведен аналогичный анализ аварийности водопроводной сети Центрально-Городского района г. Макеевки. В таблице 1 в качестве сравнения приведены данные о количестве отказов, как в водопроводных колодцах, так и непосредственно на линейной части сети с 2018 по 2020 гг.

Важно отметить, что аварии, произошедшие по причинам неисправности задвижек, пожарных гидрантов, водоразборных колонок, колодцев и т.д., не учитываются при расчете показателей надежности трубопроводов [9].

Таблица 1. **Количество аварий (отказов) на водопроводных сетях г. Макеевки**

№ п/п	Название района	Количество аварий (отказов) на водопроводной сети, шт.					
		в колодцах			на линейной части		
		2018 г.	2019 г.	2020 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.
1	Советский	476	411	372	867	694	702
2	Центрально-Городской	601	569	527	650	714	663
	Итого:	1077	980	899	1517	1408	1365

Согласно исследованию, соотношение количества ремонтов, проводимых в колодцах и на линейной части сети в Советском районе составляет соответственно 35,4 % и 64,6 % – в 2018 г., 37,2 % и 62,8 % – в 2019 г., 34,6 % и 65,4 % – в 2020 г.

Основные причины, указанные в журналах ремонтно-восстановительных работ, и по которым произошло отключение или снижение подачи воды на сети: коррозия, износ элементов сети (например, составных частей задвижек, пожарных гидрантов, вантузов, нарушение сварочного шва на стыке труб и т.д.), восстановительные работы, проводимые по иным причинам, например, из-за перелома труб, поиска скрытых утечек, отключения или подключения отдельных зданий и пр. Распределение отказов по указанным причинам представлены в таблице 2.

Таблица 2. **Количество аварий на водопроводной сети Советского района г. Макеевки за 2018-2020 гг. в зависимости от причины ее возникновения**

Причина неисправности	Количество отказов		
	2018 г.	2019 г.	2020 г.
Коррозия	899	780	673
Износ	410	301	392
Перелом	17	13	2
Прочее	17	11	7
Всего	1343	1105	1074

Распределение видов аварий, произошедших на водопроводной сети, представлено на рисунке 1. На основании этих данных можно отметить, что наибольшее количество отказов приходится на аварии, произошедшие непосредственно на трубопроводах.

Также следует отметить, что общее количество аварий на водопроводной сети Советского района в зависимости, как от материала, так и от диаметра, значительно отличается. Согласно журналам ремонтно-восстановительных работ, имели место три вида материалов труб: сталь, чугун и пластик. На основании рисунка 2 можно заметить, что наибольшее число отказов приходится на стальные трубы.

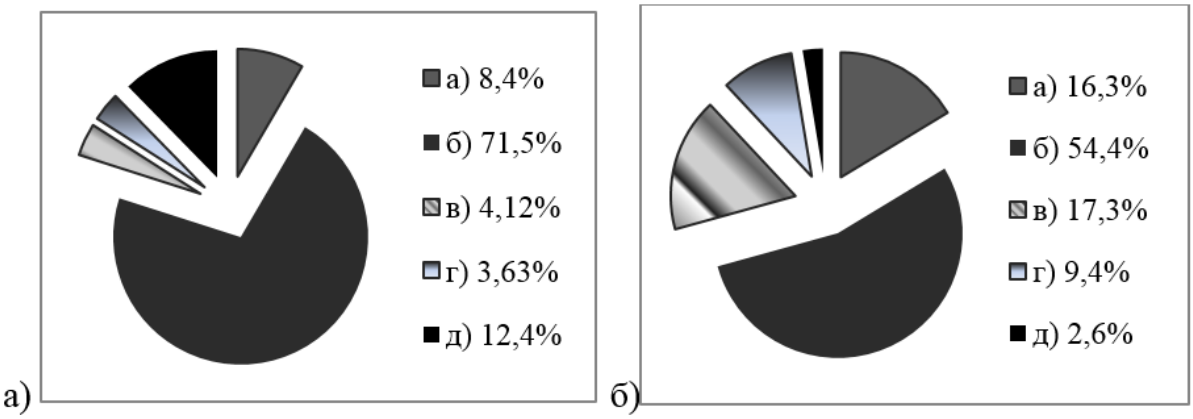


Рисунок 1. **Распределение видов аварий на водопроводной сети Советского (а) и Центрально-Городского (б) районов г. Макеевки за 2018-2020 гг.:**
а) повреждение стыка труб; б) порывы на сети;
в) неисправность задвижек; г) неисправность пожарных гидрантов; д) прочее

Тем не менее, следует учесть, что большая часть трубопроводов сети в Советском районе изначально была выполнена из стали, а учитывая длительный срок эксплуатации данных труб и наибольшую подверженность коррозии по сравнению с чугунными и пластиковыми, такие результаты вполне очевидны.

Что же касается распределения отказов в зависимости от диаметра, то можно отметить, что основное количество повреждений трубопроводов приходится на стальные трубопроводы диаметром 100 – 150 мм (табл. 3).

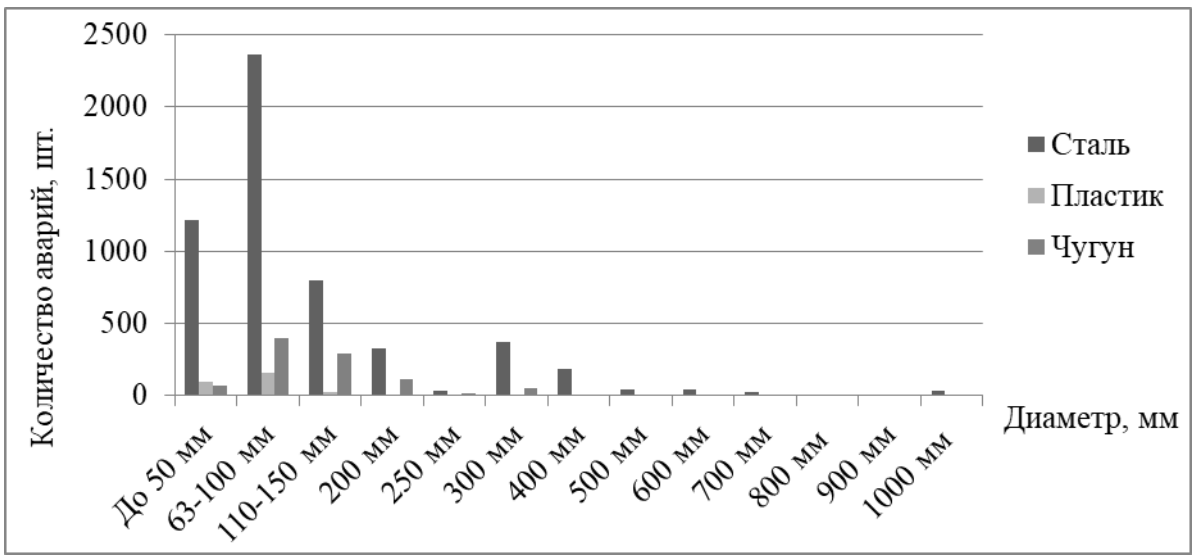


Рисунок 2. **Распределение числа отказов трубопроводов в зависимости от материала**

Также стоит отметить, что общая длина замененных (вновь проложенных) труб в Советском районе составила около 7966 м: 825,5 м – в 2018 г., 4654,5 м – в 2019 г., 2485,3 м – в 2020 г.

Таблица 3. **Распределение отказов по диаметрам труб в Советском районе г. Макеевки за 2018-2020 гг.**

Диаметр, мм	Материал трубопровода		
	Сталь	Чугун	Пластик
До 50	803	25	57
63–100	1255	207	72
110–150	131	100	6
200	65	46	0
250	26	16	0
300	77	3	0
350	29	20	0
400	94	2	0
500	22	0	0
530–550	13	0	0
600	9	0	0
700–900	0	0	0
1000	19	0	0

Согласно исследованию, отказы на линейной части сети составили около 64 % от общего объема всех аварий, при этом 67 % отказов произошли по причине коррозии. Необходимо отметить, что, несмотря на достаточно тщательный учет и устранение даже небольших аварий, потери воды все же остаются достаточно высокими. Значительная часть утечек, очевидно, является скрытой – не проявляется на поверхности земли.

Рассматривая ситуацию в общем, можно отметить стабильность количества повреждений по годам и прогнозировать достаточно устойчивую работу сети при нынешней организации ремонтно-восстановительных работ еще до 10 лет. Но при этом обязательна замена наиболее изношенных трубопроводов, особенно малых диаметров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ильин Ю.А. Расчет надежности подачи воды: научное издание. М.: Стройиздат, 1987. 320 с.
2. Ромейко В.С. Защита трубопроводов от коррозии / В.С. Ромейко, В.Г. Баталов, В.Е. Бухин [и др.]; Под. ред. В.С. Ромейко. М.: ООО Издательство ВНИИМП, 2002. 218 с.
3. Макогонов В.С. Исследование надежности водопроводных сетей: Дис…канд. техн. наук: 05.23.04. М., 1972. 146 с.
4. Гальперин Е.М. Расчет кольцевых водопроводных сетей с учетом надежности функционирования. Саратов: Изд-во Саратовского гос. ун-та, 1989. 104 с.
5. Фам Х.Х. Совершенствование обеспечения потребителей водой с учетом надежности водопроводных систем подачи и распределения воды в условиях Вьетнама: Дис … канд. техн. наук: 05.23.04. Защищена

01.12.2015. – М., 2015. 125 с.
6. Aklog D. Reliability-based optimal design of water distribution networks / D. Aklog, Y. Hosoi. // Water Science and Technology: Water Supply. – London : IWA Publishing. 2003. С. 11–18.
7. Ясин Э.М. Надежность магистральных трубопроводов / Э.М. Ясин, В.Л. Березин, К.Е. Ращепкин. – М.: изд-во «Недра», 1972. 184 с.
8. Найманов А.Я. Обзор состояния сети водоснабжения района г. Макеевки на основе анализа ремонтно-восстановительных работ / А.Я. Найманов, Г.С. Турчина. // Инженерные системы и техногенная безопасность / Вестник ДОННАСА. 2021. Вып. 2021-5(151). С. 73–77.
9. Гостева Ю.В. Сравнительный анализ эксплуатационных и расчетных характеристик надежности водопроводных сетей // Вестник Одесской государственной академии строительства и архитектуры. 2011. Вып. № 44 С. 62–66.

УДК 628.19

ПРИМЕНЕНИЕ «СЕРОЙ» ВОДЫ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ НЕПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

О.В. Янцен
ООО «ВТ Эксперт», г. Москва, Россия
Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, г. Москва, Россия
Е.С. Гогина
Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, г. Москва, Россия
К.Г. Колосова
ООО «ВТ Эксперт», г. Москва, Россия
Е.В. Спасибо
НИИСФ РААСН, г. Москва, Россия

Несмотря на значительный объем запаса пресной воды в Российской Федерации, в некоторых регионах имеются серьезные проблемы с водоснабжением в силу недостаточности водных ресурсов, кроме того, в современной жилой застройке с преобладанием непроницаемой для воды поверхности водосбора отсутствуют условия для восполнения запасов подземных вод. Следовательно, водосберегающие технологии приобретают здесь чрезвычайно большое значение.

В статье представлены результаты исследований различных источников «серой» воды. Предложены наиболее подходящие для повторного применения источники.

В современном мире наиболее актуальной является задача сохранения ресурсов, а один из наиболее значимых ресурсов в жизни человека – вода. И несмотря на свою кажущуюся простоту, доступ к чистой и безопасной воде не имеет 26 % населения Земли

Конечно, в первую очередь отсутствие доступа к воде характерно для беднейших развивающихся стран. С другой стороны, население в развитых странах сталкивается с проблемой высокой стоимости чистой воды, из-за чего вода становится дорогим ресурсом, который необходимо экономить и по возможности использовать повторно. По этой причине во многих странах (США, Японии и многих европейских странах) вопросом сохранения и бережного отношения к воде занимаются давно и понятие «серая вода» наиболее изучено именно в этих странах, однако в русскоязычной литературе встречается мало данных об исследованиях в этой области.

В первую очередь следует определить термин «техническая вода». Определение технической воды отражено в пояснениях к ГОСТ 17.1.1.04-80 [1]:

Вода техническая – вода, кроме питьевой, минеральной и промышленной, пригодная для использования в народном хозяйстве.

ГОСТ 17.1.1.04-80 [1] прямо не определяет показатели технической воды, следует отметить, что техническая вода в России до сих пор не нормируется единым руководящим документом. Это вызвано тем, что в настоящее время существует два различных вида нормирования: это нормирование по группе физико-химических показателей и по модели состава (свойствам).

Следовательно, термин «техническая вода» целесообразно отнести к не питьевой воде, используемой в технических и хозяйственных целях. В конкретных же случаях в расчет берутся не общие значения, а группа необходимых показателей и свойств.

Техническая вода (a. service water; н. gewerbliches Wasser; ф. eaux industrielles, eaux de consommation; и. aguas tecnicas, aguas industriales) – вода, пригодная по содержанию примесей (твёрдых взвесей, эмульсий и растворённых веществ) для использования в технологические процессах, но непригодная для питья.

В технической воде в зависимости от направления ее использования может регламентироваться содержание некоторых примесей, например, твёрдых взвешенных веществ, солей жёсткости, pH и других.

В качестве технической воды могут быть использованы различные источники:

- дождевая (талая) вода, собранная в специальной аккумулирующей емкости, прошедшая очистку и обеззараживание;
- так называемая «серая» вода хозяйственно-бытового происхождения, характеризующаяся малым количеством загрязнений, и прошедшая стадии очистки и обеззараживания;
- конденсат образующийся при работе кондиционера

Серая вода – вода, характеризующаяся малым количеством загрязнений, прошедшая стадии очистки и обеззараживания и пригодная для повторного использования в системах водоснабжения для целей не питьевого использования (на полив и для подачи в унитазы и писсуары).

Таким образом, актуальной задачей является проведение собственных исследований количественного и качественного состава «серых» сточных вод для последующего определения возможности их повторного применения.

Первоочередной задачей становится определение характеристик таких стоков, поскольку все качественные характеристики, имеющиеся в настоящее время относятся исключительно к зарубежным исследованиям.

С целью уточнения качественного состава поверхностных сточных вод были проведены лабораторные исследования проб дождевых сточных вод с различных поверхностей водосбора.

Ниже приведены результаты химических анализов для описанных выше категорий «серой» воды.

На рисунке 1 представлен пример точек отбора проб: 1 – кровля зданий и сооружений, 2 – дворовая территория, 3 – дорога с интенсивным движением транспорта. В исследовании участвовали объекты в Москве, расположенные в разных частях города. Отбор проб сточных вод с крыш производился на выпуске из водосточной трубы, отбор проб сточных вод с дорог (дворовая территория, дорога с интенсивным движением транспорта) производился из точек скопления жидкости на территории.

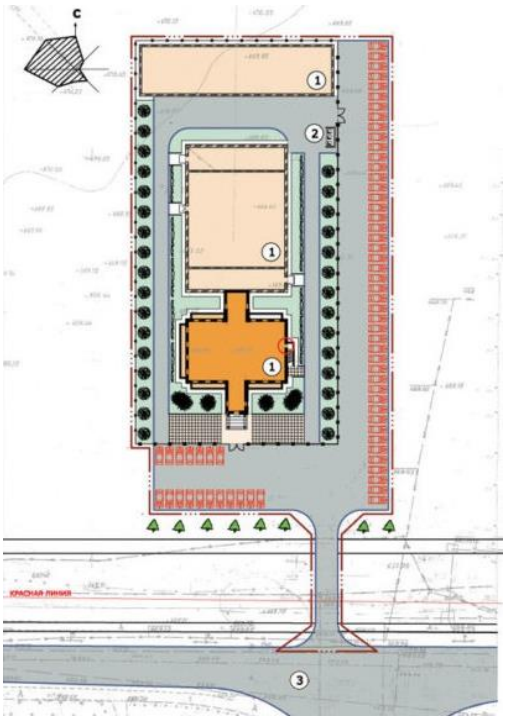


Рисунок 1. **Пример точек отбора проб:**
1 - кровля зданий, 2 – дворовая территория, 3 – дорога с интенсивным движением транспорта

Ниже в таблице 1 представлены средние показатели, полученные в ходе текущего исследования.

Таблица 1. **Средние химические показатели дождевых вод**

Химические показатели, мг/л	Кровля зданий	Дорога	Дворовая территория
Взвешенные вещества	8,67	176,3	355
ХПК	25,9	553,67	289,3
ПАВ	0,5	0,94	1,63
PO4	0,36	0,87	0,7
NH4	0,39	0,32	0,61
NO2	0,05	0,06	0,19
NO3	1,92	0,94	1,33
Нефтепродукты	–	17	23,3

Таблица 2. **Средние санитарно-химические показатели талых вод**

Химические показатели, мг/л	Крыша	Дворовая территория	Дорога	Второстепенная дорога
Взвешенные вещества, мг/л	24	211	215	187
ХПК	26,50	37,6	181	133
NH4	0,504	0,665	0,983	0,448
NO2	0,033	0,031	–	0,101
NO3	1,4	1,3	–	1,0
PO4	1,21	0,253	0,396	0,152
ПАВ	0,217	0,251	0,401	0,451

На рисунке 2 представлена схема разделения серых вод.

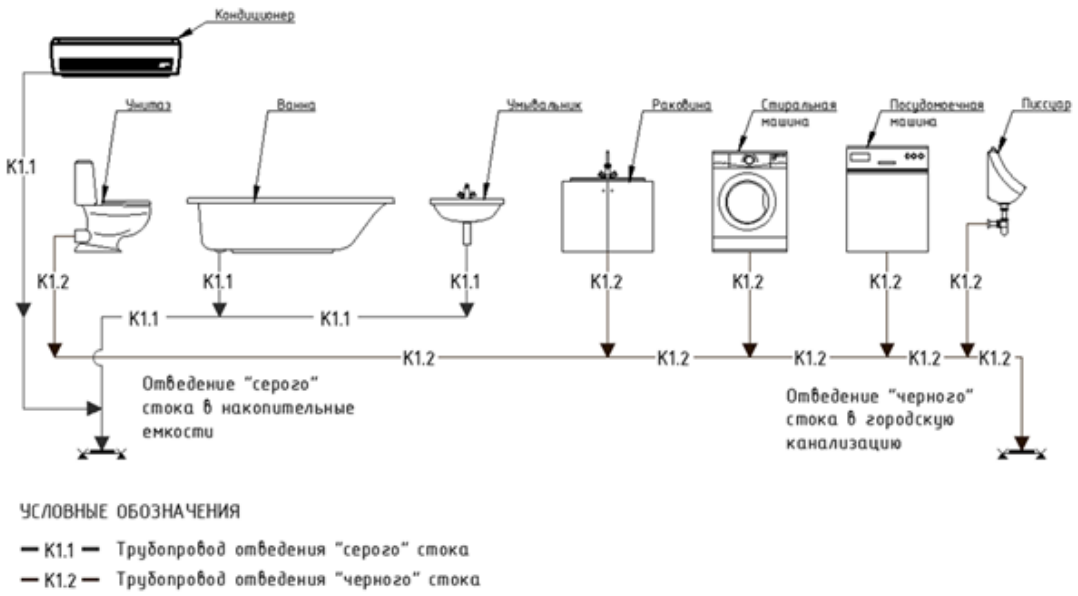


Рисунок 2. **Схема разделения сточных вод на «серый» и «черный» стоки**

Учитывая разность социальных и прочих факторов в различных странах, необходимо провести исследование хозяйственно-бытовой сточной воды в российских условиях. С этой целью были отобраны отдельно стоки с ванной, раковин ванной комнаты, стиральных машин и раковин офисного здания. Отбор проб производился из разных квартир в Москве с использованием различных моющих средств. В таблице 3 приведены средние химические показатели серой воды.

Таблица 3. **Средние химические показатели талых вод**

Химические показатели, мг/л	Ванна	Умывальник	Стиральная машина	Умывальник (офисное здание)	Посудомоечная машина	Кухонная раковина
Взвешенные вещества	7	75,5	207	70	46	44
ХПК	165	273	968,5	178	633	978
БПК5	45,6	19,27	228,4	41,8	252	257
ПАВ	8,19	8,87	8,77	7,02	0,416	0,52
PO4-P	0,02	0,20	0,25	0,10	0,16	0,64
PO4	0,06	0,60	0,78	0,32	0,5	1,77
NH4-N	0,204	0,49	1,6	0,484	0,428	1,79
NH4	0,26	0,63	2,06	0,62	0,55	2,3
Жиры	97	30	более 100	23	более 100	более 100

На основании таблицы 3 можно сделать вывод, что сточные воды ванн, умывальников (в жилых и офисных зданиях) схожи по своему качественному составу и характеризуются невысокими концентрациями загрязняющих веществ. Как и показал анализ литературы, сточные воды от стиральной машины более концентрированные, концентрации по ХПК, БПК и азоту в них в несколько раз выше. Исходя из этого, целесообразно сток от стиральных машин не включать в серые сточные воды и направлять в канализационный коллектор без повторного использования. Кроме того, стоит отметить, что сточные воды умывальников характеризуются меньшими концентрациями аммонийного азота и фосфатов, а сточные воды ванн более низкими концентрациями по всем показателям в сравнении с данными, приведенными в греческом исследовании, что ожидаемо, учитывая европейскую жесткую политику ресурсосбережения.

Дополнительный объем слабозагрязненных сточных вод в здании образуется в виде конденсата от систем кондиционирования воздуха.

Учитывая то, что на сегодняшний день практически каждый офис и множество квартир оборудованы кондиционерами, нельзя пренебрегать данным источником образования сточных вод. Химические показатели конденсата представлены в таблице 4.

Таблица 4. **Химические показатели конденсата**

Химические показатели, мг/л	Конденсат
Взвешенные вещества	12,00
ХПК	179,00
PO4-P	0,02
PO4	0,06
NH4-N	8,43
NH4	10,84
NO2-N	0,58
NO2	2,64
NO3-N	0,82
NO3	3,56

Следует отметить, что концентрации загрязняющих веществ в конденсате могут значительно отличаться. В первую очередь состав конденсата зависит от срока службы кондиционера, а также от концентрации загрязняющих веществ в кондиционируемом воздухе, а значит, напрямую зависит от места установки кондиционера.

ВЫВОДЫ

Потенциал ресурсосбережения зданий за счет повторного использования сточной воды для различных ОКС выражен в возможности:

- снижения диаметров трубопроводов, используемых для транспортировки сточной воды,
- организации равномерного водопотребления с менее выраженными пиковыми часами,
- снижения стоимости водоподготовки за счет уменьшения рисков проскоков неочищенной воды в водоемы.

Внедрение системы повторного использования серой воды приведет к снижению потребности зданий в водопотреблении воды питьевого качества, а также окажет положительное влияние на экосистему водоемов за счет снижения нагрузки на них.

Для повторного использования сточных вод наиболее подходящими являются воды, собранные с кровли зданий:

- использование дождевых сточных вод, собранных с кровли здания возможно после ряда несложных технологических процессов механической очистки;

- перспективной представляется возможность использования «серой» воды в общественных зданиях, таких как офисные и торговые центры, где высока нагрузка на общественные санитарные приборы. Кроме того, целесообразно использование дождевой воды (как наиболее чистого источника «серой» воды) для полива зеленых насаждений, содержание которых относится к зоне ответственности управляющей организации здания;

ЛИТЕРАТУРА

1. UNICEF et al. State of the World's Drinking Water. 2022.
2. ГОСТ 17.1.1.04-80 Охрана природы. Гидросфера. Классификация подземных вод по целям водопользования.
3. D. Ghaitidak и K. Yadav, «Characteristics and treatment of greywater-a review,» Environ. Sci. Pollut. Res, т. 20, pp. 2795–2809., 2013.
4. Antonopoulou G., Kirkou A., Stasinakis A. S. Quantitative and qualitative greywater characterization in Greek households and investigation of their treatment using physicochemical methods // Science of the Total Environment. 2013. T. 454. C. 426–432.
5. Adeniyi IF, Olabanji IO (2005) The physico-chemical and bacteriological quality of rainwater collected over different roofing materials in Ile-Ife, southwestern Nigeria. Chem Ecol 21(3):149–166.
6. F. Li, J. Behrendt, K. Wichmann и R. Otterpohl, «Resources and nutrients oriented greywater treatment for non-potable reuses,» Water Science and Technology, 2008. т. 57 (12), p. 1901–1907.
7. Якушин С.М. Почему мы болеем.. // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2010. №. 7. С. 64–66.
8. Magyar MI, Ladson AR, Diaper C, Mitchell VG (2014) Influence of roofing materials and lead flashing on tank contamination by metals. Aust J Water Resour 18(1):71–83.
9. Chang MM, McBroom MW, Scott BR (2004) Roofing as a source of nonpoint water pollution. J Environ Manage 73(4):307–315.
10. John E. Knepp, Francesco Dorigo, Robert J. Knepp. Grey water processing and distribution system. Patent US 20120199220A1. Publ. 09.08.2012
11. Moilleron R, Gonzalez A, Chebb G, The´venot DR (2002) Determination of aliphatic hydrocarbons in urban runoff samples from the "Le Marais" experimental catchment in Paris centre. Water Res 36:1275–1285. doi:10.1016/S0043-1354(01)00322-0
12. O'Hogain S, McCarton L, McIntyre N, Pender J, Reid A (2012) Physicochemical and microbiological quality of harvested rainwater from an agricultural installation in Ireland. Water Environ J 26(1):1–6.
13. Clarke SE, Steele KA, Spicher J, Siu CYS, Lalor MM, Pitt R, Kirby JT (2008) Roofing materials' contributions to storm-water runoff pollution. J Irrig Drain Eng-ASCE 134(5): 638–645.

14. Adeniyi IF, Olabanji IO (2005) The physico-chemical and bacteriological quality of rainwater collected over different roofing materials in Ile-Ife, southwestern Nigeria. Chem Ecol 21(3):149–166.
15. Bucheli TD, Mu¨ller SR, Heberle S, Schwarzenbach RB (1998) Occurrence and behavior of pesticides in rainwater, roof runoff, and artificial stormwater infiltration. Environ Sci Technol 32(22):3457–3464.
16. Mendez, C.B.; Klenzendorf, J.B.; Afshar, B.R.; Simmons, M.T.; Barrett, M.E.; Kinney, K.A.; Kirisits, M.J. The effect of roofing material on the quality of harvested rainwater. Water Res. 2011, 45, 2049–2059.
17. Евстигнеева Ю.В., Евстигнеева Н.А. Актуальность задачи очистки поверхностного стока с дорожного полотна автомобильных дорог //Научное обозрение. Педагогические науки. 2019. №. 2–3. С. 26–30.
18. Меншутин Ю.А. и др. Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты. – Москва. 2015.

УДК 628.14.1.530

О ПОВЫШЕНИИ ТОЧНОСТИ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВОДОПРОВОДОВ С ВНУТРЕННИМИ ОТЛОЖЕНИЯМИ

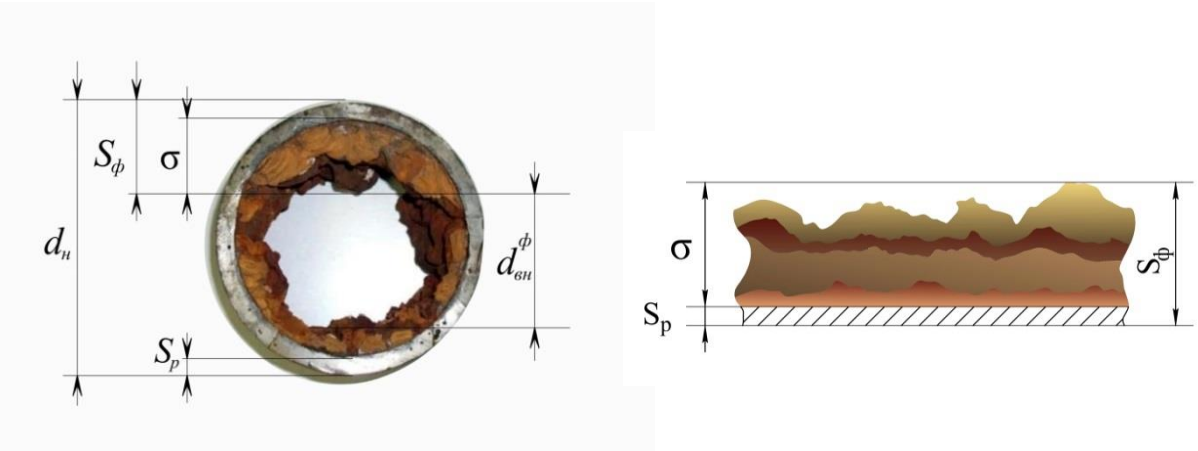
О.А. Продоус
Независимый эксперт по водоснабжению и канализации, г. Санкт-Петербург, Россия
П.П. Якубчик, С.С. Балашов
ПГУПС Императора Александра I, г. Санкт-Петербург, Россия

Рекомендовано повышать точность гидравлического расчета металлических водопроводных труб из стали и серого чугуна, за счет использования предложенной авторами новой расчетной зависимости, учитывающей при расчете изменение толщины слоя внутренних отложений.

Точность гидравлического расчета водопроводов из стали и серого чугуна зависит от точности определения фактического внутреннего диаметра труб с отложениями на внутренней поверхности – $d_{\text{вн}}^{\text{ф}}$, фактической скорости движения воды – $V_{\text{ф}}$ и фактических потерь напора на сопротивление по длине, характеризуемых значением фактического гидравлического уклона – $i_{\text{ф}}$ [1, 4]. Чем больше точность гидравлического расчета труб с внутренними отложениями, тем больше уверенность эксплуатирующей сети организации в обеспечении потребителей услуг достаточным давлением в самой удаленной точке водопроводной сети.

Металлические водопроводные сети из стали и серого чугуна в процессе их эксплуатации способны изменять значения фактических гидравлических характеристик: $d_{\text{вн}}^{\text{ф}}$, $V_{\text{ф}}$, $i_{\text{ф}}$ [1, 5]. Причиной этого является наличие на внутренней поверхности труб слоя отложений $\sigma_{\text{ф}}$, как показано на рисунке 1 (а, б).

а)



б)

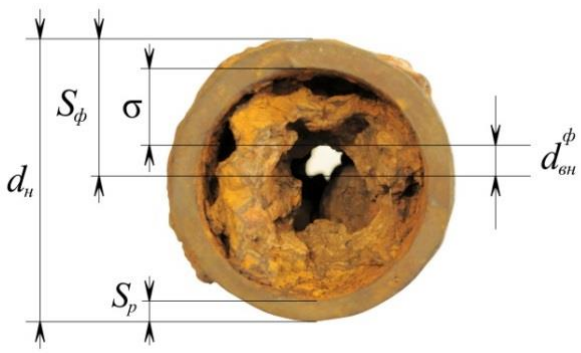


Рисунок 1. **Фрагмент внутренних отложений на стенках:**
а) стальных; б) чугунных труб из серого чугуна

Для гидравлического расчета металлических водопроводов из названных труб разработаны разными авторами специальные таблицы (справочные пособия), обеспечивающие возможность проведения их гидравлического расчета [1–3]. Недостатком справочного пособия [2] является то, что при проведении своих исследований профессор Ф.А. Шевелев использовал неновые трубы только с одной толщиной слоя отложений $\sigma_{\text{ф}} = 1{,}0$ мм [2]. Поэтому предложенная им расчетная зависимость для неновых труб при $V_{\text{ф}} \geq 1{,}2$ м/с:

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

не может учитывать при гидравлическом расчете колебание значений $\sigma_ф$, изменяющееся во времени, в зависимости от диаметра труб и физико-химических характеристик воды в разных регионах страны в диапазоне значений от:

$$0 \leq \sigma_ф \leq 30 \text{ мм и более [3].}$$

Обозначения в формуле (1):

$V_ф$ – фактическая скорость воды в трубах со слоем отложений $\sigma_ф$, м/с;

$d_{вн}^{ф}$ – фактический внутренний диаметр труб со слоем отложений $\sigma_ф$, м:

$$d_{вн}^{ф} = d_{вн} - 2\sigma_ф, \text{ м} \quad (2)$$

где $d_{вн}$ – внутренний диаметр труб по ГОСТ, м;

$$d_{вн} = d_н - 2S_р, \text{ м} \quad (3)$$

где $d_н$ – наружный диаметр труб по сортаменту, м; $S_р$ – толщина стенки трубы по ГОСТ, м.

Авторами данной статьи была уточнена зависимость (1) и составлены расчетные таблицы, после чего формула (1) имеет вид [3]:

$$i_ф = 0{,}00107 \frac{V_ф^2}{\left(d_{вн} - 2\sigma_ф\right)^{1,3}}, \text{ м/м} \quad (4)$$

где $\sigma_ф$ – фактическая (измеренная толщиномером) толщина слоя внутренних отложений, м.

Отличием формулы (4) от формулы (1) является то, что она, после уточнения, учитывает изменение значений $\sigma_ф$ в любом возможном диапазоне толщины слоя отложений $\sigma_ф$.

Таблицы [3] составлены по формуле (4). Однако, формулу (4) можно уточнить с помощью классической универсальной формулы Дарси-Вейсбаха, имеющей вид [1]:

$$i_ф = \lambda \frac{V_ф^2}{2g\left(d_{вн}^{ф}\right)}, \text{ м/м} \quad (5)$$

где λ – безразмерный коэффициент гидравлического сопротивления труб; $V_ф$ – фактическая скорость движения воды в трубах со слоем отложений $\sigma_ф$, м/с:

$$V_ф = \frac{4q}{\pi \cdot \left(d_{вн}^{ф}\right)^2}, \text{ м/с} \quad (6)$$

где q – заданный расход, м^3/с.

Профессором А.Ф. Шевелевым в 50-е годы прошлого века предложено определять значение λ в неновых трубах из стальных и чугунных труб по формуле, имеющей вид [2]:

$$\lambda = \frac{0{,}0179}{\left(d_{\text{вн}}^{\text{ф}}\right)^{1,3}} \cdot \left(1 + \frac{0{,}867}{V_{\text{ф}}}\right)^{0,3}. \qquad (7)$$

Если в зависимость (5) подставить выражения (7) и (4), то получится новый уточненный вид формулы Дарси-Вейсбаха:

$$i_{\text{ф}} = \frac{0{,}00148 \cdot q^2}{\left(d_{\text{вн}} - 2\sigma_{\text{ф}}\right)^{5,3}} \cdot \left(1 + \frac{0{,}681\left(d_{\text{вн}} - 2\sigma_{\text{ф}}\right)^2}{q}\right)^{0,3}, \text{ м} \qquad (8)$$

Зависимость (8) универсальна, так как при любом заданном расходе q учитывает изменение любых возможных значений толщины слоя внутренних отложений $\sigma_{\text{ф}}$.

Проведем на конкретном примере сравнение значений $i_{\text{ф}}$, рассчитанных по формуле (4) и по формуле (8). В таблице 1 для сравнения представлены значения расчетных характеристик стальных электросварных труб с наружным диаметром $d_{\text{н}}$ = 219,0 мм (0,219 м) с толщиной стенки $S_{\text{р}} = 7{,}0$ мм (0,007 м), рисунок 1.

Таблица 1. **Гидравлические характеристики труб**

Расход q, м^3/с	Толщина слоя отложений $\sigma_{\text{ф}}$, м	Гидравлические характеристики труб					
		по формуле (4)			по формуле (8)		
		$d_{\text{вн}}^{\text{ф}\,*}$, м	$V_{\text{ф}}$, м/с	$i_{\text{ф}}$, м/м	$d_{\text{вн}}^{\text{ф}\,*}$, м	$V_{\text{ф}}$, м/с	$i_{\text{ф}}$, м/м
0,038	0,02	0,163	1,82	0,03755	0,163	1,78	0,03597
% расхождения значений характеристик труб							
–	–	–	2,20	–	–	–	4,21

Примечание: * $-d_{\text{вн}}^{\text{ф}} = d_{\text{вн}} - 2\sigma_{\text{ф}} = \left(d_{\text{вн}} - 2S_{\text{р}}\right) - 2\sigma_{\text{ф}}$, см. рисунок 1.

Расхождение значения $V_{\text{ф}}$ по формуле (4) на 2,20 % в сравнении со значением $V_{\text{ф}}$ по формуле (8) является причиной изменения значения $i_{\text{ф}}$ (по формуле (8)) на 4,21 %. Причиной этого является точность расчета значений $i_{\text{ф}}$ по разным по своей структуре расчетным формулам, вследствие влияния величины относительной погрешности расчета $\delta_{\text{отн}}$, всегда имеющей место. В следствие этого, истинные фактические значения характеристик труб должны рассчитывается с учетом их относительной погрешности расчета $\delta_{\text{отн}}$, определяемые по формулам (9) и (10):

$$\delta_{\text{отн}}^{V} = \left|\frac{V_{\text{р(таб)}}}{V_{\text{ф}}}\right| \cdot 100\%, \qquad (9)$$

$$\delta_{\text{отн}}^{i} = \left| \frac{i_{\text{р(таб)}}}{i_{\text{ф}}} \right| \cdot 100\% . \qquad (10)$$

Истинные (фактические) значения будут определяться по формулам (9) и (10) с учетом значений относительной погрешности $\delta_{\text{отн}}$ расчета значений $V_{\text{ф}}$ и $i_{\text{ф}}$, то есть:

$$V_{\text{ф}}^{\text{ист}} = V_{\text{ф}} \pm \delta_{\text{отн}}^{V}, \text{ м/с}, \qquad (11)$$

$$i_{\text{ф}}^{\text{ист}} = i_{\text{ф}} \pm \delta_{\text{отн}}^{i}, \text{ м/м}. \qquad (12)$$

Для условий приведенного примера (табл. 1) истинные фактические значения $V_{\text{ф}}^{\text{ист}}$ и $i_{\text{ф}}^{\text{ист}}$, с учетом относительных погрешностей, составят:

$$\delta_{\text{отн}}^{V} = \left| \frac{1{,}78}{1{,}83} \right| \cdot 100\% = 97{,}8\%,$$

$$\delta_{\text{отн}}^{\text{ф}(V)} = 100\% - 97{,}8\% = 2{,}20\%,$$

$$\delta_{\text{отн}}^{i} = \left| \frac{0{,}03597}{0{,}03755} \right| \cdot 100\% = 95{,}79\%,$$

$$\delta_{\text{отн}}^{\text{ф}(i)} = 100\% - 95{,}79\% = 4{,}21\%.$$

Тогда, по формулам (11) и (12):

$$V_{\text{ф}}^{\text{ист}} = 1{,}78 \pm 2{,}20\% = 1{,}82(1{,}74) \text{ м/с};$$

$$i_{\text{ф}}^{\text{ист}} = 0{,}03597 \pm 4{,}21\% = 0{,}03748(0{,}03446) \text{ м/м}.$$

Таким образом, повышение точности гидравлического расчета значений характеристик металлических водопроводных труб с внутренними отложениями, можно добиться за счет использования **новой расчетной зависимости** (8), учитывающей любое изменение значений толщины слоя отложений $\sigma_{\text{ф}}$ на внутренней поверхности труб. Структура степенной зависимости (8) является уточненной формулой Дарси-Вейсбаха (5), учитывающей результаты экспериментов, проведенных в 1953 году профессором Ф.А. Шевелевым для вывода им формулы (1) [5].

Практическое использование новой расчетной зависимости (8) повышает точность расчета величины значений фактического гидравлического уклона $i_{\text{ф}}$ за счет учета значений, изменяющейся во времени фактической толщины слоя внутренних отложений $\sigma_{\text{ф}}$ в трубах из стали и серого чугуна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов Н.Н. Водоснабжение. Учебник для вузов 2-е изд., переработанное и дополненное. М.: «Стройиздат», 1974. 480 с.
2. Шевелев Ф.А., Шевелев А.Ф. Таблицы для гидравлического расчета

водопроводных труб. Справочное пособие. 12-е изд. ООО «Издательский Дом «Бастет». М.: 2020. 428 с.
3. 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 I-е изд. 2021. Издательство ООО «Перо», Санкт-Петербург-Москва. 2021. 238 с.
4. Продоус О.А., Шипилов А.А., Терехов Л.Д., Якубчик П.П. Анализ погрешностей при гидравлическом расчете металлических трубопроводов водоснабжения с использованием справочных пособий Ф.А. Шевелева // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. № 2021/2 (158). С. 50–55.
5. Шевелев Ф.А. Исследование гидравлических закономерностей турбулентного движения в трубах // М.: Госстройиздат, 1953. 208 с.

УДК 628.14.1.530

ЭКСПЕРТНАЯ ОЦЕНКА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ОСТАТОЧНОГО ПЕРИОДА ЭКСПЛУАТАЦИИ ИЗНОШЕННЫХ ВОДОПРОВЫОДНЫХ СЕТЕЙ С ВНУТРЕННИМИ ОТЛОЖЕНИЯМИ

О.А. Продоус
Независимый эксперт по водоснабжению и канализации, г. Санкт-Петербург, Россия
П.П. Якубчик, С.С. Балашов
ПГУПС Императора Александра I, г. Санкт-Петербург, Россия

Разработана и показана на примере методика количественной оценки продолжительности периода остаточной эксплуатации металлических водопроводов из стальных и чугунных труб из серого чугуна, основанная на использовании значения коэффициента эффективности эксплуатации трубопроводов водоснабжения и канализации, определяемого по специальной таблице и контроле фактической толщины слоя отложений на внутренней поверхности труб.

Организации, эксплуатирующие водопроводные сети из стали и серого чугуна с внутренними отложениями на стенках труб всегда интересует вопрос об оставшемся периоде продолжения эксплуатации трубопроводов до проведения реконструкции и замены их на новые из полимерных материалов. Это связано с большими финансовыми вложениями, которые обосновывают такие затраты на проведение реконструкции металлических водопроводов из стали и серого чугуна с внутренними отложениями, рисунок 1.

Фрагменты отложений на внутренней поверхности труб, приведенные на рисунке 1 подтверждают, что в процессе эксплуатации водопроводов из таких труб их фактический внутренний диаметр $d_{\text{вн}}^{\text{ф}}$

будет всегда уменьшаться за счет протекания постоянного процесса образования внутренних отложений на стенках труб, зависящего от качества исходной воды и гидравлического режима ее транспортирования по металлическим трубам, а также и других причин [1].

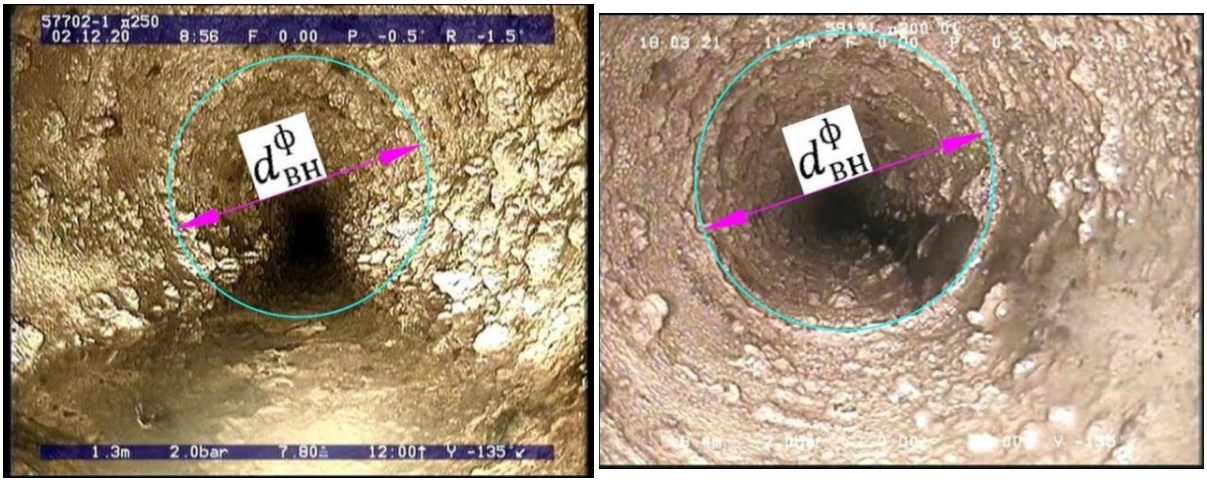


Рисунок 1. **Внутренние отложения на стенках:**
а) стальных труб**;** б) чугунных водопроводных труб

Так как гидравлический режим транспортирования питьевой воды по трубам происходит, как правило, в квадратичной или переходной зоне гидравлических сопротивлений, то оценка остаточного периода эксплуатации металлических водопроводных сетей с внутренними отложениями должна производиться на основе анализа изменяющихся во времени характеристик гидравлического потенциала труб: $d_{вн}^{ф}$, $V_ф$ и $i_ф$ [2]. Авторами данной статьи в работе [3] было предложено производить оценку изменений значений указанных характеристик труб с помощью гидравлического критерия – безразмерного коэффициента эффективности эксплуатации трубопровода $К_э$, определяемого по формуле:

$$K_э = \frac{\left(d_{вн}^{р}\right)^2 \cdot V_р \cdot i_р}{\left(d_{вн}^{ф}\right)^2 \cdot V_ф \cdot i_ф}, \qquad (1)$$

где: $d_{вн}^{р}$, $V_р$ и $i_р$ – значения расчетных (паспортных) характеристик новых металлических труб на момент запуска трубопровода в эксплуатацию; $d_{вн}^{ф}$, $V_ф$ и $i_ф$ – значения фактических характеристик изношенных водопроводных труб с внутренними отложениями на момент оценки их гидравлической эффективности эксплуатации.

Коэффициент эффективности эксплуатации сети водоснабжения $К_{эф}$ из металлических труб, характеризуется отношением произведения значений характеристик гидравлического потенциала новых труб к произведению тех же характеристик для изношенных труб со слоем

внутренних отложений $\sigma_ф$.

По значению величины $К_{эф}$ может быть дана экспертная оценка остаточного периода эксплуатации изношенных металлических сетей водоснабжения. На основе обобщения данных о толщине слоя внутренних отложений на внутренних стенках труб, эксплуатируемых в разных регионах страны, авторами разработана специальная таблица, в которой по значению $К_{эф}$ производится экспертная оценка остаточного периода эксплуатации изношенных водопроводных сетей с внутренними отложениями (табл. 1).

Таблица 1. **Диапазон изменения значений $К_{эф}$ для сетей водоснабжения**

Значение величины $К_{эф}$	Продолжительность остаточного использования трубопровода из стали и серого чугуна $Т_{исп}$, лет
$0{,}95 \le К_{эф} \le 1$	$Т_{исп} \ge 10$ лет с ежегодным контролем значений фактических потерь напора $i_ф$ и толщины фактического слоя отложений $\sigma_ф$
$0{,}90 \le К_{эф} \le 0{,}95$	$Т_{исп} \ge$ не менее 5 лет с ежегодным контролем значений $i_ф$ и $\sigma_ф$
$0{,}8 \le К_{эф} \le 0{,}90$	Трубопровод использовать нецелесообразно
$К_{эф} < 0{,}80$	Трубопровод использовать недопустимо

Для условий конкретной задачи произведем экспертную оценку продолжительности остаточного периода эксплуатации изношенного стального водопровода из электросварных труб с наружным диаметром $d_н = 0{,}219$ м.

*Условие задачи***.** Произвести экспертную оценку продолжительности остаточного периода эксплуатации сети водоснабжения, транспортирующей питьевую воду q = 38 л/с (0,038 м^3/с). Толщина слоя внутренних отложений $\sigma_ф$ = 15 мм (0,015 м). Толщина стенки трубы S_p = 7,0 мм (0,007 м). Построить график зависимости $К_{эф} = f(\sigma_ф)$.

Решение.

1. Определяют фактическое значение внутреннего диаметра при $\sigma_ф$ = 15 мм:

$$d_{вн}^{ф} = \left(d_н - 2S_р\right) - 2\sigma_ф = \left(0{,}219 - 2\cdot 0{,}007\right) - 2\cdot 0{,}015 = 0{,}175 \text{ м.}$$

2. Рассчитывают расчетное и фактическое значение скорости воды при $d_{вн}^{ф} = 0{,}175$ м:

$$V_р = \frac{4\cdot q}{\pi\cdot\left(d_{вн}^{р}\right)^2} = \frac{4\cdot 0{,}038}{3{,}14\cdot 0{,}205^2} = \frac{0{,}152}{0{,}13196} = 1{,}15 \text{ м/с;}$$

$$V_ф = \frac{4\cdot q}{\pi\cdot\left(d_{вн}^{ф}\right)^2} = \frac{4\cdot 0{,}038}{3{,}14\cdot 0{,}175^2} = \frac{0{,}152}{0{,}0962} = 1{,}58 \text{ м/с.}$$

3. По таблицам [4] определяют значение $i_ф$ при $V_ф$=1,58 м/с:

$$i_ф = 0{,}02502 \text{ м/м.}$$

4. Рассчитывают значение $i_р$ по формуле Дарси-Вейсбаха, имеющей вид [5]:

$$i_р = \lambda \cdot \frac{V_p^2}{d_р \cdot 2q}; \text{ м/м} \qquad (2)$$

где λ – безразмерный коэффициент сопротивления трения по длине определяется по формуле [5]:

$$\lambda = \frac{0{,}0159}{d_р^{0,226}} \cdot \left(1 + \frac{0{,}684}{V}\right)^{0,226} = \frac{0{,}0159}{0{,}205^{0,226}} \cdot \left(1 + \frac{0{,}684}{1{,}15}\right)^{0,226} = \text{, м/м;}$$

$$\frac{0{,}0159}{0{,}699} \cdot 1{,}5948^{0,226} = 0{,}02275 \cdot 1{,}1112 = 0{,}02528$$

$d_р$ – расчетный внутренний диаметр труб по сортаменту, м:

$$d_р = d_н - 2S_р = 0{,}219 - 0{,}014 = 0{,}205 \text{ м;}$$

q – ускорение свободного падения, м/с^2, q = 9,81 м/с^2;

$$i_р = 0.02528 \cdot \frac{1{,}15^2}{0{,}205 \cdot 2 \cdot 9{,}81} = \frac{0{,}03343}{4{,}022} = 0{,}00831 \text{ м/м.}$$

Для заданных условий значение величины $К_{эф}$ рассчитывают по формуле (1):

$$К_{эф} = \frac{0{,}205^2 \cdot 1{,}15 \cdot 0{,}00831}{0{,}175^2 \cdot 1{,}58 \cdot 0{,}02502} = \frac{0{,}000402}{0{,}00121} = 0{,}33.$$

5. По значению $К_{эф}$= 0,33 по таблице 1 производят экспертную оценку продолжительности периода остаточной эксплуатации труб с такими гидравлическими характеристиками.

Из таблицы 1 следует, что при значении $К_{эф}$= 0,33 эксплуатировать трубопровод **недопустимо**. Требуется замена трубопровода на новый из полимерных материалов, неподверженных образованию слоя внутренних отложений.

Это также подтверждается графиком зависимости $К_{эф} = f(\sigma_ф)$, построенным по данным таблицы 2 для приведенных условий задачи с разной толщиной фактического слоя внутренних отложений $\sigma_ф$.

Анализ данных, приведенных в таблице 2, показывает, что в зависимости от толщины слоя $\sigma_ф$, изменяются значения фактического внутреннего диаметра $d_{вн}^{ф}$, $V_ф$ и, как следствие, значение фактического гидравлического уклона сети $i_ф$.

По данным таблицы 2 построен график зависимости на рисунке 2.

На рисунке 3 по данным таблицы 2 построен график зависимости

$i_{эф} = f(\sigma_ф)$, подтверждающий сделанный вывод.

Таблица 2. **Значения гидравлических параметров труб для приведенного примера**

Толщина слоя отложений $\sigma_ф$, мм	Значение гидравлических характеристик труб			Величина $К_{эф}$ по формуле (1)
	$d_{вн}^{ф}$, м	$V_ф$, м/с	$i_ф$, м/м	
0	0,205	1,15	0,01114	1
5	0,195	1,27	0,01445	0,77
10	0,183	1,45	0,02033	0,55
15	0,173	1,62	0,02739	0,41
20	0,163	1,82	003755	0,30
25	0,153	2,02	0,04928	0,23

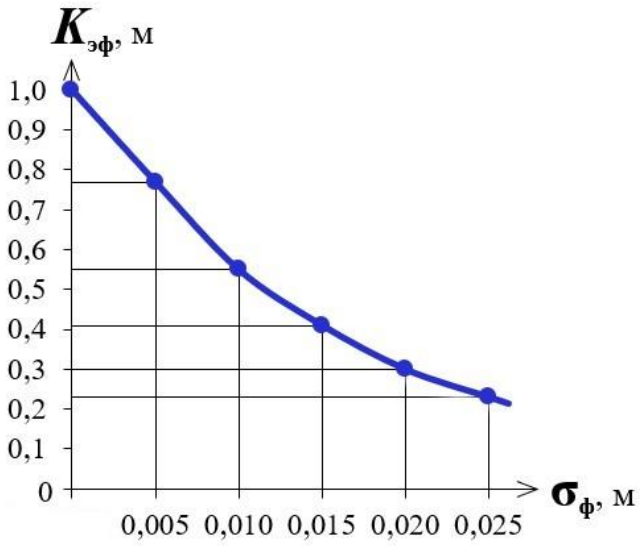


Рисунок 2. **График зависимости** $К_{эф} = f(\sigma_ф)$

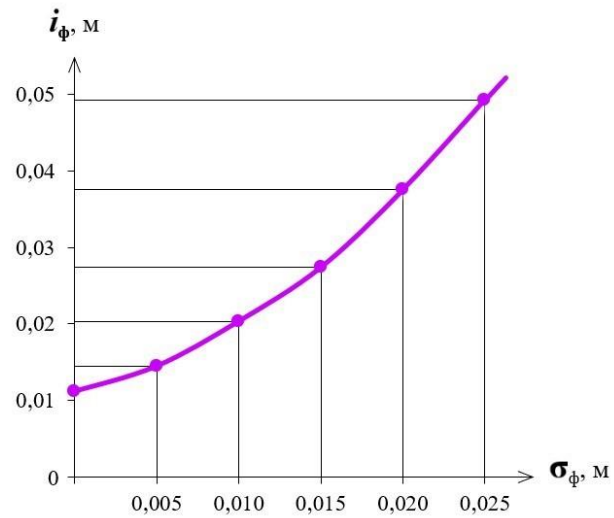


Рисунок 3. **График зависимости** $i_{эф} = f(\sigma_ф)$

График на рисунке 3 подтверждает, что чем больше значение фактической толщины слоя внутренних отложений на стенках труб $\sigma_ф$, тем больше значение фактического гидравлического уклона сети $i_ф$.

Таким образом, оценка продолжительности остаточного периода эксплуатации трубопроводов из стали и серого чугуна, может производиться с помощью данных таблицы 1 по описанной в примере методике. Для этого требуется измерить фактическую толщину слоя $\sigma_ф$ с помощью серийно выпускаемых ультразвуковых расходомеров с накладными датчиками в комплекте с толщиномером и по приведенной методике произвести расчет значений характеристик гидравлического потенциала для новых труб и труб с внутренними отложениями, по которым рассчитать значение $К_{эф}$. Затем, с помощью данных таблицы 1, определить продолжительность периода остаточной эксплуатации стальных или чугунных труб.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воинцева И.И., Новиков М.Г., Продоус О.А. Продление периода эксплуатации трубопроводов систем водоснабжения из стальных и чугунных труб // Инженерные системы «АВОК – Северо-Запад», № 1, 2019. С. 44–47.
2. Продоус О.А. Методика оценки продолжительности использования металлических трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2021/1 (157). С. 4–10.
3. Продоус О. А. Рекомендации по реконструкции неновых металлических трубопроводов водоснабжения из стали и серого чугуна / М.Г. Новиков, Г.А. Самбурский, А.А. Шипилов, Л.Д. Терехов, П.П. Якубчик, В.А. Чесноков / ООО «Свое издательство», Санкт-Петербург – Москва. 2021. 36 с.
4. Продоус О.А., Шипилов А.А., Якубчик П.П. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб из стали и серого чугуна с внутренними отложениями. Справ. пособие I-е изд. 2021 // ООО «Перо», Санкт-Петербург – Москва. 2021. 238 с.

   Шевелев Ф.А., Шевелев А.Ф. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб. Справочное пособие. 12-е изд. Издательский Дом «Бастет», Москва. 2020. 428 с.

УДК 628.4; 628.196; 628.147.1

ДОХЛОРИРОВАНИЕ ВОДЫ: ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

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

При строительстве групповых водопроводов должна быть предусмотрена возможность дохлорирования воды с целью выполнения требований СП 31.13330.2012

и Инструкции №723а-67 по поддержанию сооружений и разводящей сети в санитарном состоянии. В статье рассмотрены вопросы нормирования дохлорирования воды, назначения доз и точек ввода реагента.

Обоснование необходимости организации дохлорирования на объектах групповых водопроводов или в условиях протяженной водотранспортирующей сети всегда вызывает вопросы как со стороны эксплуатирующих, так и со стороны контрольно-надзорных организаций, в том числе и государственной экспертизы проектной документации.

В действующих нормативных документах не существует расчетных методик, позволяющих достоверно определить такую необходимость с учетом удаленности объекта от источника водоснабжения (очистных сооружений), материала трубопровода, температуры воды, времени нахождения в РЧВ и т.д. При этом для обоснования доз, при обеззараживании (дохлорировании) воды, возможно руководствоваться только тремя нормативными документами: «Инструкция по контролю за обеззараживанием хозяйственно-питьевой воды и за дезинфекцией водопроводных сооружений хлором при централизованном и местном водоснабжении (утверждена Минздравом СССР 25 ноября 1967 г. №723а-67)», ГОСТ Р 51232-98 «Вода питьевая» и СанПиН 2.1.3684-21.

В соответствии с п.п. 7, 8 «Инструкция по контролю за обеззараживанием хозяйственно-питьевой воды и за дезинфекцией водопроводных сооружений хлором при централизованном и местном водоснабжении» установление точной дозы обеззараживающего реагента проводят на основании санитарно-химических, санитарно-бактериологических и технологических анализов сырой и обработанной воды с учетом производственного опыта по её очистке и обеззараживанию. Однако, производственный опыт имеет место быть только на действующих водопроводах, на которых за время эксплуатации уже установлена и обоснована необходимость дохлорирования воды, определены дозы и точки ввода реагента. Всё становится намного сложнее, когда речь заходит о проектировании новых групповых водопроводов.

Например, такой вопрос остро возник при составлении технического задания и последующем проектировании группового водопровода Мишкинская (ВОС) – Красный колос (НС) – Рассвет (НС) – Золотой Колос (НС) по объекту «Водоснабжение микрорайонов комплексной жилой застройки в п. Рассвет, п. Золотой Колос, п. Красный Колос и других населенных пунктов Аксайского района» Ростовской области. Общая протяженность группового водопровода составляет более 20 километров. Проектом предусматривалось строительство промежуточных резервуаров чистой воды и насосных станций в населенных пунктах–потребителях с последующей транспортировкой воды до последующего населенного пункта. Решение технически правильное с точки зрения топографии местности и гидравлических условий, но данная схема организации

транспортировки и распределения воды не описана и не нормирована ни одним из документов.

Обоснование необходимости дополнительного обеззараживания воды и строительства станции по получению хлорсодержащих реагентов на насосных станциях группового водопровода стало основной проблемой при проектировании.

Вопросы, связанные с хлорированием воды при централизованном водоснабжении, определяются следующими нормативными документами:

– СП 31.13330.2012 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84»;
– 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»;
– Инструкция по контролю за обеззараживанием хозяйственно-питьевой воды и за дезинфекцией водопроводных сооружений хлором при централизованном и местном водоснабжении (утв. Главным санитарным врачом 25 ноября 1967 г. №723а-67).

С одной стороны, СП 31.13330.2012 не требует проведение дохлорирования воды и отсылает к опыту эксплуатации, но данный объект еще только проектируется, а, следовательно, и такого опыта ещё нет. Первоначальный ответ на запрос в региональную государственную экспертизу по данному вопросу – вода в транспортирующий водовод подается обеззараженная, следовательно, дополнительно обеззараживать её на насосных станциях не требуется, а значит расходование бюджетных средств на строительство на насосных станциях электролизных для получения гипохлорита натрия не оправдано.

С другой стороны, тот же СП 31.13330.2012 и Инструкции №723а-67 определяет ряд обязательных мероприятий, которые должны реализовываться на насосных станциях, таких как:

- на площадках сооружений водопровода (в т.ч. площадках насосных станций подкачки, оборудованных резервуарами чистой воды) согласно п. 9.114 СП 31.13330.2012 необходимо предусматривать возможность дезинфекции сооружений и внутриплощадочных сетей.
- дезинфекция сооружений (резервуаров и водопроводной сети) производится в соответствии с требованиями Инструкции №723а-67 (п. 18) с целью профилактики (перед приемом в эксплуатацию новых сооружений, после периодической чистки, после ремонтно-аварийных работ) и по эпидемиологическим показаниям (в случае

загрязнения сооружений, в результате которого создается угроза возникновения водных вспышек кишечных инфекций). Для повышения надежности дезинфекции (п. 19 Инструкции №723а-67) и сокращения её продолжительности рекомендуется применять растворы с концентрацией активного хлора 75 ÷ 100 мг/дм^3 при времени контакта 5 ÷ 6 часов. При этом обеззараживание резервуаров (п. 22 Инструкции №723а-67) проводят объёмным методом, при котором РЧВ заполняют дезинфицирующим раствором и выдерживают 5 ÷ 6 часов.

- дезинфекция водопроводной сети (п. 23 Инструкции №723а-67 и п. 11.4 СП 31.13330.2012) после ремонтно-аварийных работ производится раствором с концентрацией от 75 до 100 мг/дм^3 активного хлора и временим контакта не менее 6 часов.

Согласно п. 9.118 СП 31.13330.2012 подача хлора на время проведения аварийных и плановых работ, связанных с остановкой резервуаров хранения питьевой воды и сокращением времени контакта хлора с обрабатываемой водой, должна быть увеличена в два раза.

Величина остаточного хлора в воде нормируется СанПиН 2.1.3684-21 и должна составлять 0,3 ÷ 0,5 мг/дм^3 для остаточного свободного хлора и 0,8 ÷ 1,2 мг/дм^3 для свободного связанного хлора, при одновременном присутствии в воде свободного и связанного хлора их общая концентрация не должна превышать 1,2 мг/дм^3.

В технологии водоподготовки на проектируемых в районе ст. Мишкинская ВОС производительностью 145 тыс. м^3/сут для обеззараживания воды будет применено хлорирование с аммонизацией. При этом обеззараживание обеспечивается за счёт связанного хлора (монохлорамина), соотношение доз аммиака и хлора 1 : 4 (п. 6-*б* Инструкции №723а-67; точка «А», рисунок).

На выходе с площадки ВОС остаточный хлор будет соответствовать требованиям СанПиН 2.1.3684-21 (общий хлор до 1,2 мг/дм^3, в т.ч. свободного 0,3 ÷ 0,5 мг/дм^3), учитывая протяженность водовода от ВОС и времени пребывания воды в РЧВ на насосных станциях, а также с учётом распада монохлорамина за это время, нельзя гарантированно утверждать о соответствии воды, подаваемой в водопрочную сеть населенных пунктов Аксайского района, требованиям СанПиН по содержанию остаточного хлора в воде.

Для обеспечения требований СанПиН по содержанию остаточного хлора в воде, подаваемой насосными станциями в п. Рассвет, п. Золотой Колос и п. Красный Колос, требуется дохлорирование воды. Доза хлора должна учитывать возможность хлорирования послепереломными дозами (п. 6-*г* Инструкции №723а-67), т.е. с учётом перелома на кривой остаточного хлора (точка «Б», рис.).

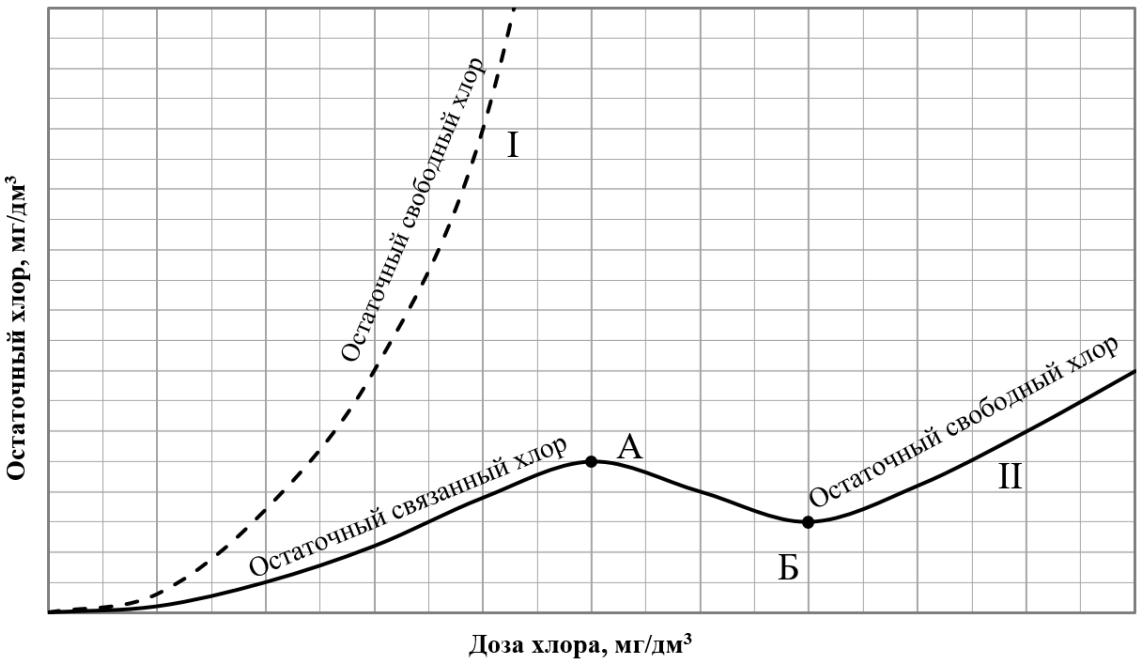


Рисунок. **Зависимость остаточного хлора от дозы введенного в воду при отсутствии (I) и наличии (II) в ней аммонийных солей**

При этом обеззараживание воды производится уже не связанным, а свободным хлором, который значительно эффективнее связанного (хлораминов), применяемого главным образом в случаях высокого бактериального загрязнения воды и в периоды введения Роспотребнадзором режима чрезвычайной ситуации и гиперхлорирования воды с поддержанием остаточного хлора в воде до 3 мг/дм^3. Режим гиперхлорирования может быть введен как на площадке ВОС в ст. Мишкинская, так и в отдельном населенном пункте (пос. Красный колос, пос. Рассвет, пос. Золотой Колос и других населенных пунктах Аксайского района). С этой целью должна быть обеспечена возможность подачи хлорсодержащего реагента в питьевую воду на каждой насосной станции.

Требуемая потребность в обеззараживающем реагенте на насосных станциях в поселках: Красный колос, Рассвет и Золотой Колос определяется производительностью НС (тыс. м^3/сут) и дозой хлора до 3 мг/дм^3 при чрезвычайной ситуации и гиперхлорировании воды. Подачу дезинфицирующего средства рекомендуется производить во всасывающий трубопровод на насосной станции перед подачей воды в водопроводную сеть. Следует предусмотреть автоматизацию процесса обеззараживания с контролем остаточного хлора после РЧВ и после дохлорирования воды перед подачей её в сеть с определением свободного и связанного остаточного хлора.

Наличие на насосных станциях установок по получению хлорсодержащего реагента позволит не только обеспечить санитарную надежность подаваемой потребителям воды при чрезвычайной ситуации и

введении режима гиперхлорирования воды, но и обеспечит требования Инструкции №723а-67 и СП 31.13330.2012 по плановой дезинфекции сооружений (резервуаров и водопроводной сети) и их обеззараживание после проведения ремонтно-аварийных работ.

В летний период, когда скорость разложения остаточного хлора в воде значительна, невозможно гарантировать санитарную безопасность воды, подаваемой насосными станциями на групповом водопроводе. Время пребывания воды в резервуарах варьируется от нескольких часов до двух суток, что также не гарантирует наличие остаточного хлора в воде, подаваемой в распределительную сеть населенного пункта. Согласно п. 9.137 СП 31.13330.2012 время контакта хлора с обеззараживаемой водой должно быть не менее 30 минут. С учетом достаточно близкого расположения потребителей от площадок насосных станций при дохлорировании воды непосредственно на насосной станции невозможно обеспечить нормативное время контакта. Положения СП 31.13330.2012 не учитывают тот факт, что вода уже ранее прошла обеззараживание на площадке ВОС и дохлорирование является мероприятием, обеспечивающим нормативное содержание остаточного хлора, а не непосредственно дезинфекцию (хлорпоглощаемость воды равна нулю). Эта неопределенность в СП разрешает вводить реагент только перед резервуарами, исключая возможность хлорирования воды на насосной станции, что в свою очередь приводит к перерасходу хлора на падение концентрации в емкостных сооружениях.

ВЫВОДЫ

1. При строительстве групповых водопроводов должна быть предусмотрена возможность дохлорирования воды с целью выполнения требований СП 31.13330.2012 и Инструкции №723а-67 по поддержанию сооружений и сети в санитарном состоянии.
2. Ввод обеззараживающего реагента необходимо осуществлять перед резервуарами для хранения воды.
3. В качестве расчетной дозы для дохлорирования воды требуется принять установленную региональным Роспотребнадзором величину остаточного хлора в воде в режиме гиперхлорирования (для Ростовской области 3 мг/дм^3).
4. Для дохлорирвоания воды предлагается использовать электролизные станции, позволяющие получать обеззараживающий реагент непосредственно на месте потребления в требуемом количестве в периоды, когда возникает необходимость.

   При дохлорировании должен быть организован аналитический контроль (лабораторный или автоматизированный) содержания остаточного хлора в воде, поступающей в резервуары для её хранения и в разводящую сеть.

УДК 628.144.532

О ВЛИЯНИИ ТОЛЩИНЫ СЛОЯ ВНУТРЕННИХ ОТЛОЖЕНИЙ В МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВОДОПРОВОДАХ НА ВЕЛИЧИНУ ФАКТИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ НАПОРА В ТРУБАХ

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

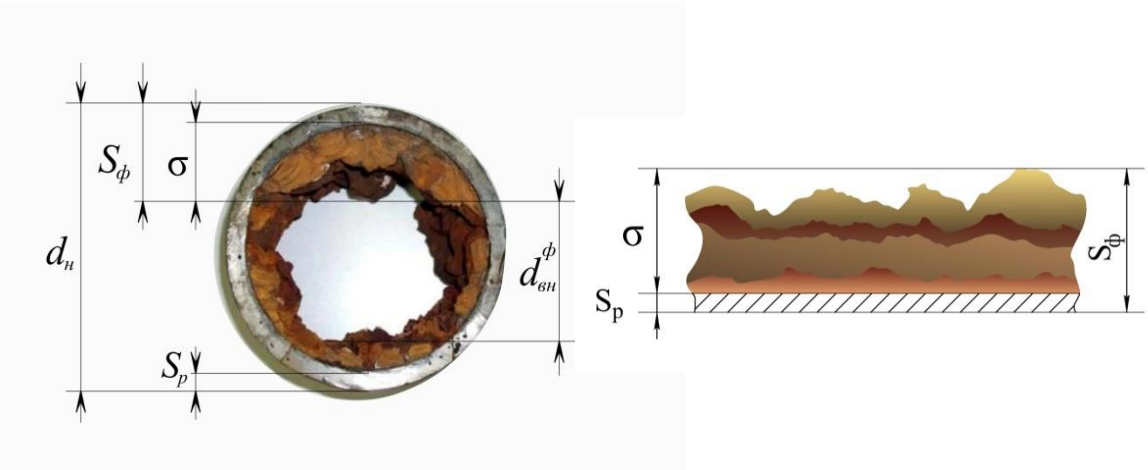
Доказано на конкретном примере влияние разной толщины слоя внутренних отложений на значения характеристик гидравлического потенциала труб, влияющих на величину потерь напора по длине. Рекомендовано использовать специальное Справочное пособие для гидравлического расчета водопроводных труб, в котором учитывается колебание толщины слоя отложений в трубах.

Проблема изменения значений гидравлических характеристик металлических труб с внутренними отложениями будет актуальна до тех пор, пока в России в напорных сетях водоснабжения и водоотведения будут использоваться трубы из стали и серого чугуна, подверженные в процессе эксплуатации образованию на их внутренних стенках отложений, как показано на рисунке 1.

Механизм и природа образования внутренних отложений в водопроводных и канализационных сетях описаны в работах [3–4]. Приведенные на рисунке 1 фрагменты внутренних отложений в сетях водоснабжения и водоотведения подтверждают изменение значений их гидравлических характеристик, объединяемых понятием гидравлический потенциал труб. Это оценочный эксплуатационный критерий, характеризуемый совокупностью численных значений расхода q (скорости V) при заданном давлении PN и потерь напора на трение по длине i для труб конкретного диаметра и вида материала. То есть гидравлический потенциал труб, это совокупность численных значений: внутреннего диаметра труб $d_{\text{вн}}^{\text{ф}}$, $V_{\text{ф}}$ и $i_{\text{ф}}$, которые характеризуют трубопровод (сеть) с гидравлической точки зрения. Чем больше фактическая толщина слоя внутренних отложений $\sigma_{\text{ф}}$, тем больше фактическая скорость $V_{\text{ф}}$ и тем больше значение фактических потерь напора на сопротивление по длине трубопровода.

Приведем на конкретном примере изменение значений характеристик гидравлического потенциала чугунных водопроводных труб, работающих под давлением PN = 10 кг/см^2 (1,0 Мпа).

а)



б)

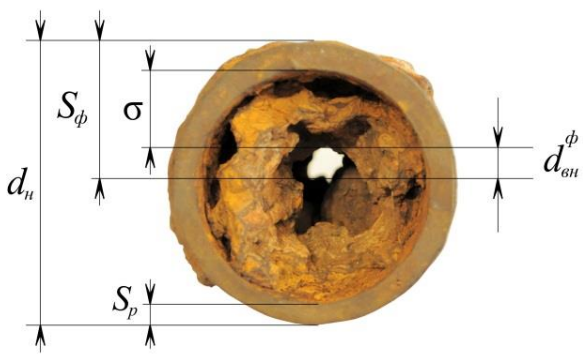


Рисунок 1. **Внутренние отложения на стенках:**
а) водопроводных труб; б) канализационных труб

Условие задачи. Сравнить численные значения характеристик гидравлического потенциала новых чугунных водопроводных труб диаметром 300 мм, изменяющихся при разной толщине слоя отложений на внутренней поверхности труб в диапазоне значений $\sigma_ф = 0 \div 20$ мм. Транспортируемый расход q = 90 л/с (0,09 м^3/с). Построить для сравнения графики зависимости $i_ф = f(\sigma_ф)$ при изменении значений $\sigma_ф$ в указанном диапазоне: q = 90 м^3/с.

Решение. Для вычисления значений $i_ф$ при разной толщине слоя внутренних отложений $\sigma_ф$ используем Справочные пособия [1–2].

Полученные данные для сравнения сведем в таблицу 1.

Таблица 1. **Характеристики гидравлического потенциала сравниваемых труб**

Труб новых, таблица Ф.А. Шевелева			Труб с заданной толщиной слоя отложений, таблица О.А. Продоуса		
$d_{вн}^р$, мм	$V_р$, м/с	1000 $i_р$, м/м	$d_{вн}^ф$ *, мм	$V_ф$, м/с	1000 $i_ф$, м/м
0,304	1,24	7,08	0,264	1,64	15,69

Примечание: * $d_{вн}^ф = (d_н - 2S_р) - 2\sigma_ф$, рисунок 1.

Таблица 2. **Гидравлический уклон $i_р$ при разной скорости движения $V_р$**

$V_р$, м/с	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
$i_р$ *, м/м	0,00125	0,005023	0,01130	0,02009	0,03139	0,04520

Примечание: * Расчет по формуле (1).

Из таблицы следует, что расхождение значений гидравлических характеристик новых труб и труб с толщиной слоя отложений $\sigma_ф$ = 20 мм, составляет:

- по фактическому внутреннему диаметру:
  $d^ф_{вн}$ = 0,264 м < $d^р_{вн}$ = 0,304 м на 13,16 % или в 1,15 раза;
- по фактической скорости в трубах:
  $V_ф$ = 1,64 м/с > $V_р$ = 1,24 м/с на 24,39 % или в 1,34 раза;
- по удельным потерям напора (удельному гидравлическому уклону – потерям напора на длине трубы в 1 м):
  1000 $i_ф$ = 15,69 м/м > 100 $i_р$ = 7,68 м/м на 51,05 % или в 2,04 раза.

Для подтверждения результатов сравнения новых чугунных труб и труб с толщиной слоя отложений $\sigma_ф$ = 20 мм на рисунке 2 по данным таблиц 2 и 3 построены графики зависимостей: $i_р = f(V_р)$ и $i_ф = f(V_ф)$ для диапазона скоростей в диапазоне значений $V_р$ = 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0 м/с и толщине слоя отложений $\sigma_ф$ = 0,5; 10; 15; 20; 25 мм.

Таблица 3.

Толщина слоя отложений $\sigma_ф$, мм	Значения характеристик гидравлического потенциала труб диаметром $d_{вн}$ = 304,4 мм		
	$d^ф_{вн}$, м	$V_ф$, м/с	1000 $i_ф$ *, м/м
0	0,304	1,24	7,68
5	0,294	1,33	9,30
10	0,284	1,42	11,08
15	0,274	1,53	13,48
20	0,264	1,64	16,26
25	0,254	1,77	19,91

Графики, приведенные на рисунке 2, свидетельствуют о том, что чем больше значение фактической средней скорости потока воды $V_ф$, тем больше значение фактического гидравлического уклона $i_ф$, зависящего от толщины слоя отложений на внутренней поверхности труб $\sigma_ф$.

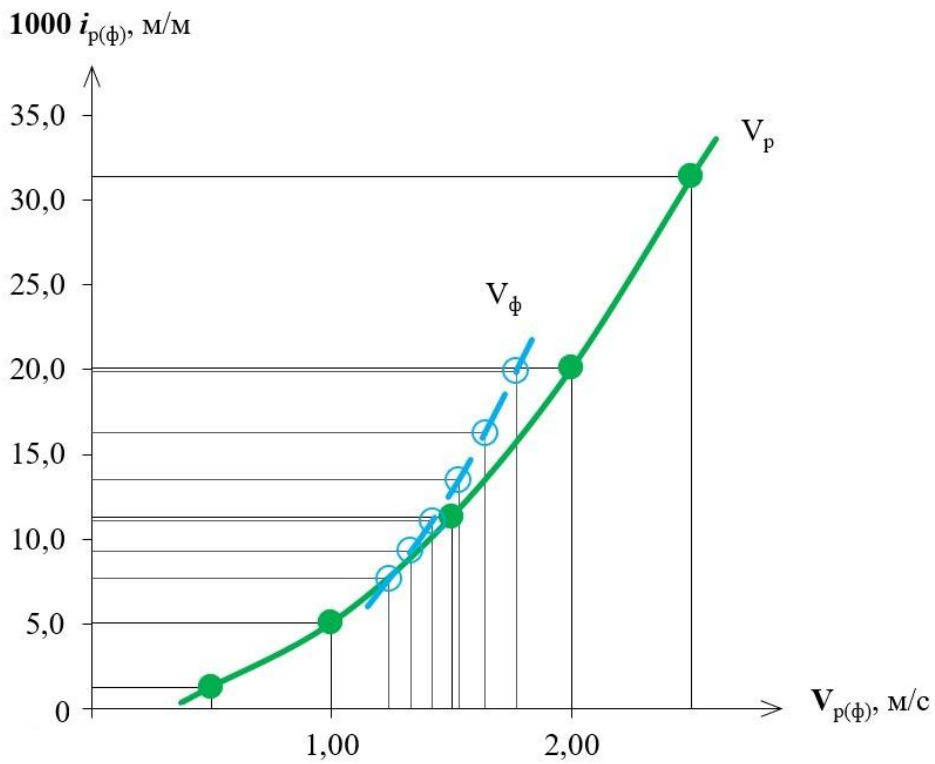


Рисунок 2. **Графики зависимостей** $i_р = f(V_р)$ **и** $i_ф = f(V_ф)$

Аналогичная ситуация также имеет место в напорных сетях водоотведения из металлических труб с внутренними отложениями. В работе [5] доказано, что значение фактического гидравлического уклона $i_ф$ зависит от толщины слоя внутренних отложений $\sigma_ф$.

Таким образом, результаты сравнения значений характеристик гидравлического потенциала труб для приведенного примера позволяют сделать следующие выводы:

- фактическая толщина слоя внутренних отложений $\sigma_ф$ в напорных металлических сетях водоснабжения и водоотведения оказывает влияние на численные значения фактического внутреннего диаметра труб – $d_{вн}^{ф}$, на фактическую скорость движения жидкости $V_ф$ и на значение фактического гидравлического уклона $i_ф$. Чем больше значение $\sigma_ф$, тем больше изменение значений: $d_{вн}^{ф}$, $V_ф$ и $i_ф$. Графики на рисунках 2 и 3 подтверждают это заключение. График зависимости $1000 \cdot i_ф = f(\sigma_ф)$ на рисунке 3, построен по данным таблицы 2.
- использование расчетных данных из Справочного пособия Ф.А. Шевелева и А.Ф. Шевелева [1] приводит к большим погрешностям при гидравлическом расчете металлических труб с внутренними отложениями, так как его авторы не проводили

гидравлических исследований труб с толщиной слоя внутренних отложений, превышающего значение $\sigma_ф \geq 1{,}0$ мм;

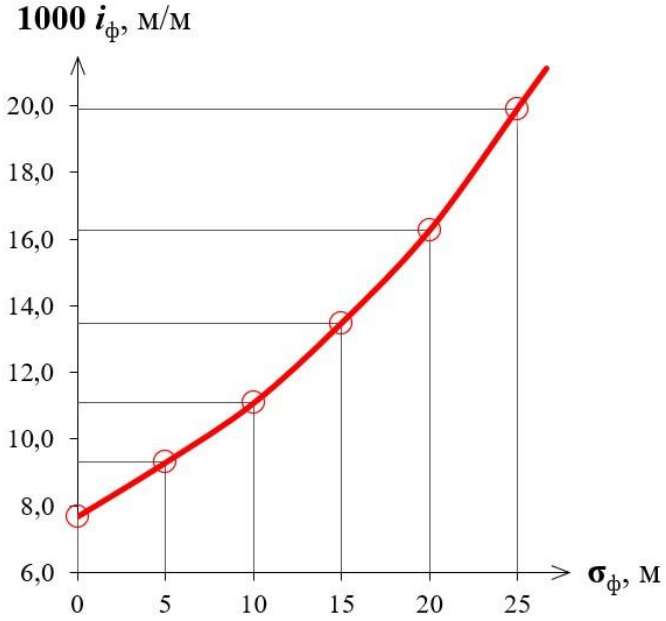


Рисунок 3. **График зависимости** $1000 \cdot i_ф = f(\sigma_ф)$

- для гидравлического расчета водопроводных труб из стали и серого чугуна с внутренними отложениями с толщиной слоя $\sigma_ф$ до 30 мм включительно, целесообразно использовать уточненное Справочное пособие авторов Продоуса О.А., Шипилова А.А., Якубчика П.П. [2];
- повысить точность гидравлического расчета металлических водопроводных труб с внутренними отложениями возможно лишь за счет учета фактической толщины слоя отложений на внутренней поверхности труб $\sigma_ф$, входящей в уточненную авторами расчетную зависимость (1) Ф.А. Шевелева и А.Ф. Шевелева для гидравлического расчета неновых металлических водопроводных труб [1–2];
- следствием неверного расчета значений характеристик гидравлического потенциала металлических труб с внутренними отложениями с погрешностями, вызванными не учетом фактической толщины слоя отложений на стенках труб является также неправильный выбор марки насоса, обеспечивающего подачу воды потребителям в наиболее удаленные точки сети.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шевелев Ф.А., Шевелев А.Ф. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб. М.: ООО «Издательский Дом «Бастет». 2020. 248 с.

2. 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 изд. Изд. ООО «Перо», Санкт-Петербург-Москва. 2021. 238 с.
3. Продоус О.А., Шлычков Д.И. Гидравлический расчет сетей водоснабжения и водоотведения с внутренними отложениями // Монография. Издательство НИУ МГСУ. Москва. 2022. 120 с.
4. Продоус О.А., Шлычков Д.И. Механизм образования слоя отложений в лотковой части труб самотечных сетей водоотведения. // Известия высших учебных заведений. «Строительство». № 6 (50). 2021. С. 95–100.
5. Продоус О.А., Якубчик П.П., Шлычков Д.И. Зависимость энергопотребления насосных агрегатов напорных коллекторов водоотведения от толщины слоя осадка на внутренней поверхности труб // Журнал С.О.К. «Сантехника. Отопление. Кондиционирование». № 5 (245). 2022. С. 28–30.

УДК 631.674

ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ И ТЕХНИКИ ОРОШЕНИЯ ДРЕВЕСНО-КУСТАРНИКОВОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И ЦВЕТОЧНЫХ КУЛЬТУР НА ОБЪЕКТАХ РЕКРЕАЦИОННОГО ЗНАЧЕНИЯ

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
В.Л. Бондаренко
Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А.К. Кортунова – филиал ДонГАУ, г. Новочеркасск, Россия

В данной статье рассматриваются способы и техники орошения существующей растительности на территориях городских парков и скверов, садов и площадей. Грамотная организация системы орошения в будущем определяет уровень обслуживания объектов ландшафтной архитектуры, возможность их продолжительного использования горожанами и устранение негативных последствий от этого. К условиям, определяющим выбор способа и техники орошения, относятся наличие вблизи объектов рекреационного значения действующего центрального городского водопровода или источников воды естественного и искусственного происхождения (река, озеро, искусственный водоём и др.).

Исследуя труды известного научного деятеля в области

строительства и эксплуатации объектов ландшафтной архитектуры В.С. Теодоронского, выявим следующие способы орошения существующих насаждений, отвечающим требованиям городских рекреационных объектов [1]:

- поверхностное орошение (полив напуском, лиманное орошение, полив по полосам, полив по бороздам);
- дождевание;
- различные виды почвенного орошения (капельное орошение, аэрозольное увлажнение).

Вне зависимости от масштабов и планировки городских скверов, парков, садов и площадей, в большинстве случаев для полива растительности применяются дождевание и капельное орошение. Если на таких территориях разбиваются тепличные комплексы, декоративные огороды и рокарии, то популярным способом полива признано аэрозольное увлажнение [2].

Дадим подобную характеристику каждого из представленных способов орошения городских общественных пространств с целью определения наиболее эффективных и часто используемых.

Широкое применение получили простейшие способы орошения, к которым относятся способы, не требующие дополнительных технических устройств и сооружений для подачи и перераспределения воды при её расходовании на полив. При отсутствии центрального водопровода для полива насаждений используют тракторные и автомобильные цистерны. Резервуары машин заполняются напрямую у источников орошения – реки, ручья, озёра, искусственного водоёма. В условиях засушливых территорий обустраиваются открытые каналы воды, призванные облегчить транспортировку и распределение водных масс в границах орошаемого объекта рекреационного значения или всего населённого пункта [3].

Создание водопровода облегчает возможности орошения объектов ландшафтной архитектуры, поскольку совершенно точно определяет транспортировку и распределение воды для первичного потребления. Потребляемая вода может отличаться своими качественными характеристиками в зависимости от её применения в хозяйственных, поливочных, производственных, противопожарных целях. Такие водопроводы имеют отличия в водопотреблении, это и сказывается на принципе их расчёта.

Для орошения объектов ландшафтной архитектуры, как правило, обустраивают разветвлённую водопроводную систему специального типа. Составной частью технического обслуживания зон кратковременного отдыха горожан является хозяйственный водопровод. Его функциональность зависит от размеров и расположения. Такой водопровод имеет круглогодичную востребованность в обслуживании общественных и коммунально-бытовых зданий, находящихся в пределах объектов

рекреационного значения, а также при обустройстве временных тематических сооружений (к примеру, зимних, игровых или спортивных). При проектировании поливочного водопровода на территории объектов рекреационного значения учитываются:

1. место подключения водопровода к центральной городской водопроводной сети;
2. выбор оптимальной схемы водоснабжения объекта и диаметров трубопроводов;
3. определение общей потребности в воде, которая будет использована для полива зеленых насаждений, садово-парковых дорожек и площадок, малых архитектурных форм [4].

При проектировании водопровода основные методы расчёта сводятся к определению расчётных расходов и сводных напоров воды. За расчётные расходы принимаются расходы в часы максимального водопотребления. Свободный напор в наружной водопроводной сети должен обеспечивать подачу воды с определённым запасом (остаточным напором) в самую высокую и наиболее удаленную от наружной сети водоразборную точку внутри зоны потребления. При орошения какого-либо участка диктующей точкой принимается самая высокая и далекая (с учетом потерь напора) зона орошения. Свободный напор $H_{\text{сп}}$ (он иногда называется необходимым, или расчётным) можно определить по форуме (1) [5]:

$$H_{\text{сн}} = H_{\text{г}} + h_{\text{пот}} + h_{\text{ост}},$$

где $H_{\text{г}}$ – геометрическая (геодезическая) высота подачи воды от поверхности воды в месте забора до самой высокой водоразборной точки, м; $h_{\text{пот}}$ – потери напора в сети до места водоразбора, м; $h_{\text{ост}}$ – остаточный напор в месте водозабора, м.

С помощью дождевальных устройств осуществляется орошение дождеванием, в свою очередь, в зависимости от способа перемещения дождевальной техники и обеспечения возможного напора водной струи подразделяют их на различные агрегаты, машины и установки. В устройство дождевальных агрегатов и машин в обязательном порядке включены самоходные опоры. Дождевальный агрегат, по сравнению с машиной, не может полноценно функционировать без насосного агрегата, который смонтирован в комплекте с дождевальным устройством. Дождевальная машина эксплуатируется по назначению только при наличии навешенного дождевального устройства, подача воды производится насосной станцией. Дождевальные установки состоят из совокупности дождевальных устройств на стационарных (недвижимых) или переносных (движимых) опорах. Требуемый напор соблюдается при активном действии напорной оросительной сети насосной станции. Именно такая техника дождевого орошения сегодня пользуется активным

спросом при проведении уходных мероприятий на территориях реакционного значения в черте города. Классификация дождевальных установок представлена в таблице.

Таблица. **Классификация дождевальных установок, используемых в дождевальном орошении объектов ландшафтной архитектуры**

По создаваемому напору		
– низконапорные (менее 30 м)	– высоконапорные (более 30 м)	
По принципу проведения полива:		
– неподвижные	– вращающиеся вокруг вертикальной оси	
По конструкции оросительной системы:		
– открытые	– закрытые	
По принципу создания напора:		
– самонапорные системы	– системы, создаваемые напор насосными станциями или насосами дождевальных устройств	
По способу перемещения в пределах орошаемого участка:		
– стационарные	– перемещаемые	– самоходные
По радиусу действия:		
– короткоструйные (менее 10 м)	– среднеструйные (10–50 м)	– дальнеструйные (более 50 м)
По принципу создания искусственного дождя:		
– дефлекторные (отражательные)	– струйные	

Дождевальные устройства оборудованы насадками и аппаратами, они представляют собой приборы, преобразующие водные потоки в дождевые капли. Их основное различие заключается в наличии или отсутствии подвижных частей. Функция насадок состоит в распылении потока, а аппарата – в распылении и распределении его по заданной площади.

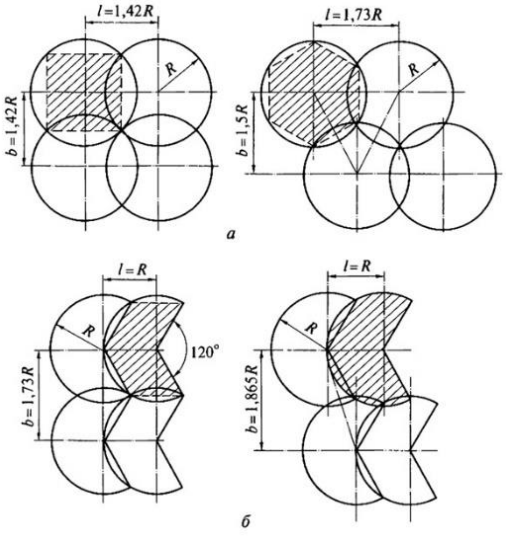


Рисунок. **Схема полива дальнеструйными дождевыми насадками:**
а – круговой полив; б – полив по сектору; R – радиус полета струи;
L – расстояние между позициями на оросителе или трубопроводе; b – расстояние между оросителями или трубопроводами

Установлено, что равномерное увлажнение определенного участка зависит от ветра. Этот факт обосновывает круговое движение при скорости ветра до 2,5 м/с. При более сильном ветре полив производится по чётко разделённым секторам под углом 240° (рис.).

При включении дождевальных насадок и аппаратов в механизмы дождевальных установок необходимо учитывать впитывающие свойства почвы. Это означает, что средняя интенсивность дождя не должна превышать впитывающую способность почвы в конце полива, следовательно необходимо регулярно поддерживать почву в рыхлом состоянии путем вертикальной прополки или выемкой тяжелого грунта (до глубины 100 мм и более) и замена его лёгким грунтом (песком).

ЛИТЕРАТУРА

1. Архитектурно-ландшафтный дизайн: теория и практика: учебное пособие / Г.А. Потаев, А.В. Мазаник, Е.Е. Нитиевская [и др.]; под общей редакцией Г.А. Потаева. – 2-е изд. Москва: Форум; ИНФРА-М, 2018. С. 60–71.
2. Васильева, В.А. Ландшафтный дизайн малого сада / В.А. Васильева, А.И. Головня, Н.Н. Лазарев. – 2-е изд., перераб. и доп. М.: Издательство Юрайт, 2020. С. 21–34.
3. Максименко, А.П. Ландшафтный дизайн: учебное пособие / А.П. Максименко, Д.В. Максимцов. – Электронное издание. Санкт-Петербург: Лань, 2017. С. 33–49.
4. Серикова, Г.А. Планирование и благоустройство сада / Г.А. Серикова. Москва: ОЛМА Медиа Групп, 2015. С. 57–81.
5. Теодоронский, В.С. Садово-парковое хозяйство с основами механизации работ. Ростов-на-Дону: Феникс, 2006. С. 142–163.

УДК 628.161

ОПЫТ ВОДООЧИСТНЫХ СТАНЦИЙ В РЕШЕНИИ ПРОБЛЕМ ОЧИСТКИ СЛОЖНЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД

А.С. Балобанов
ООО «НПЦ ПромВодОчистка», г. Н. Новгород, Россия

В статье изложены методы модернизации систем водоподготовки. В процессе поиска путей усовершенствования был использован анализ опыта работы команды ООО «НПЦ ПромВодОчистка» на объектах с загрязненными поверхностными водами. На их примере были выявлены наиболее эффективные и менее ресурсозатратные методы очистки воды.

ООО «НПЦ ПромВодОчистка» – инжиниринговая компания, проектирующая водоочистные сооружения с их дальнейшим

изготовлением и обслуживанием.

«Научно Производственный центр промышленной очистки воды» специализируется на разработке технологий очистки воды гражданского и промышленного назначения. Компания является отечественным производителем регулирующей арматуры и оборудования для водоподготовки и водоотведения под собственными марками: «ПВО», «ГЦ», «РКМ», «АКВ».

Одна из целей предприятия – изготовление качественного отечественного промышленного оборудования для различных задач. В процессе проработки решения по подбору оборудования специалистами компании осуществляются строгий контроль соблюдения норм и стандартов, а также лабораторные и пилотные испытания. Целью проведения экспериментальных мероприятий является получение объективных данных об эффективности и технологических особенностях очистки воды конкретного технологического участка на предприятии заказчика. Исходя из достоверных, полученных опытным путем, данных можно подтвердить правильность выбранной технологии в реальных условиях и скорректировать ее, в случае необходимости.

«Научно Производственный центр промышленной очистки воды» сотрудничает с институтами и университетами. Полученные знания находят применение на практике, способствуя решению самых сложных задач в сфере промышленной очистки воды и сточных вод.

Процессы жизнедеятельности микроорганизмов и фитопланктона, как часть естественного цикла очистки водоемов и эвтрофикации, ведут к увеличению нагрузки на сооружения водоснабжения.

Большинство поверхностных источников содержат антропогенные примеси, которые не всегда могут быть очищены классическими методами. Одними из косвенных показателей повышенной нагрузки на водоем являются: окисляемость, цветность, мутность, запах, привкус.

Повышенное содержание загрязнений, вызывающих цветность, мутность, окисляемость ведет к увеличению расходов реагентов, применяемых в системах водоочистки. Корректировка режимов работы сооружений не всегда может помочь удержанию загрязнений, и в воду могут попадать органические соединения, в том числе продукты реакции применяемых реагентов.

В данном докладе мы рассмотрим опыт работы нашей компании с поверхностными источниками водоснабжения.

Регламентирующим документом в подборе технологии водоподготовки является таблица 11, СП31.13330.2021 [1]. Подбор технологии осуществляется только по цветности и мутности, но не всегда предложенная технология способна обеспечить качество очищенной воды.

Начнем наш обзор с поверхностного источника – р. Поньга, который не попадает под характеристики данной таблицы. В представленном

источнике были выявлены превышенные параметры: цветности 522 град., мутности 17,7 мг/л. и окисляемости 20 мгO_2/л. По параметру цветности источник не соответствует требованиям таблицы (максимальное значение до 120 град). Изначально технология очистки на станции была следующая: отстойники – скорые безнапорные фильтры. Однако при таких показателях воды технология водоподготовки требовала строгого соблюдения дозировки реагентов, и как следствие, их повышенного расхода. В связи с этим, в качестве альтернативы специалистами нашей компании было предложено и, испытано на исходной воде, оборудование по ультрафильтрации.

Рисунок 1. **Установка ультрафильтрации второй ступени**

Испытания дали следующие результаты по качеству очистки: цветность 40 град, мутность 3 мг/л; окисляемости 12 мгO_2/л. На основании данных показателей принято использовать двухступенчатую систему очистки: первая ступень – капиллярная ультрафильтрация, вторая – рулонная ультрафильтрация. При соблюдении всех технологических параметров дозирования реагентов на станции водоподготовки получилось достичь показателей качества воды по СанПиН 2.1.3684-21.

По опыту эксплуатации данного оборудования требуется строгий контроль и соблюдение режимов дозирования реагентов.

Рассмотрим следующий источник – Ладожское озеро. В этом случае были превышения по показателям: цветность 42 град., мутность 5,8 мг/л., окисляемость 8,8 мгO_2/л.

Станция водоподготовки была спроектирована в соответствии с техническим заданием по замене, вышедшей из строя, системы ультрафильтрации. Данная станция после проведения пуско-наладки очистила воду до требований СанПиН. Установки поставлялись без проведения проектной работы, так как имели незначительные расходы и затраты на изготовление.

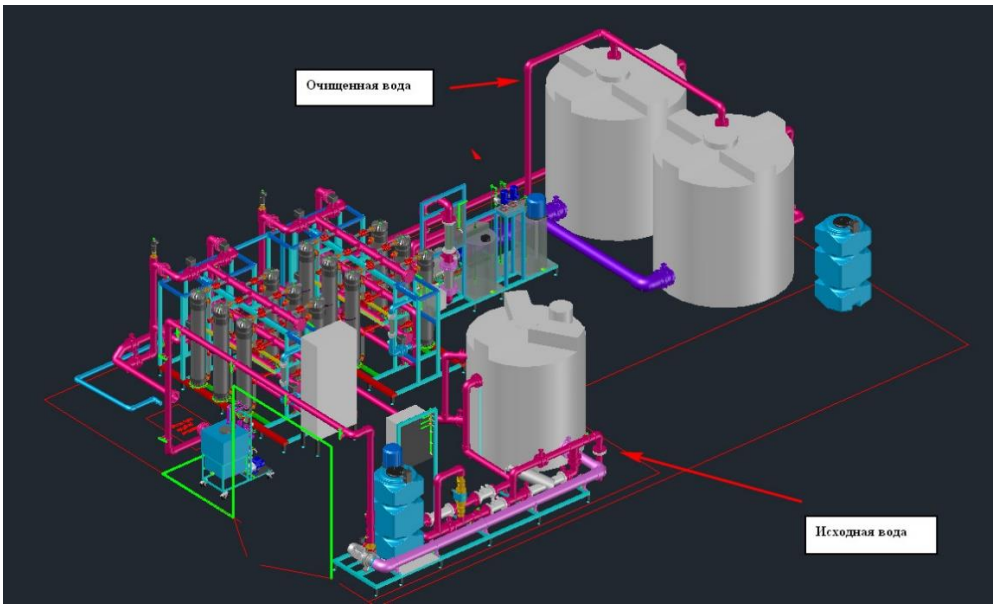


Рисунок 2. **Размещение блока ультрафильтрации в границах существующего здания**

В рамках проектной разработки станций водоподготовки хочется рассмотреть следующие варианты технологических систем очистки воды. Сравнение мембранных методов очистки с засыпными фильтрами. Для анализа работы оборудования возьмем Горьковское водохранилище. Согласно табл. 11, СП31.13330.2021 [1], для осветления и обесцвечивания его вод могут быть использованы технологические схемы, включающие:

– отстойники и скорые фильтры;
– контактные префильтры и скорые фильтры;
– контактные осветлители.

Рисунок 3. **Осветлитель со слоем взвешенного осадка**

Применение технологической схемы с отстойниками и скорыми фильтрами возможно при мутности исходной воды до 1500 мг/дм^3 и цветности до 120 град. Мутность воды Горьковского водохранилища редко превышает 3,0 мг/дм^3, что недостаточно для эффективного протекания процессов хлопьеобразования и отстаивания, особенно в холодное время года.

Макетные испытания по ультрафильтрации показали следующие результаты: снижение цветности с 52 град до 7,0 град; снижение мутности с 5,4 мг/л до 0,58 мг/л; снижение окисляемости с 10,4 мгO_2/л до 4,0 мгO_2/л. Данные испытания подтвердили эффективность очистки на предложенной технологической схеме.

В качестве альтернативы использовался засыпной материал ОДМ-2Ф. Испытания показали следующие результаты: снижение цветности с 52 град до 18,4 град; снижение мутности с 5,4 мг/л до 1,7 мг/л; снижение окисляемости с 10,4 мгO_2/л до 4,8 мгO_2/л; Полученный результат подтвердил возможность использования данного засыпного материала для очистки воды из водохранилища. В процессе испытаний требовалось строгое соблюдение дозировок реагентов, так как при смене режима дозирования качество очистки не удовлетворяло требованиям СанПиН.

При проектировании станции водоподготовки на основе мембранных технологий появились следующие проблемы – в нормативной литературе нет достаточного объема информации по возможности применения данного метода в проектах водоподготовки и на станциях водоснабжения населенных пунктов. В итоге была запроектирована станция с трехступенчатой фильтрацией, первая степень – скорые напорные фильтры с загрузкой кварцевый песок для первичного отсева загрязнений; скорые напорные фильтры с каталитической загрузкой, отсев трудно окисляемых загрязнений; скорые напорные фильтры с сорбционной загрузкой в качестве барьерных фильтров. Выполненный проект прошел государственную экспертизу и на данный момент находится на этапе строительства.

Следующий источник водоснабжения – р. Керженец. Помимо высокой цветности (до 98 град) и окисляемости (до 21,4 мгO_2/л) в воде наблюдались превышения по наличию железа (до 1,75 мг/л), что сказывалась на работе существующих сооружений. Изначально станция водоподготовки была запроектирована на основе фильтров со слоем взвешенного осадка, но при указанных показателях качества жидкости в источнике она не была эффективна, качество воды в резервуаре чистой воды было следующим: цветности – до 60 град; окисляемости – до 17,9 мгO_2/л; железу – до 0,93 мг/л.

Опытная эксплуатация проходила на основе четырех фильтров (площадь одного фильтра 0,052 м^2). В процессе эксплуатации производилась замена фильтрующих сред, корректировка доз и точек

ввода реагентов. Опытная эксплуатация (включая изменение конфигурации оборудования) длилась 35 календарных дней, преимущественно в паводковый период.

Рисунок 4. **Скорый безнапорный фильтр**

Технологическая схема очистки, предложенная компанией ООО «НПЦ ПромВодОчистка», показала свою работоспособность. В ходе испытаний засыпные материалы Кварцевый песок и ОДМ-2Ф показали низкую эффективность очистки при разных концентрациях коагулянта даже в две ступени, в то время как материал Сорбент МС позволил получить воду питьевого качества уже после первой ступени. При этом была выявлена необходимость предварительного окисления органических загрязнений, применение коагулянта в оптимальной дозе, а также подщелачивание исходной воды.

После проведения испытаний нашей компаний был разработан проект реконструкции существующих сооружений. А также проведена реконструкция фильтров с слоем взвешенного осадка в горизонтальный отстойник с тонкослойным блоком и скорые напорные фильтры, реконструкция контактной камеры хлопьеобразования, сделан проект нового реагентного хозяйства.

В качестве заключения хочется еще раз сказать о том, что модернизация и проектирование сооружений водоподготовки требует серьезного подхода к выбору технологий очистки и применяемых реагентов. Если у проектной компании нет практического опыта очистки воды из конкретного источника, то необходимо подойти к

проектированию только после макетных испытаний или опытной эксплуатации масштабной установки. Необходимо подходить к проектированию еще и с точки зрения эксплуатационных затрат при дальнейшей работе сооружений.

При необходимости можно обратиться в квалифицированную компанию и получить действительно профессиональную поддержку.

Нельзя унифицировать проекты и искать универсальные и сильно дешевые методы очистки воды, так как воды поверхностных источников имеют разные входные и выходные параметры по качеству, да и технологических и технических решений разработано достаточное количество. Нельзя одной таблеткой лечить все болезни, ведь типовых ситуаций не бывает.

Поход к проектированию и строительству должен решать максимальное количество задач и с возможными низкими капитальным и эксплуатационными затратами. Наша задача – получение качественной воды в финальной точке независимо от сезонного качества воды в источнике, не меняя при этом кардинально технологию очистки.

ВЫВОДЫ

1. Каждый источник водоснабжения индивидуален.
2. Не нужно ограничиваться техническим заданием технологической схемы очистки.
3. Необходимо проводить макетные испытания на источнике водоснабжения.

ЛИТЕРАТУРА

1. СП 31.13330.2021. СНиП 2.04.02-84* Водоснабжение. Наружные сети и сооружения = Water supply. Pipelines and portable water treatment plants. – М.: Минстрой России, 2021. 159 с.

УДК 628.1:532.5.

ЭЛЕКТРОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРАВЛИКИ ВОДОПРОВОДНОЙ СЕТИ ГОРОДА-КУРОРТА ПРИ СЕЗОННОЙ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ

А.И. Трипутько, А.Д. Гуринович, В.Н. Коваленко
ООО «ПроГИС», г. Минск, Беларусь

Статья посвящена разработке электронной модели системы водоснабжения в деятельности одного из городов, расположенного на побережье Чёрного моря. Изложена проблематика существующей системы водоснабжения, режимы работы и особенности эксплуатации. Разработаны технические решения по зонированию для снижения давления в водопроводной сети, учёта расхода и решения водобалансовых задач.

На базе программно-расчётного комплекса ZuluGIS (ZuluHydro) была создана рабочая электронная модель гидравлики водопроводной сети одного из причерноморских городов с целью определения и формирования зон регулирования давления и решения водобалансовых задач забора, подачи, распределения и потребления воды, а также анализа режимов эксплуатации и решение существующих технических проблем при проектировании, модернизации, реконструкции и перспективного развития.

Города Причерноморья характеризуется следующими общими особенностями местности и режимами работы систем водоснабжения:

– выраженным рельефом и климатом со значительными изменениями гидрологических и гидрогеологических параметров поверхностных и подземных источников водоснабжения;

– значительной протяжённостью водопроводной сети и наличием большого количества тупиковых участков;

– высокой неравномерностью водопотребления по сезонам (суммарное водопотребление в курортный сезон (дефицитный период) превышает в 2 и более раза водопотребление в бездефицитный период;

– в дефицитный период в некоторых районах могут быть перерывы в снабжении водой, и подача воды осуществляется по графику;

– в водопроводной сети у некоторых потребителей воды в бездефицитный период наблюдаются сверхизбыточные напоры в связи со значительными перепадами высот.

На рисунке 1 представлены пьезометрические отметки и напоры на участках водопроводной сети.

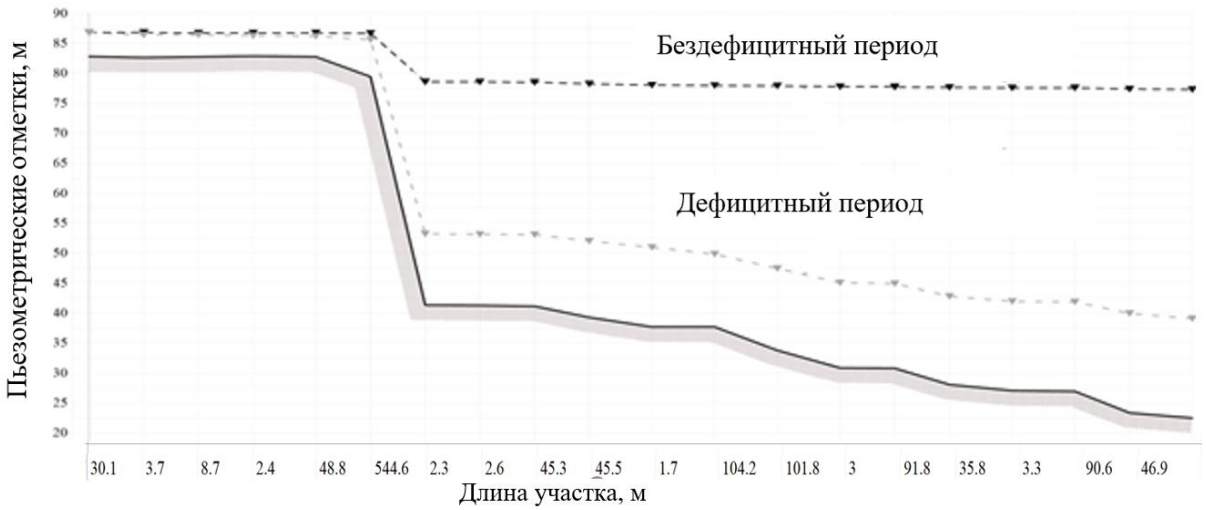


Рисунок 1. **Пьезометрические отметки и напоры характерных участков водопроводной сети**

Для создания рабочей электронной модели гидравлики водопроводной сети на базе имеющихся данных проектной, исполнительной и эксплуатационной документации первоначально была

разработана исходная модель, которая подвергалась калибровке.

Калибровка электронных моделей гидравлики водопроводных сетей заключается в определении параметров, которые обеспечат оптимальное соответствие между измеренными и прогнозируемыми давлениями и расходами воды в сети с требуемой погрешностью и отражающей текущее состояние и реальные режимы работы сети. Калибровки выполнялись для режимов работы водопроводной сети в бездефицитный и дефицитный периоды.

Калибровка исходной электронной модели в бездефицитный период осуществлялась на основе данных экспериментальных измерений приборами расходов в 10 контрольных точках и давлений в 55 точках за период с ноября 2021 г. по январь 2022 г. (включительно). В результате были скорректированы гидравлические сопротивления участков сети путём минимизации расхождений расчётных и измеренных расходов и давлений (манометрическая съёмка) в контрольных точках измерений. Контрольные точки измерений выбирались на основании нескольких групп критериев, диктующих требования по положению в сети, гидравлическим режимам, возможности установки средств измерений расходов и давления, стабильности и безопасности их работы в отведённый период.

По данным манометрической съёмки определялись минимальные, средние и максимальные давления, а в часы максимального водоразбора – расходы в контрольных точках, на основании которых давления и расходы были откалиброваны в электронной модели. В таблице приведены данные сравнений с отклонениями Δ %.

В результате выполнения калибровочных расчётов было выявлено 86 участков на сети с высокой степенью отклонения от калибровочных значений. Наличие мест с отклонением свидетельствует о не точности модели (местных сопротивлений, заужений диаметра, скрытых утечек и т.д.) и требует проведения натурно-инструментального обследования. По данным обследования установлено, что в 67 случаях причиной отклонения являлось местное сопротивление в виде запорных устройств (степени открытия от 15 до 90 %), 3 утечки (площадь отверстия от 3,7 до 9 см^2) и в 16 местах не были определены причины отклонений. По завершению обследования изменения были внесены в топологию сети, а модель повторно откалибрована.

Калибровка электронной модели водопроводной сети в дефицитный период проводилась на базе откалиброванной электронной модели в бездефицитный период на основе данных прогнозируемого водопотребления в существующих зонах технического учёта в летний сезон 2022 г. За исходную информацию о расходах в данных зонах приняты сведения о водопотреблении в бездефицитный период. Корректировка расходов воды в узловых точках определялась с учётом

коэффициента K_i, равного отношению расхода воды в i-ой зоне, согласно водному балансу на дефицитный период 2022 г., к расходу воды i-зоной в бездефицитный период.

Таблица. **Данные давлений манометрической съёмки и измеренных в часы максимального водоразбора по характерным контрольным точкам и калибровке**

№	Давления					Расходы		
	Манометрическая съёмка, бар			Калибровка бар	Δ, %	Измеренный, л/с	Калибровка, л/с	Δ, %
	мин.	среднее	макс.					
1	35,19	38,90	44,01	38,90	0,00	26,62	25,89	2,71
2	44,33	49,87	55,64	49,45	0,85	11,73	11,10	5,27
3	34,75	34,92	35,10	32,34	7,40	127,47	127,46	0,00
4	39,03	44,96	48,06	39,04	13,16	140,23	140,25	–0,02
5	54,68	58,51	62,61	63,11	–7,87	69,85	71,36	–2,16
6	47,21	50,17	54,29	48,56	3,21	52,08	54,72	–5,06
7	29,67	35,78	42,29	43,13	–0,52	12,50	11,89	4,87
8	92,41	96,64	102,79	86,67	10,32	22,76	22,69	0,30
9	22,91	25,72	27,95	25,44	1,10	28,81	29,32	–1,78
10	50,73	54,47	58,98	54,47	0,00	0,00	50,73	54,47

Созданная таким образом откалиброванная электронная модель является рабочим инструментом имитационного моделирования для проведения гидравлических расчётов технологических процессов при эксплуатации и проектировании, направленных на повышение эффективности работы системы водоснабжения и снижение потерь воды. Следует отметить, что при использовании модели для решения комплекса практических задач процесс калибровки должен производиться постоянно многократно для внесения текущих изменений и уточнений.

Откалиброванная рабочая электронная модель гидравлики в программном комплексе ZuluGIS использовалась для определения и формирования зон регулирования давления и решения водобалансовых задач забора, подачи, распределения и потребления воды, анализа режимов эксплуатации и решения существующих технических проблем, а также при проектировании, модернизации, реконструкции и перспективного развития системы водоснабжения.

Количество и расположение зон водопроводной сети определялись на основании проведённых гидравлических расчётов. Водопроводная сеть на территории была разделена на 21 зону, из которых 9 зон – понижения давления и 12 зон – учёта расхода (рис. 2).

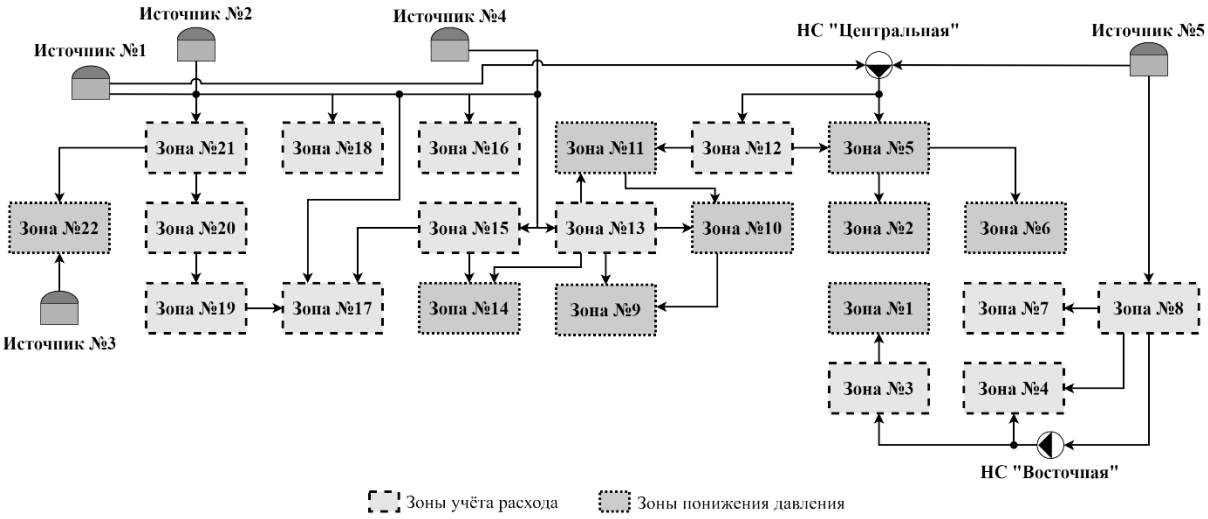


Рисунок 2. **Схема зонирования водопроводной сети**

Зоны понижения давления расположены в прибрежной полосе города, где имеют место давления, значительно превышающие свободные напоры у потребителей. Это приводит к увеличению потерь и перерасходу водопотребления, аварийности сети, повышенному износу внутренних водопроводных сетей и сантехнических устройств у потребителей, а также могут иметь место несанкционированные и скрытые подключения потребителей. Для данных зон характерна также низкая степень закольцованности сети, что снижает надёжность её работы. Совокупность сложившихся обстоятельств приводит к большим материальным и экономическим потерям. Для снижения и поддержания требуемого давления на участках сети, подающих воду в зону понижения давления, предусматривается установка регуляторов давления. Снижение давления в этих зонах позволит значительно снизить водопотребление, утечки и аварийность водопроводной сети.

Зоны учёта расхода, расположенные на возвышенных равнинных территориях города, являются преимущественно транзитными, в которых давления в сети соответствуют значениям, удовлетворяющим нормативным требованиям. На участках сети подводящих и отводящих трубопроводов в зонах учёта расхода предусматривается установка расходомеров. Регистрация расходов позволит решать вопросы водного баланса, а также использовать их в электронной модели для определения мест образования потерь воды и неучтённого водопотребления. Для повышения надёжности работы зон необходимо осуществить закольцовку тупиковых участков водопроводной сети путём строительства дополнительных трубопроводов. Для удобства ранжирования по приоритету их строительства также было сформировано 10 групп участков с соответствующими для каждой из них приоритетностью и очередью строительства.

Экономический эффект от внедрения технических решений по

зонированию системы подачи и распределения воды позволит экономить предприятию водопроводно-канализационного хозяйства ежегодно от 1,5 до 5,5 млн. руб. за счёт снижения потерь воды в системе, предотвращения возникновения новых утечек и повреждений.

Также в результате расчётов режимов работы водопроводной сети города, наряду с зонированием, были выявлены многоэтажные дома, в которых потребители на верхних этажах не могут быть обеспечены водой в связи с недостаточным давлением, что обуславливает необходимость проектирования и установки новых или запуска в работу существующих локальных повысительных насосных станций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Громов, Г.Н. Совершенствование гидравлических и технико-экономических расчётов систем подачи и распределения воды с использованием электронных моделей: дис. … канд. тех. наук: – М., 2021. 143 с.
2. Digital Water Report International Water Association [Электронный ресурс]. – Режим доступа – https://iwa-network.org/publications/digital-water/. – Дата доступа: 22.03.2022.
3. Oliver Grievson,Timothy Holloway,Bruce Johnson. A Strategic Digital Transformation for the Water Industry. IWA Publishing: London, UK,, 2022. 120 s.
   Kwietniewski M. GIS w wodociągach i kanalizacji, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa, 2008. 242 s.

УДК 712.2.025

МОНИТОРИНГ ТЕРРИТОРИЙ РЕКРЕАЦИОННЫХ ОБЪЕКТОВ В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ ДЛЯ СОСТАВЛЕНИЯ ПРОЕКТА РЕКОНСТРУКЦИЙ

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
А.А. Асатрян, Те.Е. Хецуриани
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия
Д.С. Бырин
Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Россия

В связи с высокими темпами развития городской застройки, активным протеканием социокультурных процессов в обществе, человек всё больше тяготеет к отдыху в окружении естественной природной среды. Нужда в стабильном психоэмоциональном состоянии приобретает острый характер. Рекреационные

потребности горожан необходимо отслеживать. Для этого проводятся социологические исследования, полученные результаты которых позволяют выявить новые запросы на территориальную организацию мест длительного или кратковременного отдыха в пределах рекреационных зон.

Независимо от основных параметров объектов рекреационного значения, нормативно-правовые требования (Градостроительный кодекс, СНиП и СанПин) должны быть выполнены при их обустройстве. Земли рекреационного значения призваны сохранить свои экологические функции на высоких показателях и одновременно отвечать критериям качественного и количественного разнообразия длительного, кратковременного отдыха в городе или за его пределами [4–5]. Перед началом проведения благоустроительных мероприятий проект должен отвечать целям и задачам заказчика [3, 6–7]. Проектная организация в обязательном порядке проводит комплексное натурное обследование состояния территории объекта и произрастающих зелёных насаждений [2]. Создание гармоничных условий рекреации максимально приближенных к природной среде требует подробного изучения состояния древесно-кустарниковой растительности.

В своих научных работах В.А. Агальцова [1, 9] отмечает, что предпроектный анализ изучаемой территории состоит из поэтапного выполнения изыскательских работ [8, 10]:

- ландшафтная таксация;
- почвенно-мелиоративные изыскания;
- санитарно-гигиенические исследования или изучение состояния окружающей среды;
- рекреационные работы;
- инженерные изыскания дорожно-тропиночной сети;
- социальные исследования;
- экономические исследования [11].

Другой исследователь М.И. Пронин включает в указанный перечень топографо-геодезические изыскания и подробные обследования флоры и фауны [12]. В зависимости от сложности восприятия исследуемого объекта перечень проектно-изыскательских работ может дополняться изучением историко-культурной составляющей рекреационного ландшафта [13].

С использованием планово-картографических материалов производится уточнение точных границ территории объектов рекреации, принимаются во внимание возможные перепады высот сложившегося рельефа. Топографо-геодезические работы проводятся на различных площадях и зависят от характера дальнейшего замысла проекта обустройства [14]. Примерные масштабы работ в проектировании городских рекреационных зон приведены в таблице 1.

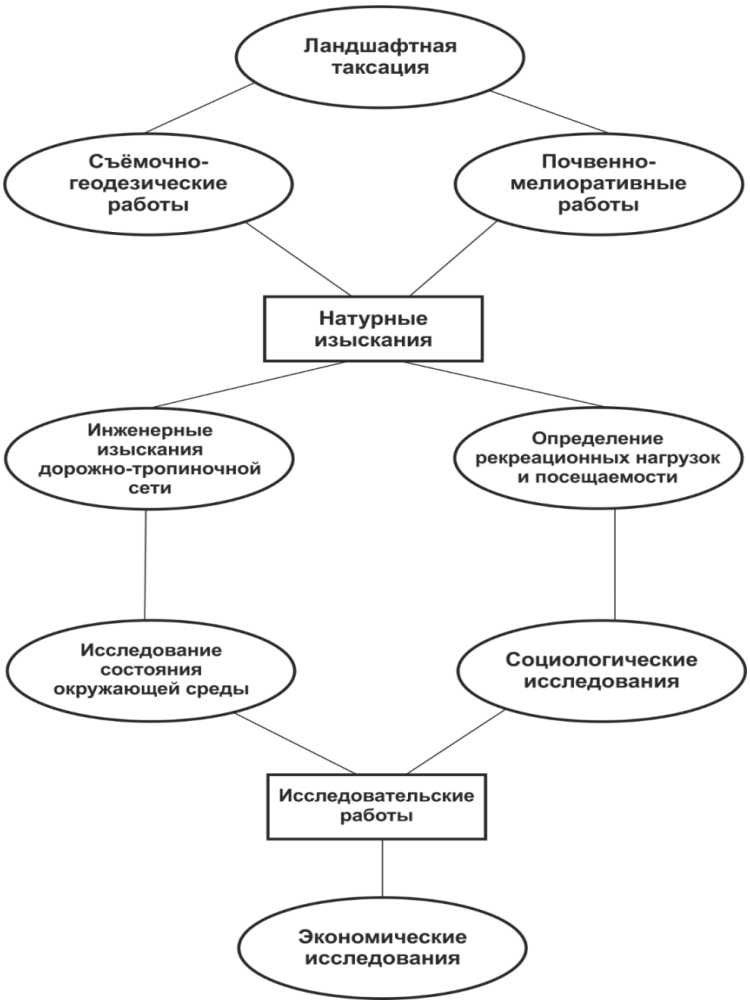


Рисунок. **Схема организации и состава предпроектных работ**

Подробная инвентаризация существующих компонентов рекреационной зоны возможна только после тщательного подбора масштаба [15]. Изучение свойств и определения типологии, а также степени распространения почв проводится на этапе почвенно-мелиоративных изысканий.

Таблица 1. **Масштабы топографо-геодезических работ в зависимости от площади объектов**

Масштаб	Площадь объекта, га	Примерный вид объекта и его расположение
1:500	до 50	Для парковых или лесных участков на композиционных узлах лесопарков площадью 5 га
1:1000	до 500	Для парковых и лесных участков на трассах будущих дорог протяжённостью более 1 км
1:2000	до 2 000	Для парковых и лесопарковых участков в черте города
1:5000	до 5 000	Для лесных и лесопарковых массивов в черте города
1:10000	более 5 000	Для лесных участков за пределами города

Подбор посадочного материала и составление схемы уходовых мероприятий также связано с таким видом изысканий. Точность обследования напрямую сопряжена с Инструкцией по почвенному картированию почв [16]. В состав обследования включено: рекогносцировка, почвенная съёмка, корректировка почвенных карт, лабораторные анализы и камеральная обработка полученных результатов. Образцы почв берутся на различных участках рельефа с привязкой к постоянным элементам местности, неизменным ориентирам. По итогу описания почвенных разрезов составляется почвенная карта с пояснительной запиской [19]. По эдафической сетке академика и почвоведа П.С. Погребняка даётся характеристика напочвенного покрова и типов условия произрастания различных древесно-кустарниковых пород [20].

С целью определения негативного воздействия на окружающую среду, установление источников загрязнения компонентов естественной природной среды необходимо санитарно-гигиеническое исследование. Нарушенность ценозов возможно предотвратить, предварительно изучив метеоусловия и розу ветров рассматриваемой местности. Взятые пробы воды, почвы и воздуха отправляются в сертифицированные лаборатории специализированных организаций и ведомств. Полученные выводы позволят разработать стратегические рекомендации, которые будут призваны снижать негативную динамику деградации рекреационных зон.

В ходе проведения рекреационных исследований определяются наиболее привлекательные места для проектирования общественных пространств, имеющих потенциал всеобщего притяжения. На основании наблюдений за посещаемостью горожанами возможных рекреационных объектов удаётся выяснить уровень рекреационной нагрузки. В результате этого составляются карты-схемы с указанием вариантов размещения дорожно-тропиночной сети для регулирования потока рекреантов. Расчёт рекреационных показателей выявляет перспективы развития нового направления в туризме – экологического туризма в городе.

Прокладка различных видов маршрута, включая пеший маршрут, проводится в рамках инженерных изысканий дорожно-тропиночной сети. Основная задача – поиск технических решений при закладывании дорожного полотна (прогулочных, подъездных, хозяйственных, велосипедных, конных, лыжных, автостоянок и площадок спортивных, творческих активностей). Детали дорожных сооружений должны гармонично вписываться в окружающий ландшафт, своей востребованностью не наносить экологический ущерб и быть экономичными в расходовании средств на их обслуживание. Проектирование на этом этапе определяется техническим заданием в зависимости от сложности рельефа и строения грунтов.

Показатели потребностей в отдыхе различных групп населения сводятся к выявлению объектов социального характера (учреждения отдыха, детские сады, школы и т.п.) в районе предположительного расположения рекреационной зоны. Предпочтения в различных видах времяпрепровождения на открытых участках городской инфраструктуры определяются количеством, возрастным составом. В результате социальных исследований составляется перечень рекомендаций на планирование социального досуга.

Оценка экономической составляющей рекреационных объектов позволяет производить подготовку платных экскурсионных маршрутов, рассчитывать экономическую выгоду от эксплуатации элементов, входящих в состав рекреации. Специально созданные участки (парки, ботанические сады, дендрарии, учебно-опытные питомники и т.п.) могут пользоваться активным спросом и, в свою очередь, за них может взиматься определённая плата. Вырученные денежные средства направляются на затраты по уходу и содержанию декоративных и утилитарных малых архитектурных форм, древесно-кустарникового ассортимента. К вопросам экономических исследований также относится изучение нормативно-ценовой базы стройматериалов, оборудования и механизмов, задействованных в инфраструктуре проектируемой территории.

Разнообразие видов, численность, состав естественно сложившейся флоры и фауны требуют соответствующей охраны и защиты. Собранная информация на этапе изучения живой и неживой природы определяет ряд мероприятий, направленных на их целостное сохранение.

Комплексный подход к проведению предпроектного анализа в обязательном порядке включает в себя качественную оценку ландшафта территории. Ландшафтный анализ подразумевает под собой работы, при выполнении которых выявляются положительные и отрицательные характеристики территории. Необходимость этого заключается в достижении поставленной цели – формировании единого сочетания составных частей проекта с окружающей природной средой. Сложный творческий процесс также определяет основные ориентиры в функциональности и разнообразии предполагаемых видов отдыха. При правильном построении видовых точек все ценные природные элементы (рельеф, насаждения, водные объекты и т.п.) приобретают ещё большую эстетичность. В описание таких интересных и запоминающихся уголков рекреационного объекта входят такие данные, как местоположение, направление сторон света, угол обзора, передний и задний план, а также другие особенности. Завершением оценки является подбор рекомендуемых мероприятий по становлению и дальнейшему содержанию всей сложившейся пейзажной или регулярной природной картины парка, сквера, бульвара и других земель рекреационного значения.

Проектирование объектов рекреационного значения подразумевает сложный и многоуровневый процесс последовательного решения планировочных и композиционных задач. На первом уровне (от общего к частному) производится выявление общих достоинств и потенциальных возможностей объекта для изучения его природных свойств, инвентаризации основных компонентов. На втором уровне (от частного к общему) оценивается состояние выделенных участков по факторам и на его основе определяются идеи объекта и решение его планировочной структуры. Третий уровень (снова от общего к частному) характеризуется принятой структурой и конкретным решением по функциональному зонированию, опираясь на разветвлённую дорожно-тропиночную сеть в сочетании с древесно-кустарниковыми композициями. В процессе составления программы предпроектного анализа важно брать во внимание сложившиеся функциональные части городской инфраструктуры (рис. 2). Это необходимо для учёта позиций размещения и организации объектов различного значения (центр города, селитебная зона, промышленная зона, коммунально-складская зона, зона внешнего транспорта, городские парки, скверы, бульвары, границы города).

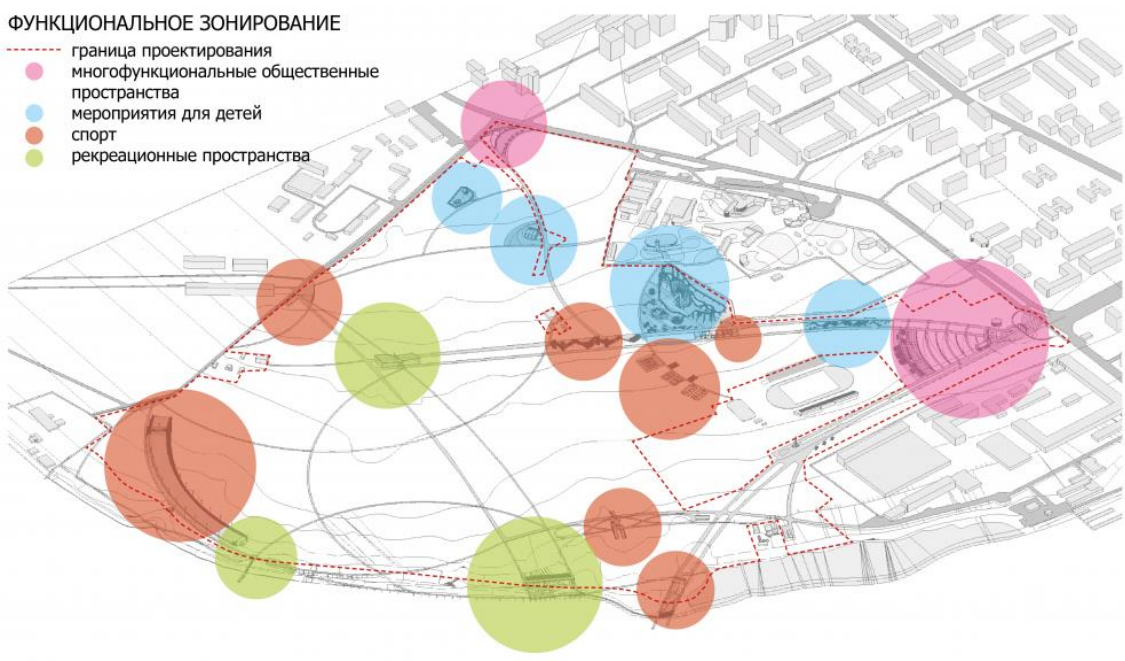


Рисунок 2. **Пример функционального зонирования городской территории**

Учитывая в совокупности функциональные, природоохранные, технологические факторы, можно прийти к выводу о том, что вне зависимости от типа, выбранного на обустройство рекреационного объекта, регулирование рекреационной нагрузки возможно за счёт дополнительных площадей инфраструктуры и максимального приобщения их к природному комплексу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авдотьин Л.Н., Лежава И.Г., Смоляр И.М. Градостроительное проектирование: Учебник для ВУЗов. М.: Стройиздат, 1989. 432 с.
2. Агальцова В.А. Основы лесопаркового хозяйства: учебник / В.А. Агальцова М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2012. 213 с.
3. Агальцова, В.А. Горки Ленинские. Сохранение и восстановление ландшафтов /В.А. Агапльцова. М.: Агропромиздат, 1987. 198 с.
4. Агальцова, В.А. Основы лесопаркового хозяйства: учеб.-метод. пособие /В.А. Агальцова. – 2-е изд., испр. М.: МГУЛ, 2005. 40 с.
5. Временные технические указания по устройству лесов рекреационного назначения. В/О «Леспроект». М., 1980.
6. Географические аспекты исследования рекреационных систем. М.: 1979. 285 с.
7. ГОСТ 17.6.3.01-78. Охрана природы. Флора. Охрана и рациональное использование зеленых зон городов. – М.: Изд-во стандартов, 1978. 4 с.
8. ГОСТ 17.8.1.01-86. Охрана природы. Ландшафты. Термины и определения. М.: Изд-во стандартов, 1987. 8 с.
9. ГОСТ 177.5.3.01-78. Охрана природы. Земли. Состав и размеры зеленых зонгородов. М.: Изд-во стандартов, 1980. 4 с.
10. Залесская Л.С., Микулина Е.М. Ландшафтная архитектура: Учебник для ВУЗов. М.: Стройиздат, 1979. 240 с.
11. Инструкция по проведению лесоустройства в Государственном лесном фондеСССР. М.: Изд-во госкомлеса СССР, 1989. 231 с.
12. Конашова, С.И. Основы лесопаркового хозяйства: учеб. пособие / С.И. Конашова. Уфа: БашГАУ, 2004. 182 с.
13. Коноплева Р.Г. Поселок на 1,5–5 тысяч жителей: Методические указания к курсовому проекту / Владим. гос. ун-т. Владимир, 2007. 48 с.
14. Коршунова Е.М. Технико-экономические расчеты строительства новых и реконструкции зданий различного назначения (на стадии технико-экономического обоснования): Учеб. пособие / Е.М. Коршунова, Н.А. Малинина, К.В. Малинина. СПб. СПбГАСУ, 2011. 104 с.
15. Курамшин, В.Я. Ведение хозяйства в рекреационных лесах / В.Я. Курамшин. М.: Агропромиздат, 1988. 208 с.
16. Краснощекова Н.С. Формирование природного каркаса в генеральных планах городов: учеб. пособие для ВУЗов. М.: Архитектура-С, 2010. 184 с.
17. Ландшафтная таксация: учеб. пособие. / Тепляков В.К., Фурсова Л.М., Агальцова В.А. М.: МГУЛ, 1991. 123 с.
18. Лесоустройство: учеб. для вузов. / Е.С. Мурахтанов, Н.А. Моисеев, П.И. Морози др. М., 1983. 283 с.
19. Машинский Л.О. Преобразование лесных насаждений в лесопарковые. М.:ЦНИИП градостроительства, 1969. 124 с.

Николаенко Д.В. Рекреационная география. М.: 2001. 405 с.

УДК 628.144.23

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ В ОСОБЫХ ГОРНОКЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

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

Предлагается на рассмотрение комбинированная схема систем водоснабжения и водоотведения, решения по обеспечению экологической безопасности при развитии инфраструктуры туристических кластеров со сложными природными горноклиматическими условиями. Приведены технологические схемы магистральных самотечно-напорных водовода и канализационного коллектора, а также варианты использования местных инженерных устройств для отдельно расположенных объектов временного проживания людей – глемпингов.

Основная задача структур водопроводно-канализационного хозяйства всех уровней – обеспечение бесперебойной подачи воды питьевого качества с требуемым напором и расходом к потребителю и отведение образующихся сточных вод с последующей их эффективной очисткой. Данную задачу можно реализовать внедрением новых технических и технологических энергоэффективных решений.

Проектирование трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения, обеспечивающих надежную работу этих систем с эффективными характеристиками в течение всего срока службы в сложных природных условиях с высокой сейсмичностью, связано с решением следующих основных задач:

- использование различных схемных решений систем водоснабжения или водоотведения в зависимости от местных условий;
- управление скоростными режимами транспортирования потока жидкости в трубопроводах (направление движения воды «снизу вверх» или «сверху-вниз»);
- использование трубопроводов, материал которых позволяет обеспечивать долговечность, ремонтопригодность и безопасность в процессе эксплуатации систем водоснабжения и водоотведения и имеющих соответствующие сертификаты;
- использование технологических и конструктивных решений с применением эффективного оборудования по устройству сооружений на сети для обеспечения бесперебойной работы всей транспортной системы в целом [1–2].

В зависимости от рельефа местности, структуры грунтов, характеристик сейсмичности и других факторов используются различные схемные решения прокладки трубопроводов водоснабжения и водоотведения. Наибольшее распространение получили зонные схемы систем, приведенные на рисунке 1 и рисунке 2 [3–4].

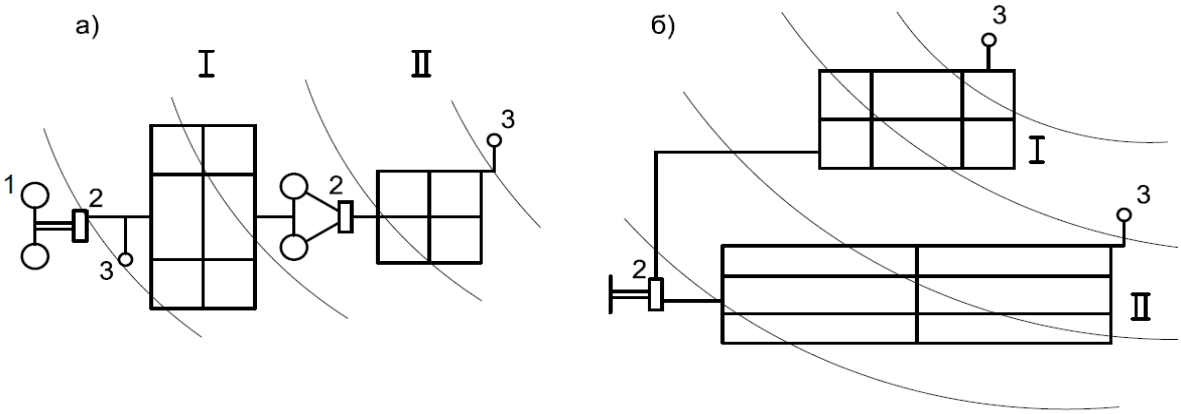


Рисунок 1. **Зонные схемы систем водоснабжения:**
а – последовательная; б – параллельная; I, II – номера зон;
1 – резервуар; 2 – насосная станция; 3 – напорно-регулирующее устройство

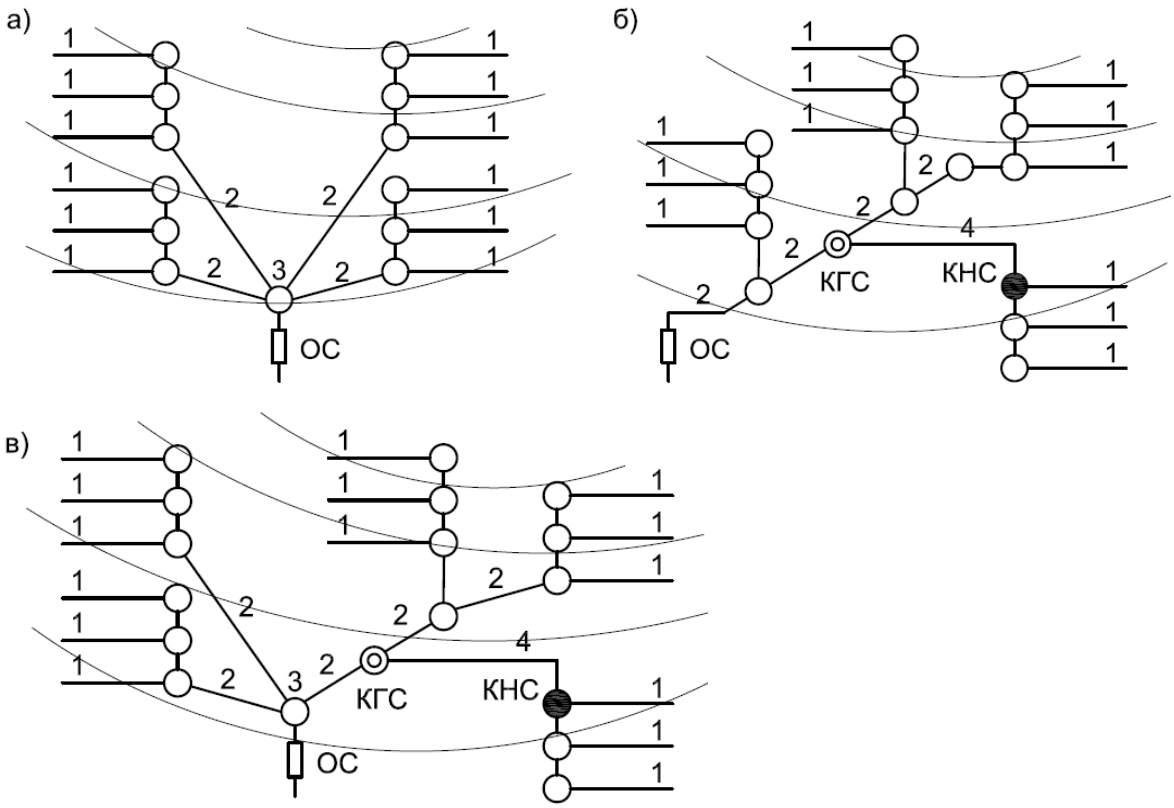


Рисунок 2. **Зонные схемы канализации:**
а – параллельная; б – последовательная; в – комбинированная; 1 и 2 – внутри- и внеплощадочные сети канализации; 3 – устройство для гашения напоров; 4 – участок напорного канализационного трубопровода; КНС – канализационная насосная станция; КГС – колодец гаситель напора; ОС – очистные сооружения

Согласно стратегии развития туризма в Российской Федерации на период до 2035 года, основной курс отрасли направлен на развитие внутреннего и въездного туризма в Россию за счет формирования конкурентоспособного туристического продукта, развития инфраструктуры, обеспечения качественных и доступных туристских услуг на территории РФ, ориентируясь на лучший отечественный и международный опыт развития туристских кластеров и привлечение потенциальных клиентов к местам притяжения [5] .

Актуальность развития инженерных систем в сложных природных горноклиматических условиях, в частности систем водоснабжения и водоотведения, направлена на совершенствование существующих схемных решений для обеспечения конкурентоспособного и качественного отдыха туристов. Одновременно с развитием инфраструктуры и созданием развитой сети туристических кластеров туризм оказывает негативное влияние на земельные, энергетические, водные ресурсы. Таким образом, усугубляется и без того непростая экологическая ситуация. Поэтому всё большую популярность обретает ***экологический туризм*** – единственное направление в индустрии туризма, заинтересованное в сохранении своего главного ресурса – естественной природной среды.

В качестве примера следует отметить, что в КЧР в районе туристического кластера Домбай за последние 3 года построено и введено в эксплуатацию порядка 30 различного рода отелей, мотелей, гостиниц, однако не построено ни одной полноценной канализационной очистной станции. Устройство отдельных местных установок механической очистки (септики, отстойники) не может в полной мере гарантировать степень требуемой очистки сточных вод, которые зачастую бесконтрольно сбрасываются в различного рода ручьи, водосточные канавы. В конечном итоге загрязнения попадают в горные ручьи и реки, что приводит к их накоплению в подземных запасах воды (линзах), которые являются источниками экологически чистой природной воды.

Зонные схемы систем водоснабжения и водоотведения, представленные на рисунках 1 и 2 относятся к централизованным или объединенным схемам, однако во многих местах со сложными природными горноклиматическими условиями еще существуют децентрализованные или местные схемы водоснабжения и канализации.

Комплексность предлагаемого решения по обеспечению экологической безопасности при развитии инфраструктуры туристических кластеров, обеспечения качественных и доступных туристских услуг заключается в использовании комбинированных зонных схем систем водоснабжения и водоотведения.

Предлагаемая на рассмотрение комбинированная схема систем водоснабжения и водоотведения может включать в себя две основные структурные составляющие:

– *централизованную (объединенную) схему системы водоснабжения*, с забором воды из подземных водных источников экологически чистой воды с минимальным набором установок водоподготовки, и *централизованную (объединенную) схему системы водоотведения*, с использованием эффективных устройств механической очистки сточных вод и отведением осветленной воды на городские очистные сооружения, размещенные ниже по течению горных водных источников;

– *децентрализованные (местные) схемы систем водоснабжения и водоотведения отдельно расположенных объектов* – ***глемпингов***, с подвозом чистой питьевого качества воды и вывозом накопленного объема сточных вод на близлежащие канализационные станции очистки.

Первая составная часть комбинированной схемы будет размещаться в туристическом кластере с уже достаточно развитой частью инфраструктуры (транспортной, логистической), а вторая часть схемы будет размещаться в труднодоступных местах, непосредственно в габаритных размерах отдельно расположенных объектов – глемпингов.

Первая структурная составляющая комбинированной схемы.

На рисунке 3, в качестве примера, приведена технологическая схема магистрального самотечно-напорного водовода «Тебердинский магистральный водовод» от разведанных источников в районе поселка Теберда до пункта приема в городе Усть-Джегута с попутным обеспечением населенных мест качественной водой [6].

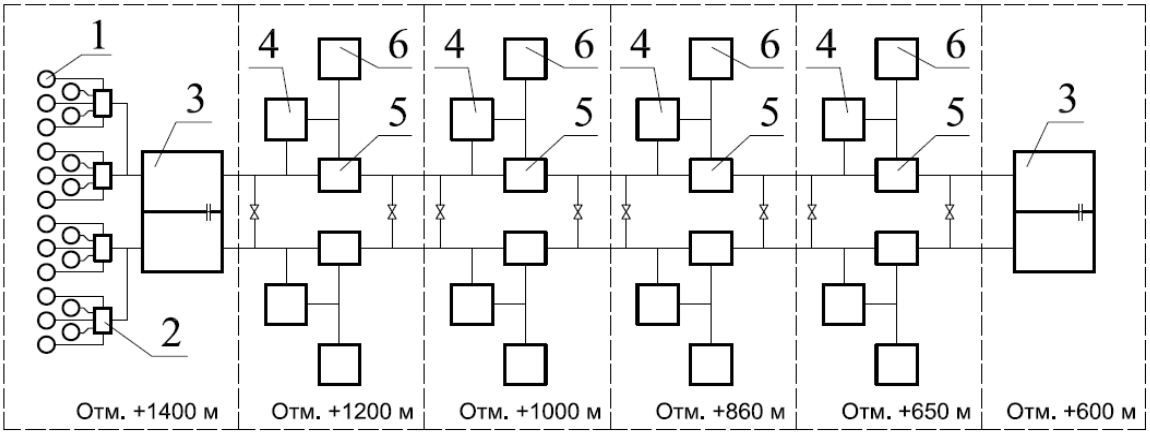


Рисунок 3. **Технологическая схема «Тебердинского магистрального самотечно-напорного водовода»:**
1 – групповой скважинный водозабор; 2 – сборный колодец; 3 – накопительные резервуары; 4 – промежуточный хозяйственно-питьевой резервуар запаса воды, совмещенный с мини ГЭС; 5 – конечный резервуар запаса воды площадки; 6 – промежуточный хозяйственно-питьевой резервуар запаса воды, совмещенный с насосной станцией на нужды потребителей площадки

Схема системы водоснабжения – зонная, последовательная. Режим работы – самотечно-напорный. Подача воды осуществляется «сверху-

вниз», с использованием промежуточных магистральных резервуаров воды, совмещенных с гидрогенерирующими установками (мини ГЭС).

Подача воды на нижерасположенную площадку водопроводных сооружений предусматривается в самотечно-напорном режиме, а для подачи воды на местные нужды площадки предусматриваются собственные резервуары, совмещенные с насосными станциями.

На рисунке 4 приведена технологическая схема магистрального самотечно-напорного канализационного коллектора «Тебердинский магистральный канализационный коллектор» от местных механических канализационных сооружений в районе Домбая с попутным присоединением осветленного стока от населенных мест (туристических кластеров) до центральных канализационных очистных сооружений, например, в городе Карачаевске.

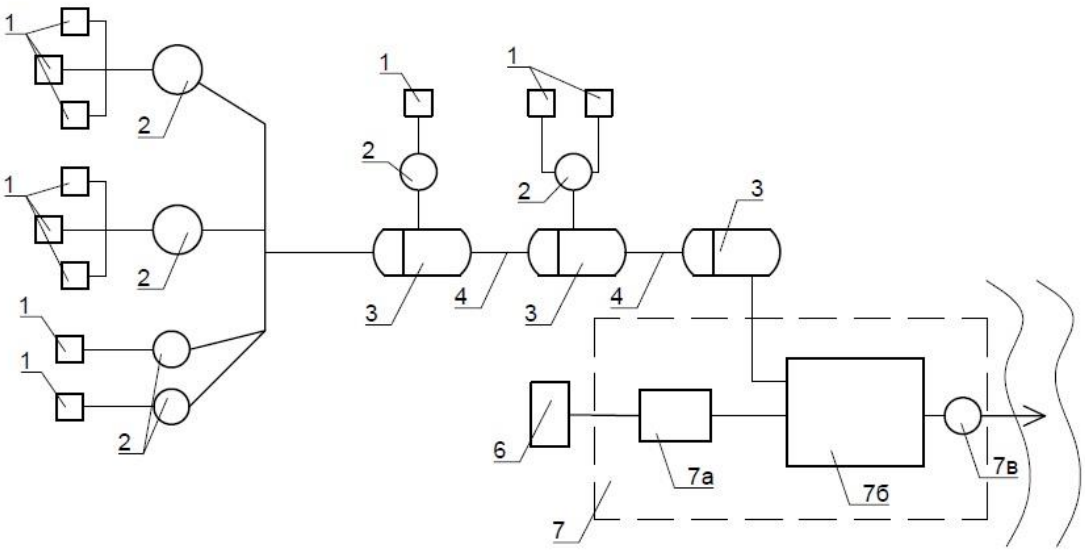


Рисунок 4. **Технологическая схема «Тебердинского магистрального канализационного коллектора»:**
1 – источники сточной воды туристического кластера, 2 – местные сооружения механической очистки до магистрального канализационного коллектора, 3 – промежуточный резервуар с гидрогенерирующими установками, 4 – магистральный самотечно-напорный канализационный коллектор (МКК), 5 – сброс с МКК в сооружения биологической очистки городской станции очистки, 6 – источник сточных вод городского поселения, 7 – городская станция очистки сточных вод, 7а – сооружения механической очистки СОСВ, 7б – сооружения биологической очистки, 7в – выпуск очищенных сточных вод в водоем

Схема системы водоотведения – зонная, последовательная. Режим работы – самотечно-напорный. Сбор осветленного стока, после расположенных непосредственно перед их отводом местных устройств механической очистки сточных вод, осуществляется от каждой отдельно расположенной площадки (туристического кластера) и отводится в промежуточный резервуар осветленной воды магистрального самотечно-напорного канализационного коллектора. Промежуточные резервуары

осветленной воды совмещены с гидрогенерирующими установками (мини ГЭС).

После прохождения осветленной воды по самотечно-напорному канализационному коллектору до сборного накопительного резервуара, стоки направляются на сооружения биологической очистки городских очистных сооружений.

Магистральные самотечно-напорные водоводы и коллектора для удобства монтажа и эксплуатации можно прокладывать параллельно.

Вторая структурная составляющая комбинированной схемы.

Развитие в полной мере туризма или освоение новых территорий со сложными природными условиями (горноклиматическими, арктическими, пустынными и т.п.) предполагает создание новых подходов:

– к созданию объектов инфраструктуры, обеспечивающих возможность человека к существованию в той или иной среде;

– к формированию новых инженерных систем жизнеобеспечения, экологических и энергоэффективных направлений по разработке и созданию отдельных элементов систем жизнеобеспечения;

– к разработке новых вариантов схемных решений по устройству инженерных систем (водоснабжение и водоотведение, отопление и вентиляция, энергообеспечение, безопасность и доступность);

– к созданию универсальных элементов систем обеспечения комфортной среды обитания человека

Одним из таких подходов является внедрение в структуру развития туристического кластера, создание и размещение отдельно расположенных объектов проживания, в частности различного вида модульных сооружений (глемпингов).

В настоящее время существует громадное количество различных типов таких сооружений, степень благоустройства и комфортности может быть выбрана в зависимости от потребности проживающих.

Сотрудники ООО «СпецСтройПроект» совместно с рядом других производственных предприятий в настоящее время разрабатывают блок-модуль для временного проживания, вариант размещения и общий вид блок-модуля приведен на рисунке 5.

Отличительными особенностями блок-модуля данной конструкции является наличие в комплекте:

– емкости для хранения запаса воды питьевого качества;

– емкости для накопления сточной воды;

– отсека для размещения оборудования систем отопления и кондиционирования воздуха;

– отсека для аккумуляторных батарей;

– поворотного механизма для обзорной визуализации территории.

Блок-модуль будет оборудован системами «Умный дом» и «Безопасная среда» с выводом сигналов на контрольно-диспетчерский

пункт по сервисному обслуживанию. Подвоз чистой питьевого качества воды и вывоз накопленного объема сточных вод на близлежащие канализационные станции очистки, а также обслуживание систем энергоснабжения будет осуществляться специализированной организацией из расчета 1 раз в 3 суток.

а

б

Рисунок 5. **Вариант размещения *а* и общий вид *б* блок-модуля для временного проживания отдыхающих**

На основании вышеизложенного и с учетом уже существующих схемных решений по устройству систем водоснабжения и водоотведения можно сделать следующие **выводы**:

– выбор наиболее выгодного схемного решения в особых природных (в частности, горноклиматических) условиях с обеспечением

экологичности и энергоэффективности осуществляется путем разработки ряда вариантов с последующим их технико-экономическим сравнением;

– одновременно с развитием инфраструктуры и созданием развитой сети туристических кластеров следует параллельно использовать накопленный опыт по устройству как централизованных, так и децентрализованных (местных) инженерных систем жизнеобеспечения при повышении уровня их сервисного технического обслуживания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шипилов А.А., Усков К.А., Горобец А.Ю. Опыт проектирования магистральных трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения в особых горноклиматических условиях. // Военный инженер № 4 (10), 2018. С. 20–29.
2. Кузьмин Ю.М., Кошелев Г.Н. Водоснабжение. Ч. 1. Водоснабжение объектов общевойскового строительства. ЛВВИСКУ, 1981.
3. Канализация населенных мест и промышленных предприятий / Н.И. Лихачев, И.И. Ларин, С.А. Хаскин и др.; Под общ. ред. В.Н. Самохина. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1981. 639 с.
4. Справочник проектировщика. Водоснабжение населенных мест и промышленных предприятий. Под ред. И. А. Назарова. М., Стройиздат, 1967.
5. Стратегия развития туризма в Российской Федерации на период до 2035 года (утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 20 сентября 2019 года №2129-р (с изменениями от 23 ноября 2020 г., 7 февраля 2022 г.)) [Электронный ресурс] Tourism.gov.ru. URL:https://tourism.gov.ru/contents/documenty/strategii/strategiya-razvitiya-turizma-v-rossiyskoy-federatsii-v-period-do-2035-goda (дата обращения: 12.03.2023)
6. Продоус О.А., Шипилов А.А., Бляшко Я.И., Джанбеков Б.А., Чернышов Л.Н., Дронов А.А., Мурлин А.А., Иващенко В.В. Гидроэнергетический комплекс на базе «Тебердинского магистрального группового водопровода» // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение, № 5. 2018., С. 54–60.

УДК 628.144.22

СПОСОБЫ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ СЕТИ ВОДОСНАБЖЕНИЯ С УЧЕТОМ ЕЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ

Г.С. Турчина, А.Я. Найманов

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», г. Макеевка, Россия

В статье рассматривается способ оценки надежности с учетом веса, значимости участков сети и резервирующей способности за счет наличия колец. Расчет производится на основании булевой алгебры и теории вероятности.

Несмотря на многогранность подходов к оценке надежности различных систем, кольцевые сети имеют свои особенности, которые необходимо учитывать при расчете надежности. Структура системы, состоящей из колец, которые в какой-то степени (в зависимости от их транзитных способностей) дублируют другие кольца, служат дополнительным постоянно нагруженным резервом отдельных участков трубопроводов. И это является важным и неотъемлемым элементом в расчете таких систем. На сегодня не существует нормативной методики расчета надежности систем, имеющих кольцевую структуру.

При этом предъявляются требования к определенному уровню надежности и его повышения [1–2]. Как измерить итоговое значение и с чем сравнить – данной информации нет в нормативной документации для систем водоснабжения.

Для начала необходимо определиться, что послужит событием, ведущим к отказу системы. В данном случае отказом является невозможность дальнейшего транзита к последующим трубопроводам в сети из-за отключения какой-то части участков. В том числе, при невозможности подачи воды к кольцу через примыкающие к нему участки, также произойдет аварийная ситуация в виде отсутствия воды в данном кольце. В таком случае, можно взять за основу метод расчета минимальными сечениями [3], при этом адаптировав его к кольцевым структурам сети.

Данный способ нашел широкое применение в работах Рябинина И.А. и основанной им школы оценки параметров надежности с помощью булевой алгебры [3].

Минимальным сечением называется набор неработоспособных элементов, отказ которых приводит к отказу системы, а восстановление работоспособности любого из них – к восстановлению работоспособности системы. Минимальных сечений может быть несколько, и в каждом не обязательно наличие всех элементов системы. [3]

Адаптируя данный метод к сети водоснабжения, данное определение можно выразить следующим образом: цепочка отказов участков, одновременная авария на которых приведет к неработоспособности всей дальнейшей части сети, считается «минимальным сечением». Если восстанавливается один из элементов «сечения», жидкость сможет поступить к дальнейшим трубопроводам и продолжить свое движение. Благодаря кольцевой структуре, вода сможет в дальнейшем прийти к последующим элементам сети.

Рассматривая рисунок, на котором показана сеть с пятью кольцами, можно сразу определить первое сечение – совокупность участков 1-2, 2-3, 1-7 и 3-4. При крупной аварии на данной территории, вследствие которой произошло бы одновременное отключение всех вышеназванных участков, дальнейшая транспортировка воды к прочим участкам была бы невозможна.

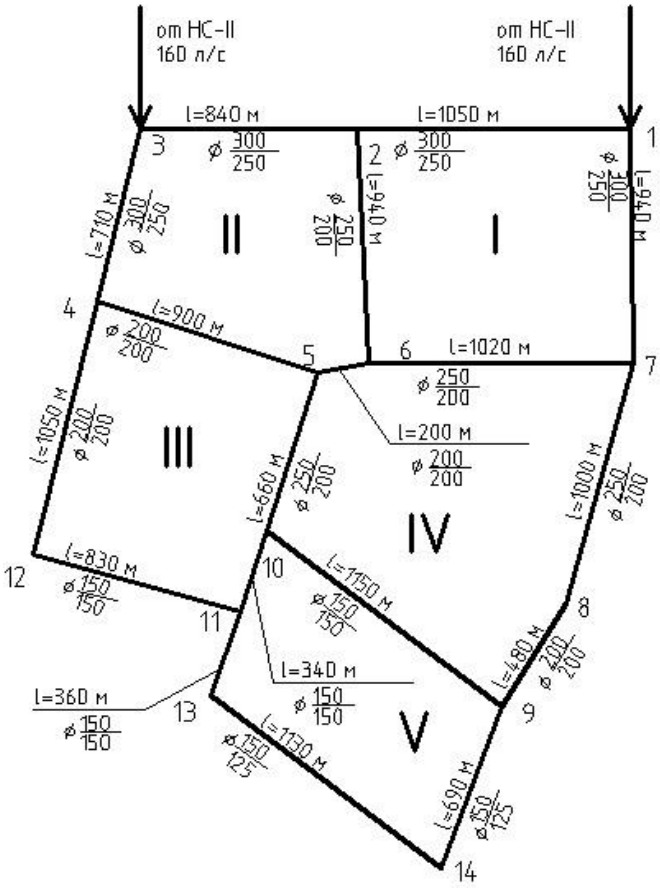


Рисунок. **Схема сети водоснабжения с приведенными значениями длины и диаметров участков**
(над чертой – чугунных, под чертой – полиэтиленовых)

Рассматривая местоположения трубопроводов в сети, можно выделить целый ряд подобных ситуаций, при этом различные цепочки отказов участков имеют разный масштаб аварии сети. В некоторых случаях достаточно одновременного снижения транзита воды на трех участках, чтобы в значительной степени повлиять на возможность отдачи воды из системы ото всех последующих трубопроводов. Например, при одновременном отключении 4–12 или 11–12; 5–10; 7–8 или 8–9, в этом случае также пострадают потребители с участков 10–11, 11–13, 13–14, 9–14. Или в ситуации при одновременной аварии на участках 3–4; 5–6; 7–8 или 8–9, последствия скажутся на участках 4–5, 11–12, 4–12, 5–10, 10–11, 11–13, 13–14, 9–14, 9–10. Пострадает от недоподачи воды в несколько раз больше потребителей, не только вдоль заявленных трех аварийных участков.

Рассматривая систему в таком ключе, определяя влияния отказов цепочек различных трубопроводов, можно выявить отдельные «сечения», неработоспособность которых скажется на эксплуатации всей дальнейшей сети. Пользуясь терминологией булевой алгебры, данные взаимосвязи можно выразить в виде функции алгебры логики. Применяя аналогичные

термины теории вероятности – через параллельно-последовательные соединения.

Отображение конъюнктивно-дизъюнктивных связей сети, представленной на рисунке 1, для нахождения параметров надежности трубопроводов, учитывая постоянное резервирование смежными участками, выражается в функции работоспособности системы:

$$Q_{сист}=((Q_{1-2}\wedge Q_{2-6})\vee Q_{1-7}\vee Q_{3-4}\vee(Q_{2-3}\wedge Q_{2-6}))\wedge((Q_{4-12}\wedge Q_{11-12})\vee Q_{4-5}\vee Q_{2-6}\vee Q_{1-7}) \wedge (Q_{3-4}\vee Q_{5-6}\vee(Q_{7-8}\wedge Q_{8-9})) \wedge (Q_{3-4}\vee Q_{2-6}\vee Q_{6-7}\vee(Q_{7-8}\wedge Q_{8-9})) \wedge ((Q_{4-12}\wedge Q_{11-12})\vee Q_{5-10} \vee (Q_{7-8}\wedge Q_{8-9})) \wedge ((Q_{11-12} \wedge Q_{4-12}) \vee Q_{10-11}\vee Q_{9-10} \vee Q_{8-9}) \wedge (\text{Водовод} \vee Q_{1-2} \vee Q_{7-9} \vee Q_{5-10} \vee (Q_{11-12} \wedge Q_{4-12})) \wedge ((\text{Водовод}) \vee Q_{2-3} \vee Q_{5-6} \vee (Q_{7-8}\wedge Q_{8-9})) \wedge (Q_{3-4} \vee Q_{5-6} \vee Q_{9-10} \vee (Q_{11-13} \wedge Q_{13-14} \wedge Q_{9-14})) \wedge (Q_{1-7} \vee Q_{2-6} \vee Q_{4-5} \vee (Q_{4-12} \wedge Q_{11-12}) \vee (Q_{9-14} \wedge Q_{13-14} \wedge Q_{11-13})) \wedge ((Q_{4-12} \wedge Q_{11-12}) \vee Q_{5-10}\vee(Q_{7-8}\wedge Q_{8-9})) \quad (1)$$

Однако, такой подход не учитывает вес и значимость участков, а, зачастую, они весьма различны [4]. Вести учет данных параметров можно с помощью формул (3–6).

Таблица 1. **Результаты расчета показателей надежности участков кольцевой сети без учета значимости и веса**
(для t = 1 год; для чугуна λ = 0,43 (1/км · год), для полиэтилена λ = 0,02 (1/км · год))

Показатели трубопровода			Для полиэтиленовых труб			Для чугунных труб		
№ уч.	l, км	$q_{пут.}$, л/с	d, мм	$P_i= e^{-\lambda lt*}$	$P_{iв}=1-Q_{iв}^{**}$	d, мм	$P_i=e^{-\lambda lt}$	$P_{iв}=1-Q_{iв}^{**}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1–2	1,05	22	300	0,97922	0,99827	250	0,63670	0,96814
1–7	0,94	20	300	0,98138	0,99866	250	0,66754	0,97432
6–7	1,02	22	250	0,97981	0,99869	200	0,64497	0,97515
2–6	0,94	21	250	0,98138	0,99892	200	0,66754	0,97873
5–6	0,20	5	200	0,99601	0,99997	200	0,91760	0,99949
4–5	0,90	20	200	0,98216	0,99903	200	0,67912	0,98434
3–4	0,71	15	300	0,98590	0,99931	250	0,73693	0,98578
2–3	0,84	18	300	0,98334	0,99898	250	0,69687	0,97968
5–10	0,66	15	250	0,98689	0,99955	200	0,75294	0,99010
10–11	0,34	9	150	0,99322	0,99993	150	0,86400	0,99871
11–12	0,83	18	150	0,983539	0,99939	150	0,69987	0,98958
4–12	1,05	22	200	0,97922	0,99862	200	0,63670	0,97871
7–8	1,00	22	250	0,98020	0,99874	200	0,65054	0,97592
8–9	0,48	14	200	0,99045	0,99977	200	0,81353	0,99586
9–10	1,15	26	150	0,97727	0,99851	150	0,60991	0,97695
9–14	0,69	15	150	0,98630	0,99967	125	0,74329	0,99335
13–14	1,13	26	150	0,97766	0,99870	125	0,61517	0,97755
11–13	0,36	10	150	0,99283	0,99992	150	0,85660	0,99847
∑	14,29	320						

Примечание:
* Расчет вероятности безотказной работы трубопровода ведется согласно формуле

$P_i=e^{-\lambda lt}$, (2)

где λ – интенсивность отказов, 1/км·год, l – длина трубопровода, км, t – продолжительность эксплуатации, год.

** $Q_{iв}$ – вклад i-го участка в отказ всей системы, $Q_{iв} = Q_i \cdot \left(\frac{g_i + z_i}{2}\right)$, (3)

где Z_i – значимость участка, $Z_i = \frac{C_i}{\sum C_i}, 0 \le Z_i \le 1, \sum Z_i = 1$, (4)

C_i – относительное сечение трубопровода, $C_i = \frac{f_i}{F} = \left(\frac{d_i}{D}\right)^2$; (5)

g_i – относительный вес участка, $g_i = \frac{q_{пут\,i}}{Q}$, (6)

где $q_{пут\,i}$ – путевой расход участка, л/с, Q – общий расход воды, подаваемой в сеть, л/с [4].

Для проведения расчета удобней воспользоваться обозначениями, принятыми в булевой алгебре, где параллельное соединение можно выразить в виде дизъюнкций (логический оператор «или», ∨), а последовательное – конъюнкций (логический оператор «и», ∧) [5].

Дальнейшее решение производим согласно формулам теории вероятности. Параметр вероятности безотказной работы: а) для двух параллельно соединенных элементов; б) для последовательного соединения элементов:

$$а)\ P_{a,b} = 1 - [(1 - P_a) \cdot (1 - P_b)]; \quad (7)$$

$$б)\ P_{a,b} = P_a \cdot P_b. \quad (8)$$

Согласно приведенной формуле (1), вероятность отказа системы ($Q_{сист}$) составит: для сети из полиэтиленовых трубопроводов – $4{,}4 \cdot 10^{-5}$, из чугунных – 0,24986, соответственно, вероятность безотказной работы ($P_{сист}$) будет иметь значения: сеть из полиэтиленовых труб – 0,999956, из чугунных – 0,750139.

Если учитывать значения значимости и веса элементов сети [4], то, согласно расчету логической функции (1), получаются следующие значения надежности. Вероятность отказа системы ($Q_{сист}$) для сети из полиэтиленовых труб – $7 \cdot 10^{-9}$, из чугунных – $5{,}2 \cdot 10^{-5}$, вероятность безотказной работы ($P_{сист}$): из полиэтиленовых – 0,99999, из чугунных трубопроводов – 0,99995.

Если рассматривать полученные значения без учета веса и значимости трубопроводов, то может сложиться впечатление о достаточно низкой надежности системы, особенно, состоящей из чугунных труб. При таком параметре, каждая четвертая авария на участке должна была бы приводить к отказу сети, что не является действительным. Это также показывает неэффективность некоторых классических подходов в расчете коммунальных сетей, имеющих кольцевые структуры. При этом, можно заметить, что оценка надежности с учетом веса, значимости участков сети

и резервирующей способности за счет наличия колец, позволяет получить более правдоподобные значения.

ЛИТЕРАТУРА

1. О схемах водоснабжения и водоотведения: Постановление правительства Рос. Федерации от 5 сентября 2013 г. № 782: Правила разработки и утверждения сем водоснабжения и водоотведения. Требования к содержанию схем водоснабжения и водоотведения (с изменениями от 18 марта, 13 декабря 2016 г., 31 мая 2019 г., 22 мая 2020 г.). – 2013. [Электронный ресурс] / URL: http://base.garant.ru/70447444/ (дата обращения: 03.01.2023).
2. СП 31.13330.2012. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения «Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84». – М., 2012. 156 с. [Электронный ресурс] / URL: https://base.garant.ru/70287242/ (дата обращения: 03.01.2023).
3. Рябинин, И.А., Черкесов, Г.Н. Логико-вероятностные методы исследования надежности структурно-сложных систем [Текст] / И.А. Рябинин, Г.Н. Черкесов. – М.: Радио и связь, 1981. 264 с.
4. Турчина Г.С. Оценка надежности систем подачи и распределения воды с учетом дополнительных параметров [Текст] / Г.С. Турчина // Строительство и техногенная безопасность, №16(68). г. Симферополь, Издательство: ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского». 2019. С.73–80.
5. Рябинин И.А. О связи математической логики с теорией вероятностей [Текст] / И.А. Рябинин. // Ученые записки РГГУ, № 6 СПб.: Издательство: РГГМУ, 2008. С.170–176.

УДК 628.1:621.3.

ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЙ ОБЪЕКТОВ ИНЖЕНЕРНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И КАНАЛИЗАЦИИ

А.И. Трипутько, А.Д. Гуринович, В.Н. Коваленко
ООО «ПроГИС», г. Минск, Беларусь

Рассматриваются проблемы технического состояния элементов систем водоснабжения и канализации, а также существующие методики по их оценке и приоритетности выбора выполнения ремонтно-восстановительных работ, реконструкции и модернизации. Также изложена информация об авторской разработке методики для комплексной многоуровневой оценки технических состояний элементов инженерной инфраструктуры систем водоснабжения и канализации на базе географической информационной системы ZuluGIS. Обозначены особенности внедрения, расчёта и оценки анализируемых метрик.

Системы водоснабжения и канализации (далее – ВИК) населённых

мест постоянно развиваются и увеличиваются в пространстве, усложняется процесс их эксплуатации и обслуживания. Высокая протяжённость и износ элементов приводит к потерям воды, ухудшению качества вод и, как следствие, возникновению жалоб от населения. При этом современные тенденции развития общества формируют у населения императивы по росту качества подаваемой воды, отведению сточных вод и охране окружающей среды. С каждым годом ситуация экспоненциально усугубляется и без качественного инструмента оценки и обоснования выбора фундаментальная проблема не будет решена.

В большинстве предприятий водопроводно-канализационного хозяйства Республики Беларусь решение по замене конструктивных элементов систем ВИК (участков сетей) определяется на основании срока эксплуатации и аварийности. Применяемые меры не являются корректными, поскольку трубы (за исключением деревянных и асбестоцементных) могут продолжать выполнять функции в течении долгого периода при должном и качественном уровне эксплуатации. Аварийность также не дает полного основания для замены конструктивного элемента, так как является косвенным показателем и не решает задачу в целом, поскольку устраняется определённый симптом (утечка или прорыв), а не проблема (перепады давления, замерзание-оттаивание, смещение трубопровода, овализация сечения из-за приложенных кратковременных и долговременных нагрузок и т.д.). В Российской Федерации, согласно действующим техническим нормативно правовым актам, выбор участков сетей для замены труб и оборудования должен определяться на основании количественных критериев оценки теории надёжности (вероятность безотказной работы в течение определённого периода времени, средняя наработка до первого отказа, наработка на отказ, частота отказов, интенсивность отказов, параметры потока отказов, функция готовности, коэффициент готовности) [1]. Стоит отметить, что системы ВИК (в частности системы подачи и распределения воды) – сложный постоянно изменяющийся механизм с множеством случайных внутренних и внешних факторов, оказывающих влияние на работу и техническое состояние всего комплекса инженерной инфраструктуры. Таким образом формируемые расчётные модели в теории надёжности, ввиду сложности систем, имеют низкую точность в связи с множеством вариаций режимов и условий работы, при этом не учитывается человеческий фактор и фактор воздействия окружающей среды. Критика теории надёжности никак не отменяет её применимости в производственной деятельности и принятия решений, однако постулаты теории должны рассматриваться комплексно и в специфическом аспекте функционирования инженерных систем ВИК.

На сегодняшний момент существует множество отечественных и зарубежных методик оценки технических состояний систем ВИК [1–3], но

в большинстве случаев они подчиняются единой методологии, основывающейся на минимальном объёме единообразных данных: степени износа, срока службы, материале и др. Существующие методики охватывают микроуровень систем (отдельных элементов) и не предоставляют общей картины состояний систем в целом.

В свою очередь компанией ООО «ПроГИС» разработана и апробирована методика интегральной оценки технического состояния элементов систем ВИК, позволяющая комплексно и всесторонне решать рассматриваемую проблему, учитывая внутренние и внешние воздействия на систему и минимизировать влияние человеческого фактора (случайных ошибок) на качество расчёта и вычисления оценок. Идея методики базируется на принципах многоуровневой структуры и методах индукции (от частного к общему), где каждый элемент – это отдельный объект исследования, требующий индивидуального подхода к его оценке. Дополнительным эффектом методики является организация непрерывной многоуровневой верификации данных.

Предполагается, что предлагаемая методика позволит решить следующие задачи по эксплуатации систем ВИК:

– выполнять роль комплексного механизма для принятия обоснованных проектных и управленческих решений;

– интенсифицировать работу систем;

– планирование реконструкции, оптимизации и модернизации отдельных структурных элементов и систем в целом;

– интеграцию всех информационных систем в единую электронную цифровую систему для записи, хранения и обновления данных;

– интенсификацию работы систем за счёт оптимизации производственных процессов.

В методике учитываются вопросы технического состояния строительных конструкций, оборудования (в том числе насосов, трубопроводной арматуры и т.д.), качества воды, безопасности и др.

На рисунке 1 представлен пример методики подхода к оценке технического состояния водопроводных колодцев и камер.

Разработанная методика оценки технического состояния элементов систем ВИК, учитывает множество критериев из разных научных направлений (строительной механики, гидравлики, геологии и т.д.), то в общем плане методика (без привязки к конкретному виду) приняла наименование «Интегральная оценка технических состояний» (далее – ИОТС). Для большинства критериев (группы критериев) применяются индивидуальные подходы к оценке, что обеспечивает релевантность и качество полученного оценочного значения. Применяемые методики в интегральной оценке, как правило, динамичны и предусматривают функцию самостоятельной калибровки в зависимости от генеральной совокупности анализируемой метрики. Для выбора приоритетности

(ранжирования) элементов с целью выполнения работы (реконструкции, модернизации, технического обслуживания и ремонта и др.) в методике применяется принцип «от максимального, к минимальному», где область максимальных значений свидетельствует о крайне плачевном состоянии объекта оценки и о наивысшей приоритетности в списке среди однотипных сооружений [4].

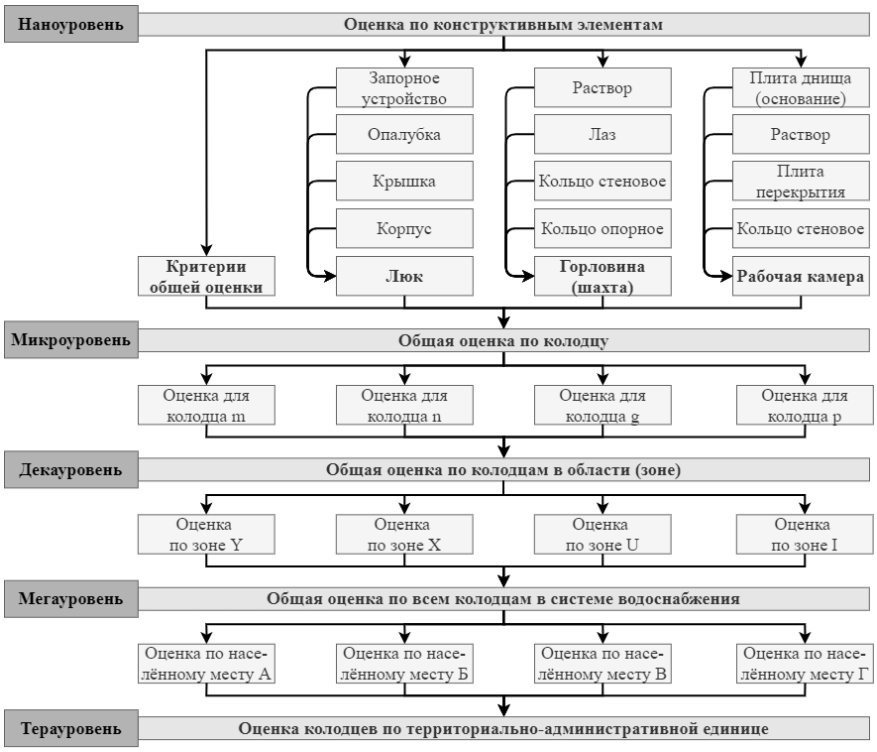


Рисунок 1. **Многоуровневая система оценки технических состояний на примере водопроводного колодца** (камеры)

Так как системы ВИК являются многосоставной инженерной инфраструктурой, то в табличном виде осуществлять расчёт не представляется возможным ввиду масштабности систем и множества отдельных конструктивных элементов. Для решения проблем масштабности, расчёта и оценки элементов, в методике предусматривается применение программно-вычислительного комплекса – географической информационной системы (далее – ГИС) ZuluGIS (или её аналогов), позволяющей разрабатывать цифровые двойники физических систем ВИК, а также проводить гидравлические расчёты и моделировать работу систем водоснабжения и канализации. Функционал современных ГИС позволяет одновременно взаимодействовать со всеми элементами в цифровом двойнике, в том числе и осуществлять определение оценок для всех элементов, где имеются все необходимые исходные данные для расчётов. Поскольку в настоящее время тренды в области эксплуатации систем ВИК диктуют «цифровизацию» производства (ГИС является одним из составных инструментов «цифрового водоканала»), то внедрение методики

интегральной оценки технических состояний инженерной инфраструктуры через ГИС не представляется сложной задачей (рис. 2).

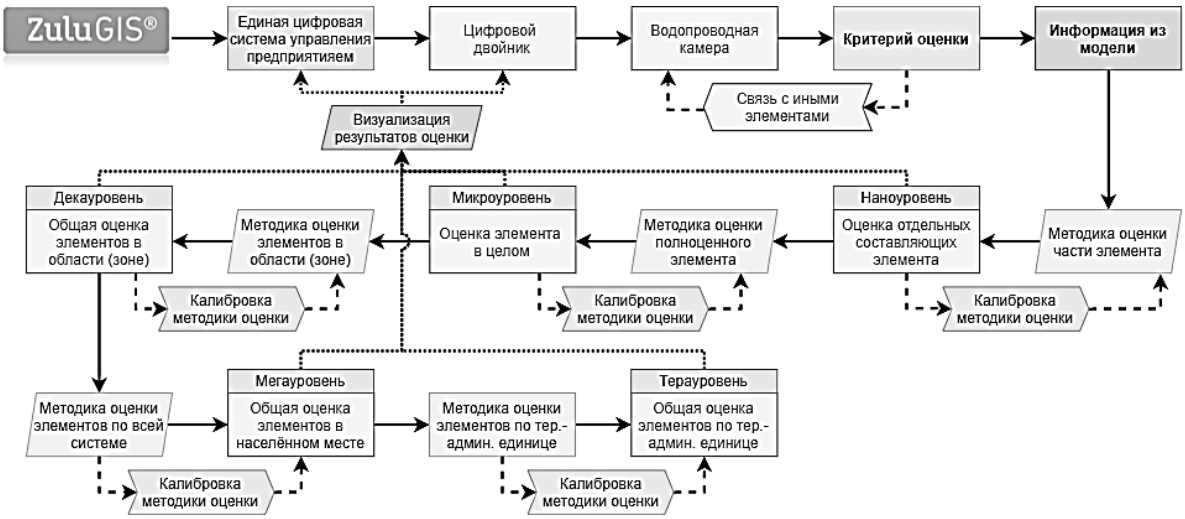


Рисунок 2. **Схема интегральной оценки технических состояний в ZuluGIS на примере водопроводного колодца (**камеры)

Тем не менее, основной и главной проблемой при выполнении оценки является количество и качество применяемых исходных данных. Для релевантной оценки исходные данные должны агрегатироваться и анализироваться на постоянной основе, быть достоверными и надёжными. Как правило, одной из первостепенных задач при разработке и внедрении ГИС является инвентаризация и паспортизация объектов систем ВИК, что позволяет на раннем этапе внедрить качественный подход для сбора, обработки и накопления информации. Накопленная информация в цифровых двойниках систем ВИК в достаточном объёме может быть использована для интегральной оценки технических состояний.

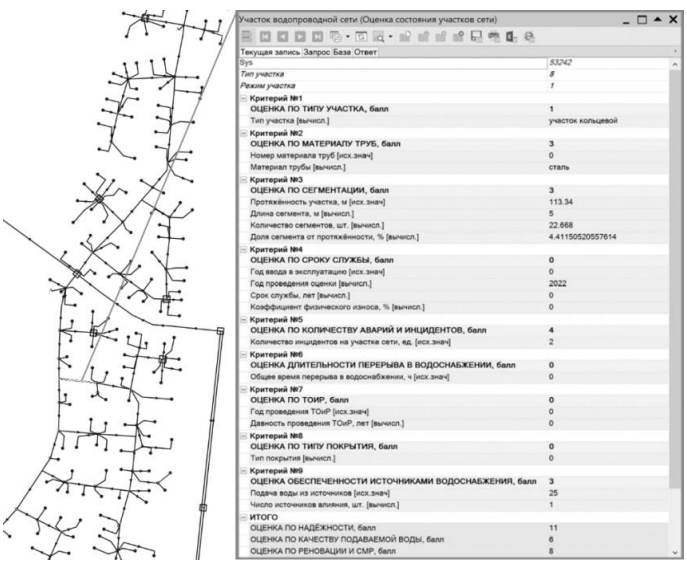


Рисунок 3. **Интегральная оценка технических состояний участка водопроводной сети в ZuluGIS**

На рисунке 3 представлен результат оценки технического состояния участка водопроводной сети по методике ИОТС.

Таким образом, разработанная методика ИОТС систем ВИК компанией ООО «ПроГИС» при внедрении в производственную деятельность предприятия водопроводно-канализационного хозяйства позволит получить качественный инструмент для оценки технических состояний инженерной инфраструктуры, принятия и обоснования управленческих и проектных решений по восстановлению, реконструкции и модернизации эксплуатируемых систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Храменков С.В. Стратегия модернизации водопроводной сети. – М.: Стройиздат, 2005. 400 с.
2. Ladislav Tuhovcaka, Tomas Kuceraa, Tomas Suchaceka. Preliminary assessment of the technical condition of water supply infrastructures / Preliminary assessment of the technical condition of water supply infrastructures // «Procedia Engineering». 2016. № 162. 181–187.
3. Концепция индекса функционально-технического состояния инфраструктуры водоснабжения и водоотведения // Группа «Полипластик». 65 с.
4. Коваленко В.Н. Об интегральном критерии оценки элементов водопроводных сетей: материалы конференции (Гомель, 24–25 ноября 2022 г.) / под ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель: БелГУТ, 2022 447 с.

УДК 66.081.63 : 628.161.3

НОВАЯ ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МЕМБРАННОГО МЕТОДА ОБРАТНОГО ОСМОСА НА СТАНЦИЯХ ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ – ПРИГОТОВЛЕНИЕ КОНЦЕНТРИРОВАННЫХ РАСТВОРОВ ХЛОРИДА НАТРИЯ ИЗ ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ВОДЫ

А.Г. Первов, Д.В. Спицов, Тет Зо Аун
Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

В статье рассматривается возможность использования поваренной соли для получения гипохлорита натрия из концентрата установок обратного осмоса.

В настоящее время для производства питьевой воды из поверхностных и подземных водоисточники эффективно применяются мембранные технологии, основанные на методах обратного осмоса и нанофильтрации [1]. Для подачи питьевой воды потребителю требуется ее обеззараживание. В настоящей работе авторами сделана попытка показать

целесообразность и эффективность применения обеззараживания гипохлоритом натрия, получаемым с применением электролиза [2]. Совмещение мембранных методов концентрирования солевых растворов и электролиза позволяет осуществить подготовку питьевой воды и ее обеззараживание без применения реагентов. Обеззараживание воды прямым электролизом эффективно при производительности станций до 5000 м^3/сут. Производительность установки при концентрации хлоридов в воде от 100 до 200 мг/л будет составлять в среднем 10 м^3/ч и доза хлора при этом составит 1 мг/л. При этом величина выхода по току будет составлять 0,2. Для рассматриваемого случая, когда расход воды составляет 1000 м^3/сут. или 40 м^3/ч. При требуемой дозе хлора 8 мг/л, в сутки нам потребуется 8000 граммов хлора, при этом поваренной соли потребуется 80 кг. Наиболее подходящей для производства такого количества представляется установка ЭН-25. Расход электроэнергии на 1 кг активного хлора составляет 10 кВт·час, таким образом, суточный расход электроэнергии составит 80 кВт. Таким образом, производство хлора на месте представляет собой достаточно дорогостоящую задачу. При использовании 80 кг в сутки хлора, годовое количество поваренной соли составит: 80 · 365 = 29200 кг. Нами предлагается рассмотреть вопрос об использовании метода обратного осмоса для получения соли, солевого раствора, из которого будет производиться гипохлорит, избежав покупки соли. Сила тока определяется выражением:

$$I = Z \times F \times Q \times dC, \quad (1)$$

где F – число Фарадея, количество электричества, необходимое для переноса 1 г-экв солей, равное 96500 кулонов; Q – расход воды, dC – разность концентраций хлоридов, количество перенесенных хлорид-ионов. Таким образом, сила тока определяется количеством грамм-эквивалентов хлора, проходящего к аноду через раствор. В обоих случаях при получении 80 кг хлора в сутки сила тока будет одинакова. А вот затраты энергии будут отличаться. Величина удельной электропроводности раствора (1/R) – величина, обратная сопротивлению, зависит от концентрации раствора и в общем виде равна:

$$1/R = C/8300 \quad (2)$$

(в данном случае мы не учитываем влияние концентрации сульфат-ионов на электропроводность). Поэтому при изменении концентрации раствора с 1000 мг/л до 80000 мг/л затраты электроэнергии на производство хлора так же значительно возрастут. Именно поэтому применение аппаратов непроточного типа является более экономичным с точки зрения затрат электроэнергии.

$$N = I \times U. \quad (3)$$

В свою очередь,

$$U = I \times R. \quad (4)$$

В случае, когда мы имеем дело с хлорированием в проточном режиме, при одинаковых количествах производимого хлора в сутки затраты электроэнергии вследствие низкой электропроводности природной воды при проточном методе будут гораздо выше, чем при промышленном получении хлора в непроточном режиме из концентрированного раствора хлорида натрия. Но главной сложностью при производстве хлора методом электролиза является необходимость закупки реагента – поваренной соли. В предлагаемой статье рассматривается возможность получения концентрированного раствора хлорида натрия из концентрата обратного осмоса. Такое производство хлорида натрия целесообразно в случае необходимости хлорирования воды, полученной методом обратного осмоса. В этом случае затраты на производство хлора оказываются минимальными.

Для хлорирования воды в настоящее время представляется чрезвычайно эффективным использовать метод электролизного получения гипохлорита натрия. Использование поваренной соли для производства гипохлорита требует немалых затрат на реагенты и приводит к увеличению концентрации солей в очищенной воде. Авторами настоящей статьи рассматривается возможность использовать для производства гипохлорита концентрированный раствор поваренной соли, получаемый из концентрата установки обратного осмоса. Как видно из таблицы 1, количество ионов хлора в концентрате установки обратного осмоса, сбрасываемое в сутки в канализацию, более чем достаточно для производства требуемого в сутки для обеззараживания воды гипохлорита натрия.

Проблему составляет концентрирование раствора и доведение концентрации хлорид-ионов до величины 80 г/л. Кроме того, серьезную помеху в проведении процесса электролиза представляет наличие в воде ионов кальция и бикарбонат-ионов. В настоящей работе предлагается использовать разработанную авторами технологию разделения одновалентных и двухвалентных ионов с применением низкоселективных мембран [3–5]. Принципы разделения растворов изложены в ряде публикаций. Основным «приемом» при разделении растворов является обработка многокомпонентного раствора с применением мембран с различной селективностью по одновалентным и двухвалентным ионам. Так, при обработке подземной воды с применением нанофильтрационных мембран ионы кальция задерживаются на 90 %, а хлорид- ионы – всего на 70 %. Таким образом, при соотношении концентраций ионов кальция и хлорид-ионов в исходной воде 1:1, в пермеате будет наблюдаться соотношение 1:3, а в концентрате – наоборот, 3:1. В свою очередь, пермеат

после обработки воды с применением нанофильтрационных мембран можно повторно пропустить через вторую ступень нанофильтрационных мембран, в итоге соотношение концентраций ионов кальция и хлорид-ионов в пермеате второй ступени будет составлять 1:9, а в концентрате второй ступени – 9:1. Пермеат второй ступени может быть сконцентрирован с применением каскада обратноосмотических и нанофильтрационных мембран и доведён до концентрации в нам хлорид-ионов 80 г/л, что соответствует использованию этого раствора при электролизном получении гипохлорита натрия.

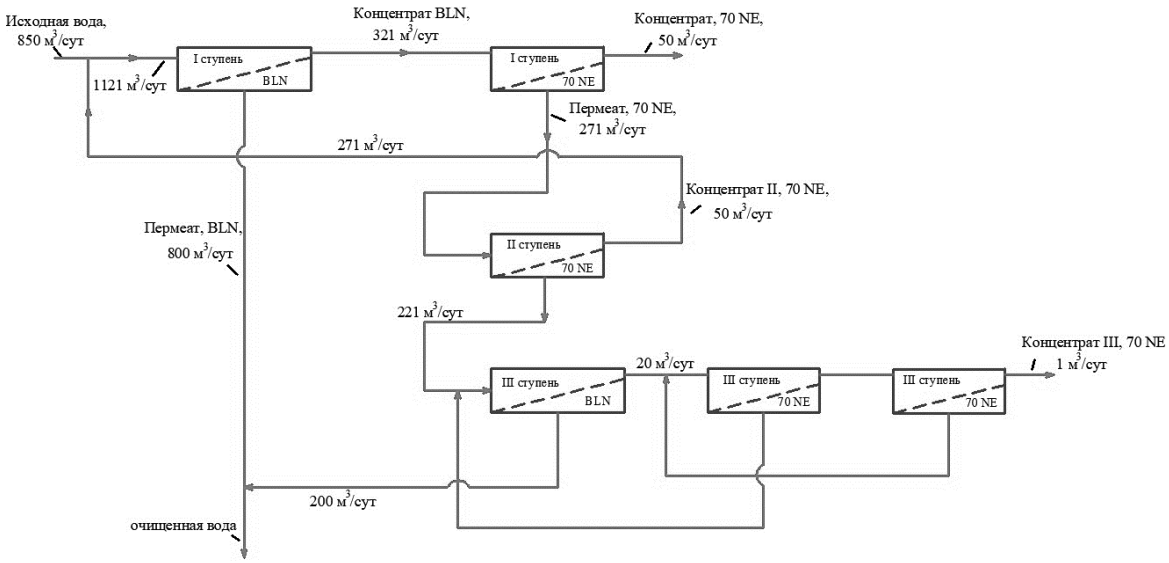


Рисунок 1. **Балансовая схема очистки воды на установки обратного осмоса и получения концентрированного раствора хлорида натрия из концентрата**

На рисунке 1 представлена балансовая схема процесса, а составы растворов на каждой стадии обработки представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. **Гипотетический состав исходной воды, пермеата и концентрата**

№ п/п	Показатели	Исходная вода, мг-экв/л	Мембраны BLN		Мембраны 70 NE	
			Пермеат, мг-экв/л	Концентрат (выход фильтрата 0,7), мг-экв/л	Пермеат, мг-экв/л	Концентрат (выход фильтрата 0,85), мг-экв/л
1	Ca^{2+}	10	0,1	30	7,0	36
2	Cl^-	10	0,2	27	15	22
3	$Na^+ + K^+$	4	0,2	13	10	7
4	HCO_3^-	3,5	0,09	15	1,7	20,0
5	SO_4^{2-}	0,5	0,01	1,0	0,3	1,5

Таблица 2. **Гипотетический состав исходной воды, пермеата и концентрата при использовании разработанной схемы концентрирования**

№ п/п	Показатели	Исходная вода, мг-экв/л	Мембраны 70 NE, I ступень		Мембраны 70 NE, II ступень		Мембраны BLN, III ступень		Мембраны 70 NE, III ступень		Мембраны 70 NE, IV ступень	
			Пермеат, мг-экв/л	Концентрат (выход фильтрата 0,95),мг-экв/л	Пермеат, мг-экв/л	Концентрат (выход фильтрата 0,95),мг-экв/л	Пермеат, мг-экв/л	Концентрат (выход фильтрата 0,9),мг-экв/л	Пермеат, мг-экв/л	Концентрат (выход фильтрата 0,95),мг-экв/л	Пермеат, мг-экв/л	Концентрат (выход фильтрата 0,95),мг-экв/л
1	Ca^{2+}	10	2,5	160	0,5	30	0,05	4,5	2,5	54	14	800
2	Cl^{-}	10	5,0	120	2,5	40	0,04	21,5	10	240	120	2 300
3	$Na^{+} + K^{+}$	4	3,0	20	2,1	18	0,9	18	10	184	120	1 580
4	HCO_3^{-}	3,5	0,4	55	0,09	7,4	0,9	0,8	5,0	13,0	1,8	210
5	SO_4^{2-}	0,5	0,1	5,0	0,01	0,6	0,05	0,2	1,0	2,0	0,2	50

Таблица 3. **Определение годовых эксплуатационных и приведенных затрат на производство питьевой воды и ее обеззараживание**

№ п/п	Показатели	Базовый вариант (I)	Вариант с утилизацией концентрата (II)	Вариант с дополнительным концентрированием (III)	Предлагаемый вариант (IV)
1	Производительность, $м^3$/сут	1 000	1 000	1 000	1 000
2	Расход исходной воды, $м^3$/сут	1 300	1 050	1 050	1 050
3	Сброс концентрата, $м^3$/сут	300	50	50	50
4	Тип и модель мембран	BLN	BLN, 70NE	70NE	70NE, BLN
5	Количество мембранных аппаратов стандарта 8040	40	48	72	68
6	Стоимость годовой замены мембран, руб./год	300 000	360 000	540 000	481 600
7	Годовой расход электроэнергии / годовые затраты, кВт / руб./год	280 000 1 400 000	280 000 1 400 000	370 000 1 750 000	196 000 1 750 000
8	Стоимость сброса концентрата в канализацию, руб./год	1 800 000	300 000	300 000	300 000
9	Расход ингибитора, т/год Стоимость ингибитора, руб./год	1,4 420 000	1,4 420 000	0,4 130 000	0,4 130 000
10	Расход моющих растворов, т/год Стоимость моющих растворов, руб./год	0,8 240 000	0,9 280 000	0,36 130 000	0,3 104 000
11	Расход поваренной соли, т/год Стоимость поваренной соли, руб./год	25 1 250 000	25 1 250 000	–	–
12	Расход электроэнергии для производства хлора кВт/сут. / руб./год	80 146 000	80 146 000	80 146 000	80 146 000
13	Итого эксплуатационные затраты, руб./год	4 285 000	2 885 000	2 850 000	2 765 600
14	Капзатраты, руб.	8 400 000	10 400 000	11 800 000	10 900 000
15	Приведенные затраты, руб./год	5 685 000	4 685 000	4 810 000	4 565 600

При использовании описанной технологии не удорожает процесс. Как видно из таблицы 3, применение технологии сокращения расхода концентрата ведёт к сокращению эксплуатационных затрат за счет экономии затрат на сброс концентрата [5–6]. Применение дополнительной ступени мембранного концентрирования для разделения ионов и получения концентрированного раствора хлорида натрия оказывается дешевле, чем получение гипохлорита из поваренной соли.

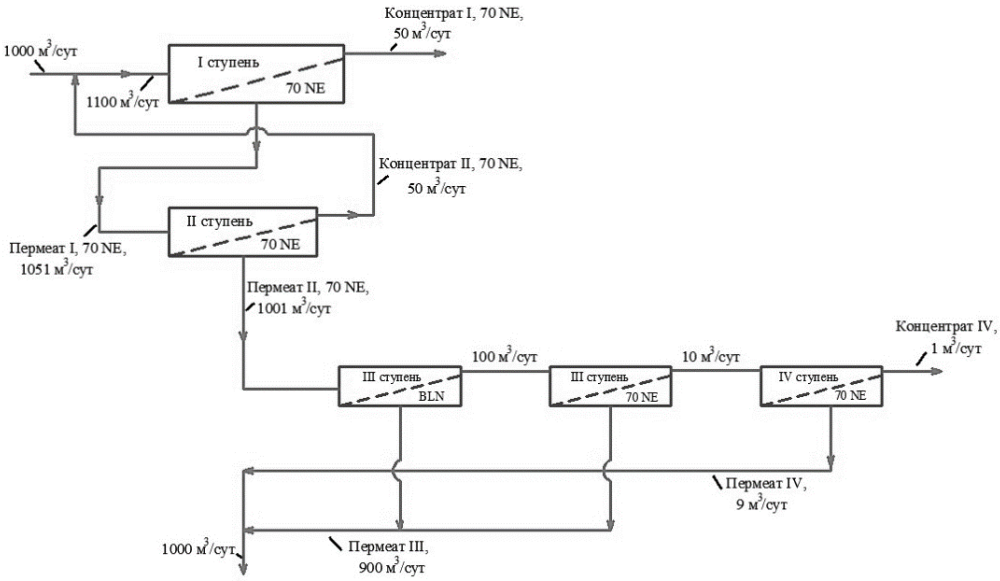


Рисунок 2. **Получение концентрированного раствора хлорида натрия с применением нанофильтрационных мембран и технологии разделения ионов.**

На рисунке 2 представлена схема получения очищенной (питьевой) воды в две ступени с применением нанофильтрационных мембран типа BLN производства компании CSM-Toray (Япония) с селективностью по солям NaCl –70 %. Использование мембран данной марки, обладающих в три раза большей проницаемостью, чем обратноосмотические мембраны, позволяет не только получить очищенную воду высокого качества с применением меньшего количества мембранных аппаратов и с меньшими затратами на электроэнергию, но также с меньшими затратами на мембраны получить требуемое количество концентрированного раствора хлорида натрия. В таблице 3 показан расчет затрат на получение очищенной воды и получение гипохлорита натрия. Как показывают результаты расчета, применение усовершенствованной схемы мембранной установки позволяет одновременно сократить расходы как на подготовку питьевой воды, как и на ее обеззараживание. Это делает применение электролизного обеззараживания эффективным при строительстве станций мембранной очистки воды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Головесов В.А., Рудакова Г.Я, Первов А.Г., Спицов Д.В. Выбор мембран и сервисных реагентов для мембранных установок, применяемых для обработки подземных вод // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. №. 11. С. 1556–1569.
2. Фесенко Л.Н., Бабаев А.А. Установка для получения гипохлорита натрия. – Патент РФ 2176982.
3. Первов А.Г., Андрианов А.П., Спицов Д.В., Рудакова Л.В. Новые технологии и аппараты на основе методов ультра- и нанофильтрации для систем водоснабжения и теплоснабжения // Водоснабжение и санитарная техника. 2009. №. 7. С. 12–19.
4. Первов А.Г., Бондаренко В.И., Жабин Г.Г. Применение комбинированных систем обратного осмоса и ионного обмена для подготовки питательной воды паровых котлов // Энергосбережение и водоподготовка. 2004. №. 5. С. 25–28.
5. Первов А.Г., Андрианов А.П., Спицов Д.В. Программа для технологического расчета систем нанофильтрации / /Водоснабжение и санитарная техника. 2008. №. 11. С. 12–20.
6. Первов А.Г., Андрианов А.П., Ефремов Р.В., Головесов В.А. Новая технология сокращения расходов концентратов установок обратного осмоса // Мембраны и мембранные технологии. 2021. Т. 11. № 6.

УДК 628:614.842.62:006.015.7

ПРОБЛЕМЫ ПРОФЕССИОНАЛИЗМА ЗАКОНОДАТЕЛЬНЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ НОРМАТИВОВ В ОБЛАСТИ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И КАНАЛИЗАЦИИ

А.Д. Гуринович
ООО «ПроГИС», г. Минск, Беларусь
О.Г. Примин
Научно-исследовательский институт строительной физики
Российской академии архитектуры и строительных наук, г. Москва, Россия
Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

Нормативные правовые акты (НПА) и технические нормативные документы (ТНД), водного хозяйства являются основой государственного и международного регулирования управления водохозяйственными системами. Приведен анализ отдельных положений действующих нормативных документов в Беларуси и России. Рассмотрены вопросы необходимости создания единого органа Союзного государства и ЕАЭС по координации разработок нормативов.

В настоящее время для стран СНГ проблемы обеспечения населения

питьевой водой требуемого качества в достаточном количестве и экологическая безопасность водопользования являются по-прежнему наиболее актуальными. Это не только технические проблемы устаревшего оборудования и общей технической отсталости, но, прежде всего, правовые, организационные и экономические проблемы. Водохозяйственные системы как Союзного государства России и Беларуси, так и стран ЕАЭС нуждаются в основательной модернизации как их состояния, так системы государственного управления и регулирования [1–3]. Особенно, это касается централизованных систем водоснабжения и канализации, которые согласно разработанной ООН Международной стандартной отраслевой классификации всех видов экономической деятельности (МСОК) определены совместно с системами удаления отходов, как самостоятельная отрасль. Одной из целей МСОК была «категоризация экономической деятельности и установление связи между секторами экономики, образования, здравоохранения и окружающей средой на национальном и международном уровнях».

На основании МСОК все цивилизованные страны мира, включая Россию и Беларусь, создали свои национальные отраслевые стандарты. В интересах обеспечения международной сопоставимости всем странам предлагается прилагать усилия к использованию классификаций, которые в максимально возможной степени совместимы с МСОК.

Высшие учебные заведения могут рассматриваться как эквивалент основных структур, подлежащих классификации согласно МСОК. Определения категорий МСОК в сфере образования должны были быть составлены с учетом последнего пересмотренного варианта. Практически во всех странах мира приняты формулировки и содержание разделов отраслей согласно МСОК. Так в МСОК выделена отрасль в раздел Е «Водоснабжение; системы канализации, удаление отходов и меры по восстановлению окружающей среды», в России – «Водоснабжение; водоотведение, организация сбора и утилизации отходов, деятельность по ликвидации загрязнений», а в Беларуси – «Водоснабжение; сбор, обработка и удаление отходов, деятельность по ликвидации загрязнений», которые значительно отличаются от МСОК и не входят в раздел F «Строительство».
В отличие от других стратегических сфер экономической деятельности (электроснабжение, теплоснабжение, газоснабжение), от успешного функционирования которых зависит социальная и экономическая стабильность стран, водопроводно-канализационное хозяйство (ВКХ) как самостоятельная отрасль водного хозяйства не сформирована.

Введение в России с времен распада СССР в 1990-х годах, а затем и в некоторых странах СНГ (за исключением Узбекистана, Азербайджана и Молдавии), термина «водоотведение» вместо общепринятого в мировой практике международного термина «канализация», «как более чётко отражающего конструктивную и технологическую сущность процесса»

никак не объяснимо для многих профессионалов ученых, специалистов, преподавателей и студентов, как правильно использовать эти термины. Зачем-то захотелось связать с водоснабжением водоотведение, введя лишенного смысла в словосочетании понятия, что вода в водоснабжении это природная вода, а в водоотведении – сточная вода. В водоотведении в первую очередь рассматривается природная вода. В переводе же на многие иностранные языки «водоотведение» – это water disposal (отвод воды), drainage (дренаж). Термины канализация и водоотведение часто встречаются в толкованиях у специалистов, что это одно и то же или нет, а сделать определённое заключение весьма сложно, поскольку даже в действующих НПА и ТНД невозможно стопроцентно определить факт – использовать их как синонимы, или смешивать между собой или представлять отдельно. Канализация существенно отличается от водоотведения, и совмещать эти понятия ни в кое мере нельзя. Аналогично многие совмещают понятия сточные воды и стоки, водоподготовка и водоочистка и др.

В этой связи следует особо уделять внимание терминам и определениям, которые должны быть идентичны установленным понятиям и быть технически грамотными, не допускающими иные толкования. что имеет место во многих действующих НПА и НТД как в Беларуси, России так и странах ЕАЭС. Это предотвратит путаницу и несогласованность, как с действующими НПА и НТД, так и с технической и учебной литературой, особенно с зарубежной.

Одним из основных принципов нормотворчества является принцип научного обоснования с использованием результатов научных исследований и зарубежного передового опыта создания и применения нормативных документов, привлечения ученых и специалистов профессионалов по данной специальности к разработке НПА и НТД. ТНД в водохозяйственной области практически базируются на постсоветских нормативах, разработанных еще в 80-х годах. Как и НПА, разные ТНД в водохозяйственной сфере разрабатывались различными министерствами, в которых существуют многочисленные противоречия, изъяны и дублирование в своих НПА и ТНПА. Они вносят неопределённость при проектировании и эксплуатации, приводят к излишнему бюрократизму и значительному удорожанию объектов водного хозяйства, для которых характерен низкий уровень профессионализма кадрового состава в водохозяйственной отрасли. Практически отсутствует единая координация разработок НПА и ТНПА, что существенным образом повлияло на качестве этих документов. Данный принцип не был соблюден в полной мере, что существенным образом отразилось во многих документах, в том числе и в российских нормативных документах водной отрасли: в Федеральном законе от 7 декабря 2011 г. №416-ФЗ «О водоснабжении и водоотведении», актуализированном СП 32.13330.2018 «СНиП 2.04.03–85 Канализация.

Наружные сети и сооружения» и Своде правил СП 517.1325800.2022 по эксплуатации централизованных систем и сооружений водоснабжения и водоотведения. В этих документах встречается как термин «канализация», так и «водоотведение». Так в 416-ФЗ РФ «О водоснабжении и водоотведении» в термине «водоснабжение – водоподготовка, транспортировка и подача питьевой или технической воды…» отсутствует основной элемент – водозабор, а термин «водоотведение – прием, транспортировка и очистка сточных вод с использованием централизованной системы водоотведения» отличается от терминов в СП 32.13330.2018 «централизованная общесплавная система канализации: Система канализации, предназначенная для совместного отведения и очистки всех видов сточных вод, включая городские и поверхностные». Однако по тексту данного СП также идет переплетение данных терминов.

Особо следует отметить проблемы профессионализма, связанные с подземными водами. В основном, все правовые отношения по подземным водным объектам отданы «на откуп» законодательствам о недрах. Отнеся подземные воды к полезным ископаемым, таким как нефть, газ, уголь и др., в них исключили главную отличительную особенность, что вода – является возобновляемым ресурсом. Никто не отменял Законы природы о неделимости воды, непрерывности круговорота воды в природе, о взаимосвязи поверхностных и подземных вод и требований о единой политике их использования и охраны. Во всех цивилизованных странах мира подземные воды всегда признавались и признаются водными объектами и поэтому включались и включаются в единый водный фонд. За таким разделением невидимого регулирования водных отношений, в частности в Беларуси, скрываются корпоративные интересы – разработка проектов горного отвода, обязывающая водохозяйственные организации иметь акт, удостоверяющий «горный отвод» при строительстве и эксплуатация водозаборных скважин, канализационных сетей.

А

Б

Рисунок. **Границы горного отвода**
А – водозаборной скважины и Б – участка канализационной сети

Такой перенос геологического понятия «горный отвод» лишен всякого смысла. Нельзя не отметить позитивную сторону того, что в России впервые разработан единый документ на федеральном уровне СП 517.1325800.2022 по эксплуатации централизованных систем и сооружений водоснабжения и водоотведения, который обеспечивает

необходимыми рекомендациями и требованиями все основные этапы эксплуатации и является основой для разработки конкретных технических регламентов эксплуатации предприятиями водопроводно-канализационного хозяйства.

Одной их причин имеющихся многих проблем в водоснабжении и канализации является неудовлетворительное состояние состоянии науки и образования в водной отрасли. В высших учебных заведениях (ВУЗ) строительного профиля отсутствуют программы подготовки инженеров-технологов и как результат – дефицит квалифицированного персонала. Действующая система подготовки кадров в большинстве ВУЗов высшей научно-педагогической квалификации (кандидатов и докторов технических наук) неэффективна. Во многом это определяется недостаточностью научной базы, что не позволяет вести серьезные разработки. Кроме того, отсутствие мотивации (низкие зарплаты профессорско-преподавательского состава) повлекло к поступлению в аспирантуру далеко не лучшие кадры, что существенным образом сказалось на преемственности научных направлений и кадров. Это отразилось как на количестве, так и на качестве диссертаций. Остались по специальности 2.1.4. Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов (технические науки) диссертационные советы только в Москве, Самаре и Минске, но и они весьма не загружены. В учебном и исследовательском процессе университетов необходимо внедрять по опыту передовых стран современные инновационные технологии в высшем образовании в области водоснабжения и канализации. Анализ 20-летнего опыта системы высшего профессионального образование в Польше свидетельствует о высоком уровне подготовки высококвалифицированных специалистов, давших стране огромный импульс экономического инновационного развития. Обусловлено это в первую очередь тем, что в Польше во всех государственных ВУЗах обучение 100 % бесплатное, как было в СССР. Университеты Польши, как и Восточной Германии, сохранили постсоветские сроки очного обучения – 5 лет, бакалавриат (3,5 года) + магистратура (1,5 года). Через 3,5 года обучения в бакалавриате присваивается квалификация – инженер (после защиты диплома), и после последующих 1.5 года в магистратуре – степень магистр–инженер, которые ориентированы, как на научно-исследовательскую деятельность, так и на повышение профессионального уровня по одной из специализаций.

Исходя из вышеизложенного можно заключить следующее:

1. далеко неполный перечень приведенных проблем диктует необходимость разработки и актуализации единых межгосударственных ТНД;
2. система технического нормирования должна базироваться на Европейском и мировом опыте действия НПА и ТНД, которая рассматривала и увязывала технологические аспекты проектирования,

строительства и эксплуатации объектов водоснабжения и канализации и гармонизацию государственных стандартов с учетом их гармонизации с международными;

3. в целях совершенствования НПА и ТНПА и координации необходимо создать Межгосударственную комиссию по вопросам государственной водохозяйственной политики стран ЕАЭС с привлечением ведущих ученых и специалистов, имеющих профессиональное отношение к водным проблемам.

ЛИТЕРАТУРА

1. М.В. Болгов, Е.В. Веницианов, С.Н. Шашков. О проблемах развития нормативно-методической базы управления водными ресурсами и водопользованием в Российской Федерации. // Водное Хозяйство России. № 2, 2021. С. 8–21.
2. Сколубович Ю.Л., Примин О.Г., Гогина Е.С. Проблемы инженерных систем водопользования и научные исследования по их решению // Водоснабжение и санитарная техника. 2023. № 1. С. 6–10.
3. Бахмат А.Б., Гуринович А.Д. Организационно-экономические основы функционирования водопроводно-канализационного хозяйства: зарубежная и отечественная практика. Минск: БНТУ, 2019. 246 с.

УДК 628.19

ВТОРИЧНЫЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДОПРОВОДНОЙ ВОДЫ: УСЛОВИЯ, ПРОГНОЗИРОВАНИЕ, ДООЧИСТКА

В.В. Медведько, А.Г. Первов
Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

В статье рассмотрены причины ухудшения качества водопроводной воды на базе отечественных и зарубежных исследований. Рекомендовано использовать метод нанофильтрации для доочистки питьевой воды.

Как известно, на территории РФ действует СанПиН 2.1.4.116-02, определяющий требования к качеству питьевой воды, подаваемой городскими водопроводными сетями потребителям. Однако, имеют место жалобы населения городов на качество питьевой воды в городском водопроводе: жалобы на содержание железа, запахи, бактериальный состав. Проблема качества питьевой воды усугубляется тем, что до сих пор нет единого мнения о причинах ухудшения качества. Например, руководство городских водоканалов утверждает, что на станциях очистки

вода имеет «идеальное качество», а в загрязнении воды обвиняют службы эксплуатации водопроводных сетей, убеждая население в том, что все загрязнение воды идет вследствие наличия в водопроводных трубах коррозии и отложений. С другой стороны, ведущие специалисты по эксплуатации водопроводных сетей, утверждают, что в водопроводных системах невозможно образование каких-либо отложений благодаря высоким значениям расчетных скоростей движения воды. Проблема улучшения качества воды в городских водопроводах оказывается, таким образом, до сих пор не решенной, что описывается известной фразой из басни Крылова И.А.: "А воз и ныне там...". До сих пор еще не выработана точка зрения, каким образом улучшить качество воды: изменить и улучшить технологию очистки воды на водоочистных станциях, улучшить состояние водопроводных сетей, или заниматься доочисткой воды уже непосредственно перед ее потреблением. Тем не менее, следует согласиться, что понятие «вторичные загрязнения» возникло достаточно давно и подтверждается длительным опытом работы городских водопроводов. Всем с детства известны бордовые подтеки в ваннах, унитазах и раковинах вследствие постоянно «капающей» водоразборной арматуры. Такие подтеки возможны только при наличии в воде железа, которое появляется в результате коррозии трубопроводов, что и является «вторичным загрязнением». Другое дело, каким образом это железо растворилось и на чем основан механизм этой коррозии [2]. Поэтому целью настоящей статьи является попытка авторов разобраться в причинах ухудшения качества водопроводной воды на основе проводящихся в этой области отечественных и зарубежных исследований. Как показывает изучение отечественных и зарубежных публикаций в этой области, наиболее интересная современная точка зрения на проблему основывается на уверенности в том, что отложения в трубопроводах и вторичное загрязнение воды являются следствием жизнедеятельности бактерий. И главная ошибка современного питьевого водоснабжения состоит в недооценке этого явления. От бактериального состава воды, поступающей в водопроводную сеть после станции очистки воды, зависит и коррозия, и образование отложений, и загрязнение воды болезнетворными бактериями, и снижение эффективности хлорирования, и повышение окисляемости, и появление неприятных запахов. «Поэтому главной задачей работы станции очистки воды, как считают микробиологи, является идентификация различных видов микроорганизмов в воде, выходящей из очистных сооружений, и удаление этих микроорганизмов из воды или предотвращение их быстрого роста».

На качество очищаемой воды влияют биологические процессы, происходящие как в источнике водоснабжения, так и в самой системе водоснабжения. Микроорганизмы, попадающие в систему водоснабжения с потоком очищаемой воды, способные жить и размножаться в системе

водоснабжения, называются автохтонные. В отличие от аллохтонных микроорганизмов, не способных к жизнедеятельности в водопроводной системе, аллохтонные организмы приживаются в трубопроводных системах и способны в них размножаться. При этом эти организмы развиваются на поверхностях труб более интенсивно, чем в водоемах. У автохтонных микроорганизмов имеются приспособления, позволяющие им прикрепляться к поверхностям труб, делая биообрастания чрезвычайно стойкими. В водопроводных трубах бактериальные обрастания происходят в основном благодаря железобактериям. Эти бактерии извлекают из воды растворенное закисное железо и окисляют его, образуя нерастворимый гидрат окиси железа. Обрастания, развивающиеся на внутренних поверхностях труб, представляют собой биоценоз, внутри которого складывается целая система взаимосвязей различных микроорганизмов. При массовом отмирании биологических обрастаний (при сезонных колебаниях качества воды и условий эксплуатации водопроводов) биомасса разлагается с образованием сероводорода.

Одним из подтверждений биообрастаний в московском водопроводе могут считаться полученные авторами результаты инфракрасной спектроскопии проб водопроводной и речной воды. В работе [3] были изучены пробы воды (речной и водопроводной) после применения различных методов очистки. Метод инфракрасной спектроскопии дал возможность определить различные диапазоны молекулярных весов органических веществ, содержащихся в воде и дать оценку эффективности различных методов их удаления.

Результаты определения величины светопоглощения проб воды, взятых из поверхностного водоисточники до и после очистки, а также проб воды из Московского водопровода (рис. 1) показывают, что в воде как до, так и после очистки содержатся органические вещества с одинаковыми диапазонами молекулярных весов. Так, в различных пробах воды присутствовали высокомолекулярные органические вещества, соответствующие гуминовым кислотам (образующим цветность воды), а также органическим веществам с низкой молекулярной массой. В ряде случаев в пробах водопроводной воды наблюдалось присутствие растворенных органических веществ с низкой молекулярной массой, которые не были обнаружены ни в исходной речной воде, ни в воде после очистки. Предположительно, эти вещества являются продуктами жизнедеятельности бактерий и могут считаться «вторичными загрязнениями.

При просвечивании проб воды пучками света с разной длиной волны, величина светопоглощения зависит от длины волны проходящего сквозь воду света. В зависимости от молекулярного веса содержащихся в воде органических веществ меняется величина светопоглощения, что отражается в образовании «максимумов» (рис. 1) величин поглощения. У

речной воды максимумы светопоглощения соответствуют длинам волн 400 – 500 нм, что указывает на наличие в воде высокомолекулярных органических веществ, образующих цветность воды. У водопроводной воды такие максимумы отсутствуют, однако наблюдаются максимумы светопоглощения при длинах волн 380 – 350 нм, что говорит о наличии низкомолекулярных органических веществ, определяющих такой показатель, как окисляемость. В ряде случаев результаты ИК-спектроскопии воды, отобранной в лабораторных условиях НИУ МГСУ, имели максимумы светопоглощения при длине волны 310 нм, что свидетельствовало о присутствии органических веществ с низкими значениями молекулярного веса, которые могут являться продуктами жизнедеятельности бактерий.

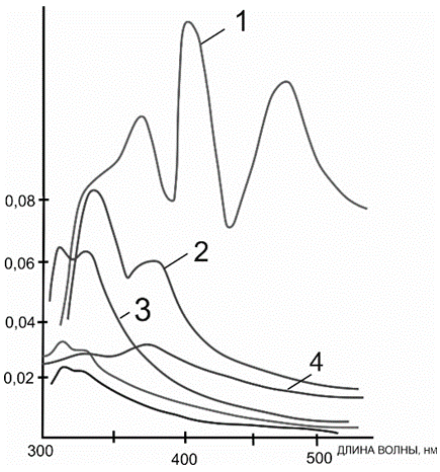


Рисунок 1. **Спектрограмма:**
1 – речная вода; 2, 3 – водопроводная вода (отобранная в разные временные промежутки); 4 – очищенная водопроводная вода с применением нанофильтрации

Таким образом, накопленный опыт оценки и улучшения качества водопроводной воды, а также обзор результатов современных исследований в области микробиологии и влияния бактерий на состав питьевой воды, позволяют сделать достаточно новые и неожиданные выводы:

- присутствие в воде бактерий имеет огромное влияние, не только на качество питьевой воды, но и на формирование отложений в трубах;
- коррозия водопроводных труб вызвана жизнедеятельностью содержащихся в воде железобактерий. Скорость коррозии зависит от условий развития биоплёнки из железобактерий на внутренней поверхности труб;
- образование на внутренних поверхностях труб биологических обрастаний часто связано с недостаточно эффективно проведённой дезинфекцией;

- часто оказывается, что хлорирование часто может не влиять на рост биоплёнки, так как хлор поглощается биологическими обрастаниями;
- необходимо уметь идентифицировать виды микроорганизмов, находящихся в воде, подаваемой в водоразборную сеть. От этих микроорганизмов зависит процесс коррозии, образования биоплёнки и биообрастаний, что в свою очередь оказывает влияние на качество питьевой воды;
- на станции подготовки питьевой воды следует вести контроль не только показателей мутности, цветности и окисляемости, но и идентифицировать весь биоценоз содержащихся в воде микроорганизмов и при необходимости удалять их из воды;
- для удаления микроорганизмов из воды (бактерий и вирусов) очень эффективно применение на станциях подготовки питьевой воды установок ультрафильтрации (рис. 2) [3];

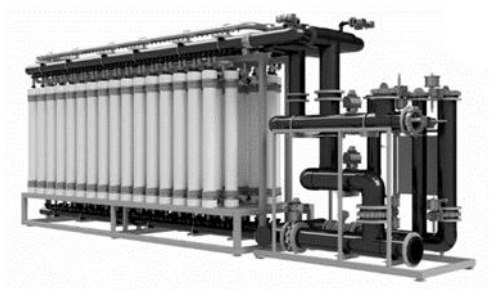


Рисунок 2. **Установка ультрафильтрации**

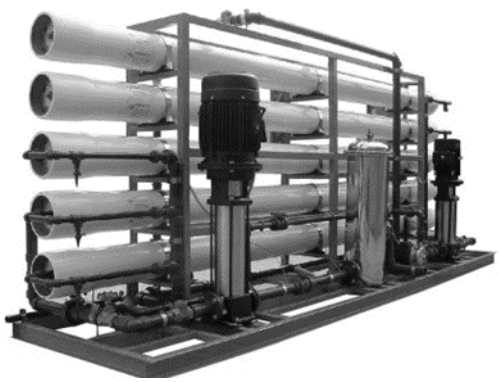


Рисунок 3. **Установка нанофильтрации**

- Для случаев увеличения в водопроводной воде значений таких показателей, как окисляемость, (вызванного попаданием в воду продуктов жизнедеятельности бактерий), следует использовать для доочистки водопроводной воды систем нанофильтрации. Такие системы универсально удаляют из воды не только бактерии и вирусы, но и растворенные органические вещества, в том числе

продукты хлорирования, а также растворенное железо (рис. 3). Такие системы разрабатываются на кафедре водоснабжения и водоотведения МГСУ и на протяжении ряда лет эффективно применяются для доочистки водопроводной воды при водоснабжении автономных объектов [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Продоус О.А., Шлычков Д.И., Спицов Д.В. Предотвращение вторичного загрязнения питьевой воды в металлических сетях водоснабжения //Construction: Science & Education. 2022. №. 2.
2. Cyna B., Gerard C., Bablon. G., Tanghe. N. Two years of nanofiltration at the Méry-sur-Oise plant, France // Desalination. 2002. Т. 147. №. 1–3. С. 69–75.
3. Головесов В.А., Рудакова Г.Я, Первов А.Г., Спицов Д.В. Выбор мембран и сервисных реагентов для мембранных установок, применяемых для обработки подземных вод // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. №. 11. С. 1556 – 1569.
4. Palmer C.M. Algae in water supplies of the United States. – Springer US, 1964. С. 239–261.
5. Первов А.Г., Андрианов А.П., Спицов Д.В., Рудакова Л.В. Новые технологии и аппараты на основе методов ультра-и нанофильтрации для систем водоснабжения и теплоснабжения // Водоснабжение и санитарная техника. 2009. №. 7. С. 12–19.
6. Черкасов С.В. Проблемы микробиологических загрязнений систем водоснабжения // Сантехника. Отопление. Кондиционирование. 2005. №. 8.

УДК 628.237.2:628.521

ОЧИСТКА ОТ ДУРНОПАХНУЩИХ ВЕЩЕСТВ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ ВЫБРОСОВ В СИСТЕМАХ ВОДООТВЕДЕНИЯ

А.Ю. Черкесов, Р.В. Исраилов, И.А. Денисова
ООО НПП «ЭКОФЕС», г. Новочеркасск, Россия
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия

Приведены результаты исследований метода очистки от сероводорода вентиляционных выбросов в системах водоотведения. Исследования проводились в лабораторных условиях. Задачей исследования являлся анализ влияния основных технологических параметров на эффективность удаления сероводорода из газовоздушных выбросов в мокром скруббере.

Очистка от дурнопахнущих веществ (ДПВ) является актуальной проблемой канализационного хозяйства городов. ДПВ образуются в коммуникациях и сооружениях вследствие биологических и биохимических процессов (рис. 1). В таблице 1 приведены концентрации ДПВ в объеме вентиляционного воздуха, наибольшими концентрациями представлен сероводород [1–2]. Сероводород (H_2S, СВ) – бесцветный газ, имеет высокую токсичность по отношению к живым существам и агрессивно воздействует на конструкции из железобетона и стали. Ввиду высокой опасности СВ были проведены многочисленные исследования по поиску оптимального метода его удаления из вентиляционных выбросов различных предприятий. В большей степени в практике нашли применение каталитические методы, но их распространение ограничено предприятиями нефтехимических производств, так как они требуют высоких материальных затрат на периодическую замену каталитической загрузки.

В практике очистки вентиляционных выбросов сооружений водоотведения нашли применение менее затратные методы: сорбционный; озоно-сорбционно-каталитический; сорбционно-плазмо-каталитический; биохимический; окислительный. Среди представленных методов наиболее предпочтительным считается окислительный, ввиду дешевизны эксплуатационных затрат, однако, минусом данного метода является применение дорогостоящих окислителей, таких как $NaOCl$, H_2O_2, $KMnO_4$ и др.

Снизить эксплуатационные затраты окислительного метода возможно путём получения окислителя непосредственно на месте потребления. Одним из технических вариантов может быть получение окислителя – гипохлорита натрия (ГХН, $NaOCl$) в хлоридсодержащем поглотительном растворе путём безмембранного электролиза. Процесс получения ГХН и процесс окисления сероводорода был ранее описан в работе [3]. Данное техническое решение было положено в основу представленных в данной работе исследований.

Сероводород (H_2S, СВ) бесцветный газ, имеет высокую токсичность по отношению к живым существам и агрессивно воздействует на конструкции из железобетона и стали. Ввиду высокой опасности СВ были проведены многочисленные исследования по поиску оптимального метода его удаления из вентиляционных выбросов различных предприятий. В большей степени в практике нашли применение каталитические методы, но их распространение ограничено предприятиями нефтехимических производств, так как они требуют высоких материальных затрат на периодическую замену каталитической загрузки.

Исследования проводились в проточном режиме, когда поглотительный раствор однократно проходил последовательно через проточный электролизёр и адсорбционную колонну; и циркуляционном

режиме, когда поглотительный раствор многократно повторно использовался, последовательно проходя проточный электролизёр для восполнения потерь ГХН и адсорбционную колонну. Объектом исследования была искусственно приготовленная модельная газовоздушная смесь с содержанием сероводорода до 160 мг/м^3.

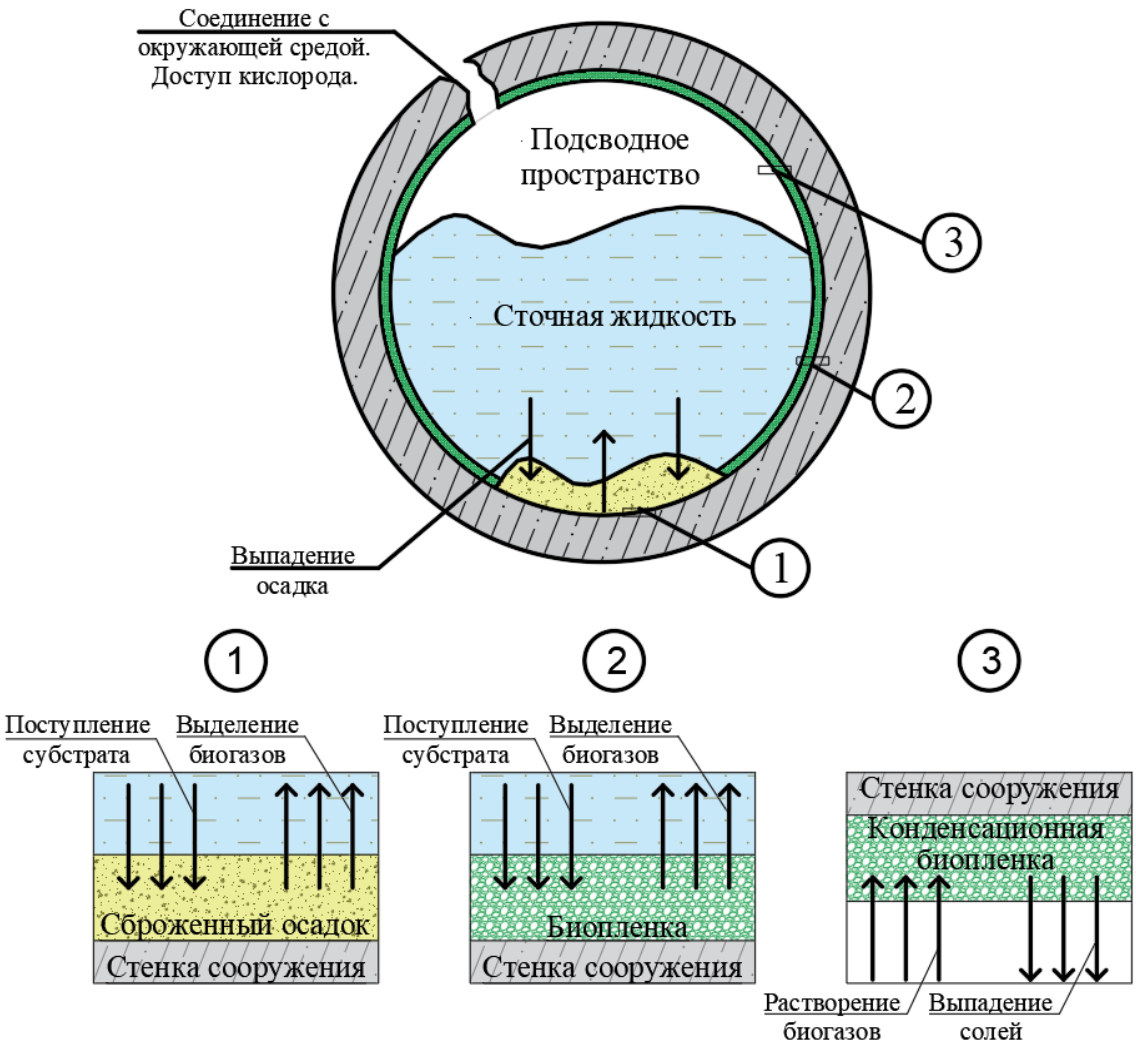


Рисунок 1. **Процессы образования дурнопахнущих веществ**

Для режима проточной работы установки окисления сероводорода гипохлоритом натрия была подготовлена система, обладающая следящими характеристиками:

1) концентрация H_2S в модельном воздухе – 160 мг/м^3;
2) концентрация хлоридов (Cl^-) в поглотительном растворе до электролизера – 7000 мг/дм^3;
3) концентрация э.а.х. в поглотительном растворе после электролизера в зависимости от требуемой дозы – 560, 840, 1120, 1400 мг/дм^3;
4) расход модельной газовоздушной смеси – 700 л/ч;

5) расход раствора поглотителя – 2 л/ч;
6) принятый критерий эффективности – ПДК для рабочей зоны 10 мг/м^3, достигаемый при эффекте очистки не менее 93,8 %;
7) высота загрузки абсорбера варьировалась от 300 до 1000 мм.

Таблица 1. **Дурнопахнущие вещества в газовоздушной смеси систем водоотведения сооружений канализации**

№ п/п	ДПВ	ПДК в воздухе, мг/м^3		Токсичность	Влияние на системы и сооружения	Показатели на реальных объектах мг/м^3
		рабочей зоны	населенных мест мг/м^3			
1	Сероводород	10	0,008	токсичен	агрес.	10-60
2	Этилмеркаптан	1	$5 \cdot 10^{-5}$	токсичен	слабоагрес.	0,085
3	Оксиды азота	5	2	токсичен	агрес.	0,365
4	Ацетальдегид	5	0,01	токсичен	неагрес.	0,0037
5	Аммиак	20	2	токсичен	неагрес.	0,25

Результаты исследований в проточном режиме показали (рис. 2), что при высоте загрузки свыше 850 мм необходимый эффект очистки достигается при дозе более 15 мг$_{э.а.х.}$/мг$_{H2S}$.

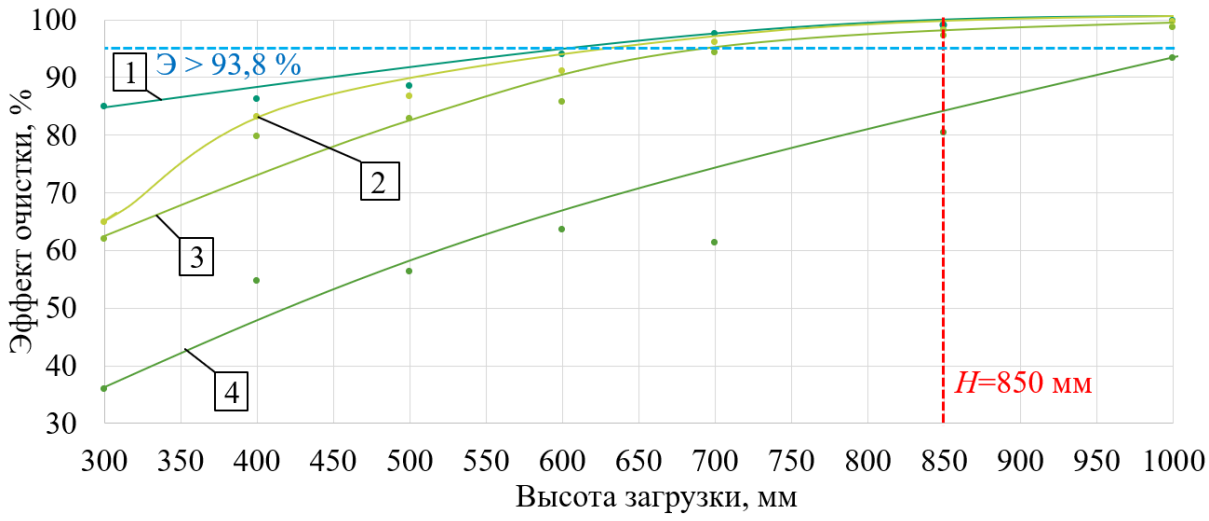


Рисунок 2. **Зависимость эффекта очистки от дозы активного хлора и от высоты загрузки абсорбера:**
1 – доза 25 мг э.а.х./мг H_2S; 2 доза 20 мг э.а.х./мг H_2S;
3 – доза 15 мг э.а.х./мг H_2S; 4 доза 10 мг э.а.х./мг H_2S

Для режима циркуляционной работы установки окисления сероводорода гипохлоритом натрия была подготовлена система, обладающая следящими характеристиками:

1) концентрация H_2S в модельном воздухе – 17 мг/м^3;
2) концентрация хлоридов (Cl^-) в поглотительном растворе до электролизера – 320 мг/дм^3;
3) концентрация э.а.х. в поглотительном растворе после электролизера– 89 мг/дм^3;
4) расход очищаемой газовоздушной смеси – 700 л/ч;
5) циркуляционный расход раствора поглотителя – 2 л/ч;
6) принятый критерий эффективности ПДК в воздухе населенных мест – 0,008 мг/м^3, достигаемый при эффекте очистки более 99,97 %;
7) высота загрузки абсорбера 1000 мм.

Результаты исследований в циркуляционном режиме показали изменение параметров системы в течение эксперимента:

– снижение реакции среды с 8,66 до 4,58 ед. pH;
– снижение концентрации эквивалентов активного хлора в поглотительном растворе с 89 до 68 мг/дм^3;
– снижение эффекта очистки с 99,4 до 9 %;
– снижение концентрации хлоридов в поглотительном растворе с 320 до 250 мг/дм^3
– увеличение концентрации остаточного сероводорода в очищаемом воздухе с 0,1 до 15,5 мг/дм^3;
– увеличение содержания сульфатов в поглотительном растворе с 0 до 163 мг/дм^3 (рис. 3–6).

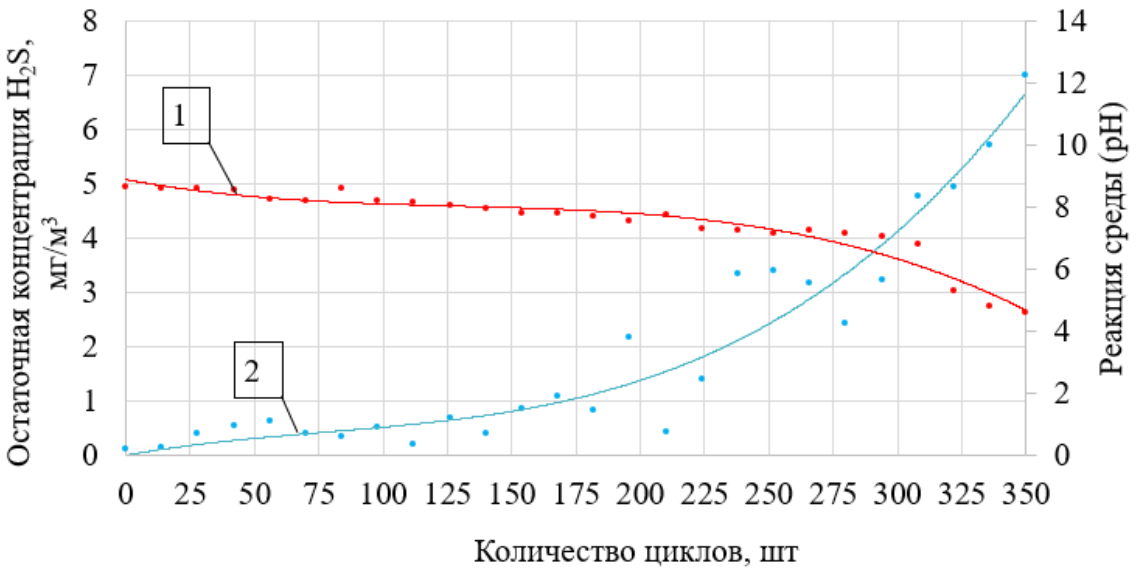


Рисунок 3. **Изменение остаточной концентрации сероводорода в очищенном воздухе и реакции среды в течение эксперимента:**
1 – остаточная концентрация H_2S в очищаемом воздухе,
2 – реакция среды поглотительного раствора

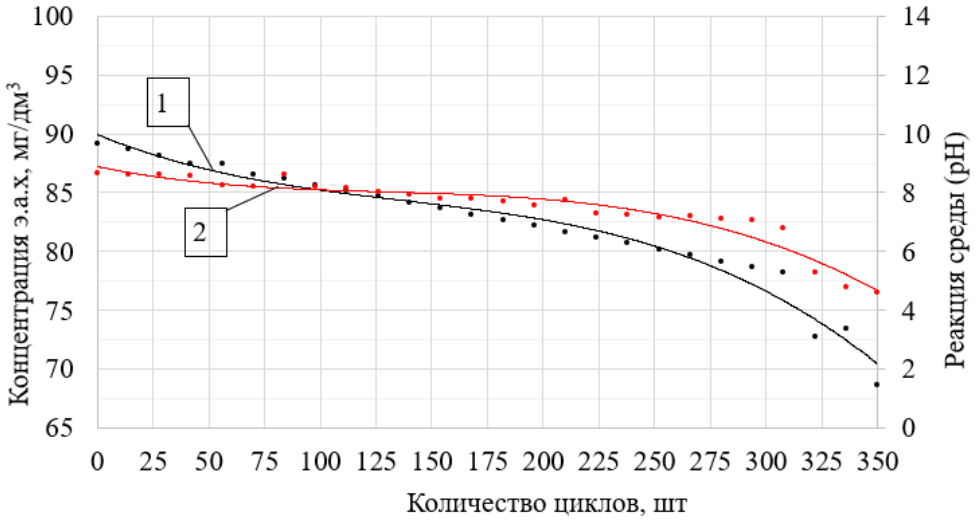


Рисунок 4. **Изменение концентрации э.а.х. в поглотительном растворе и реакции среды в течение эксперимента:**
1 – концентрации э.а.х. в поглотительном растворе,
2 – реакция среды поглотительного раствора

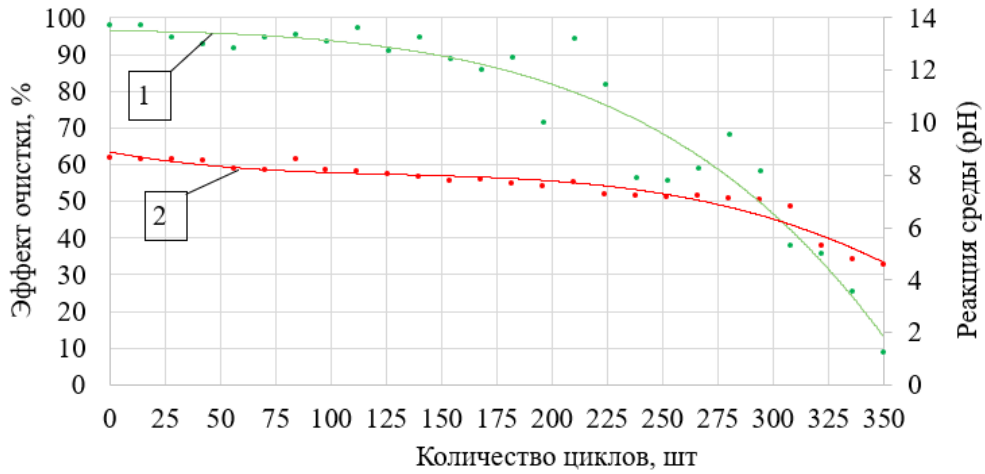


Рисунок 5. **Изменение эффекта очистки и реакции среды в течение эксперимента:**
1 – эффект очистки, 2 – реакция среды поглотительного раствора

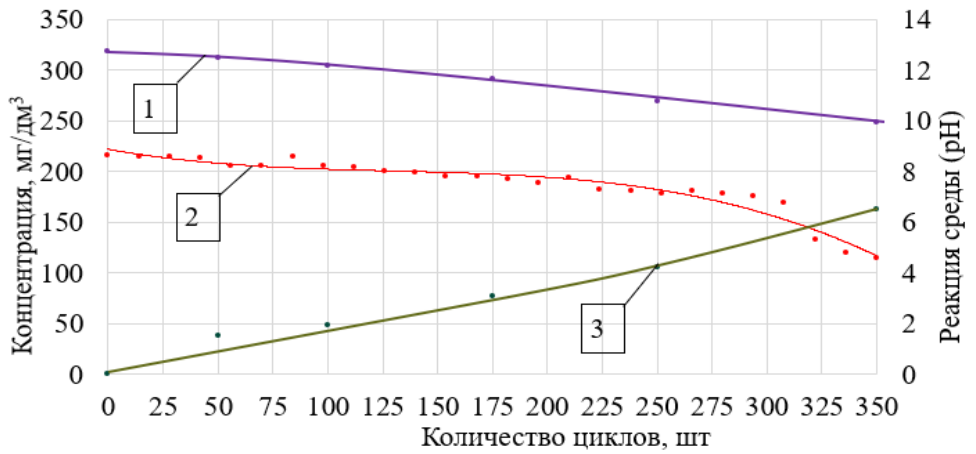


Рисунок 6. **Изменение содержания хлоридов, сульфатов и реакции среды в течение эксперимента:**
1 – эффект очистки, 2 – реакция среды поглотительного раствора

ВЫВОДЫ

1. При газоочистке вентиляционных выбросов от сероводорода методом хемосорбции, когда поглотительный раствор однократно проходил последовательно через проточный электролизёр и адсорбционную колонну, наилучший эффект очистки достигается при высоте загрузки не менее 850 мм и дозе окислителя ГХН – 15 $мг_{э.а.х.}/мг_{H2S}$.
2. При газоочистке вентиляционных выбросов от сероводорода методом хемосорбции, когда поглотительный раствор многократно повторно использовался, последовательно проходя проточный электролизёр для восполнения потерь ГХН и адсорбционную колонну, наблюдается изменение состава поглотительного раствора, что ухудшает эффект очистки за счёт снижения pH раствора и концентрации хлоридов.
3. При реализации процесса газоочистки методом хемосорбции с циркуляцией поглотительного раствора необходимо использование щелочного реагента для поддержания pH в пределах от 8,5 до 10 ед.

ЛИТЕРАТУРА

1. Орлов В.А., Саймуллов А.В., Мельник О.В. Изучение процесса появления дурно пахнущих запахов в канализационных сетях и анализ средств их удаления // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. Вып. 3. С. 409–431.
2. Рублевская, О.Н. Мероприятия по предотвращению распространения неприятных запахов на объектах ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» / О.Н. Рублевская // Водоснабжение и санитарная техника. 2013. № 10. С. 46–55 .

Фесенко, Л.Н. 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. – EDN QGIGPM.

УДК 66.4

АЛЮМИНИЙ ХЛОРГИДРАТ – ЛИДЕР ПО ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЮ В ПАРФЮМЕРНО-КОСМЕТИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Н.А. Сухоносов
ГК «АУРАТ», г. Москва, Россия

Приведена сравнительная характеристика алюминий хлоргидрата Российского производства ГК «АУРАТ» с импортным аналогом. Приведены области его применения и история производства.

ГК «АУРАТ» – крупнейший российский производитель химической продукции. Основной деятельностью компании является производство

реагентов предназначенных для использования в водоподготовке и очистке сточных вод, бумажной, косметической и парфюмерной промышленности. Вся продукция изготавливается из минерального сырья высокого качества и проходит многоступенчатый контроль в специализированной аккредитованной лаборатории.

Линейка нашей продукции весьма широкая и насчитывает более 40 марок продукции, таких как: кристаллический сульфат алюминия; водные растворы сульфата алюминия различных марок; полиоксисульфаты алюминия, смесевые реагенты различных модификаций, полиоксихлориды алюминия, выпускаемые в виде порошка в различных модификациях и полиоксихлориды алюминия различных модификаций, выпускаемые в виде водных растворов.

Начиная с 1996 года ГК «АУРАТ» первыми запустило массовый выпуск полиоксихлоридов алюминия в Российской Федерации. В июле 2000 года впервые в России было пущено производство сухого полиоксихлорида алюминия и жидких полимерных смесей полиоксихлорида алюминия.

Создав современное производство ПОХА по уникальной передовой технологии с высокой степенью автоматизации, ГК «АУРАТ» взяло верный курс на выпуск только качественных и высокоэффективных коагулянтов, которые востребованы не только в водоподготовке и водоочистке, но в бумажной, косметической и парфюмерной промышленности.

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

Сейчас изготовляются коагулянты нескольких видов, а ежегодные масштабы их выпуска достигают многих десятков тысяч тонн. Самый прогрессивный среди них – уже упоминавшийся полиоксихлорид алюминия.

Стоит отметить, что полиоксихлорид алюминия имеет несколько синонимов: алюминий хлоргидрат, алюминий гидроксихлорид, алюминий гидроксид хлорид, оксихлорид алюминия, диалюминии хлорид пентагидроксид.

Торговое название – алюминий хлоргидрат 50 %-ный раствор чистый, который выпускает ГК «АУРАТ» с 2004 года, имеет множество химических наименований: алюминий оксихлорид, алюминий гидроксид хлорид, диалюминий хлорид пентагидроксид, алюминий хлоргидрат и полиоксихлорид алюминия.

Алюминий хлоргидрат производства ГК «АУРАТ», является современным и одним из лучших реагентов, относящийся к средне- или – высоко- основным солям полиоксихлорида алюминия, который как уже

говорилось востребован в водоподготовке и очистке сточных вод, бумажной, косметической и парфюмерной промышленности.

Учитывая нынешнюю политическую ситуацию в мире и в Российской Федерации в частности, уход иностранных компаний из недружественных нам стран, заставил многие российские компании срочно искать замену прежним продуктам и системам, решать вопросы, связанные с безопасностью бизнеса.

В настоящее время в департаменте химико-технологического комплекса и биоинженерных технологий Минпромторга России проводится работа по развитию отечественной парфюмерно-косметической промышленности и повышению уровня локализации производства. С участием профильных ассоциаций и основных игроков отрасли был определен перечень наиболее критических ингредиентов, производство которых в настоящее время отсутствует на территории Российской Федерации. По экспертным оценкам, алюминий хлоргидрат является одним из наиболее приоритетных ингрндиентов.

Но, верно взятый и заложенный курс развития ГК «АУРАТ» не позволил остановиться отечественной парфюмерно-косметической промышленности, так как производство **алюминий хлоргидрат** уже было налажено на заводах нашей компании, что позволяет выпускать алюминий хлоргидрат в жидком и сухом виде.

Рассмотрим каждый вид по отдельности:

1. **Алюминий хлоргидрат 50 %-ный раствор чистый** – по внешнему виду представляет сбой бесцветный прозрачный раствор с массовой долей хлоргидрата алюминия в пересчете на $A1_20_3$ = 23,4 ± 0,6 %.

Ниже приведена сравнительная характеристика с импортным реагентом алюминий хлоргидрат.

Импортный реагент

Locron L

Aluminium hydroxychloride

Global Product Specification
Country of Origin:
Germany

Item	Specification	Unit	Method
Appearance	clear to slightly opalescent solution		visual
Aluminium	12.2 - 12.7	%(w/w)	TLP-Ge01
Aluminiumoxide	23.0 - 24.0	%(w/w)	TLP-Ge01
Chloride	7.9 - 8.4	%(w/w)	argentom. titration, TLP-Ge02
Atomic ratio (Al/Cl)	1.91 - 2.1		calcul. from Al,Cl, TLP-Ge03
pH value (15% w/w solution)	4.00 - 4.40		pH electrode, TLP-Ge05
Iron	max. 50	mg/kg	photometry TLP-Ge04

Производство ГК «АУРАТ»

Испытательная лаборатория

Аналитический паспорт качества
на АЛЮМИНИЙ ХЛОРГИДРАТ
50% раствор
чистый
ТУ 2621-063-00205067-2004

ОКП 26 2126
Образец
Дата изготовления: 05.2020 г.

№№ п\п	Наименование показателей	Требования ТУ2126-063-00205067-2004	Результаты испытаний
1	Внешний вид	Прозрачная, практически бесцветная, несколько вязкая жидкость не содержащая механических включений	Соотв.
2	Массовая доля оксида алюминия (Al_2O_3), %	22,8-24,0	22,8
3	Массовая доля хлора (Cl), %	7,9-8,4	8,2
4	Плотность (при 20°С), г/см^3	1,325-1,345	1,335
5	pH смеси продукта с водой в объемном отношении 1:1 (при 20°С)	4,0-4,5	4,0
6	Атомное соотношение Al:Cl	1,92:1-2,12:1	2,03 : 1
7	Массовая доля сульфатов (SO_4^{-2}),	не более 0,025	отс.
8	Массовая доля железа (Fe), %	не более 0,005	< 0,005
9	Массовая доля свинца (Pb), %	не более 0,0005	< 0,0005
10	Массовая доля мышьяка (As), %	не более 0,0001	< 0,0001
11	Массовая доля кадмия (Cd), %	не более 0,001	< 0,001
12	Массовая доля бериллия (Be), %	не более 0,0005	< 0,0005
13	Массовая доля Ртути (Hg), %	не более 0,001	< 0,001
14	Основность,%	82,5-84,5	82,8

2. **Алюминий хлоргидрат «ГранЭКО™»** выпускается в виде белого или светло-желтого порошка, гранул, чешуек, с содержанием основного вещества не менее 48 % по оксиду алюминия.

Производство было усовершенствовано и запущенно в промышленном масштабе в конце 2017 года. Срок хранения такого коагулянта составляет 3 года при любых климатических условиях.

Ниже приведена сравнительная характеристика с импортным реагентом алюминий хлоргидрат.

Импортный реагент

Locron S

Aluminium hydroxychloride

Global Product Specification
Country of Origin:
Germany

Item	Specification	Unit	Method
Aluminium	24.4 - 25.4	%(w/w)	TLP-Ge01
Aluminiumoxide	46.0 - 48.0	%(w/w)	TLP-Ge01
Chloride	15.8 - 16.8	%(w/w)	argentom. titration, TLP-Ge02
Atomic ratio (Al/Cl)	1.91 - 2.1		calc. from Al, Cl, TLP-Ge03
pH value (15% w/w solution)	4.10 - 4.45		pH electrode, TLP-Ge05
Iron	max. 100	mg/kg	photometry, TLP-Ge04

Производство ГК «АУРАТ»

Наименование продукции, классификация по чистоте/ сорт/ марка		Алюминий хлоргидрат ГранЭко™, чистый	
Номер ТУ, ГОСТ и т.д.		ТУ 2163-086-00205067-15 с изм. 1	
Код ОКП		21 6350	
Номер партии	-	**Дата изготовления**	03.2023 г.
Масса нетто	-	**Гарантийный срок хранения**	3 года

ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА

№ п/п	Наименование показателей	Норма по ТУ 2163-086-00205067-15 с изм. 1	Результат анализа
1	2	3	4
1	Массовая доля оксида алюминия (Al_2O_3), %	48,0 – 49,9	48,2
2	Массовая доля хлора (Cl), %	16,4 – 17,4	16,4
3	pH 15 % раствора алюминия хлоргидрата (при 20°С)	3,9 – 4,5	3,9
4	Атомное соотношение Al:Cl	1,91:1 – 2,10:1	2,04
5	Массовая доля железа (Fe), %	менее 0,012	0,05
6	Массовая доля свинца (Pb), %	менее 0,0005	<0,0001
7	Массовая доля мышьяка (As), %	менее 0,0002	<0,0001
8	Массовая доля сульфатов (SO_4^{-2}), %	менее 0,05	0,01
9	Массовая доля не растворимого в воде остатка, %	не более 0,15	0,1
10	Основность, %	не менее 80,0	84

Как видно из сравнительных характеристик качество отечественного продукта алюминий хлоргидрат не уступает импортному производству, но в разы удешевляет его стоимость.

Стоит отметить, что алюминий хлоргидрат (раствор и порошок), имея очень широкую область применения, остается незаменим и очень эффективно применяется при очистке сложных для обработки коагулянтами вод.

ВЫВОДЫ

Учитывая вышеизложенное можно смело говорить о том, что ГК «АУРАТ» может легко занять нишу отечественного производителя алюминий хлоргидрата и обеспечить отрасль парфюмерно-косметической промышленности необходимым компонентом в необходимых объемах, который уже эффективно востребован в водоподготовке и водоочистке.

УДК 628.161: 627.221.2(282.247.36)

ИССЛЕДОВАНИЕ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДОЕМОВ, КАК ТЕХНОГЕННОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ И СПОСОБЫ ИХ ИЗВЛЕЧЕНИЯ

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
О.А. Суржко, Д.С. Ларин, Те.Е. Хецуриани
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия

Современная экологическая обстановка в Ростовской области, характеризуется поступлением значительного количества загрязняющих веществ в атмосферный воздух, образованием отходов производства и потребления, наличием сточных вод и поверхностных водостоков. Все это вносит «значительный вклад» в деградацию сложившихся экосистем региона. Донные отложения являются аккумуляторами загрязняющих веществ, поступающих в водоемы, что в свою очередь определяет актуальность изучения особенностей, структуры, химического и вещественного состава, влияния их на экосистемы, а также способов утилизации и обезвреживания.

В настоящее время вопрос загрязнения природных вод и почвы тяжелыми металлами остается одним из актуальнейших. Основными источниками поступления тяжелых металлов (ТМ) в окружающую природную среду являются сточные воды различных промышленных предприятий, в частности: химических, нефтехимических, и машиностроительных производств. Экологическими проблемами почв и водных объектов Ростовской области занимались многие исследователи (В.В. Приваленко, В.Е. Закруткин, О.С. Безуглова, О.В. Назаренко и др.).

Водные ресурсы Ростовской области являются аккумуляторами загрязняющих веществ, поступающих в окружающую среду нашего региона, что в свою очередь определяет актуальность изучения их особенностей, структуры, химического и вещественного состава, а также влияния на экосистемы. Степень опасности концентраций загрязняющих веществ зависит от качественного состава донных отложений.

Проведенный мониторинг составов твердой фазы илов и донных отложений в последние 10 лет свидетельствует о существенном превышении в ней ПДК тяжелых металлов. Концентрация тяжелых металлов в пробах донных отложений колебалась в пределах, мг/кг сухой массы: свинец 50÷140, цинк 80÷340, медь 60÷110, мышьяк 10÷32, стронций 170÷220, кадмий около 4÷6, ртуть больше 1, хром 40÷90.

Вместе с тем проведенные исследования показали, что в твердой фазе илов и донных отложений содержатся также полезные для почв

элементы такие как калий 12÷13 г/кг, фосфор 0,5÷1,5 г/кг, азот, марганец, магний, кальций.

В Ростовской области большое количество рек, каналов, ручьев, озер, которые в основном имеют незначительные глубины и скорости течения, малые расходы воды и, как следствие, низкую само очищающую способность.

Очистка рек и каналов, рекреационных зон является важной частью санитарно-гигиенических и санитарно-противоэпидемических мероприятий. В целях восстановления и улучшения экологического состояния рек и водоемов России запланировано проведение мелиоративных мероприятий. При проведении дноуглубительных работ, путем очистки и углубления рыбоводных каналов и водоемов, образуется значительное количество донного грунта.

Проведение дноуглубительных работ в Ростовской области сопряжено с рядом технических трудностей:

- необходимостью иметь поперечные профили водоемов с указанием мостов, опор, и других сооружений;
- незначительная глубина некоторых водотоков, ограничивающая возможность прохождения судов, шаланд с допустимой осадкой в среднем до 3 м;
- технология извлечения донных отложений несовершенна, отсутствуют предложения новых экологически безопасных технологий;
- извлеченные донные отложения нуждаются в обезвоживании;
- сложность, значительные расстояния и высокая стоимость транспортировки, утечки и разбрызгивание при погрузке и разгрузке.

Проведено исследование процесса накопления полезных ископаемых в донных отложениях. По данным исследований многих авторов, современные проблемы загрязнения донных отложений водных объектов являются результатом антропогенного воздействия на окружающую природную среду хозяйственной деятельности человека.

Донные отложения (ДО) являются аккумуляторами загрязняющих веществ, поступающих в водоемы, что в свою очередь определяет актуальность изучения их особенностей, структуры, химического и вещественного состава, а также влияния на экосистемы. Донные отложения, вследствие высоких сорбционных свойств, могут рассматриваться в качестве интегрального индикатора техногенной нагрузки на водные ресурсы.

Основными механизмами аккумуляции тяжелых металлов в ДО являются:

- сорбция ТМ взвешенными минеральными и органическими частицами, принесенными с водосбора, с последующей их

седиментацией;

- сорбция и накопление гидробионтами, с последующей седиментацией постлетальных остатков;
- сорбция пеллетами, экскретируемыми гидробионтами при жизни с последующей седиментацией;
- сорбция донными отложениями при диффузии ТМ к их поверхности;
- осаждение ТМ на кислородном геохимическом барьере «водная масса–дно водоема» из выклинивающихся подземных вод;
- осаждение труднорастворимых соединений и соосаждение с гидроксидами железа и марганца;
- молекулярная диффузия из водной массы в поровый раствор.

Все эти процессы приводят к аккумуляции ТМ в ДО. В зависимости от генезиса и путей переноса тяжелые металлы поступают в водные объекты в разных формах, часто унаследованных от почв водосбора. В донных отложениях происходят диагенетические процессы, приводящие к перераспределению элементов и изменению форм их существования.

В настоящее время известно порядка 40 видов химических веществ, относящихся к тяжелым металлам, Часть тяжелых металлов является биологически важными для живых организмов, но значительная их часть оказывает негативное и даже токсическое влияние на компоненты природной среды.

Серьезный интерес представляют собой такие тяжелые металлы, как: свинец, кадмий, цинк, кобальт, никель, медь, олово, ванадий, марганец, хром и мышьяк.

Выход ТМ из донных отложений возможен двумя путями: абиотическим и биотическим. Основные механизмы абиотического выноса ТМ из донных отложений:

– молекулярная диффузия ТМ из порового раствора в водную массу;
– конвективный вынос ТМ при выклинивании подземных вод;
– вынос при взмучивании поверхностного слоя ДО;
– комплексообразование и десорбция комплексов ТМ с органическими лигандами из ДО;
– вынос ТМ при растворении гидроксидов железа и марганца в условиях восстановительной обстановки водоема;
– уплотнение осадков.

Таким образом, можно считать установленным, что антропогенные загрязнения являются ведущим фактором формирования содержаний ТМ в почвах, водах и донных отложениях.

Тяжелые металлы поступают в ДО за счет взвешенных веществ, поступающих в водные объекты, на которых ТМ и сорбируются. Водоем – это по сути накопитель тяжелых металлов, поступающих из атмосферы, с поверхностным, почвенным и грунтовым стоком с территории водосбора.

Основными поставщиками ТМ в водные объекты являются: смыв почв в результате эрозии, воды оросительных систем, а также сточные воды промышленных, коммунально-бытовых и сельхозпредприятий.

Все поступающие вещества носят как антропогенный, так и природный характер за счет поступления ТМ из атмосферного воздуха с поверхностным, почвенным и грунтовым стоком.

Вместе с тем, анализ литературных сведений показывает еще до сих пор недостаточную изученность закономерностей аккумуляции тяжелых металлов донными отложениями и илами, что предопределяет необходимость дальнейших исследований.

В ходе определения качественного и количественного состава донных отложений на наличие в них тяжелых металлов были отобраны пробы реальных донных отложений водоемов Ростовской области. Отбор проб проводился на двух экспериментальных площадках Ростовской области.

Для химического анализа были взяты по 3 пробы с каждой площадки. Всего отобрано 6 почвенных проб на участках исследования. Отобранные пробы донных отложений были отправлены в лабораторию. Аналитические исследования проводились в Аккредитованном испытательном лабораторном центре ФГБУ Государственный центр агрохимической службы «Ростовский».

Усредненные пробы отобранных донных отложений водоемов Ростовской области исследовались на определение содержания тяжелых металлов. Результаты исследований показали, что в составе донных отложений водоемов Ростовской области содержатся токсичные тяжелые металлы, такие как: медь, свинец, цинк, никель и кадмий.

Результаты проведенных исследований приведены в таблице 1.

Таблица 1. **Значения концентраций тяжелых металлов в пробах**

Показатель	Водоем 1			Водоем 2			ПДК ГН 2.1.7.2041-06	Метод анализа
	проба 1	проба 2	проба 3	проба 1	проба 2	проба 3		
Медь (Cu)	37,7	47,9	43,8	42,6	33,5	70,3	3	РД 52.18.191-89
Свинец (Pb)	64	58,8	71,3	68,8	39,7	52,7	32	
Цинк (Zn)	244	112,8	108,8	172,2	65,4	106,6	23	
Никель (Ni)	54,2	40,8	39,6	29,8	23,4	43,6	4	
Кадмий (Cd)	1,13	0,87	1,21	1,1	0,82	0,92	0,5	

Значения концентрации тяжелых металлов практически по всем показателям значительно превышают значения предельно-допустимых концентраций в почвах в соответствии с гигиеническими нормативами

ГН 2.1.7.2041-06 и ГН 2.1.7.2042-06. В качестве фоновых использовались данные о средних содержаниях тяжелых металлов в почвах региона.

Значения концентраций тяжелых металлов в исследуемых образцах находятся в следующих пределах (мг/кг сухой массы): по меди (Cu) 33,5÷70,3 по свинцу (Pb) 39,7÷71,3, по цинку (Zn) 65,4÷244,0, по никелю Ni 23, 4÷54,2, по кадмию (Cd) 0,82÷1,21.

На данный момент времени нет утвержденных нормативов содержания микроэлементов в донных отложениях. В результатах анализа на содержание загрязняющих веществ в донных отложениях использовались значения ПДК, утвержденные для почв – ГН 2.1.7.2041-06 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве». Исследования показали, что реальное наличие тяжелых металлов в донных отложениях значительно превышает ПДК. При этом, как видно из данных таблицы 2, содержание химических элементов не превышает значений ОДК, установленных для почв ГН 2.1.7.2042-06, но значительно превышает среднее содержание в почвах региона.

Таблица 2. **Сравнительный анализ значений концентраций тяжелых металлов в пробах донных отложений**

Элемент	Содержание тяжелых металлов в пробах (среднее)	ОДК, мг/кг ГН 2.1.7.2042-06	Среднее содержание в почвах мира (по Виноградову А.П.)	Среднее содержание в почвах региона (по Закруткину В.Е.)
Медь (Cu)	45,96	132	20	57,1
Свинец (Pb)	59,21	130	10	27,0
Цинк (Zn)	134,97	220	50	62,0
Никель (Ni)	38,57	80	40	23,2
Кадмий (Cd)	1,01	2,0	0,05	0,5

По определению ВОЗ, свинец, ртуть и кадмий являются самыми опасными тяжелыми металлами в природной среде. Показателем интенсивности влияния вредных загрязняющих веществ в донных отложениях на природные экосистемы является превышение их содержания над ПДК, являющееся чувствительным индикатором техногенного воздействия.

В работе рассмотрены способы извлечения полезных ископаемых в донных отложениях. Проведен анализ проблемы утилизации и обезвреживания донных отложений, представлено использование способа магнитной обработки для обезвреживания илов и осадков, представлена экспериментальная методика по извлечению тяжелых металлов из донных отложений, дано обоснование использования донных отложений, как полезных ископаемых.

В настоящее время вопрос утилизации иловых осадков и донных отложений водотоков решается традиционно: либо путем захоронения, либо путем сжигания. Однако при использовании этих способов возникает ряд экологических проблем:

1. вторичное загрязнение атмосферы, гидросферы и почв;
2. высокие затраты на обеззараживание и обезвоживание этих осадков;
3. отчуждение земель под полигоны для хранения илов и донных отложений;
4. возможное усугубление проблемы парникового эффекта при дальнейшей утилизации иловых осадков с помощью сжигания, так как при этом подходе потенциально полезная (вторичное сырье) органическая составляющая осадков превращается в углекислый газ, ответственный за глобальное повышение температуры.

Донные отложения по содержанию биогенных элементов и органических веществ не уступают таким традиционным органическим удобрениям, как торф, компост, сапропель и др. Однако их использование в качестве удобрения ограничивается высоким содержанием в них загрязняющих веществ и, в первую очередь, тяжелых металлов.

Учеными Санкт-Петербурга разработана новая технология утилизации иловых осадков различного происхождения (канализационные, отходы свиноводства, куроводства и др. отраслей сельского хозяйства) и донных отложений – комплексная безотходная технология окислительно-гидролитической деструкции. Этот метод позволяет за несколько часов осуществлять процесс гумификации, в природе продолжающийся десятилетиями.

Использование данного метода позволяет достичь улучшения локальной экологической обстановки, снижения уровня техногенного загрязнения, получения полезных побочных продуктов.

Данная технология может явиться основанием для создания целой отрасли народного хозяйства – индустрии промышленной переработки иловых осадков очистных сооружений и биогенных иловых отходов.

Для интенсификации технологических процессов, в том числе для очистки илов предлагается использовать дополнительные энергетические воздействия, например, обработку ультразвуком, применение магнитного и электрического полей, радиационное облучение.

Учитывая наличие в донных отложениях различных магнитовосприимчивых соединений металлов и возможность их сепарирования от других веществ, весьма перспективно применение магнитной обработки для обезвреживания донных отложений от тяжелых металлов. Полное отсутствие сведений по данному вопросу обуславливает целесообразность проведения исследований в данном направлении.

Результаты измерений состава проб донных отложений, свидетельствуют о целесообразности разработки методов извлечения тяжелых металлов перед утилизацией донных отложений. Вместе с тем, для грамотного поиска технических средств обезвреживания донных отложений от тяжелых металлов необходимы сведения о составе органических веществ в донных отложениях и формах нахождения в них тяжелых металлов.

Таблица 3. **Результаты оценки степени загрязнения донного грунта**

Наименование компонента	Категория загрязнения							
	ПДК, мг/кг	Относит. единица ПДК	Фон, мг/кг,	Ci, мг/кг	Kci	Zc	Категория загрязнения	Выводы
Проба 1. Образцы донных отложений (донного грунта)								
Кадмий	2	0,500	0,24	1	4,17	6,96	Допустимая	По химическим показателям проба грунта относится к категории **Допустимая**
Медь	132	0,173	25	22,9	0,92			
Мышьяк	10	0,260	5,6	2,6	0,46			
Никель	80	0,625	45	50	1,11			
Ртуть	2,1	0,333	0,2	0,7	3,50			
Свинец	130	0,082	20	10,6	0,53			
Цинк	220	0,366	68	80,6	1,19			
Бенз(а)пирен	0,02	0,585	–	0,0117	Допустимая			
Нефтепродукты	–	–	–	226	Допустимая			
pH солевой, ед. – 6,9								
Проба 2, Образцы донных отложений (донного грунта)								
Кадмий	2	0,500	0,24	1	4,17	7,10	Допустимая	По химическим показателям проба грунта относится к категории **Допустимая**
Медь	132	0,164	25	21,6	0,86			
Мышьяк	10	0,480	5,6	4,8	0,86			
Никель	80	0,625	45	50	1,11			
Ртуть	2,1	0,333	0,2	0,7	3,50			
Свинец	130	0,078	20	10,1	0,51			
Цинк	220	0,407	68	89,6	1,32			
Бенз(а)пирен	0,02	0,355	–	0,0071	Допустимая			
Нефтепродукты	–	–	–	215,8	Допустимая			
pH солевой, ед. – 7,0								

В законодательство внесены изменения, которые упрощают процедуру использования донных грунтов и обеспечивают нераспространение на них требований законодательства об отходах производства и потребления. На примере проведения дноуглубительных работ по расчистке рыбоводного канала Казачий Ерик, в работе рассмотрены вопросы необходимости проведения соответствующих лабораторных исследований степени загрязнения донных грунтов и результаты по определению возможности их дальнейшего использования.

По результатам химико-токсикологического обследования донных грунтов определено, что общая степень загрязнения – допустимая, превышения концентраций токсичных веществ в исследуемых образцах не обнаружено. Химико-токсикологическое исследование образцов донного грунта выполнено аккредитованными лабораториями.

Образцы отобранного донного грунта на территории объекта дополнительно подвергались исследованию по микробиологическим и паразитологическим показателям: индекс БГПК; патогенные бактерии, в том числе сальмонеллы; жизнеспособные яйца и личинки гельминтов; цисты кишечных патогенных простейших (не обнаружены)

Согласно результатам проведенных лабораторных исследований химико-токсикологического обследования донных отложений определено, что общая степень загрязнения – допустимая, превышения концентраций токсичных веществ в исследуемых образцах не обнаружено. Следовательно, донный грунт, образующийся при расчистке рыбоводного канала Казачий Ерик соответствует требованиям статьи 52.3 ч. 3 Водного кодекса Российской Федерации.

ВЫВОДЫ

В Ростовской области большое количество рек, каналов, ручьев, озер, которые в основном имеют незначительные глубины и скорости течения, малые расходы воды и, как следствие, низкую самоочищающуюся способность.

Донные отложения являются аккумуляторами загрязняющих веществ, поступающих в водоемы, что в свою очередь определяет актуальность изучения их особенностей, структуры, химического и вещественного состава, а также влияния на экосистемы.

Полученные результаты свидетельствуют о значительном превышении показателей ПДК содержания тяжелых металлов в составе донных отложений водоемов Ростовской области, что является результатом антропогенного воздействия и вызывает необратимые последствия на окружающую природную среду. Это говорит о необходимости изыскания экономичных методов извлечения тяжелых металлов и технологий обезвреживания донных отложений. Решение

данной проблемы актуально не только для Ростовской области, но и для России в целом.

Проведенный мониторинг составов твердой фазы илов и донных отложений в последние 10 лет свидетельствует о существенном превышении в ней ПДК тяжелых металлов. В отобранных пробах донных отложений на месте их расположения, методом рентгено-флюоресцентной спектроскопии определено содержание элементов. Концентрация тяжелых металлов в пробах донных отложений колебалась в пределах, мг/кг сухой массы: свинец 50÷140, цинк 80÷340, медь 60÷110, мышьяк 10÷32, стронций 170÷220, кадмий около 4÷6, ртуть больше 1, хром 40÷90.

Вместе с тем проведенные исследования показали, что в твердой фазе илов и донных отложений содержатся также полезные для почв элементы такие как калий 12÷13 г/кг, фосфор 0,5÷1,5 г/кг, азот, марганец, магний, кальций. Наличие в донных отложениях более 30 % органических соединений, наряду с биологическими элементами подтверждает целесообразность изыскания методов обезвреживания илов и донных отложений с целью их последующей утилизации в сельскохозяйственной отрасли в качестве органоминеральных удобрений типа озерных сапропелей.

Для глубокого извлечения тяжелых металлов с большей интенсивностью целесообразно изучить основные закономерности замещения тяжелых металлов на нетоксичные – кальций и магний при введении малорастворимых кальциевых материалов. Интенсификации процессов и достижению глубины извлечения способствует найденный прием магнитной обработки систем. Изыскание оптимальных технических характеристик импульсной магнитной обработки суспензий и аппаратурного оформления процессов с определением наиболее целесообразных доз кальциевых материалов позволит разработать технологические решения обезвреживания донных отложений рек и каналов и использовать обезвреженные илы и донные отложения.

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что в составе донных отложений, отобранных как в отвале устья реки Дон, так и непосредственно со дна реки и каналов Ростовской области, наряду с полезными для почв биогенными элементами (К, Р, N, гуминоподобные вещества) содержатся и токсичные тяжелые металлы в концентрациях малоразличимых в зависимости от места отбора проб. Основными загрязнителями, согласно полученным данным, являются: никель, свинец, хром, кобальт, мышьяк, стронций и кадмий.

В законодательство внесены изменения, которые упрощают процедуру использования донных грунтов и обеспечивают нераспространение на них требований законодательства об отходах производства и потребления.

В результате проведенных исследований установлено, что в состав донных отложений водоемов Ростовской области, входят тяжелые металлы. Содержание тяжелых металлов в пробах показали значительное превышение ПДК, установленные для почв и превышение над фоновым содержанием тяжелых металлов в почвах региона, что является результатом антропогенного воздействия и вызывает необратимые последствия на окружающую природную среду. Основными загрязнителями, согласно полученным данным, являются медь, свинец, цинк, никель и кадмий.

Вследствие этого необходимо изыскание экономичных методов и технологий извлечения тяжелых металлов и обезвреживания донных отложений. Решение этой проблемы актуально не только для Ростовской области, но и для России в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Khetsuriani, E. D. Optimization of Fish Protection System to Increase Technosphere Safety / E. D. Khetsuriani, L. N. Fesenko, D. S. Larin // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Chelyabinsk, 21–22 сентября 2017 г. – Chelyabinsk: Institute of Physics Publishing, 2017. P. 012174. – DOI 10.1088/1757-899X/262/1/012174.
2. Larin, D. Analysis of Build-Up of Pollutants in Bottom Deposits and Their Environmental Impact / D. Larin, E. Staseva, I. Pchelnikov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Russky Island, 04–06 марта 2019 г. – Russky Island: Institute of Physics Publishing, 2019. P. 022228. – DOI 10.1088/1755-1315/272/2/022228.
3. Larin, D. Restoration of the disturbed natural hydrological regime of the fish-breeding channel Kazachy Yerik within the framework of fishery reclamation / D. Larin, E. Mikhaylov, E. Staseva // E3S Web of Conferences : 14th International Scientific and Practical Conference on State and Prospects for the Development of Agribusiness, INTERAGROMASH 2021, Rostov-on-Don, 24–26 февраля 2021 г. – Rostov-on-Don: EDP Sciences, 2021. P. 03007. – DOI 10.1051/e3sconf/202127303007.
4. Инновационные способы модернизации и технического перевооружения водозаборных сооружений / Е.Д. Хецуриани, Д.С. Ларин, Е.А. Шкуракова, Т.Е. Хецуриани // Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2017»: материалы X-юбилейной Межд. науч.-практ. конф., г. Астрахань, 5–6 октября 2017 г. /Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ), Новочеркасск: Лик, 2017. С. 108–112.
5. Улучшение условий рыбоводства (аквакультуры) путем очистки и углубления рыбоводных каналов и водоемов / Д.С. Ларин, А.Н. Пикалов, Е.Д. Хецуриани, Е.В. Стасева // Актуальные вопросы рыболовства, рыбоводства (аквакультуры) и экологического мониторинга водных экосистем: материалы Межд. науч.-практ. конф.,

посвященной 90-летию Азовского научно-исследовательского института рыбного хозяйства, Ростов-на-Дону, 11–12 декабря 2018 г. / Ростов-на-Дону: Азовский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства, 2018. С. 65–69.

УДК 543:504.06:663.8

К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ ДЛЯ ПИЩЕВОЙ ОТРАСЛИ

А.К. Горелкина, И.В. Тимощук
Кемеровский государственный университет, г. Кемерово, Россия

Использование сухих молочных консервов позволяет сгладить сезонный дефицит сырья при выработке широкого ассортимента молочных продуктов. В работе приведены экологические аспекты влияния качества воды системы хозяйственно-питьевого водоснабжения на процесс восстановления молочного концентрата и качество полученного восстановленного молочного сырья. Применение в качестве растворителя воды непосредственно поступающей из распределительной сети водоснабжения может оказать влияние на такие показатели как органолептические и структурно-механические характеристики восстановленного сырья. Вода, поступающая на пищевые предприятия и используемая на технологические нужды должна проходить доочистку с целью снижения содержания галогенорганических соединений.

Недостаток сырьевой базы для перерабатывающей пищевой отрасли, особенно в осенне-зимний период, сдерживает развитие предприятий по производству молочных напитков, и может отразиться на ассортименте и в целом на потребительском рынке в части молочной продукции. Учитывая функциональные свойства ряда молочных продуктов, сокращение их объемов может негативным образом отразиться на здоровье определенной категории людей. Наращивание производства молочных продуктов будет сформировано при обеспечении значительного объема молоко-сырья за счет производства сухого молока и консервов, в последующем применяемых для выработки восстановленной молочной продукции.

Восстановленные молочные продукты, в случае использования сырья повышенного качества позволят обеспечить потребительский рынок необходимым количеством молочной продукции, и конкурировать с натуральными, выработанными из цельного сырья. В состоянии физиологической сухости молочное сырье обладает рядом преимуществ, в том числе, более низкую бактериальную обсемененность [1–2].

При производстве молочных продуктов из сухого сырья возникают технологические особенности, связанные с процессом восстановления, который проводится в несколько этапов с целью получения продукта соответствующего по физико-химическим свойствам натуральному продукту, то есть создание единой системы с равномерным

распределением белка и жира. Состав сухой фракции: лактоза, минеральные вещества, жир является схожим для всех сухих молочных продуктов, поэтому механизм восстановления будет идентичным как для сухой сыворотки, как и для сухих сливок и молока, а полученный продукт должен соответствовать по органолептическим показателям искомому [3].

Одним из факторов, влияющих на качество восстановленных продуктов, что совершенно очевидно, состав исходного сырья, к которому нужно отнести и воду. На предприятиях пищевой отрасли в технологический процесс включается вода системы централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения, при этом ее качества не достаточно для применения в качестве растворителя сухих молочных консервов, так как присутствующие в воде опасные галогенорганические загрязнители с высокой вероятностью взаимодействуют с компонентами сухого молочного сырья [4–5].

Восстановление сухого молоко-сырья зависит от ряда факторов и процессов характеризующих растворение. На структурно-механические характеристики восстановленного молоко-сырья оказывают влияние состав, структура, способ сушки, физико-химические свойства, поверхностные явления, сопровождающие процесс растворения, и, безусловно, качество используемой воды. Для оценки процесса растворения использовали: полноту растворения – переход сухих веществ в раствор без выпадения осадка характеризует индекс растворимости; скорость растворения показывает массовую долю сухих веществ молока в процентах, которая переходит в раствор за определенное время.

Изучение влияния контаминантов питьевой воды (хлороформа и трихлорэтилена) на структурно-механические характеристики, выраженные полнотой растворения и скоростью растворения, и органолептические характеристики выработанных из сухого молоко-сырья молочных продуктов, при использовании, в качестве растворителя, воды доочищенной и содержащей исследуемые загрязнители, основная цель приведенного в данной работе исследования.

Данные, полученные при оценке влияния на эффективность процесса растворения загрязнителей присутствующих в воде, и свидетельствуют об отсутствии прослеживаемой зависимости времени восстановления от наличия в воде растворителей исследуемых контаминантов, так продолжительность растворения для таких образцов как сухое цельное молоко (СЦМ) восстановленное водой доочищенной; водой, содержащей 1,5 ПДК хлороформа и 1ПДК трихлорэтилена; водой содержащей 2 ПДК хлороформа и 1,5 ПДК трихлорэтилена составила: 3,6 $\pm$ 0,1; 3,62 $\pm$ 0,1; 3,68 $\pm$ 0,1, соответственно.

Степень растворения сухих молочных продуктов, для выше описанных образцов, имеет значение в пределах ошибки эксперимента.

Качество восстановления сухого молоко-сырья можно оценить и по

таким показателям как: индекс растворимости и относительная скорость растворимости (ОСР), таблица.

Таблица. **Показатели растворимости сухих молочных продуктов**

Вода, используемая для восстановления молоко-сырья	Степень растворения, %		Индекс растворимости, $см^3$	
	Цельное молоко	Молочная сыворотка	Цельное молоко	Молочная сыворотка
Вода доочищенная	97,3 ± 0,02	97,5 ± 0,02	0,1 ± 0,02	0,7 ± 0,02
Вода, содержащая хлороформ / трихлорэтилен 1,5/1ПДК	97,29 ± 0,02	97,5 ± 0,02	0,1 ± 0,02	0,7 ± 0,02
Вода, содержащая хлороформ / трихлорэтилен 2/1,5ПДК	97,27 ± 0,02	97,4 ± 0,02	0,1 ± 0,02	0,7 ± 0,02

Значения показателей, позволяющих охарактеризовать растворимость сухих молочных консервов в зависимости от качества растворителя, в частности, присутствие в воде как растворителя галогенорганических контаминантов, отличаются не значительно при концентрации контаминантов до 2 ПДК, это позволяет предположить, что в пределах ПДК хлороформ и трихлорэтилен не оказывает заметного влияния на растворение.

Изменение содержания галогенорганических соединений в воде, вероятно окажет влияние на гидратную оболочку агломератов, что может привести к частичной коагуляции мицелл казеина, за счет разрушения этой оболочки. Такого характера влияние приведет к понижению устойчивости системы. На устойчивость агломератов мицелл казеина может оказать влияние и дихлорацетилхлорида, образующегося из трихлорэтилена в воде, способного вступать в реакции нуклеофильного присоединения с различными аминами с образованием амидной связи.

При исследовании органолептических характеристик молочных продуктов, полученных из сухого молочного сырья путем восстановления водой доочищенной, и содержащей контаминанты фиксировали аптечный запах (характерный для хлорорганических загрязнителей), отмечен более ощутимый запах в молоке, по сравнению со сливками.

Результаты исследований проводимых авторами, в том числе представленные в работе отражают проблему качества не только воды системы хозяйственно-питьевого водоснабжения, но и продуктов пищевой отрасти при производстве, которых вода выступает как сырье.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.Г. Храмцов, С. А. Рябцева, И. А. Евдокимов. Мировые тенденции в переработке сыворотки. // Переработка молока, 2009, № 5, С. 18–20.

2. V.D. Kharitonov, N.E. , D.V. Kharitonov, E.A.Yurova, V.P. Kurchenko. Changes in physico-chemical properties of milk under ultraviolet radiation. Foods and Raw Materials, 2019, vol. 7, no. 1, pp. 161–167.
3. Н.В. Попова. Водоподготовка в технологии восстановленных продуктов переработки молока как фактор их качества. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии, 2014, Вып. № 4. Т. 2, С. 27–34.
4. Т.А. Краснова, Ю.Л. Сколубович. Обеззараживание воды в системе питьевого водоснабжения. Новосибирск: НГАСУ, 2012, С. 114.
D. Baytak, A. Sofuoglu, F. Inal, S.C. Sofuoglu Seasonal variation in drinking water concentrations of disinfection by-products in IZMIR and associated human health risks. Science of The Total Environment, 2008, vol. 407 (1), pp. 286–296.

УДК 66.087: 661.842.322.2: 628.4.036

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ГИПОХЛОРИТА КАЛЬЦИЯ ИЗ МНОГОТОННАЖНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

А.В. Онкаев, А.Ю. Скрябин
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия
В.А. Онкаев
Калмыцкий государственный университет имени Б.Б. Городовикова, г. Элиста, Россия

В статье рассмотрена возможность использования электрохимического метода переработки отходов содового производства, в частности, $CaCl_2$ для производства гидроокиси кальция и гипохлорита кальция, которые востребованы в технологиях водоподготовки.

Защита окружающей среды от воздействия вредных химических веществ и создания малоотходных технологий является актуальной проблемой. Одним из путей снижения нагрузки на природу является глубокая переработка отходов химических производств и получения из них ценных материалов. Так, при получении 1 т кальцинированной соды вместе с дистиллерным раствором в «хвосты» вывозится более 1 т хлористого кальция [1].

Выбор объекта исследования определяется возможностью использования в качестве сырья – хлорида кальция многотонажнного содового производства, для синтеза гипохлорита натрия – дезинфицирующего средства, применяемого с целью обеззараживания сточных вод, бассейнов.

Эту задачу можно решить путем использования электрохимического метода, позволяющего вести синтез химических веществ исходного сырья без применения дополнительных реагентов, используя только окислительно–восстановительные реакции на электродах электролизера и в его объеме. В известных работах [2–3] исследования вели на различных анодных материалах и в электролизерах, разделенных на катодную и анодную камеры. Такой тип электролизера является технологически неудачным и технологически опасным из-за сложной в эксплуатации конструкции аппарата и образованием газообразного хлора в анодной камере.

Целью работы было изучение закономерностей протекания физико-химических процессов и получение кальцийсодержащих соединений из водных растворов хлорида кальция.

Для исследования была разработана и изготовлена лабораторная установка с бездиафрагменной электрохимической ячейкой. Блок питания обеспечивал необходимое значение постоянного и реверсного токов. Перистальтический насос осуществлял подачу исследуемого раствора в ячейку с заданным расходом. Объем бездиафрагменной электрохимической ячейки составлял 18 мл. Схема экспериментальных установок для исследования приведена на рисунке 1.

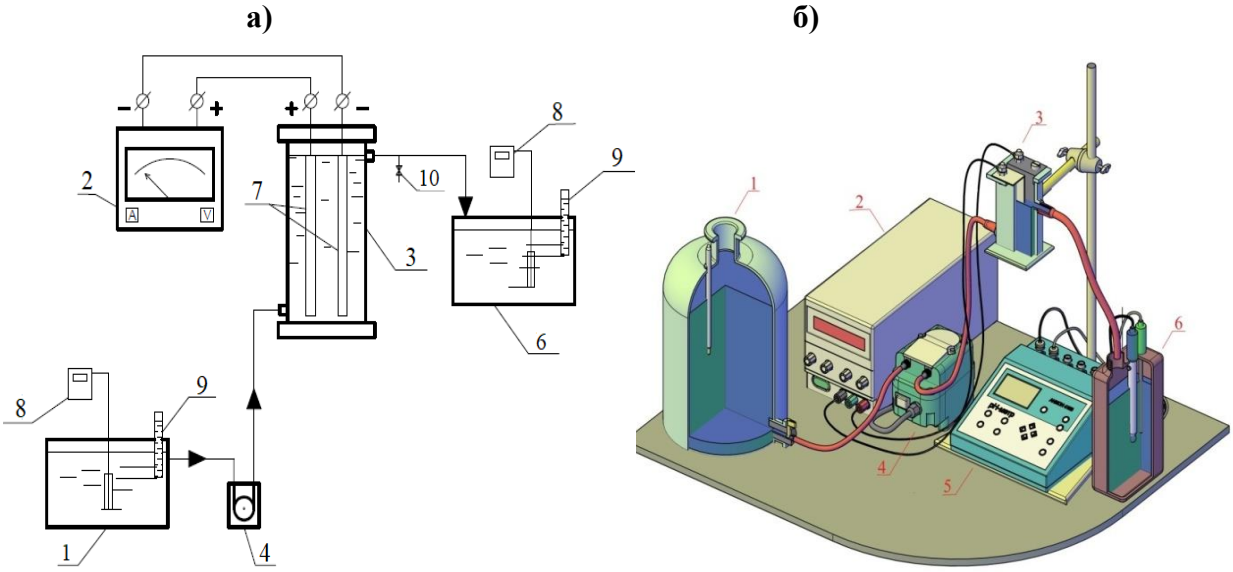


Рисунок 1. **Схема экспериментальной установки с использованием постоянного тока (а) и ее графическое представление (б):**
1 – емкость исследуемого раствора (морская или водопроводная вода);
2 – блок питания; 3 – электролизная ячейка; 4 – насос подачи солевого раствора в электролизную ячейку; 5 – pH-метр со встроенным термометром;
6 – накопитель ГХН раствора; 7 – электроды; 8 - pH-метр;
9 – термометр, 10 – пробоотборник

В исследованиях использовались электроды, выполненные из материалов: титан и ОИРТА – оксидно-иридиевый рутениево-титановый

анод. Электроды были расположены вертикально на расстоянии 2 мм друг от друга. Размер 4,5×7,0 мм, рабочая площадь каждого электрода составляет 31,5 см^2, толщина 1 мм. Катод выполнен из титана марки ВТ-1. Плотность тока – 1000 А/м^2.

В работе изучали производство гипохлорита кальция и образование нерастворимых соединений на катоде.

Исследовали влияние расхода раствора различных концентраций $CaCl_2$ на выход активного хлора с содержанием хлоридов в рабочем растворе – 18,2; 36,4; 54,6 г/дм^3.

В качестве блока питания использовали аппарат «УБП-0,6», обеспечивающий функцию гальваностата (производство ООО НПП «ЭКОФЕС»). Значения pH измеряли прибором АНИОН 4100 с датчиками ДТВ-1 и ДТ.

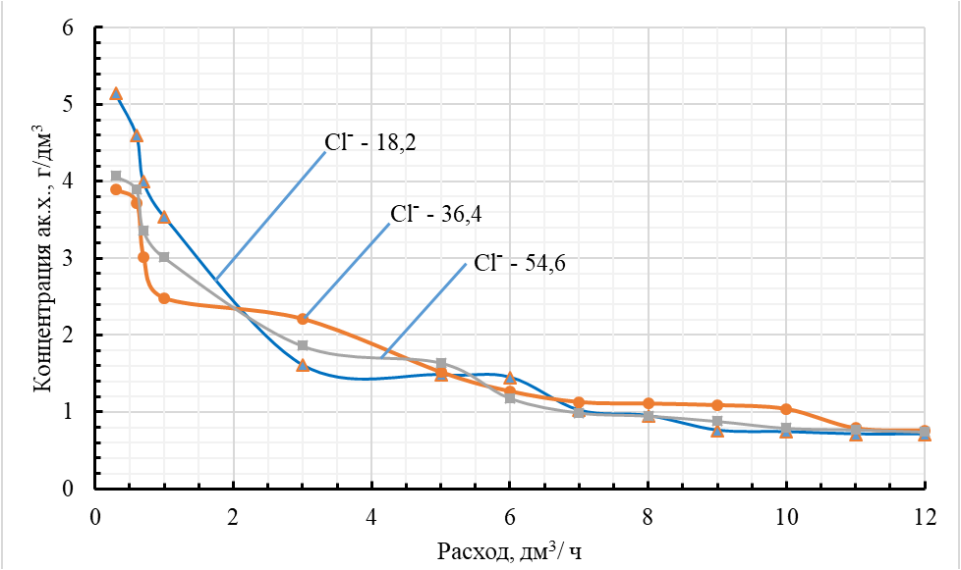


Рисунок 2. **Значения концентрации активного хлора от расхода раствора $CaCl_2$**

Результаты опытов влияния расхода раствора $CaCl_2$ на концентрацию активного хлора приведены на рисунке 2. Из него следует, что в достаточно широком интервале концентраций хлоридов значения содержания активного хлора на выходе электролизера достаточно близки друг к другу при исследуемых расходах электролита. Очевидно, что чем меньше расход раствора через электролизер, тем выше показания активного хлора, что подтверждается в опытах. Наибольшая концентрация активного хлора достигается при электролизе раствора $CaCl_2$, содержащем хлоридов 18,2 г/дм^3, и составляет при расходе 0,5 дм^3/ч – 5 г/дм^3. С увеличением расхода раствора все кривые на рисунке 2 сближаются и находятся в области концентрации активного хлора, равной около 1 г/дм^3.

В работе определяли изменение pH раствора $CaCl_2$ и концентрацию активного хлора на выходе электролизера при разном расходе электролита (рис. 3). Как следует из рисунка, с увеличением расхода наблюдается рост

pH, для меньших значений хлоридов – до 9 единиц, а при их концентрациях 54,6 г/дм^3 достигает 11 единиц.

Следовательно, после электролизера $CaCl_2$ на выходе всегда будет щелочной раствор.

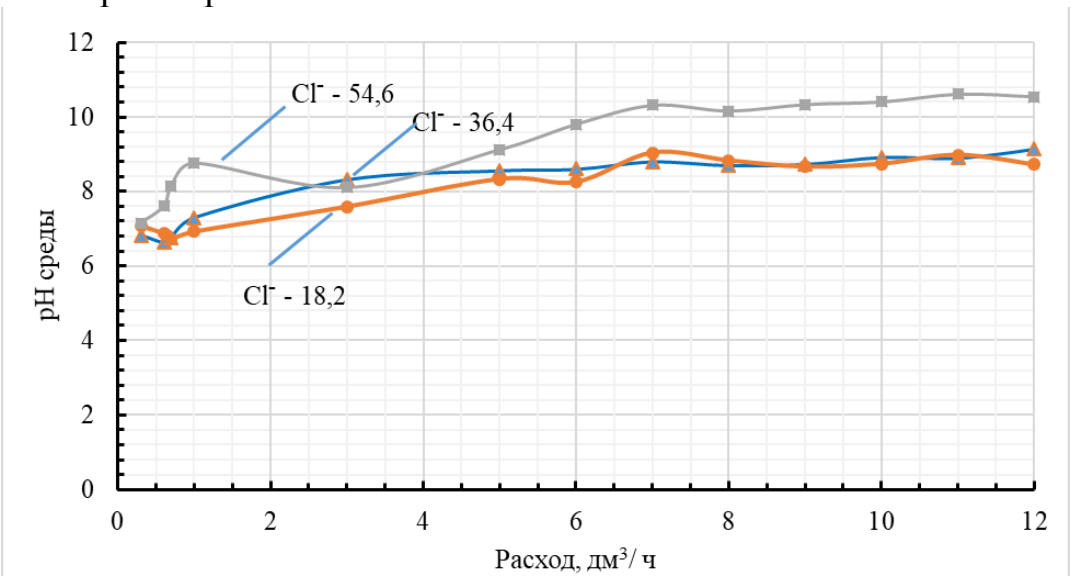
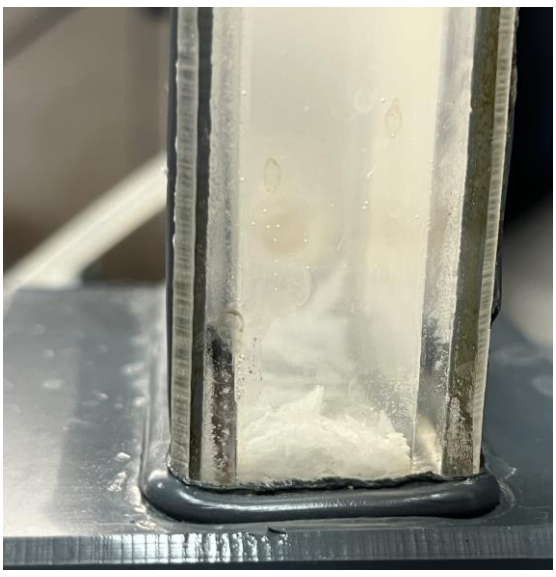


Рисунок 3. **Зависимость pH среды от расхода рабочего раствора $CaCl_2$**

На рисунке 4 представлены фотографии осадков на поверхности катода и на дне ячейке электролизера. При электролизе на катоде в результате восстановления молекулы H_2O образуется щелочь согласно уравнению:

$$2H_2O \xrightarrow{+2e} H_2 \uparrow + 2OH^-,$$

и, как следствие, – малорастворимое соединение – гидроокись кальция ($Ca(OH)_2$).



а) **б)**

Рисунок 4. **Фотографии поверхности катода (а) и осадка на дне ячейки (б) электролизера**

Таким образом, если в исходном растворе мы имели только одно соединение – $CaCl_2$, то после электролиза в результате окисления хлоридов и восстановления воды образуется два новых вещества: гипохлорит кальция ($Ca(ClO)_2$) и $Ca(OH)_2$.

Полученные результаты показывают возможность использования отходов химической промышленности в виде $CaCl_2$ для производства ценных химических веществ, которые востребованы для производства строительных материалов и обеззараживания воды. Однако такой метод переработки сырья требует решения важной проблемы – предотвращения накопления осадка в виде гидроокиси кальция на катоде, что может привезти к заполнению межэлектродного пространства малорастворимыми соединениями и выходу из строя электрохимического аппарата. Вполне возможно, что это может быть достигнуто путем периодического обновления поверхности катода с помощью обратного импульса тока. Эти исследования будут проведены в дальнейшем.

ВЫВОДЫ

1. Изготовлена лабораторная установка проточного типа, позволяющая оценить влияние концентрации хлоридов и расхода рабочего раствора $CaCl_2$ на содержание активного хлора.

2. Показана возможность утилизации отхода содового производства $CaCl_2$ путем электрохимического синтеза с переводом соли в ценные продукты: $Ca(ClO)_2$ и $Ca(OH)_2$, которые могут быть использованы в строительной индустрии и при обеззараживании воды.

3. Установлено влияние концентрации хлоридов и расхода электролита на содержание активного хлора в растворе $CaCl_2$. Представлены фотографии образования гидроокиси кальция на поверхности катода и на дне ячейки электролизера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гусейнов М.А., Алиев З.М., Гаджиева А.М. // Зап. С.-Петербург. горн. ин-та. 2003. - 154. - С. 168–170. - Рус.; рез. Англ. Разработка технологии электрохимических процессов утилизации хлорида кальция - многотоннажного промышленного отхода.
2. Гаджиева А.М., Алиев З.М. Закономерности протекания электрохимических процессов в водных системах, содержащих ионы кальция // Межвузовский сборник научных работ аспирантов (Естественные науки). – Махачкала: ДГПУ, 2000. С. 46–48.
3. Гаджиева А.М., Гусейнов А.А, Алиев З.М. Утилизация промышленных отходов, содержащих хлорид кальция. // Записки горного института. Наука в Санкт–Петербургском государственном институте. – Санкт–Петербург: СПБГГИ (ТУ), 2001. С. 193–195.

УДК 628.166

БЛОЧНО-МОДУЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОЛИЗНЫЕ СТАНЦИИ: ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ

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

В работе представлены решения направленные на реализацию технологии обеззараживания природных и сточных вод низкоконцентрированным гипохлоритом натрия, получаемым на месте производства электролизом водного раствора поваренной соли в блочно-модульном исполнении. Блочно-модульное исполнение электролизных станций позволяет решить ряд вопросов, связанных со строительством, компактным размещением оборудования, сокращением сроков ввода объекта в эксплуатацию, за счет полной заводской готовности не только основного технологического оборудования, но и ограждающих конструкций и инженерных систем.

Блочно-модульная электролизная станция предназначена для получения на месте потребления из поваренной соли обеззараживающего реагента – низкоконцентрированного электрохимического гипохлорита натрия путем электролиза раствора поваренной соли. Вырабатываемый гипохлорит натрия применяют в качестве альтернативы жидкому хлору и используют для дезинфекции питьевых, технических и сточных вод в соответствии с требованиями СанПиН 1.2.3685-21 [1], при обработке воды в системах оборотного водоснабжения, воды плавательных бассейнов, в качестве отбеливающего реагента, а также для санитарной обработки медицинских, коммунальных и других объектов.

Под понятием «блочно-модульная электролизная станция» (далее – станция) понимается комплекс технологического оборудования, трубопроводов, систем контроля, автоматизации, вентиляции и иных систем, обеспечивающих полный цикл производства низкоконцентрированного гипохлорита натрия бездиафрагменным электролизом водного раствора пищевой поваренной соли.

Электролизная станция в блочно-модульном исполнении – полностью комплектное готовое изделие, для работы которого необходимо наличие электроэнергии, водопроводной воды и системы водоотведения. В комплект оборудования станции входят следующее функциональные узлы (рис. 1):

- узел приготовления насыщенного солевого раствора
- узел приготовления 3 % солевого раствора и его декарбонизации;
- узел электрохимического синтеза и хранения гипохлорита натрия;
- узел дозирования гипохлорита натрия.

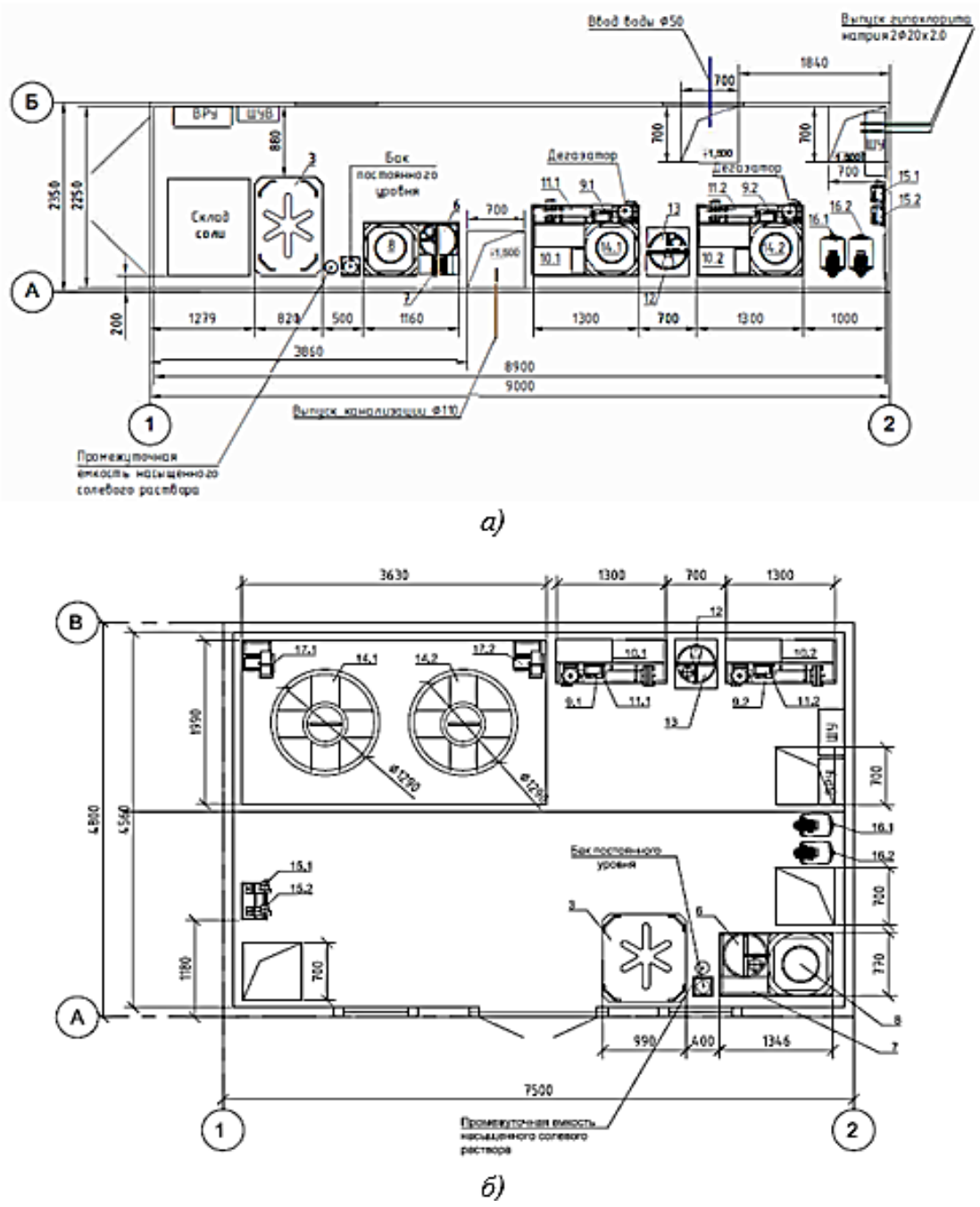


Рисунок 1. **Компоновка оборудования блок-модульной электролизной станции производительностью 5 кг/сут (*а*) и 25 кг/сут (*б*) по активному хлору**

На электролизных установках осуществляется электролиз в проточном режиме с получением раствора гипохлорита натрия с концентрацией по эквиваленту активного хлора (э.а.х.) 6 – 8 г/л. АСУ ТП обеспечивает работу электролизной станции в автоматическом режиме, промывка и регенерация электролизеров осуществляется в ручном режиме (рис. 2, 3).

Блочно-модульная станция «ХЛОРЭФС» полностью отвечает требованиям правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности производства хлора и хлорсодержащих сред» (от 01.01.2021 г. № 486), имеет декларацию о соответствии №RU Д-RU.КА01.В.25074/20 от 21.04.20 г., экспертное заключение Роспотребнадзора регистрационный № 4490 от 21.10.2015 г. и изготавливается в соответствии с ТУ 4859-001-3168802-2012.

Рисунок 1. **Фото блочно-модульной электролизной станции производительностью 25 кг/сут по активному хлору**

Рисунок 3. **Фото блочно-модульной электролизной станции производительностью 5 кг/сут по активному хлору**

Стоимость получения раствора гипохлорита натрия складывается из затрат на поваренную соль и электрическую энергию, и воду [2–4]. При этом для получения 1 кг активного хлора современные электролизные установки потребляют в среднем 3,5 ÷ 4,5 кг поваренной соли и 3,5 ÷ 4,5 кВт·ч электроэнергии на электролиз (см. табл.).

Таблица. **Типоряд блочно-модульных электролизных станций «ХЛОРЭФС» производства ООО НПП «ЭКОФЕС»**

№ п/п	Наименование	Производительность станции по активному хлору, кг/сут	Количество блок-модулей, шт.	Габариты станции, ДхШхВ, м	Занимаемая площадь, м^2	Потребляемые ресурсы			
						поваренная соль, кг/сут	питьевая вода, м^3/сут	14% HCl, л/сут	электроэнергия, кВт·ч/сут
1	УГ-0,5	1	1	7,5x2,4x2,4	18	4,30	0,16	0,13	7,20
2	УГ-7	2,5	1	7,5x2,4x2,4	18	10,75	0,40	0,33	18,00
3	УГ-7МК	6	1	9,0x2,4x2,4	21,6	25,80	0,96	0,78	43,20
4	УГ-7МК-10	10	2	9,0x4,8x2,4	43,2	43,00	1,60	1,30	72,00
5	УГ-25МК-15	15	2	9,0x4,8x2,4	43,2	64,50	2,40	1,95	108,00
6	УГ-25МК-25	25	2	9,0x4,8x2,4	43,2	107,50	4,00	3,25	180,00
7	УГ-25МК-30	30	3	9,0x7,2x2,4	64,8	129,00	4,80	3,90	216,00
8	УГ-25МК-54	54	3	9,0x7,2x2,4	64,8	232,20	8,64	7,02	388,80
9	УГ-25МК-100	108	4	9,0x9,6x2,4	86,4	464,40	17,28	14,04	777,60

Конструкции. Блок-модуль (рис. 4) выполняется в виде металлокаркаса, обшитого сэндвич-панелями толщиной 50 мм (определяется теплотехническим расчетом) с наполнением из минеральной ваты. Конструкция металлокаркаса обеспечивает достаточную жесткость и не позволяет превысить предельно допустимые деформации при транспортировке и монтаже готового блок-контейнера с размещенным внутри технологическим оборудованием. Полы блок-контейнера выполнены из листового металла с рифленой поверхностью, окрашенного химически стойкой полиуретановой краской, днище дополнительно утеплено минеральной ватой толщиной 50 мм. Кровля выполняется из сэндвич-панелей толщиной 100 мм с наполнением также минеральной ватой.

Каркас блоков станций выполняется из стальных квадратных труб 100×100×3, 100×50×3, 50×50×3 мм. Все металлические конструкции защищаются от коррозии – покрываются в 2 слоя эмалью ПФ-115 по слою грунтовки ГФ-021. Ограждающими конструкциями являются стены и кровля комплексной конструкции.

Рисунок 4. **Фото блок-модуля электролизной станции производительностью 5 кг/сут (*а*) и 25 кг/сут (*б*) по активному хлору**

Строительные конструкции обеспечивают II степень огнестойкости здания за счёт применения строительных материалов, обеспечивающих нормативное значение стойкости при возгорании внутри помещения. Конструктивные решения каркаса блок-контейнера выполняются с учётом сейсмического воздействия 7 баллов (СП 14.13330.2018 «Строительство в сейсмических районах»), а также климатических характеристик района строительства согласно СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия». Категория взрывопожароопасности – В2; класс конструктивной пожарной опасности – С0; класс функциональной пожарной опасности – Ф5.1.

Отопление и вентиляция. Блок-модуль имеет принудительную систему вентиляции и удовлетворяет климатическим условиям УХЛ 4 по ГОСТ 15150-69. Предусматривается система отопления, с помощью электроконвекторов, предназначенная для поддержания температуры внутри помещения не ниже +10 °С. Электроконвекторы снабжены встроенным термостатом. Вентиляция в станции принята приточно–вытяжная с механическим побуждением, 6-ти кратным воздухообменом. Система кондиционирования рассчитана на ассимиляцию теплоизбытков и выполнена на основе сплит-системы с непосредственным отводом теплоты от обрабатываемого воздуха (п.4.1.1 ГОСТ 12.2233-2012).

Противопожарные мероприятия. Предусмотрена автоматическая установка пожарной сигнализации (АУПС), реализованной на базе прибора приемно-контрольного охранно-пожарного «Гранит-4А GSM». К прибору подключены 2 шлейфа пожарной сигнализации.

В первый шлейф включены три дымовых пожарных извещателя. Во второй шлейф включен ручной пожарный извещатель ИПР20И, расположенный рядом с выходом. Для обеспечения бесперебойной работы АУПС прибор «Гранит-4А GSM» оснащен встроенной аккумуляторной батареей. В случае возникновения пожара оповещение производится с помощью светозвукового устройства, размещенного у входа в здание. Наличие в приборе GSM коммуникатора позволяет производить передачу

информации о событиях и запрос о текущем состоянии прибора на телефоны оповещения по каналам связи GSM. Передача информации может осуществляться голосовым сообщением и/или текстовым SMS сообщением.

Электроснабжение. Освещение, щиты, пульты управления технологическим оборудованием, автоматика, пожарная/охранная сигнализация подключаются от ВРУ здания, и входят в комплектацию электролизной.

Таким образом, рассмотренное оборудование имеет определенные преимущества и недостатки в сравнении с аналогичным оборудованием, расположенным в здании.

Недостатки.

- *Сложность ремонта и обслуживания оборудования.* Из-за компактного расположения оборудования возникают затруднения с его ремонтом и обслуживаем, заменой оборудования, емкостей и трубопроводов в сравнении со станциями, расположенными в здании.
- *Отсутствие подъёмно-транспортного оборудования.* Конструктив и габариты блок-модуля не позволяют разместить в нём подъёмно-транспортное оборудование (кран-балку), что повышает трудоемкость при загрузке поваренной соли в солерастворитель.
- *Отсутствие вспомогательных помещений.* Ещё одним минусом блочно-модульных станция является отсутствие раздевалок, душевых, санитарных узлов, помещений для размещения оператора, комнаты приема пищи, лаборатории. Однако, этот недостаток возможно компенсировать путем увеличения площади станции для размещения вспомогательных помещений.
- *Ограничение производительности станции.* Производительность блочно-модульных станций ограничена 100 кг/сут по активному хлору. Такое ограничение возникает из-за сложности эксплуатации высокопроизводительных станций, для работы которых требуется ручная загрузка большого количества соли (500 кг/сут и более). А также то, что габариты такого оборудования и склада соли существенно увеличивают площадь (количество блок-модулей), превращая компактную станцию в полноценное по площади и стоимости здание.

Преимущества.

✓ *Безопасность производства и эксплуатации.* Производство гипохлорита натрия на месте потребления электролизными установками, входящими в состав станции не относится к опасным производственным объектам, гарантирует независимость от поставщиков дорогих дезинфицирующих средств. «ХЛОРЭФС» – это безопасность, надежность и антитеррористическая устойчивость производства гипохлорита натрия.

✓ *Гибкая производительность.* Обеспечение требуемой производительности станций по готовому продукту (NaClO) достигается количеством типовых установок (электролизёров), работающих одновременно и независимо друг от друга. Производительность единичного установки составляет от 1 до 100 кг/сут э.а.х.

✓ *Высокая степень заводской готовности к вводу в эксплуатацию.* Станция полностью комплектуется и собирается на заводе изготовителе, проходит проверку и наладку оборудования. Блок-модуль приходит на объект в транспортной упаковке, что обеспечивает сохранность оборудования и ограничивает доступ посторонних лиц к установленному оборудованию. Станция может быть запущенна в работу сразу же после её монтажа и подключения к инженерным сетям.

✓ *Высокая надежность.* Основное технологическое оборудование станции имеет «горячий резерв», что позволяет обеспечить надежность и работоспособность при обслуживании или ремонте отдельных узлов. В комплектации станции применяется оборудование, фильтры и запорная арматура от ведущих мировых и российских производителей.

✓ *Технологическая эффективность.* Эффективность работы обеспечивается высоконадёжной технологической схемой. Контроль и возможность регулирования режимов получения гипохлорита натрия позволяет адаптировать станцию к любому качеству исходной воды.

✓ *Модульное исполнение.* Модульное решение станций позволяет сократить сроки ввода в эксплуатацию, сохранить площади помещений и обеспечить требуемую производительность станции. Станция «ХЛОРЭФС» является законченным сертифицированным изделием заводского изготовления.

✓ *Работа на соли любого качества.* Станции «ХЛОРЭФС» предназначены для получения гипохлорита натрия из поваренной соли любого качества, единственным требованием является её соответствие пищевой категории.

✓ *Низкие требования к коммуникациям.* Станция может эксплуатироваться при наличии электроэнергии, водопроводной воды и системы водоотведения.

✓ *Экологичность и безотходность.* Все технологические решения, применяемые в станциях «ХЛОРЭФС» экологически безопасны и безотходны. Побочные продукты электролиза, такие как кислород, водород, углекислый газ принудительно удаляются в атмосферу через специальную систему вентиляции. Используемая для промывки электродного пакета соляная кислота используется до 10 раз, а затем смешивается с кислотой, идущей на декарбонизацию. Таким образом, обеспечивается полная безопасность и безотходность производства гипохлорита натрия.

✓ *Станция «ХЛОРЭФС» – современное решение для обеззараживания*

Станции получения гипохлорита натрия «ХЛОРЭФС» – это наиболее оптимальное и современное решение задачи обеззараживания питьевой и сточной воды в системах водоснабжения и водоотведения в особенности сельских населенных пунктов и малых городов.

ВЫВОДЫ

5. Блочно-модульные электролизные станции «ХЛОРЭФС» – это современное техническое решение, позволяющее в кротчайшие сроки и с минимальными затратами организовать обеззараживание воды как на существующих, так и на строящихся объектах водопроводно-канализационного хозяйства.
6. Применение блочно-модульных электролизных станций «ХЛОРЭФС» является единственными решением при организации восстановления водоснабжения населенным мест при ликвидации чрезвычайных ситуаций природного или техногенного характера с целью обеспечения населения питьевой или технической водой, безопасной в санитарном отношении.
7. Блочно-модульная конструкция электролизных станций «ХЛОРЭФС» позволяет при необходимости многократно их использовать и перемещать с одного объекта на другой при ликвидации чрезвычайных ситуаций.
8. Недостатки блочно-модульной конструкции полностью перекрываются достоинствами мобильности электролизных установок, сокращением продолжительности строительно-монтажных работ и ввода объектов водопроводно-канализационного хозяйства в эксплуатацию.

ЛИТЕРАТУРА

1. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. Дата начала действия 01.03.2021 г.
2. 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.
3. Пчельников, И.В. Исследование и разработка технологии получения электролитического гипохлорита натрия электролизом морской воды / // Водоснабжение и санитарная техника. 2020. № 9. С. 51–57. – EDN IEQEKA.
4. Скрябин, А.Ю. Экоориентированная диверсификация предприятий водоснабжения / А.Ю. Скрябин, Л.Н. Фесенко, А.П. Москаленко // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. 2017. № 6–4(52). С. 164–168. – EDN ZRRQDV.

УДК 628.16.081

ВНЕДРЕНИЕ КОАГУЛЯНТОВ ПРОИЗВОДСТВА ГК «АУРАТ» В ТЕХНОЛОГИЮ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД НА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ ПРЕДПРИЯТИЙ МЯСОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

А.А. Рученин, Е.С. Осокина
ГК «АУРАТ-ВВ», г. Казань, Россия

Рассмотрены проблемы при проектировании очистных сооружений на предприятиях мясоперерабатывающей промышленности. Приведены примеры эффективной работы полиоксихлорида алюминия относительно хлорного железа. Выданы рекомендации, которые нужно соблюдать при проектировании.

Отсутствие единых строительных правил и норм для проектирования и строительства очистных сооружений предприятий мясоперерабатывающей промышленности привело к тому, что на сегодняшний день для данной отрасли было построено немало типовых очистных станций, на которых не достигается нужная степень очистки согласно установленным нормативам, и идут отклонения, хотя бы, по одному из параметров. При этом, при закладке реагентной очистки, проектировщиками преимущественно закладывается применение коагулянтов – хлорного железа, что далеко не всегда является лучшим решением.

На сегодняшний день, организации, занимающиеся проектированием и строительством очистных сооружений, для предприятий мясной промышленности, руководствуются следующими нормативными документами:

1. Санитарные правила для предприятий мясной промышленности, утвержденные главным санитарным врачом за N3238-8525.03.1985 г.
2. Санитарные и ветеринарные требования к проектированию предприятий мясной промышленности. Последнее издание Москва 2006 г.
3. ВНТП 540/697. Ведомственные нормы технологического проектирования. Нормы технологического проектирования предприятий мясной промышленности. Дата введения 1992-04-07. Разработаны Государственным институтом по проектированию предприятий мясной и молочной промышленности (Гипромясомолпром).

В каждом из этих документов имеется упоминание о необходимости иметь локальные очистные сооружения и только в ВСТП 6.02-92 более подробно сообщается, что на территории предприятий мясной

промышленности должны предусматриваться следующие сооружения предварительной очистки:

– блок очистных сооружений производственных жиросодержащих стоков;

– очистные сооружения навоз содержащих стоков или емкости для сбора (с последующим вывозом) навоз содержащих стоков;

– сооружение по термическому обеззараживанию сточных вод;

– очистные сооружения поверхностных стоков (определяется актом выбора промплощадки);

– в блоке очистных сооружений производственных стоков необходимо размещать санитарную лабораторию для контроля качества сточных вод;

– условия сброса сточных вод должны отвечать «Правилам охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами».

На этом и все, ни слова не сказано о составе сооружений для предприятий мясной промышленности, ни тем более о применяемых реагентах и их дозах для очистки – никаких нормативных документов нет. Поэтому, по факту, начиная проектирование очистных сооружений для предприятий мясной промышленности, проектировщик в первую очередь руководствуется:

– техническим заданием на проектирование, выданное заказчиком;

– необходимой степенью очистки стока, в соответствии с принятой схемой;

– своим опытом проектирования подобных сооружений (как правило, удачный опыт тиражируется и дорабатывается на различных объектах).

Сама специфика технологических процессов на мясокомбинате приводит к тому, что объемы и степень загрязнения стоков значительно колеблются в разные периоды времени. Переработка мяса – многоэтапный процесс, где практически на каждой стадии идут разные процессы (мытье оборудования, тары, мясного сырья). На количество и качество образующихся стоков влияет изменение вида сырья, применение различных моющих реагентов, ассортиментный перечень производимой продукции. С учетом выявленных вариаций состава сточных вод имеет смысл предусматривать комплексный подход к системам очистки. Основные параметры, характеризующие степень загрязнения стоков мясокомбинатов являются: ХПК, БПК, взвешенные вещества, жиры. При этом чаще всего на типовых станциях очистки не достигается необходимая степень очистки по ХПК. В части применения реагентов в технологии очистки стоках мясокомбинатов широкое распространение получили коагулянты – хлорное железо, анионные флокулянты преимущественно марки «Praestol» и щелочи. Причем необходимость применения щелочи связано исключительно с применением хлорного железа (имеющий

отрицательный водородный показатель) и необходимостью подщелачивания стоков, для того чтобы водородный показатель имел значение не ниже 6,0. При этом в большинстве случаев хлорное железо хорошо замещается полиоксихлоридом алюминия, что влечет за собой отсутствие в необходимости применения щелочи и приличное снижение эксплуатационных затрат в технологии очистки стоков мясокомбинатов, при улучшении качества очистки.

Таким образом, для применения полиоксихлоридов алюминия на стадии проектирования ОС мясокомбинатов необходимо знать некоторые положения, а именно:

1. Труднее всего очищаются стоки в момент, когда в резервуар-усреднитель (РУ) начинают поступать свежие кровяные стоки (залпом), вследствие смыва кровяных масс из забойного цеха или слив крови из резервуара-накопителя крови. Для того, чтобы иметь возможность очистить эти стоки полиоксихлоридом алюминия нужно максимально разбавить свежую кровь хозяйственными стоками, для чего, как правило, в РУ на момент сброса крови стараются держать максимальный уровень воды. Однако иногда эта мера может оказаться недостаточной. Очищенные стоки после очистки на флотаторе могут принять розовый или желтый оттенок. В этом случае, при обработке стоков полиоксихлоридом алюминия можно воспользоваться другим приемом – на момент подачи крови, очистка (флотатор) останавливается и РУ переводится в режим накопления стоков. Т.е. надо дать время крови свернуться, чтобы она превратилась в коричневую «творожную» массу, тогда она легко очищается. Для этого нужно время до 10 – 15 часов. В этом случае уровень воды в РУ (соответственно и объем РУ) должен быть таким, чтобы принять кровяные и последующие стоки до конца рабочего дня. Учитывая, что кровяные стоки сбрасываются как правило, в конце рабочего дня, а ночью очистка не производится, необходимости в увеличении объема РУ нет.

2. В случае если проектом предусматривается очистка стоков полиоксихлоридом алюминия при определении объема РУ, следует исходить из условия 1 $м^3$/на 1 единицу крупнорогатого скота (КРС), что в целом соответствует требованиям ВНТП 540/697 к нормативу потребления воды на все технологические операции и расходы на хозяйственно-питьевые нужды мясокомбината.

Рассмотрим сравнительные работы коагулянтов – хлорного железа и полиоксихлоридов алюминия на нескольких объектах животноводческого комплекса.

1. ООО «МПК «Атяшевский» (Атяшевская производственная площадка). Краткие характеристики объекта. Количество убойного крупнорогатого скота в сутки проектное/фактическое – 3000 / 3000 голов.

Объем РУ 3000 м^3. Используемые реагенты в технологии очистки стоков: хлорное железо (42 %), «Praestol 2530», едкий натр. Среднечасовой расход – 140 м^3/час. Время полного обновления стоков в РУ при максимальном уровне 21 час.

На фото 1 и 2 представлены сравнительные лабораторные испытания коагулянтов: хлорное железо, низкоосновного полиоксихлорида алюминия «АКВА-АУРАТ™14» (АА-14), среднеосновного «АКВА-АУРАТ™18» (АА-18), и высокоосновного Эпоха марки 5 (Эпоха М5).

Доза реагента 80 мг/л по основному веществу

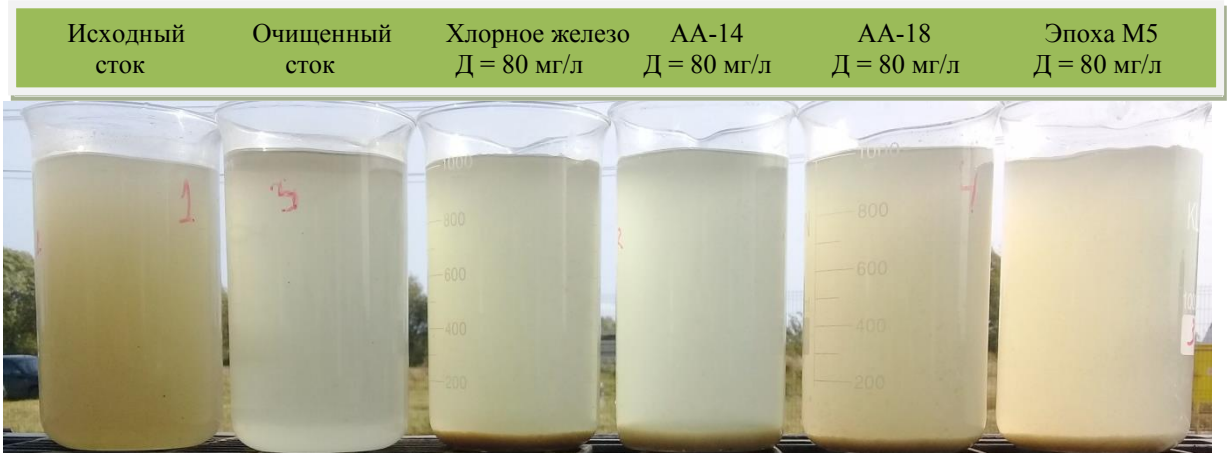


Фото 1. **Через 30 минут после введения коагулянтов**

Доза реагентов 120 мг/л по основному веществу.

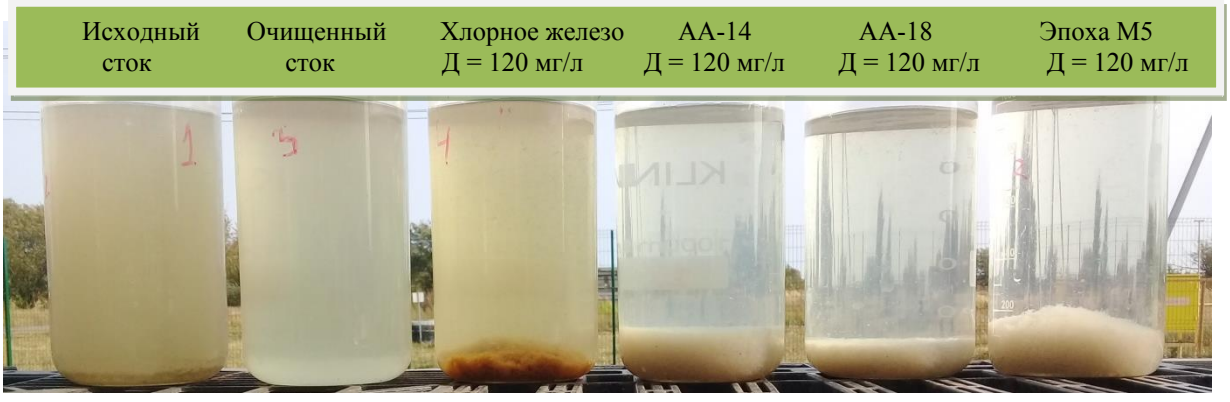


Фото 2. **Через 30 минут после введения коагулянтов**

Как видно на фото 2 при дозе 120 мг/л по основному веществу хорошо сработали все представленные марки полиоксихлорида алюминия, в то время как образец 3 с хлорным железом сработал хуже.

5. **ООО «Сарапульский мясокомбинат».** Краткие характеристики объекта. Количество убойного крупнорогатого скота в сутки проектное / фактическое – 300 /680 голов. Объем РУ 300 м^3. Используемые

реагенты в технологии очистки стоков до реорганизации: хлорное железо (40 %), «Praestol 2515», едкий натр. Среднечасовой расход – 27 $м^3$/час. Время полного обновления стоков в РУ при максимальном уровне 12 час.

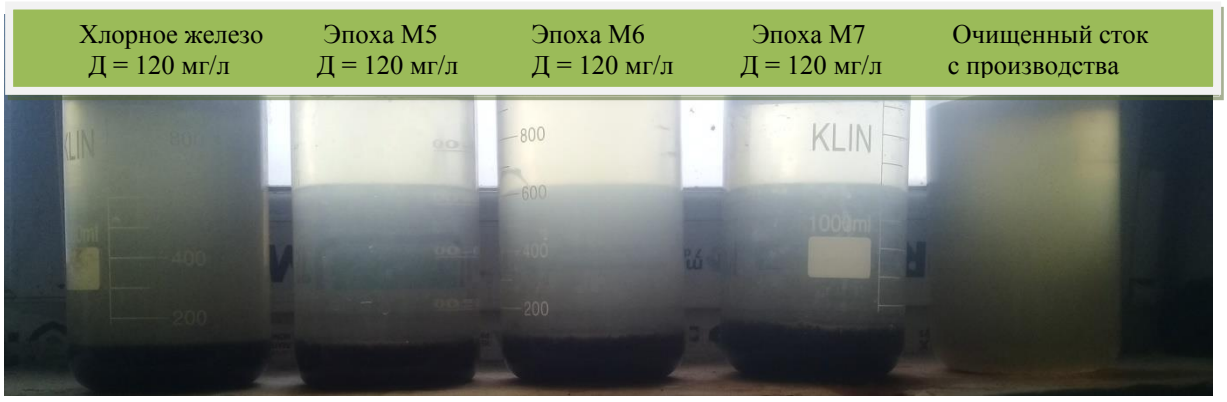


Фото 3. **Через 30 минут после введения коагулянтов**

На фото 3 показаны результаты сравнительных лабораторных испытаний (2018 г.), когда забой составлял 300 голов КРС. По результатам лабораторных испытаний был совершен переход с хлорного железа на полиоксихлорид алюминия. Экономический эффект рассчитан ниже.

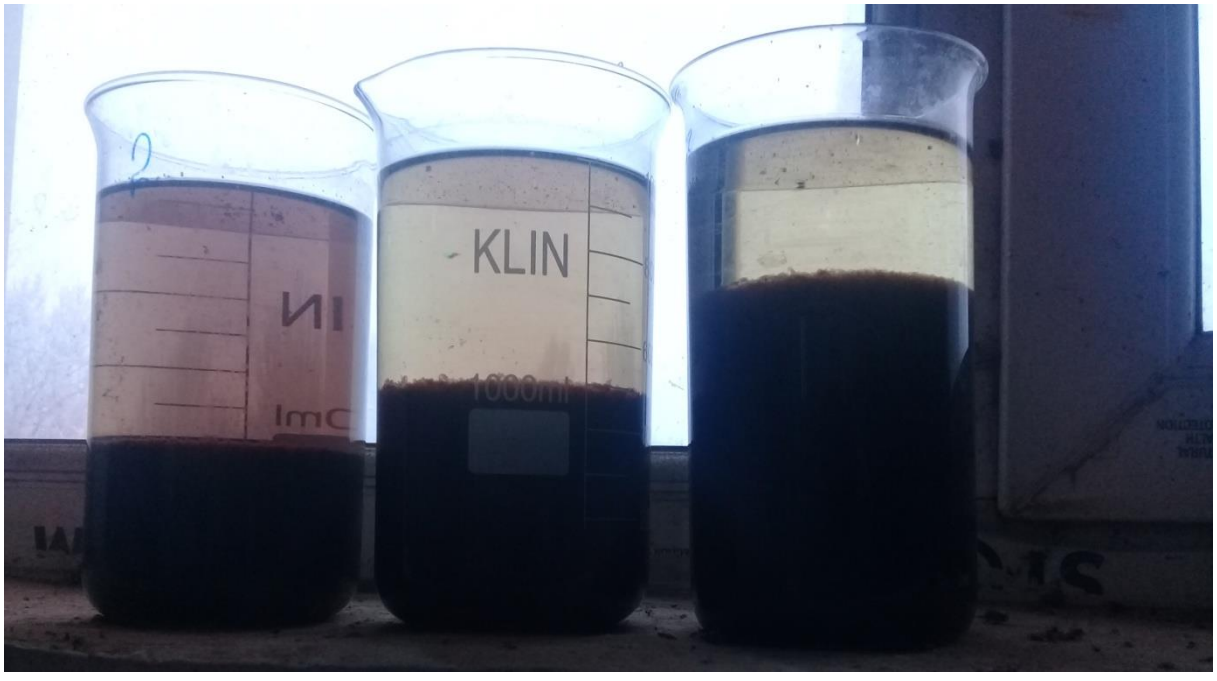


Фото 4. **Результаты лабораторных испытаний в 2021 г.**

На фото 4 показаны результаты лабораторных испытаний (2021 г.), когда забой составлял уже 680 – 700 голов КРС в сутки. Как видим при росте забоя КРС на 150 % расход коагулянта увеличился на 75 %.

Расчет экономического эффекта от замены хлорного железа и едкого натра на высокоосновный реагент Эпоха на очистных сооружениях мясокомбината г.Сарапул.

Исходные данные (по данным технолога):

- среднечасовой расход стоков составляет Qч = 27 $м^3$/ч;
- среднемесячный расход хлорного железа Qхж = 16 т/мес.;
- среднемесячный расход едкого натра Qен = 3 т/мес.

Рабочий диапазон доз реагента Эпоха 130 – 350 г/$м^3$ (мг/л) – по результатам промышленных испытаний. Тогда средняя доза реагента Эпоха Дэ = 240 г/$м^3$.

Стоимость хлорного железа Схж = 16655 руб/т с НДС и доставкой.

Стоимость едкого натра Сен = 90000 руб/т с НДС и доставкой.

Стоимость реагента Эпоха Сэ = 39800 руб/т с НДС и доставкой.

Количество рабочих дней очистной станции в год N = 365 дней.

Экономический эффект складывается за счет замещения высокоосновным реагентом Эпоха (с pH 4 – 4,5), сразу двух реагентов: хлорного железа (pH ниже 0) и едкого натра (применяется для подщелачивания стоков). После применения реагента Эпоха pH стоков остается в пределах 6,8 – 7,2, что соответствует условиям сброса (см. результаты лабораторных и промышленных испытаний). При применении только хлорного железа pH опускается ниже 6,0, что не соответствует условиям спуска стоков и требуется подщелачивание едким натром. Данный расчет рассматривает только стоимость такого замещения, в нем не рассматривается экономический эффект от улучшения качества стоков, т.к. расчет получится очень велик из-за большого количества влияющих факторов: экономии электроэнергии, затраты на ремонт, вследствие вывода из работы оборудования для подщелачивания и т.д.

Расчет.

Текущие затраты на хлорное железо и едкий натр с НДС и доставкой в год составят:

Зт = 12 х (Qхж х Схж + Qен х Сен) = 12 х (16 х 16655 + 3 х 90000) = 6437760 руб/год.

Затраты на высокоосновныйкоагулянт ЭпохаМ5 в год составят:

Зэ = (Nх 24 х Qч х Дэ хСэ) / 1000 х1000 = (365 х 24 х 27 х 240 х 39800) / 1000х1000 =2259239,04 руб/год,

где 1000 х 1000 перевод граммов в тонны.

Годовой экономический эффект составит:

Э год = Зт –Зэ = 6437760 – 2259239,04= 4178520,96 рубля.

3. ООО Вурнарский мясокомбинат. Краткие характеристики объекта. Количество убойного крупнорогатого скота в сутки проектное / фактическое – 300 / 270 – 300 голов. Объем РУ 300 $м^3$. Используемые реагенты в технологии очистки стоков: хлорное железо (42 %),

«Praestol 2530», едкий натр. Среднечасовой расход – 15 $м^3$/ч. Время полного обновления стоков в резервуаре-усреднителе при максимальном уровне 20 часов.

Фото 5. **Убойный цех. Вурнары**

Фото 6. **Убойный цех. Вурнары**

На данном производстве изначально был заложен коагулянт полиоксихлорид алюминия «АКВА-АУРАТ™14» (АА-14), в отсутствии сброса крови коагулянт спокойно справлялся с очисткой стоков (см. фото 7), но через полчаса после начала сброса крови показатель очистки данным реагентом ухудшался (см. фото 8). При этом хлорное железо обеспечивало нормальную очистку во всех случаях. После чего было принято решение остановить процесс очистки и перевести РУ в режим накопления стоков до

утра. Утром были отобраны стоки с трубопровода подачи с РУ на флотатор и снова выполнена пробная коагуляция, результаты представлены на фото 9. Как видно из фото коагулянт полиоксихлорид алюминия «АКВА-АУРАТ™14» (АА-14) снова спокойно справляется с очисткой.

Результаты проведения пробной коагуляции до сброса крови в РУ

АА-14	АА-18	Эпоха М2	ЭпохаМ5	Хлорное железо
Д = 100 мг/л	Д = 100 мг/л	Д = 100 мг/л	Д=100 мг/л	Д = 100 мг/л

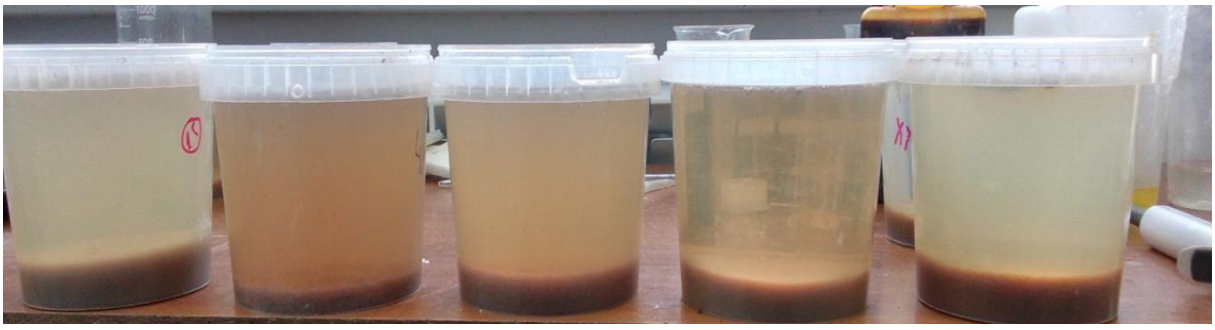


Фото 7. **Через 30 минут после введения коагулянтов**

Результаты проведения пробной коагуляции во время сброса крови в РУ

АА-14	АА-18	Эпоха М2	Эпоха М5	Хлорное железо
Д = 120 мг/л	Д = 120 мг/л	Д = 120 мг/л	Д = 120 мг/л	Д = 120 мг/л

Фото 8. **Через 30 минут после введения коагулянтов**

Результаты пробной коагуляции после16 часового отстаивания стоков в РУ

АА-14	АА-14	Хлорное железо	Хлорное железо
Д = 100 мг/л	Д = 120 мг/л	Д = 100 мг/л	Д = 120 мг/л

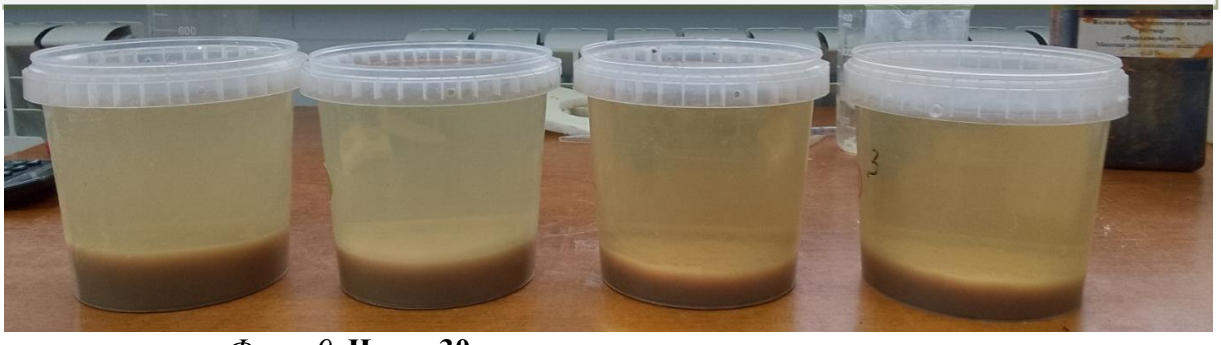


Фото 9. **Через 30 минут после введения коагулянтов**

Таким образом, для того, чтобы использовать АА-14 в момент, когда начинается сброс крови, надо отключить флотатор и держать уровень стоков в РУ таким, чтобы принять весь объем стоков до конца рабочей смены.

ВЫВОДЫ

1. Для того, чтобы снизить эксплуатационные расходы при реагентной очистке стоков мясокомбината и улучшить качество очистки целесообразнее использовать коагулянты – полиоксихлориды алюминия. Так как даже при дозах более 200 мг/л водородный показатель остается выше 6,0, что исключает необходимость использовать щелочь, и отпадает необходимость предусматривать узел приготовления и дозирования щелочи.
2. Для того, чтобы гарантировать нормальную работу технологии очистки кровяных стоков, в момент, когда идет их сброс, необходимо РУ запроектировать таким образом, чтобы движение стоков в нем обеспечивало одно из условий:
   - полное и равномерное перемешивание кровяных стоков со всем объемом стоков, уже содержащихся в резервуаре. При этом на момент начала сброса кровяных стоков уровень воды должен быть максимальным, таким, чтобы обеспечить вместимость всех последующих стоков при работающем флотаторе;
   - возможность накопления и отстаивания кровяных и последующих хозяйственно-бытовых стоков до 15 часов при отключенном флотаторе.
3. Расстояние между входящим и отводящим трубопроводом должно обеспечивать максимальное пребывание кровяных стоков в РУ, для этого необходимо предусмотреть в РУ перегородки или коридоры.

   На очистных сооружениях предприятий мясопереработки, где отсутствует забой, применение хлорного железа вообще не целесообразно.

УДК 628.35

ДООЧИСТКА БИОЛОГИЧЕСКИ ОЧИЩЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД С ПОМОЩЬЮ КАМЕННОУГОЛЬНОЙ СУСПЕНЗИИ

В.П. Костюков, Д.В. Антонян, К.В. Вербина
ООО «Проектный научно-исследовательский институт водоснабжения и водоотведения» г. Ростов-на-Дону, Россия

Представлены результаты исследований по снижению остаточных загрязнений сточных вод, прошедших обработку на станциях биологической очистки. Получены

численные значения констант уравнения Фрейндлиха для описания процесса сорбции активированным каменным углем трудноокисляемых органических веществ.

Одной из наиболее важных проблем является образование в очищенных сточных водах после процесса обеззараживания хлором или хлор-реагентами, хлорорганических соединений. Данные вещества наносят экологический вред водным объектам. К соединениям данного типа относятся летучие хлорорганические соединения, в их число входят тригалометаны (хлороформ, бромдихлорметан, дибромхлорметан и т.п.).

Перспективным подходом в данной ситуации является поиск методов и средств дополнительной очистки сточных вод с целью снижения общего количества органических загрязнений, поступающих на стадию обеззараживания. Сорбционные методы очистки получили широкое распространение вследствие отсутствия вторичного загрязнения и высокой эффективности. Значительный интерес представляет использование в качестве сорбентов активированных углей, так как они являются эффективными и наиболее универсальными сорбентами.

Знание особенностей процессов, протекающих при сорбции сточных вод, позволит предложить технологию доочистки биологически очищенных сточных вод.

В качестве сорбента использовался активированный уголь из каменноугольного сырья «ДонАкваСорб» с исходным фракционным составом 1,0 – 3,0 мм. Уголь был обработан в вихревом электромагнитном гомогенизаторе.

Размер частиц полученной угольной пульпы составлял 20 – 70 мкм. Доза активированного угля на день испытаний составила 20 мг/л на 1000 мл воды.

На первом этапе определи снижение интенсивности запаха в сериях до и после сорбции. Результаты приведены в таблице 1.

В колбу с притертой пробкой вместимостью 250 – 350 см^3 отмеряли 100 см^3 исследуемой воды температурой 20 °С. Колбу закрывали пробкой, содержимое колбы несколько раз перемешивали вращательными движениями, после чего колбу открывали и определяли характер и интенсивность запаха.

Характер запаха воды определялся по ощущению воспринимаемого запаха. Запахи естественного происхождения определяют по классификации, приведенной в таблице А.1 приложения А ГОСТ Р 57164-2016.

На втором этапе определяли цветность отфильтрованных экспериментальных серий до и после сорбции.

В цилиндр Несслера отмеряди 100 см^3 профильтрованной через мембранный фильтр исследуемой воды. При определении цветности с помощью электрофотоколориметра использовали кюветы с толщиной

поглощающего свет слоя 5 см. Контрольной жидкостью служит дистиллированная вода, из которой удалены взвешенные вещества путем фильтрации через мембранные фильтры.

Таблица 1. **Изменение запаха в процессе сорбции исследуемых серий**

№ серии	Характер запаха	Интенсивность запаха до сорбции, балл	Интенсивность запаха после сорбции, балл
1	Болотный	4	1
2	Болотный	1	0
3	Болотный	0	0
4	Болотный	0	0

Оптическую плотность фильтрата исследуемой пробы воды измеряли в синей части спектра со светофильтром при $\lambda = 413$ нм. Результаты приведены в таблице 3.

Таблица 2. **Изменение цветности в процессе сорбции исследуемых серий**

№ серии	Цветность до сорбции, град	Цветность после сорбции, град
1	71,2	56,5
2	27,6	0
3	9,2	0
4	10,34	0

На третьем этапе определяли снижение органических загрязнений по ХПК в сериях до и после сорбции.

Для более точного результата ХПК после сорбции проводили трехкратное определение в каждой из проб. Результаты приведены в таблице 3.

Таблица 3. **Результаты измерения ХПК в экспериментальных сериях**

№ серии	Объем пробы	Объем соли Мора (холостая), мл	Объем соли Мора (исходной), мл	Нормальность раствора соли Мора	Начальное ХПК, мгO_2/л	После сорбции						
						Объем соли Мора №1, мл	Объем соли Мора №2, мл	Объем соли Мора №3, мл	ХПК №1, мгO_2/л	ХПК №2, мгO_2/л	ХПК №3, мгO_2/л	ХПК среднее, мгО/л
1	5	20,3	19,5	0,02	25,6	19,7	19,75	19,8	19,2	17,6	16	17,6
2	5	20,3	19,8	0,02	16	20,1	20	19,9	6,4	9,6	12,8	9,6
3	5	20,3	19,9	0,02	12,8	20,1	20,1	20	6,4	6,4	9,6	7,5
4	5	20,3	20	0,02	9,6	20,1	20,15	20,2	6,4	4,8	3,2	4,8

Согласно полученным результатам исследований сорбционной обработки биологически очищенной сточной воды с помощью каменноугольной суспензии на основе активированного угля из каменноугольного сырья «ДонАкваСорб» можно говорить о том, что наблюдается эффективное снижение запаха воды, цветности и химического потребления кислорода.

Для изучения сорбционных процессов используются изотермы сорбции биологически очищенной сточной воды. Так как исследуемые растворы относятся к категории разбавленных, то для описания процесса сорбции справедливо применять уравнение Фрейндлиха:

$$A = K \cdot C_{\text{равн}}^{1/n},$$

где K и n – константы; A – сорбционная емкость.

Результаты эксперимента для получения значений констант уравнения Фрейндлиха представлены в таблице 4.

Таблица 4. **Результаты эксперимента**

№ п/п	Начальная концентрация ХПК, мгO_2/л	Равновесная концентрация ХПК, мгO_2/л	Сорбционная емкость А, мг/г	lg $C_{равн}$	lg A
1	25,6	17,6	400	1,246	2,602
2	16	9,6	320	0,982	2,505
3	12,8	7,5	266,7	0,873	2,426
4	9,6	4,8	240	0,681	2,380

На рисунке 1 представлена изотерма сорбции органических загрязнений на каменном угле.

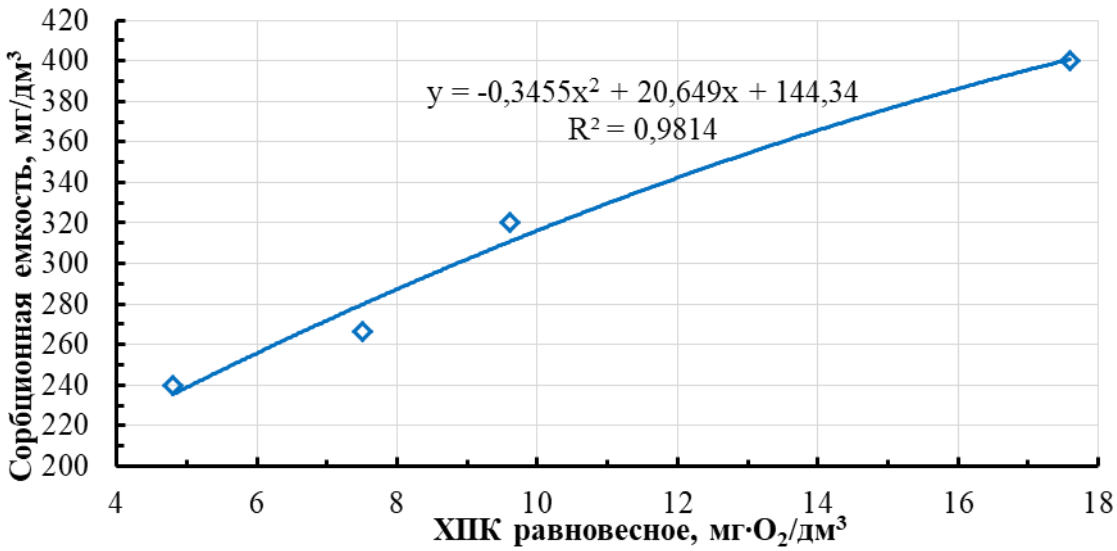


Рисунок 1. **Сорбция биологически очищенных сточных вод каменноугольной суспензией**

Далее вышеприведенная изотерма линеаризуется в логарифмических координатах для получения численных значений констант (рис. 2).

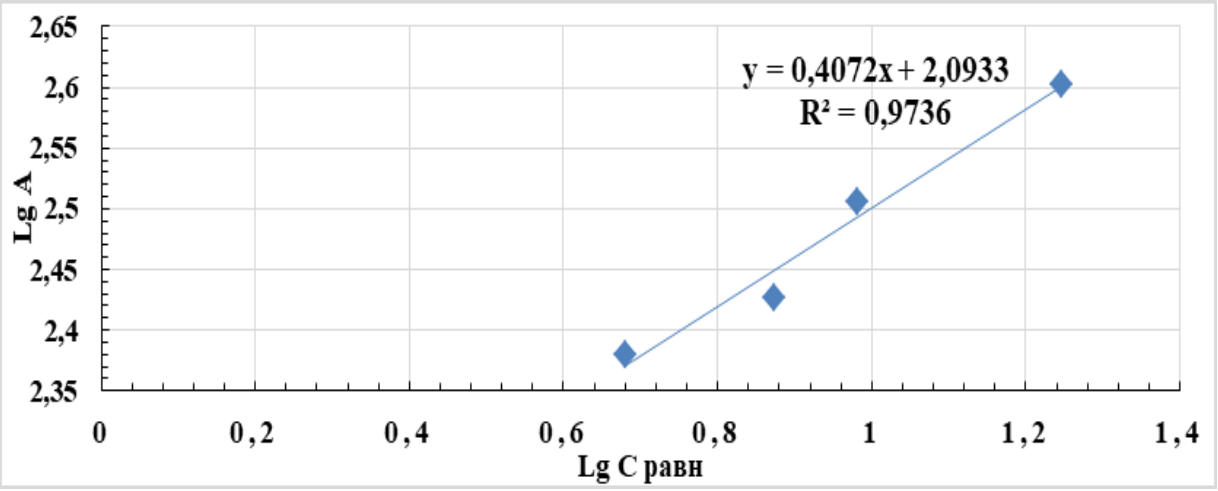


Рисунок 2. **Линеаризация изотермы сорбции биологически очищенных сточных вод каменноугольной суспензией**

Численные значения констант определили, построив график зависимости сорбционной емкости от концентрации вещества в растворе (рис. 1). Построенные графики линеаризуются в координатах lg Сравн./lg А (рис. 2). Отрезок, отсекаемый на оси А равен lg К, а также угол наклона прямой к оси равен 1/n.

В нашем случае константа равновесия K, характеризующая прочность адсорбции, равна 123,82, степень нелинейности изотермы составляет 0,4072.

Полученное выражение для сорбции активированным углем химического потребления кислорода будет иметь вид:

$$A = 123{,}82 \cdot C^{0{,}4072}$$

По результатам выполненной работы сделаны следующие основные выводы:

1. сорбционный метод показывает высокую эффективность при использовании его на стадии доочистки биологически очищенных сточных вод;
2. определены численные значения кинетических контант сорбционного процесса;
3. полученные данные позволяют прогнозировать качество очищенных вод после обработки каменноугольной суспензией «ДонАкваСорб».

УДК 628.165

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СКОРОСТИ ФИЛЬТРОВАНИЯ БОРСОДЕРЖАЩЕЙ ВОДЫ НА СОРБЦИОННУЮ ЕМКОСТЬ АКТИВИРОВАННОЙ ОКИСИ АЛЮМИНИЯ

Д.В. Каберская, Р.В. Федотов
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия
С.И. Игнатенко
ООО НПП «ЭКОФЕС», г. Новочеркасск, Россия

Приведены результаты лабораторных исследований влияния скорости фильтрования на остаточную концентрацию бора в воде и продолжительность фильтроцикла. Получены коэффициенты уравнений регрессии, описывающих изменение концентрации бора в фильтрате в течение фильтроцикла при различных скоростях фильтрования воды. Показана зависимость влияния скорости фильтрования борсодержащих вод на величину сорбционной емкости модифицированного оксида алюминия по бору.

На территории России по-прежнему не решен вопрос с использованием подземных источников для водоснабжения малых населенных пунктов, в том числе из-за сложности очистки воды от соединений бора.

Гидрогеохимия бора до последнего времени изучалась в основном в связи с поисками и разведкой промышленных бороносных вод [1], развитием гидрогеохимических методов поисков месторождений бора [2], изучением геохимии редких элементов в подземных водах [3]. На этом фоне крайне ограниченно представлены материалы изучения геохимии бора в подземных пресных водах, используемых в хозяйственно-питьевом водоснабжении.

Тем временем бор включен в показатели качества питьевых вод по санитарно-токсикологическому признаку вредности и его предельное содержание в питьевых водах централизованных систем питьевого водоснабжения регламентируются требованиями СанПиН 2.1.3684-21. Согласно положениям данного нормативного документа, предельно допустимая концентрация бора в питьевых водах составляет 0,5 мг/дм^3.

Распределение бора в пресных подземных водах носит региональный характер, причем имеющиеся данные показывают, что наибольшей вероятностью обнаружения повышенных концентраций бора (B > 0,5 мг/дм^3) характеризуется Приволжье в границах Волго-Камского артезианского бассейна.

Так, в Удмуртской республике пресные борсодержащие подземные воды зафиксированы в продуктивном водоносном горизонте татарских

отложений в пределах Ижевского месторождения пресных подземных вод (C_B до 4,3 мг/дм^3), на площади Игринского горизонта пресных подземных вод, сложенных водоносными отложениями, аналогичными по времени образования с породами татарского яруса (C_B до 3,3 мг/дм^3), а также в пределах площади г. Можга в верхнеказанских водоносных отложениях (C_B до 4,8 мг/дм^3).

На территории Татарстана борсодержащие подземные воды зафиксированы в казанских и шешминских водоносных горизонтах месторождений «Лесной Зай» (C_B = 3,25 – 5 мг/дм^3), «Степной Зай» (C_B до 1,7 мг/дм^3), «Прибрежно-Челнинском» (C_B до 8,5 мг/дм^3), «Прибрежно-Чистопольском» (C_B до 1,35 мг/дм^3).

Кроме этого, повышенные содержания бора в пресных подземных водах обнаружены на площадях в районе г. Киров (C_B до 5,5 мг/дм^3), в Нижегородской области, Республике Мордовии в водах, циркулирующих в верхнепермских водоносных отложениях [4].

Наиболее перспективным методом удаления бора, возможно считать фильтрование борсодержащей воды через алюмомодифицированную загрузку, т.е. загрузку, активированную солями алюминия. При модификации фильтрующих материалов на их поверхность наносят новые молекулярные группы, в результате сами материалы приобретают новые нехарактерные им ранее свойства. По данным литературных источников, исследованиями, проведенными ЮРГТУ (НПИ) и др., установлено, что после обработки солями алюминия активированной окиси алюминия она способна извлекать из фильтруемой воды фторид-, бромид-, иодид-, силикат-, борат- и некоторые другие ионы в большей или меньшей степени.

Результаты предварительно проведенных исследований, их обработка и анализ позволяют сделать вывод о том, что скорость фильтрования является одним из основных технологических показателей, влияющих на продолжительность фильтроцикла и глубину удаления борных соединений.

При проведении экспериментальных исследований по определению влияния скорости фильтрования на емкость сорбента по бору поддерживались следующие граничные условия основных технологических факторов: pH среды составлял от 8,0 до 8,2, t≈21-24°C, а высота сорбента в фильтре 1,2 метра.

Полученные эмпирические данные представляли собой зависимости изменения концентрации бора в очищаемой воде от объема пропущенного фильтрата (продолжительности фильтроцикла) для нескольких скоростей фильтрования. Фактически определяли зависимость концентрации бора как функцию двух переменных – объем пропущенного

фильтрата и скорость фильтрования. Результаты экспериментов проведенной серии исследований приведены на рисунке 1.

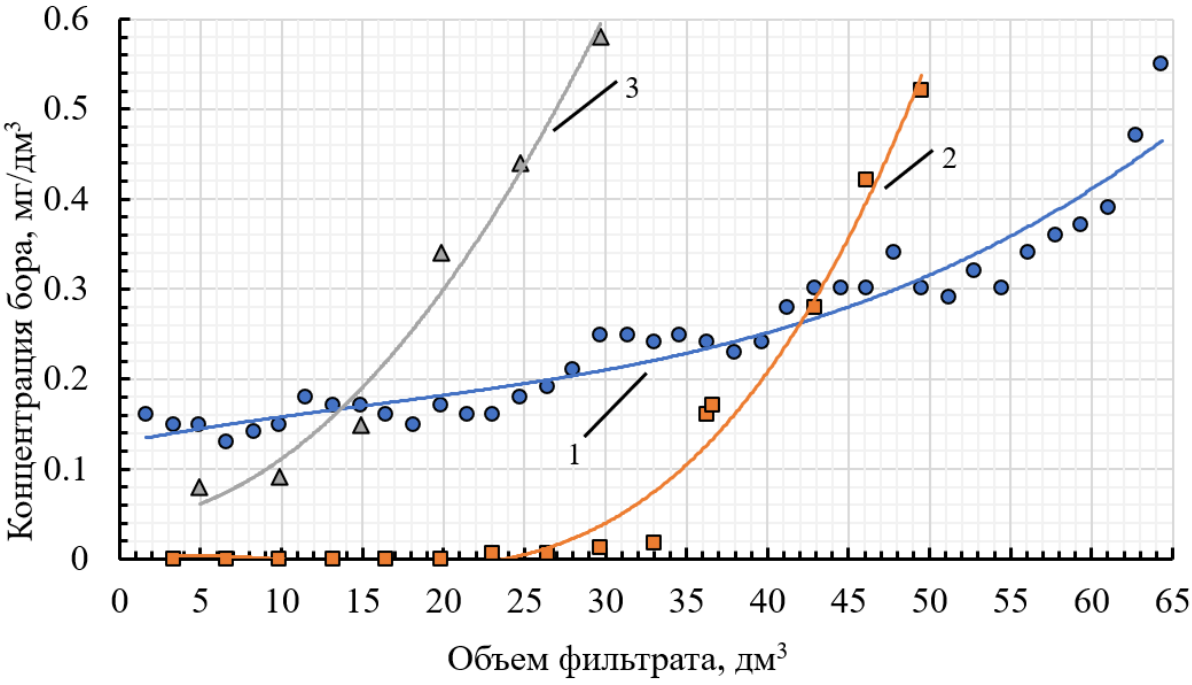


Рисунок 1. **Зависимость остаточной концентрации бора в воде от объема фильтрата (продолжительности фильтроцикла) при скорости фильтрования:** 1 – 3 м/ч, 2 – 6 м/ч, 3 – 9 м/ч

Для построения опытных зависимостей в виде кривых применяли статистическую обработку результатов с помощью метода наименьших квадратов. Опытные данные Z = F(X) аппроксимировали полиномами второй и третьей степени. Полученные математические модели представляют собой уравнения полиномиальной регрессии следующего вида:

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

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

Геометрическим представлением математической модели является кривая второго или третьего порядка в прямоугольной системе координат.

После интегрирования полученных полиноминальных функций, описывающих изменение концентрации бора в фильтрате, находили значение емкости сорбента при заданных условиях и строили кривые, описывающие изменения емкости сорбента по бору от скорости фильтрования.

Вычисления проводили с использованием компьютерной программы «Mathcad 15». В результате проведенного регрессионного анализа получены коэффициенты уравнений полиномиальной регрессии, приведенные в таблице 1.

Таблица 1. **Коэффициенты уравнений полиномиальной регрессии, характеризующие влияние скорости фильтрования раствора на продолжительность фильтроцикла**

Скорость фильтрования исходной воды, м/ч	Коэффициенты уравнений полиномиальной регрессии				Относительная среднеквадратичная ошибка, %
	a_0	a_1	a_2	a_3	
3,0	1,5251	7,0553	0,0034	0,1291	2,76
6,0	1,3008	5,3762	0,0059	0,0154	2,04
9,0	5,4202	0,0034	-0,0410	0,2067	1,88

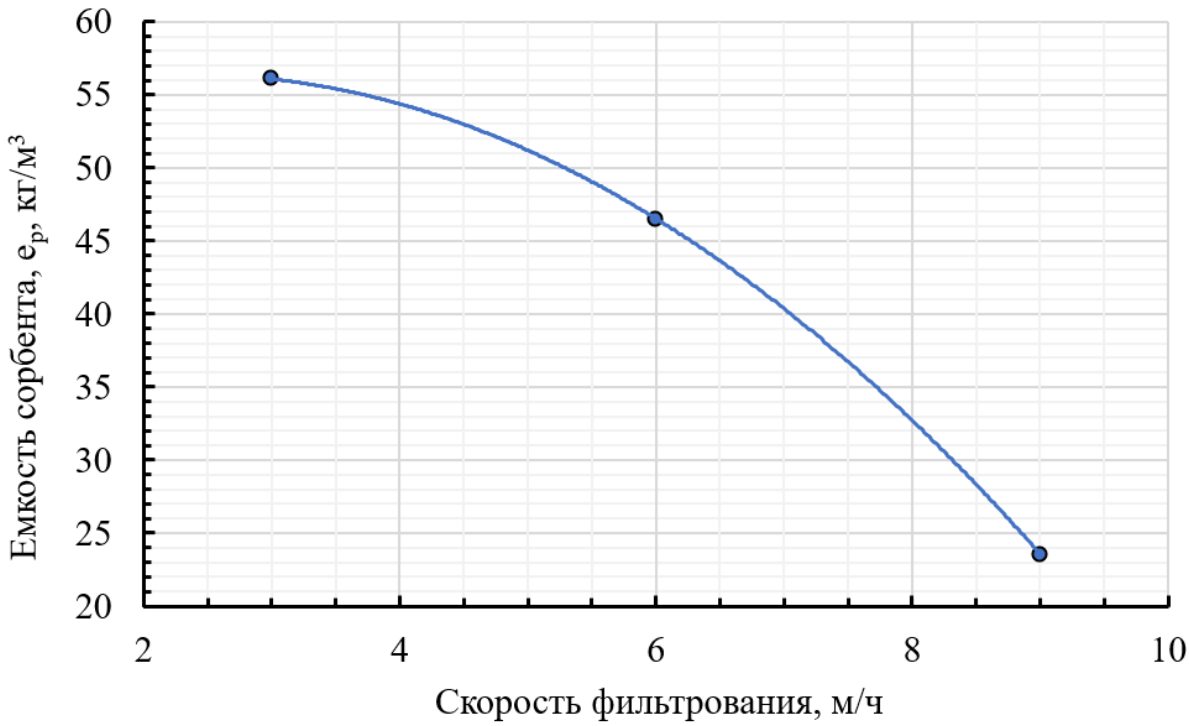


Рисунок 2. **Зависимость емкости активной окиси алюминия по бору от скорости фильтрования воды**

На основании данных, приведенных в таблице, можно сделать вывод о соответствии математической модели проведенным экспериментам, т.к. среднеквадратичная ошибка не превышает 5 %. На основании полученных коэффициентов уравнений, описывающих изменение концентрации бора в фильтрате, были выполнены расчеты материального баланса системы; исходная вода–фильтрат–фильтрующий

материал и опеределены значения сорбционной емкости модифицированной окиси алюминия по бору (рис. 2).

Из графика на рисунке видно, что при увеличении скорости фильтрования воды через слой сорбента – его емкость по бору снижается, что можно объяснить уменьшением времени контакта борсодержащей воды с сорбентом. По результатам проведенных исследований оптимальной скоростью фильтрования можно считать 3,0 м/ч.

ВЫВОДЫ

1. Основной проблемой при использовании подземных водоисточников является повышенное содержание лимитирующих компонентов – в том числе бора, нормируемых СанПиН 2.1.3684-21.
2. Распределение бора в пресных подземных водах носит региональный характер, наибольшей встречаемостью повышенных концентраций B (> 0,5 мг/дм^3) характеризуется Приволжье в границах Волго-Камского артезианского бассейна.
3. Результаты проведенных исследований свидетельствуют о прямой зависимости емкости сорбента от скорости фильтрования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Щербаков А.В. Гидрогеохимические исследования при поисках и разведке бороносных вод. М.: Госгеолтехиздат, 1961. 127 с.
2. Крайнов С.Р. Гидрогеохимический метод поисков месторождений бора (Методическое руководство). М.: Недра, 1964. 210 с.
3. Крайнов С.Р. Геохимия редких элементов в подземных водах (в связи с геохимическими поисками месторождений). М.: Недра, 1973. 296 с.
4. Барышников Г.Я., Слажнева С.С., Сотников П.В. Распространение подземных вод с повышенным содержанием бора в Алтайском крае // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2019. № 1. С. 97–99.

УДК 628.32:22.765

ПРИМЕНЕНИЕ СОЕДИНЕНИЙ КАЛЬЦИЯ ПРИ ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД КОММУНАЛЬНЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Ф.И. Лобанов
ООО «КНТП», г. Москва, Россия

Ежегодно на коммунальных очистных сооружениях городов России образуются миллионы тонн биошлама. Площади, на которых размещаются осадки сточных вод, занимают тысячи гектар и практически полностью заполнены. В статье рассматриваются основные мировые тенденции по использованию биошлама и предлагаются перспективные направления его переработки.

Стоящие на повестке проблемы в первую очередь опираются на ресурсосберегающие и экологически безопасные технологии.

Поступающие на очистные сооружения сточные воды, содержащие продукты жизнедеятельности человека, за счет биологической очистки трансформируются в биошлам, который в настоящее время занимает огромные площади вокруг городов, создавая дискомфортные условия для населения близ лежащих к очистным сооружениям населенных пунктов, и оказывает значительное негативное воздействие на окружающую среду.

Решение проблемы осложняется в первую очередь тем, что, как правило, тариф устанавливается на стоимость механической, биологической, химической очистки сточных вод, а образующийся в результате очистки биошлам остается за кадром, т.е. размещается на свободных площадях, которые катастрофически сокращаются.

Без государственного регулирования с реальным финансовым подкреплением решение проблемы эффективной утилизации биошлама может растянуться на долгие годы.

Естественно, при многообразии различных методов и подходов к утилизации биошлама предполагается сфокусировать внимание на возможность использования биошлама в качестве органо-минерального удобрения или рекультиванта нарушенных земель, что является немаловажным в свете продолжающегося обеднения почв органическими веществами.

Предлагаемые на мировом рынке варианты утилизации осадков, могут быть сведены к следующим методам: использование осадка для производства почвогрунта; утилизация осадка на базе современных термических технологий и, как следствие, получение из отходов вторичных продуктов, пригодных к реализации в строительной отрасли для производства строительных материалов или цемента. Поэтому переработка осадков сточных вод является одной из актуальных, приоритетных задач, направленной на снижение и предотвращение негативного воздействия на объекты окружающей среды. [1]

Проектом Федерального закона о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации предусматривается внедрение наилучших доступных технологий. Осадок сточных вод – это эффективное удобрение, содержащее ценные для почвы органические и питательные вещества, такие, как азот и фосфор.

Как и все органические удобрения, осадок сточных вод содержит микроорганизмы, и некоторые из них могут быть патогенными. В принципе, не продезинфицированный осадок сточных вод может содержать любых возбудителей болезней и паразитов в различных концентрациях. К ним можно отнести в первую очередь:

Бактерии. Среди видов бактерий есть возбудители зооноза, которые могут размножаться в осадке и вызывать заболевания у человека и

животных.

Вирусы. У вирусов срок выживания в окружающей среде зачастую долгий, при этом особенное значение имеют норовирусы, энтеровирусы и ротавирусы.

Паразиты. Наряду с яйцами ленточных гельминтов и круглых червей особенное значение имеют криптоспоридии (Cryptosporidium parvum) и лямблии (Giardia Lamblia).

Микроорганизмы. В осадке могут встречаться бактериальные возбудители кольцевой гнили (Clavibacter michiganensis ssp. Sepedonicus) и рака картофеля (Synchytrium endobioticum).

Чтобы нейтрализовать патогенных возбудителей в осадке сточных вод, его необходимо надлежащим образом обработать.

В настоящее время в странах Западной Европы и США накоплен большой практический опыт эффективного применения соединений кальция ($CaCO_3$, CaO и $Ca(OH)_2$) для дезинфекции и стабилизации осадка сточных вод.

Применение $CaCO_3$ (реагента-регулятора) в технологическом цикле направлено на повышение эффективности очистки муниципальных сточных вод от загрязнений и улучшения качества осадка, образующегося в процессе водоочистки, для его последующей обработки, утилизации и возможного дальнейшего применения в различных областях народного хозяйства. [2]

Для проведения исследований МУП «Водоканал» г. Подольска предоставил одну технологическую линию очистных сооружений, состоящую из аэротенков и вторичных отстойников. Природный минерал на основе карбоната кальция (монокальцита) применялся в качестве реагента-регулятора на этой линии в течение четырех недель путем внесения в трубопровод, ведущий от первичных отстойников в выделенный аэротенк биологической очистки. Три другие линии очистки и отстаивания функционировали в обычном режиме.

Характеристика реагента-регулятора: содержание карбоната кальция не менее 95 %; размер частиц от 3 до 70 мкм; pH 8,5 – 9,5.

Исходя из производительности линии водоочистки около 26 тыс. $м^3$/сут и рекомендуемой дозы реагента 50 г/$м^3$ всего было внесено 37 т реагента по 2 т в каждый рабочий день. Выгрузка реагента производилась непосредственно из упаковки массой 500 кг в открытое отверстие трубопровода со скоростью подачи примерно 1 т за 30 мин.

Согласно установленному расписанию, персонал Водоканала проводил регулярный мониторинг и анализ состава воды и активного ила (включая отбор проб и проведение анализов) в выделенной линии водоочистки и параллельно в линиях, не используемых в исследованиях.

В результате исследований были получены следующие данные. Значения pH в сточных водах во время проведения испытаний были

нейтральные – около 7 – 7,5, что исключало наблюдение буферного эффекта. Соответственно, наблюдалась стабильно высокая щелочность вод на всех линиях водоочистки. Таким образом, степень растворения реагента ожидаемо оказалась довольно низкой – около 10 %. Это подтверждается данными результатов анализов на растворенный кальций (использовался пламенный фотометр JENWAY), которые свидетельствуют о том, что концентрация Са в сточных водах из отстойников увеличилась на 5 – 10 мг/л по сравнению с концентрацией в воде на входе в очистные сооружения.

Немаловажно также, что водоснабжение г. Подольска осуществляется из известнякового водоносного горизонта, поэтому, вероятно, сточные воды также близки к насыщению по отношению к карбонату кальция.

Наиболее существенные улучшения были отмечены в физических свойствах очищаемой воды и активного ила. Так, количество взвешенных веществ в отстойниках выделенной линии значительно снизилось с 18 до 6 мг/л уже после первой недели исследований, и далее поддерживалось ниже предельно допустимых норм (12 мг/л). Иловый индекс в аэротенке экспериментальной линии значительно снизился при применении реагента-регулятора с обычных значений 200 – 250 мл/г до 119 мл/г. Также уменьшился иловый индекс и других, не обработанных реагентом, линий, поскольку в итоге продукт поступил с водой, возвращенной из процесса обезвоживания осадка. Таким образом, иловый индекс был, по меньшей мере, на 26 % ниже, чем в необработанных линиях, как и предусматривалось целью эксперимента. Зольность ила в аэротенке заметно выросла по сравнению с другими в течение периода исследований. Этот эффект был вполне ожидаемым, хотя при столь незначительном количестве растворенного карбоната кальция (около 10 %) могли предполагаться более высокие значения.

Дополнительно можно отметить, что добавление реагента-регулятора позволило остановить биофлотацию – образование шубки плотной пены на поверхности аноксидной зоны аэротенка, связанное с прикреплением легких взвесей ила к всплывающим пузырькам газа. Так, в обработанной реагентом аэротенке, наблюдался только незначительный слой пены, в отличие от соседних аэротенков, покрытых слоем пены биофлотации, сопутствующей процессу денитрификации. По этому визуальному эффекту можно судить о заметном улучшении и нормализации процессов биологической очистки в аэротенке с опытным реагентом.

Исследования по использованию реагента-регулятора в очистке коммунальных сточных вод прошли стабильно, без побочных и нежелательных эффектов. [3]. Невысокое содержание аммонийного азота в сточных водах, высокая щелочность и почти нейтральные значения pH

воды обусловили малое растворение продукта. Тем не менее, выявлено, что применение реагента-регулятора способствовало улучшению процесса биологической очистки в аэротенке за счет подавления биофлотации ила. Продукт может способствовать нормализации работы аэротенка, особенно в зимний период, когда процесс нитрификации менее эффективен, а также весной и осенью при высоких гидравлических нагрузках и риске перелива слоя плотной пены. Основной эффект наблюдался в процессе осаждения хлопьев ила во вторичных отстойниках.

Снижение илового индекса в аэротенке способствовало уменьшению выноса взвешенных веществ на выходе из вторичных отстойников в часы максимального притока. Утяжеление ила во вторичном отстойнике приводит к снижению мутности и количества взвесей, ускоренному осаждению, более эффективному удалению и, в результате, удержанию необходимой дозы активного ила в аэротенках, что в свою очередь приводит к повышению надежности работы биологического блока в стрессовые периоды высокой гидравлической нагрузки. Это также приводит к снижению БПК за счет дозы активного ила и, следовательно, снижению платы за негативное воздействие недоочищенных стоков.

Экономия возможна за счет использования флокулянта, что обусловлено заметным снижением влажности забираемого осадка вторичных отстойников на стадии обезвоживания при илоуплотнении. Качество перемешивания и осаждения смеси ила с осадком также улучшается, так как предотвращается образование водяных линз в илоуплотнителях. Влажность осадка снизилась до 96 – 97 %, что привело к минимизации количества взвешенных веществ в возвращаемой воде. Дополнительно, при более плотном осадке, повышается эффективность его удаления скребками из отстойников.

Для обработки жидкого осадка, не подвергающегося механическому обезвоживанию, используется гашеная известь (известковое молочко) (Ca(OH)2). На последнем этапе обработки осадка возможно его обезвоживание с использованием технологии геотубирования. Дезинфицирующий эффект от подмешивания гашеной извести (известкового молочка) в жидкий осадок основан на повышении уровня pH. Этот уровень вскоре после подмешивания гашеной извести должен быть выше 12; рекомендуемое значение pH – примерно 12,4. Обычно гашеная известь добавляется в жидком виде (в форме суспензии), как известковое молочко в концентрации 10 – 40 весовых процентов. Предпосылкой успешной дезинфекции являются подходящие резервуары со временем выдерживания не менее 24 часов, в которых осадок сточных вод интенсивно перемешивается с гашеной известью. Дозировка должна составлять не менее 0,2 и в отдельных случаях - до 0,4 кг $Ca(OH)_2$/кг массы сухого вещества.

Можно отметить следующие положительные стороны обработки

осадка с применением гашеной извести (известкового молочка):

- очень мелкие частицы извести лучше контактируют с частицами осадка;
- бóльшие поверхности соприкосновения для лучшей реакционной способности и более низкой скорости дозирования (меньше примесей, загрязняющих известь);
- меньшие затраты энергии для гомогенизации с осадком;
- меньший риск осаждения активного вещества в резервуаре для осадка / извести;
- конечный продукт получается без запаха, эффекта окаменелости и соответствующий санитарно-эпидемиологическим требованиям (ГОСТ Р 54535-2011).

К одной из наиболее доступных технологий относится и переработка обезвоженных осадков сточных вод в почвогрунт с использованием оксида кальция (негашеной извести). Технология заключается в том, что обезвоженный кек смешивается с оксидом кальция (негашеной известью) через шнековый смеситель в котором достигается его равномерное перемешивание с известью. После перемешивания в бункер попадает готовый продукт – почвогрунт, который в дальнейшем можно перевозить от цеха механического обезвоживания на площадки временного хранения и там складировать до момента его дальнейшего использования по назначению.

Взаимодействие обезвоженного осадка с оксидом кальция заключается в связывании свободной воды по реакции (1).

$$CaO + H_2O(\text{осадок}) \rightarrow Ca(OH)_2(\text{осадок}) + 15\ \text{Ккал} \qquad (1)$$

При прохождении реакции происходит образование гидроокиси кальция и выделение тепла. В результате происходит полная дезинфекция за счет высокотемпературной обработки осадка и частичный переход гидроокисей металлов из коллоидного состояния в нерастворимые оксиды (2).

$$Me(OH)_2 \xrightarrow{t} MeO + H_2O \qquad (2)$$

Таким образом, образующийся продукт, исходя из состава входящих в него компонентов, может быть отнесен к органо-минеральному раскислителю почв («ОМР-почва»), и с таким названием выведен на потребительский рынок. Получаемый в результате почвогрунт предназначен для формирования растительного слоя при проведении работ по благоустройству придорожного полотна и откосов с целью высева газонных трав, для формирования нарушенных земель, карьеров, полигонов ТБО и полигонов промышленных отходов. Преимущества стабилизации осадков сточных вод негашёной известью очевидны. Известь может быть добавлена в осадки сточных вод на любом этапе их обработки: до загущения, перед обезвоживанием или после обезвоживания. Известь – легкодоступное сильное основание. Её

преимущества заключаются в том, что она: подходит для всех видов осадков; обеспечивает выпадение в осадок токсичных металлов; разрушает болезнетворные вещества; уменьшает химическое потребление кислорода (ХПК), биологическое потребление кислорода (БПК) и содержание взвешенных частиц; устраняет неприятный запах. Осадок сточных вод, обработанный соединениями кальция, может рассматриваться как составная часть рационального замкнутого цикла производства. Обработка осадков сточных вод соединениями кальция в результате позволяет получать унифицированный по влажности и бактериально-эпидемиологическому фону готовый продукт, соответствующий ГОСТ Р 54651-2011, ГОСТ Р 54534-2011, ГОСТ Р 54535-2011, который может эффективно использоваться в качестве удобрения для выращивания технических, кормовых, зерновых и сидеральных культур, в личном подсобном хозяйстве, при выращивании рассады овощных и цветочных культур, под посадки лесохозяйственных культур вдоль дорог, в питомниках лесных и декоративных культур, цветоводстве, для окультуривания истощенных почв, рекультивации нарушенных земель и откосов автомобильных дорог, рекультивации свалок твёрдых бытовых отходов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лобанов Ф.И., Кинебас А.К., Рублевская О.Н. Получение материалов на основе переработанных осадков сточных вод предприятий коммунального хозяйства. // ИННОВАЦИИ № 1 (183), 2014. С. 28–31.
2. Семин М.М., Токарев Н.Р., Явтушенко М.В., Лобанов Ф.И., Чукалина Т.Е., Плеханов А.В. Применение реагента-регулятора на очистных сооружениях МУП «Водоканал» г. Подольска. // Водоснабжение и санитарная техника. 2022 № 2 С. 37–40.
3. Пат. RU 2748331 C1, РФ. МПК C02F3/00, C02F1/28. Способ обработки сточных вод / Лобанов Ф.И., Чукалина Т.Е., Семин М.М., Явтушенко М.В., Токарев Н.Р. // Изобретения. Полезные модели. 2021. Бюллетень № 15.

УДК 658.567.1

МЕТОД ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТХОДА В КАЧЕСТВЕ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

Е.В. Москвичева, А.Г. Тимофеев, Ю.Ю. Юрьев, А.А. Куцуба
Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Россия

В статье представлена малоотходная технология очистки сточных вод от эмульсионных органических загрязнителей для предприятий по производству

железобетонных изделий, позволяющая возвращать очищенную воду в систему оборотного водоснабжения и использовать извлеченную часть загрязнителя в качестве вспомогательного сырья.

Эффективное использование вод промышленными предприятиями возможно при наличии единой системы управления водными ресурсами, включающей водоснабжение, водоотведение, очистку сточных вод, их подготовку для производственного водоснабжения, исключение сброса в водные объекты, дальнейшее использование загрязняющих компонентов в качестве вторичного сырья. Анализируя современное состояние способов очистки сточных вод конкретных цехов, следует отметить, что они различаются, но не позволяют создать замкнутую систему водоснабжения, что привело бы к экономии водных ресурсов и решению выявленной проблемы их реализации. Сточные воды заводов ЖБИ содержат эмульгированные органические соединения (ЭО), удаление которых необоснованно возможно с помощью сложных и дорогостоящих технологий. Поэтому сегодня усиливается актуальность работ по оптимизации существующих, а также по созданию рациональных и ресурсосберегающих технологий очистки сточных вод на ЖБИ.

Для того, чтобы выбрать наиболее эффективный метод очистки сточных вод заводов ЖБИ от эмульгированных органических соединений, а также спрогнозировать состав и свойства осадка, выделившегося в результате очистки тем или иным способом, необходимо определить структуру и концентрацию органических соединений, входящих в состав загрязнителя [1].

Органические продукты, извлеченные из сточных вод пентаном, анализировали на хромато-масс-спектрометре. Для анализа экстракта на хромато-масс-спектрометре использовался прямой ввод продукта в камеру ионизации с температурой 523 ^{o}К, энергия электронного пучка 70 эВ.

Проанализировав химический состав загрязнений, был сделан вывод о целесообразности извлечения органических веществ без изменения их структуры, таким образом, не переводя их в отходы, а использовать в качестве вторичного сырья после предварительного обезвоживания [2].

В лабораторных условиях были апробированы некоторые физико-химические и химические методы очистки.

По результатам предварительных исследований видим, что наиболее эффективными являются методы реагентной очистки, сорбционные и электрохимические. Однако каждый из этих методов имеет ряд недостатков. Метод сорбционной очистки сложен и экономически невыгоден, так как необходима регенерация сорбента, что, в свою очередь ведет к дополнительным затратам на реагенты. К тому же, сорбционный метод не отвечает главному критерию – не позволяет извлекать органические загрязнители без разрушения их структуры [3].

Метод реагентного окисления также не целесообразен с экономической точки зрения, так как включает значительные расходы на реагенты, к тому же метод пожаро- и взрывоопасен, а также, как и метод сорбционной очистки, не позволяет выделять загрязняющие компоненты без изменения их химического состава и структуры – происходит полное окисление органических соединений, входящих в состав загрязнений, до углекислого газа и воды.

К недостаткам электрохимической обработки относятся необходимость подбора анодного материала и основных параметров электрохимической очистки, а также постоянный контроль величины анодного потенциала и самое главное расход электроэнергии. Но только этот метод может позволить извлекать органические вещества с минимальным изменением их структуры [4].

По результатам предварительных лабораторных исследований было выявлено, что основному требованию, предъявляемому к методу очистки сточных вод завода ЖБИ, а именно максимальное выделение загрязняющих веществ с минимальным изменением их структуры, отвечает метод электрохимической очистки. Дальнейшие исследования проводили на основе электрохимического метода, для которого требовалось подобрать и отработать условия обработки водных стоков, не разрушая полностью структуру молекул органического вещества [5].

Сущность метода электрохимической очистки сточных вод заключается в обработке сточной жидкости постоянным электрическим током в аппарате с нерастворимыми, в условиях анодной поляризации, электродами. Для успешного осуществления электрообработки необходим соответствующий подбор материала анода и определенных режимных параметров обработки: плотности тока, времени обработки стоков, а также, температуры и pH среды [6].

Для дальнейших исследований была изучена кинетика реакций, протекающих в приэлектродных пространствах и проанализированы продукты обозначенных реакций. Полученные результаты показали, что в прианодном пространстве протекает деструкция ЭО загрязнений до прогнозируемых структур и лишь незначительная их часть полимеризуется на катоде. Полученные данные позволили сформулировать вероятностный механизм анодной реакции на примере нафтенов (рис.).

На ход процесса восстановления влияет характер заместителя (электроотрицательные и электроположительные группы) и его положение в восстанавливаемой молекуле, материал катода, условия электролиза и, особенно, состав раствора [7].

Органические соединения электролитически восстанавливаются до металлов с высоким перенапряжением (Hg, Pb, Cd и т.д.), что требует значительных энергозатрат и практически нецелесообразно в условиях очистки больших объемов сточных вод. Однако процессы катодного

восстановления, которые происходят в электролизерах, связаны с процессами анодного окисления, но вносят значительный вклад в общий процесс выделения органических соединений.

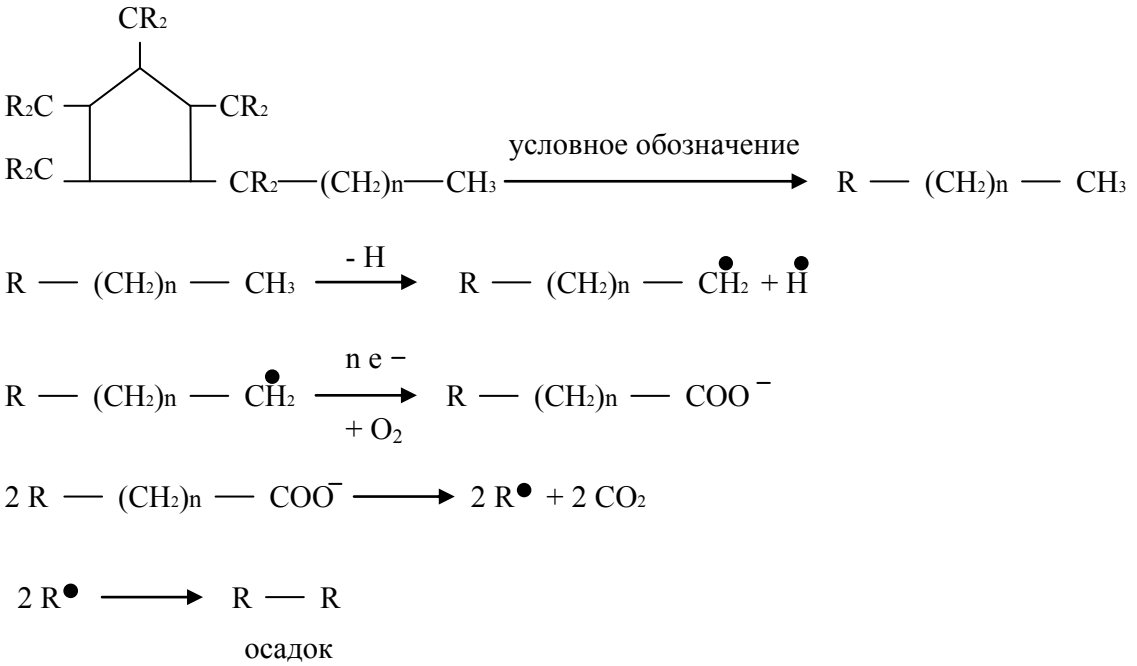


Рисунок. **Предполагаемый механизм протекания электрохимического окисления на анодной поверхности (анод – платина, φ = 2,38 В)**.

Поскольку электрохимическую нейтрализацию сточных вод удобнее всего проводить путем окисления органических соединений на аноде, особое внимание, как уже отмечалось, следует уделить выбору анодных материалов. Основная трудность возникает из-за того, что большинство металлов термодинамически нестабильны в условиях анодной поляризации (происходит их распад или пассивация) [8].

В частности, в процессах электрохимической очистки высокое перенапряжение водорода на катоде и кислорода на аноде влияет на непроизвольное увеличение потребляемой энергии. Из этого следует, что металлы с низким перенапряжением, такие как платина, более подходят в качестве электродного материала, однако из-за экономических факторов для исследования использовались электроды из графита и нержавеющей стали [9].

Поляризационные кривые анодного процесса были получены для определения окислительного потенциала органических соединений, загрязняющих сточные воды с объектов из сборного железобетона, плотности тока и анодного материала. При достижении поляризационных кривых в качестве анодного материала использовалась платина, однако, исходя из соображений повышения эффективности процесса очистки, была исследована возможность использования электродов из графита, поскольку графит является электрохимически активным анодным материалом с

высокой электропроводностью и электродами из нержавеющей стали [10].

Исследования проводились на 8 моделях растворов, содержащих неорганические соединения той же концентрации, что и в реальных сточных водах, и отдельные фракции органических загрязнителей.

Поляризационные кривые пространства вблизи анода были построены с использованием полного потенциостата PI–50-1.1 с программатором и двухкоординатным записывающим устройством PDA 1.

Анализируя полученные анодные поляризационные кривые, мы обнаружили, что наибольшая плотность тока, необходимая для достижения потенциала окисления органических компонентов загрязняющих веществ (моно- и динафтенафталинов) при электроокислении на поверхности анода, составляет 1,0 а/дм^2, наименьшая (при электроокислении динафтеназенов) – 0,5 а/дм^2. Процесс электроокисления происходил при более низких плотностях на платиновом аноде, но использование платиновых анодов экономически нецелесообразно. Так, при использовании графитовых анодов в большинстве случаев наблюдалось наибольшее значение плотности тока, поэтому использовать их в промышленных масштабах нецелесообразно. Лучшим вариантом является использование нерастворимых анодов из нержавеющей стали.

Таким образом было доказано, что водная эмульсия может быть разрушена окислением, и в качестве основного метода был выбран процесс восстановления. Проведен анализ основных факторов, способствующих разрушению водно-органической эмульсии под воздействием постоянного тока. Установлено, что оптимальные условия для очистки сточных вод, состоящих из водно-органической эмульсии постоянным электрическим током: материал электродов – нержавеющая сталь, плотность тока составляет 0,63 а/дм^2; процесс происходит на поверхности электрода при обработке водной среды постоянным электрическим током. Преимущества использования электрохимии:

- преобразование электрической энергии в энергию химических реакций, протекающих в растворе с более высокой скоростью, что необходимо для экономии ресурсов;
- установки для выполнения этих процедур компактны и высокопроизводительны;
- процессы управления и эксплуатации просто автоматизированы;
- в сочетании с другими методами сточные воды очищаются от нескольких примесей различного состава и распределения;
- солевой состав очищенной воды не увеличивается и исключается образование осадков или уменьшается их количество.

ЛИТЕРАТУРА

1. Краснобородько, И.Г. Деструктивная очистка сточных вод от красителей / И. Г. Краснобородько. Л.: Химия, 1988. 192 с.

2. Гордон, Дж. Органическая химия растворов электролитов / Дж. Гордон. – М.: Мир, 1979. 712 с.
3. Половинкин А.П. Основы инженерного творчества // Машиностроение, 1999. С. 368.
4. Фрейман А.И., Макаров В.А., Брыксин И.Е. Потенциостатические методы в коррозионных исследованиях и электрохимической защите. М.: Химия, 1972. С. 358.
5. Ильин В.И., Колесников В.А. Технология электрохимической очистки промышленных сточных вод с водооборотом // Водоснабжение и санитарная техника. 2005. № 2, ч.1. С. 21–24.
6. Юсфин, Ю.С. Промышленность и окружающая среда / Ю.С. Юсфин, Л.И. Леонтьев, П.И. Черноусов. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2002. 459 с.
7. Майоров, С.А. Электрохимическая очистка сточных вод промышленных предприятий [Текст] / С.А. Майоров, Ю.А. Седов, Ю.А. Парахин // Экологическая безопасность в техносфере 2010 г.: материалы Всерос. науч.-техн. интернет-конф. – Орел, 2011. С. 80–83.
8. Москвичева Е.В., Комаров А.Ю., Щелочкова А.А. и др. Водосбережение в коммунальных системах на примере г. Волгограда // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2010. Вып. 2(12).
9. Москвичева Е.В., Москвичева А.В., Игнаткина Д.О., Сидякин П.А., Янукян Э.Г., Щитов Д.В., Ибрагимова З.К. Выявление факторов, разрушающих эмульсии водно-дисперсионных лакокрасочных материалов в сточных водах // Фундаментальные исследования. 2014. № 9–12. С. 2644–2649.
10. Москвичева Е.В., Доскина Э.П., Москвичева А.В., Кузьмина Т.А., Самойленко М.А. Исследование факторов, снижающих эффективность очистки сточных вод на машиностроительных предприятиях // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2014. № 36 (55). С. 206–210.

УДК 628.161

РЕАГЕНТЫ НЕОКИСЛИТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ В ОЧИСТКЕ И ОБЕЗЗАРАЖИВАНИИ ВОДЫ, В ПРЕДОТВРАЩЕНИИ БИООБРАСТАНИЯ И СНИЖЕНИИ КОРРОЗИИ ТРУБОПРОВОДОВ

В.А. Чесноков
ГК «ЭкоМир», г. Москва, Россия

Приведены основные проблемы при очистке воды хозяйственно-питьевого назначения, при использовании в обеззараживании воды хлора и хлорсодержащих реагентов. Показаны преимущества применения серии «УНИКО».

01.03.2021 г. введен новый СанПиН 1.2.3685-21, который существенно повысил требования к параметрам очищенной воды для хозяйственно-питьевых целей, в том числе по таким показателям как хлороформ, содержание железа в питьевой воде.

При наличии финансирования многие водоканалы способны обеспечить требуемое качество воды на очистных сооружениях водоканала. Однако из-за изношенности водопроводных сетей происходит ухудшение качества воды при ее транспортировке по сетям. Вследствие внутренней коррозии трубопроводов происходит образование вторичного железа в воде. Вытекающая из крана водопроводная вода приобретает ржавый цвет, неприятный запах и привкус, становится эпидемически опасной. Коррозия трубопроводов значительно ускоряется при использовании в обеззараживании воды хлора и хлорсодержащих реагентов.

Группе компаний «ЭкоМир» удалось решить проблему биообрастания, образования хлороформа и вторичного железа в воде, снижения коррозии трубопроводов. Специалисты группы компаний совместно с группой российских ученых создали реагенты нового поколения неокислительного действия, не содержащие хлор, разработали технологию их использования в очистке и обеззараживании воды. Основу реагентов составляет биоцидный гуанидиносодержащий полимер (ПГМГ включен в новый СанПиН).

Реагенты серии «УНИКО» разрешены для очистки и обеззараживания воды централизованных систем хозяйственно-питьевого водоснабжения, сточной воды, технической воды предприятий, оборотных вод в системах охлаждения оборудования, в открытых и закрытых системах горячего водоснабжения, воды плавательных бассейнов, для поверхностного обеззараживания, в качестве антисептика, а также для борьбы с Legionella pneumophila, для предотвращения биообрастания и коррозии трубопроводов.

Макромолекулярная природа полимера, наличие в его составе положительно заряженных биоцидных гуанидиновых группировок обуславливают способность полимера образовывать на внутренних поверхностях трубопроводов прочные, не смываемые потоком воды биоцидные пленки. При обработке поверхностей растворами, содержащими ПГМГ, очень быстро (в течение нескольких минут) происходит количественная (на 98 – 100 %) адсорбция ПГМГ из раствора и на поверхности формируется адсорбционная полимерная пленка. Полимерная цепь ПГМГ связывается с поверхностью за счет 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 адсорбционный слой полимера, который придает

поверхности большой положительный заряд и притягивает к себе отрицательно заряженные клетки присутствующих в воде микроорганизмов, после чего макромолекулы полимера вступают во взаимодействие с мембранами клеток микроорганизмов, разрушая их. Адсорбционный слой полимера надежно удерживается на любой поверхности и устойчив к механическим воздействиям, а сам полимер стойкий по времени, не летуч и не разлагается, что и обуславливает его пролонгированное биоцидное действие. Полимерная пленка предотвращает биокоррозию трубопроводов, существенно снижает электрохимическую коррозию внутренней поверхности металлических труб, предохраняя воду от вторичного микробиологического загрязнения и загрязнения продуктами коррозии при ее транспортировке от водоочистной станции к потребителю.

С 2010 года реагенты нового поколения неокислительного действия применяются для очистки и обеззараживания воды на водоканалах России. Первым водоканалом, где были внедрены реагенты нового поколения, стал водоканал г. Череповца. Внедрение реагентов нового поколения позволило: ликвидировать склад хлора, получить качественную питьевую воду по всем физико-химическим показателям и благоприятную по органолептическим свойствам, снизить образование хлороформа в питьевой воде до 0,01 мг/л, обеспечить защиту трубопроводных сетей от биообрастания, снизить коррозию внутренней поверхности трубопроводов, продлить срок службы металлических труб, исключить потребление воды на промывку сетей, исключить образование вторичного железа в воде (содержание вторичного железа снизилось в 9 раз), обеспечить эпидемическую безопасность воды в распределительной сети. Специалистами Роспотребнадзора Вологодской области отмечается, что снижение хлороформа в воде привело к снижению индивидуального канцерогенного риска от употребления воды среди жителей Череповца в 2,5 раза.

Внедрение реагентов неокислительного действия на водоканале г. Череповца не потребовало дополнительных затрат, а напротив, переход на реагенты нового поколения позволил сократить расходы на водоподготовку. Стоимость воды, отпускаемой населению, составляет 22,7 руб./м^3 и это самая низкая стоимость воды в России, получаемой из поверхностных водоисточников.

Специалистами группы компаний «ЭкоМир» накоплен большой опыт в применении реагентов неокислительного действия в очистке и обеззараживании воды. Отработана технология использования реагентов с частичной и полной заменой окислителей на бесхлорные реагенты.

Замена гипохлорида натрия на этапе первичного хлорирования на биоцидный флокулянт серии «УНИКО» позволяет исключить образование

хлороформа в воде. На этапе вторичного хлорирования возможно использование реагентов окислителей.

Введение реагентов нового поколения в РЧВ в дозе 0,08 мг/л по ОДВ (ПГМГ) позволяет обеспечить защиту трубопроводных сетей от биокоррозии, существенно снизить электрохимическую коррозию внутренней поверхности металлических труб.

Таким образом, использование реагентов неокислительного действия в технологии водоподготовки позволяет обеспечить население качественной питьевой водой, отвечающей всем требованиям нового СанПиН. Использование указанных реагентов в транспортировке питьевой воды позволяет исключить биообрастание трубопроводных сетей, снизить внутреннюю коррозию трубопроводов, снизить образование вторичного железа, обеспечить эпидемическую безопасность воды в распределительной сети, исключить потребление воды на промывку сетей и продлить сроки эксплуатации сетей при отсутствии капитальных затрат.

Губернатором Вологодской области господином Кувшинниковым О.А., учеными и специалистами в области водоподготовки отмечается, что технологии, применяемые на Череповецком водоканале, являются самыми эффективными, обеспечивая жителей города лучшей в стране водой. Реагенты нового поколения не оказывают негативного воздействия на природные объекты и территории, на объекты городской среды и водоемы.

Технология очистки воды с использованием реагентов нового поколения включена в утвержденный Минстроем России 01.09.2019 г. «Справочник перспективных технологий водоподготовки и очистки воды с использованием технологий, разработанных организациями оборонно-промышленного комплекса с учетом оценки риска здоровью населения».

УДК 628.166

ПРОИЗВОДСТВО ГИПОХЛОРИТА НАТРИЯ ЭЛЕКТРОЛИЗОМ ПОДЗЕМНОЙ ВОДЫ

И.В. Пчельников, А.С. Пчельникова, Д.В. Антонян
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия
Л.В. Кузьменко
МП «Азовводоканал», г. Азов, Россия

Применение природных вод, содержащих хлориды, позволяет отказаться от покупки поваренной соли, что снижает стоимость готового продукта до 40 %. Однако из-за существенного различия в составе природных вод, особенно в концентрации хлорид-ионов, электролиз минерализованной воды может протекать в неэффективной зоне с большим расходом электроэнергии и низким выходом активного хлора. На территории МП «Азовводоканал» г. Азов Ростовской области расположена

электролизная станция производительностью 500 кг/сут по активному хлору. Сырьем для производства гипохлорита натрия (ГХН) является минерализованная подземная вода. В работе определяли оптимальные условия электролиза подземной воды с целью определения максимального выхода хлора по току при минимальных затратах энергии.

Низкоконцентрированный гипохлорит натрия – препарат для обеззараживания природных и сточных вод, получают электролизом искусственных растворов поваренной соли и природных вод, содержащих хлориды, воды морей и океанов, а также подземной [1]. Применение поваренной соли влечет за собой необходимость хранения и складирования продукта, а также специальной подготовки воды для ее растворения. Использование же природных хлоридсодержащих вод в качестве сырья существенно упрощает схему получения гипохлорита. Применение природных вод, содержащих хлориды, позволяет отказаться от покупки поваренной соли, что снижает стоимость готового продукта до 40 % [2]. Однако из-за существенного различия в составе природных вод, особенно в концентрации хлорид-ионов, электролиз минерализованной воды может протекать в неэффективной зоне с большим расходом электроэнергии и низким выходом активного хлора [1, 3].

На предприятии МП «Азовводоканал» город Азов, Ростовская область вместо искусственного раствора поваренной соли для приготовления гипохлорита натрия применяют подземную минерализованную воду. Источник минерализованной воды – скважины № 2 и № 4 суммарным дебитом 30 м^3/ч и средней концентрацией хлоридов – 6,0 г/дм^3. Скважины расположены на площадке водопроводных очистных сооружений, производительностью 80 тыс. м^3/сут. Производительность электролизной станции составляет 500 кг/сут по активному хлору. Химический состав подземной воды представлен в таблице 1.

Таблица 1. **Химический состав подземной воды скважин № 2 и № 4**

№ п/п	Наименование показателя	Величина показателя	Норматив по СанПиН 2.1.3685-21
1	Водородный показатель	8,07 ед. pH	6,0-9,0 ед. pH
2	Жесткость общая	17,6 °Ж	не более 7,0 °Ж
3	Кальций	140,0 мг/дм^3	не норм.
4	Магний	129,3 мг/дм^3	не норм.
5	Натрий + Калий	3864 мг/дм^3	не норм.
6	Гидрокарбонат	1317,6 мг/дм^3	не норм.
7	Хлориды (Cl^-)	5672 мг/дм^3	не более 350,0 мг/дм^3
8	Сульфаты (SO_4^{2-})	192 мг/дм^3	не более 500,0 мг/дм^3
9	Цветность	193 град.	не более 20 град.
10	Мутность	11,4 мг/дм^3	не более 1,5 мг/дм^3
11	Окисляемость перманганатная	44 мгO_2/дм^3	не более 5,0 мгO_2/дм^3
12	Общая минерализация	11315 мг/дм^3	не более 1000,0 мг/дм^3

Электролизная станция была смонтирована в здании бывшей хлораторной в 2008 г (рис. 1). Рабочий проект электролизной для получения гипохлорита натрия на ОСВ г. Азова разработан ЗАО «НПФ «Юпитер» г. Санкт-Петербург.

Рисунок 1. **Электролизная станция МП «Азовводоканал», производительностью 500 кг/сут по активному хлору**

Электролизная включает в себя следующие узлы и системы:

- резервуары минерализованной воды;
- шесть электролизных установки (одна резервная);
- систему трубопроводов с трубопроводной арматурой;
- систему принудительной вентиляции электролизеров и буферных резервуаров, резервуара раствора соляной кислоты, вытяжного шкафа и резервуаров минерализованной воды;
- системы электроснабжения, автоматики и КИП;
- узел раствора поваренной соли;
- узел кислотной промывки;
- компрессорную установку с ресиверами;
- резервуары воды.

Основные технические показатели объекта представлены в таблице 2.

Таблица 2. **Основные технические показатели электролизной станции**

№ п/п	Наименование показателя	Ед. изм.	Величина
1	Производительность электролизной по активному хлору (а.х.)	кг/ч, (кг/сут)	20,8 (500,0)
2	Потребляемое количество минерализованной воды из скважин	$м^3$/ч	30,0
3	Количество электролизёров	штук	6 (5+1)
4	Установленная мощность	кВт	259,26
5	Потребляемая мощность	кВт	224,42

Основные проектные характеристики электролизёра представлены в

таблице 3.

Таблица 3. **Основные проектные характеристики электролизера**

№ п/п	Наименование	Ед. изм.	Величина
1	Количество электролизеров	штук	6 (5+1)
2	Сила тока, подводимого к электролизеру	А	не более 1600
3	Напряжение на электролизере	В	не более 24
4	Содержание хлоридов в рабочей среде	г/дм^3	6,0
5	Расход рабочей среды	м^3/ч	7,0
6	Производительность по активному хлору	кг/час	4,17
7	Режим работы	непрерывный	
8	Удельные энергозатраты	кВт·ч/кг а.х.	7,0
9	Количество водорода, выделяющегося при электролизе	м^3 на 1 кг а.х.	не более 3,7
10	Количество воздуха необходимое для разбавления водорода до взрывобезопасной концентрации	м^3 на 1 кг а.х.	не более 185

Подземная вода по напорным трубопроводам от скважинного водозабора (№ 2 или № 4) поступает в резервуары минерализованной воды электролизной, которые предназначены для выделения растворенных в воде газов и автоматизации работы скважинных насосов. Выделяющиеся из скважинной воды газы удаляются в атмосферу с помощью постоянно действующей вытяжной вентиляции. Из резервуаров минерализованная вода по двум трубопроводам поступает к электролизерам. Протекающая через электролизеры минерализованная вода подвергается электролизу, в результате которого образуется ГХН заданной концентрации. Концентрация активного хлора в растворе гипохлорита задается изменением силы тока на токоподводах электролизеров. Раствор ГХН, полученный в результате электролиза подземной воды, самотеком поступает в буферные резервуары. Из буферных резервуаров ГХН подается по системе трубопроводов на первичное, вторичное хлорирование и в резервуары минерализованной воды для предотвращения биообрастания.

В процессе электролиза на катодах пакетов электродов происходит нарастание солей жесткости, содержащихся в минерализованной воде. С целью удаления солевых наростов предусмотрена механическая и химическая очистка пакета пластин (кассет). Механическая очистка осуществляется с помощью барботажа кассет сжатым воздухом и мини-мойкой «Керхер», химическая – 2 – 3 % раствором соляной кислоты.

Механическая очистка кассет с помощью барботажа воздухом во время работы электролизёра производится согласно производственному графику (каждые 4 ч). Барботаж кассет электролизера производится путем подачи сжатого воздуха из ресиверов. Промывка электролизеров, буферных резервуаров, насосов и трубопроводов подачи гипохлорита

натрия производится 2 – 3 % раствором соляной кислоты с помощью узла кислотной промывки. Кислотная промывка осуществляется по мере необходимости и периодичность ее устанавливается в процессе эксплуатации. По завершению реакции, полностью нейтрализованная кислота (проверяется лабораторным путём) из ванны электролизёра и из буферного бака сливается в канализацию. Объем смываемых в канализацию отложений (при промывке одного электролизера) – 0,2 ÷ 0,4 кг в сутки. Всего по электролизной 1,0 – 2,0 кг.

Рисунок 2 – **Лабораторная электролизная установка проточного типа**

Актуальным является определение оптимальных технологических параметров прямого электролиза, основанных на установлении зависимости влияния анионного и катионного состава природной воды на производство активного хлора. Согласно классификации природных вод, предложенной профессором О.А. Алекиным, исследуемая подземная вода относится к классу хлоридно-натриевых вод [4]. В рамках работы определяли оптимальные условия для электролиза подземной воды скважин № 2 и № 4 с максимальным выходом хлора по току и минимальными затратами энергии. Исследования проводили в научно-исследовательской лаборатории кафедры «Водное хозяйство, инженерные сети и защита окружающей среды» ЮРГПУ(НПИ) на лабораторной

установке проточного типа (рис. 2). Лабораторная установка состояла из блоков питания KUAIQU SPS-W3010, перистальтических насосов-дозаторов B3-V PER 4-3, двух электролизных ячеек из винипласта, объемом 21 мл каждая; титанового катода и оксидно-иридиево-титанового анода, а также пластиковой емкости с исследуемым раствором, объемом 20 л.

Исследования проводили на постоянном электрическом токе в проточном режиме работы при плотностях тока 10, 50, 100, 200, 500, 800 и 1000 А/м^2, исходной температуре раствора 18 – 22 ºС. Рабочие площади анода и катода составляли по 0,0022 м^2. Диапазон исследуемых расходов варьировали от 0,36 до 4,8 л/ч, что соответствовало времени электролиза 3,5 – 0,26 мин. Величина pH при электролизе находилось в пределах от 8,8 до 9,5 ед. pH.

В результате проведенных исследований были получены зависимости, характеризующие параметры прямого электролиза подземной минерализованной воды. На рисунках 3 и 4 представлены зависимости концентрации активного хлора от времени электролиза на всех исследуемых плотностях тока. Максимальная концентрация активного хлора 2,64 г/дм^3 была получена при плотности тока 1000 А/м^2 и времени электролиза 2,6 мин. Минимальная концентрация активного хлора 0,003 г/дм^3 получена при плотности тока 10 А/м^2 и времени электролиза 0,26 мин.

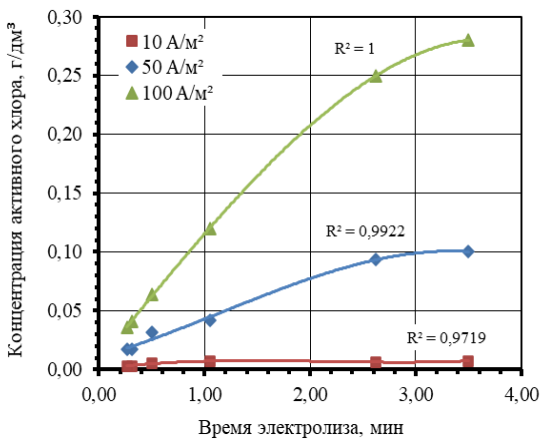


Рисунок 3. **Зависимость концентрации активного хлора от времени электролиза при плотностях тока 10, 50 и 100 А/м^2**

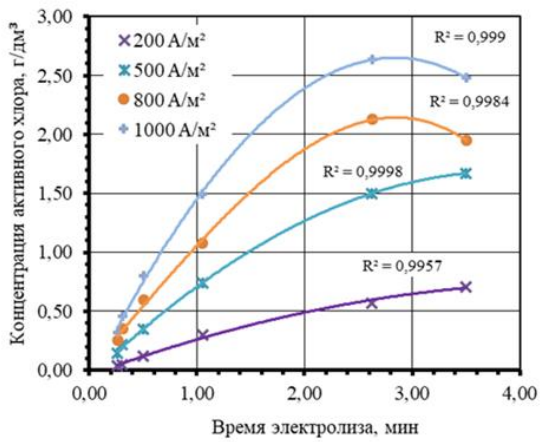


Рисунок 4. **Зависимость концентрации активного хлора от времени электролиза при плотностях тока 200, 500, 800 и 1000 А/м^2**

Плотность тока на электродах должна быть i ≤ 1000 А/м^2 при концентрации хлоридов в рабочем растворе 28 – 30 г/л, при концентрации хлоридов 150 – 300 мг/л плотность тока не более 100 А/м^2. Для определения оптимальной плотности тока на исследуемом растворе с концентрацией хлоридов 5,5 – 6,0 г/дм^3 (табл. 1) оценивали выход хлора по току.

Выход хлора по току, η, %, рассчитывали по формуле:

$$\eta = \frac{Q_Т}{Q_Д} \cdot 100,$$

где $Q_т$ – теоретическое количество электричества, необходимое на проведение электролиза по закону Фарадея, А·ч; $Q_Д$ – действительные затраты электроэнергии, А·ч.

Теоретическое количество электричества определяли по формуле:

$$Q_Т = \frac{C_{AX} \cdot q \cdot \tau}{k_э \cdot n},$$

где C_{AX} – концентрация активного хлора в электролите, г/дм^3; q – расход электролита, дм^3/ч; $k_э$ – эквивалент хлора $k_э = 1{,}32$ г/(А·ч); τ – продолжительность работы электролизера, ч; n – число ячеек в электролизере (секций), шт.

Действительные затраты электроэнергии рассчитывали по формуле:

$$Q_Д = I \cdot \tau.$$

где I – сила тока, А.

Фактическое количество вещества, генерируемого при электролизе, меньше теоретического, так как часть электроэнергии затрачивается на побочные реакции электролиза и разогрев электролита. Поэтому при расчетах учитывается выход хлора по току η < 1, величина которого определяется экспериментально. Для получения экспериментальных показателей нами были построены графики, характеризующие электролиз с «качественной стороны» в осях: выход хлора по току – время электролиза (рис. 5 и 6).

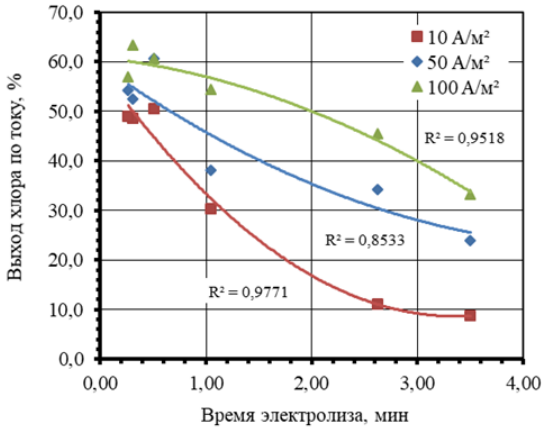


Рисунок 5. **Зависимость выхода хлора по току от времени электролиза при плотностях тока 10, 50 и 100 А/м^2**

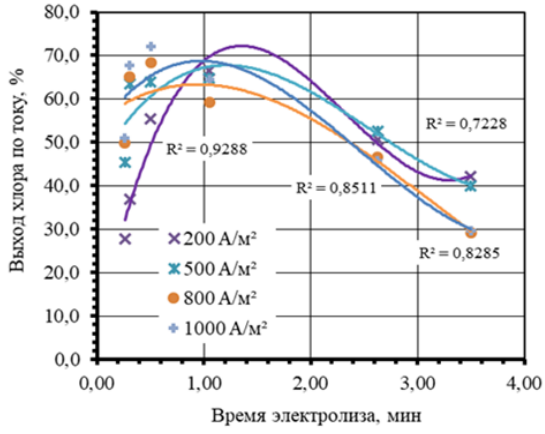


Рисунок 6. **Зависимость выхода хлора по току от времени электролиза при плотностях тока 200, 500, 800 и 1000 А/м^2**

Из полученных зависимостей (рис. 5, 6) видно, что с увеличением времени электролиза (уменьшением расхода электролита) выход хлора по току непрерывно снижается, например, при плотности тока 100 А/м^2

(рис. 5) выход хлора по току снизился на 27 % (с 60 % до 33 % соответственно при времени электролиза 0,3 мин и 3,5 мин). Максимальный выход хлора по току 50 % при плотности тока 10 А/м^2, времени электролиза 0,5 мин; 52 % – 50 А/м^2, времени электролиза 0,3 мин; 63 % – 100 А/м^2, времени электролиза 0,3 мин; 64,5 % – 200 и 500 А/м^2 время электролиза 1 мин; 68,5 % – 800 А/м^2 время электролиза 0,5 мин; 72 % – 1000 А/м^2 время электролиза 0,5 мин. Таким образом оптимальный рабочий диапазон находится в пределах времени электролиза 0,5 – 1,5 мин, что соответствует выходу хлора по току 60 – 70 % при плотностях тока 200 – 1000 А/м^2 и достигается при концентрациях активного хлора 0,5 – 2,0 г/дм^3. При плотностях тока 10, 50 и 100 А/м^2 выход хлора 50 – 60 % при времени электролиза 0,3 – 0,5 мин и концентрации 0,003 – 0,04 г/дм^3.

Величина падения напряжения на электродах может быть получена опытным путем для конкретного водного раствора. Ширина межэлектродного зазора принимается минимальной 1 – 3 мм. Прямой электролиз подземной воды с минерализацией 11,3 г/м^3 и концентрацией хлоридов 5,5 – 6,0 г/дм^3 протекал с напряжением (рис. 7): 5,6 В – при плотности тока 1000 А/м^2; 4,97 В – 800 А/м^2; 4,29 В – 500 А/м^2; 3,51 В – 200 А/м^2; 3,2 В – 100 А/м^2; 2,99 В – 50 А/м^2; 2,67 В – 10 А/м^2.

При электролизе хлоридных растворов эффективность работы возможно характеризовать не только сравнением выхода хлора по току, но и удельных затрат электроэнергии на килограмм вырабатываемого активного хлора. Для оценки расхода электроэнергии, отнесенного к производству 1 кг активного хлора, была построена зависимость в координатах: «концентрация активного хлора – затраты электроэнергии» (рис. 8, 9).

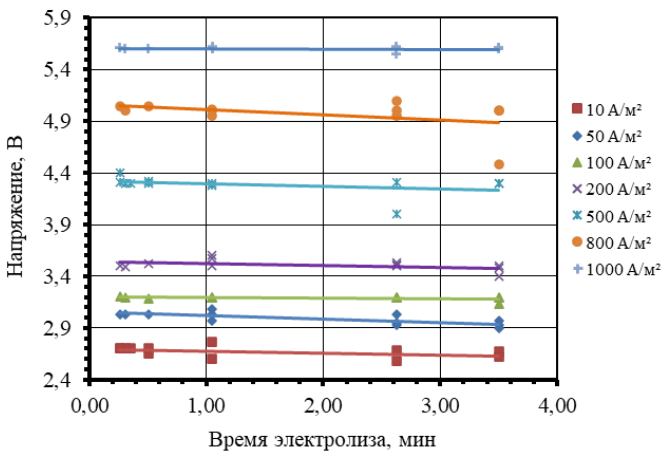


Рисунок 7. **Изменение напряжения от времени электролиза при плотностях тока, А/м^2: 10, 50, 100, 200, 500, 800 и 1000**

Удельные затраты электроэнергии W, кВт·ч/кг, возможно определить по формуле:

$$W = \frac{I \cdot U \cdot \tau}{k_э \cdot I \cdot \tau \cdot n \cdot \eta}.$$

Из графиков (рис. 8, 9) следует, что концентрация активного хлора, отвечающая максимальному выходу хлора по току и равная 0,8 – 1,5 г/дм^3, для плотностей тока 500, 800 и 1000 А/м^2 достигается при минимальных

удельных энергозатратах 5,0 – 7,0 кВт·ч на кг получаемого активного продукта. Получение гипохлорита с концентрацией 1,7 – 2,6 г/дм^3 требует больших затрат электроэнергии 8,0 – 14 кВт·ч/кг на тех же плотностях тока. При плотности тока 100 А/м^2 удельные затраты энергии находятся в пределах 3,8 – 7,3 кВт·ч/кг; 50 А/м^2 – 3,8 – 9,3 кВт·ч/кг; 10 А/м^2 – 4,1 – 23,0 кВт·ч/кг.

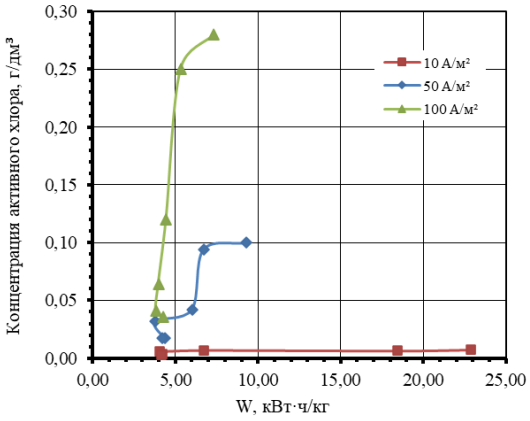


Рисунок 8. **Удельные затраты электроэнергии на получение 1 кг активного хлора от концентрации активного хлора при плотностях тока 10, 50 и 100 А/м^2**

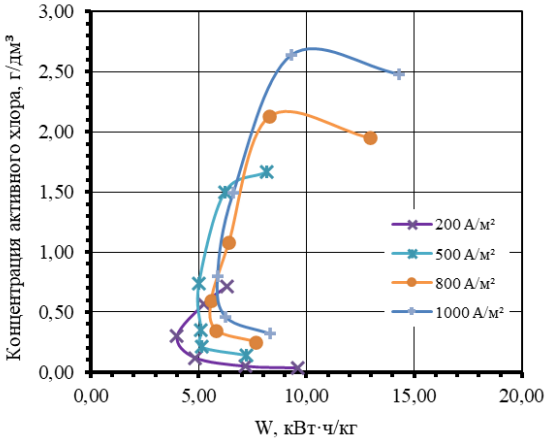


Рисунок 9. **Удельные затраты электроэнергии на получение 1 кг активного хлора от концентрации активного хлора при плотностях тока 200, 500, 800 и 1000 А/м^2**

ВЫВОДЫ

1. Оптимальный рабочий диапазон находится в пределах времени электролиза 0,5 – 1,5 мин, что соответствует выходу хлора по току 60 – 70 % при плотностях тока 200 – 1000 А/м^2 и достигается при концентрациях активного хлора 0,5 – 2,0 г/дм^3. При плотностях тока 10, 50 и 100 А/м^2 выход хлора 50 – 60 % при времени электролиза 0,3 – 0,5 мин и концентрации 0,003 – 0,04 г/дм^3.
2. Прямой электролиз подземной воды с минерализацией 11,3 г/м^3 и концентрацией хлоридов 5,5 – 6,0 г/дм^3 протекал с напряжением: 5,6 В – при плотности тока 1000 А/м^2; 4,97 В – 800 А/м^2; 4,29 В – 500 А/м^2; 3,51 В – 200 А/м^2; 3,2 В – 100 А/м^2; 2,99 В – 50 А/м^2; 2,67 В – 10 А/м^2.
3. Концентрация активного хлора, отвечающая максимальному выходу хлора по току и равная 0,8 – 1,5 г/дм^3, для плотностей тока 500, 800 и 1000 А/м^2 достигается при минимальных удельных энергозатратах 5,0 – 7,0 кВт·ч на кг получаемого активного продукта. Получение гипохлорита с концентрацией 1,7 – 2,6 г/дм^3 требует больших затрат электроэнергии 8,0 – 14 кВт·ч/кг на тех же плотностях тока. При плотности тока 100 А/м^2 удельные затраты энергии находятся в пределах 3,8 – 7,3 кВт·ч/кг; 50 А/м^2 – 3,8 – 9,3 кВт·ч/кг; 10 А/м^2 – 4,1 – 23,0 кВт·ч/кг.
4. Необходимо выполнить технико-экономическое сравнение

применяемого метода обеззараживания с технологиями обеззараживания воды хлором, низкоконцентрированным гипохлоритом натрия, получаемым электролизом поваренной соли и высококонцентрированным гипохлоритом натрия.

5. Результаты представленных лабораторных исследований должны быть сопоставлены с данными, полученными в производственных условиях.

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. Фесенко Л.Н., Игнатенко С.И., Пчельников И.В., Фесенко А.Л. К выбору режима электролиза морской воды при производстве гипохлорита натрия // Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2014»: материалы VIII Межд. науч.-практ. конф.; Красная Поляна, г. Сочи, 23–24 октября 2014 г. / Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т. (НПИ). – Новочеркасск: Лик, 2014. С 237–244.
3. 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. науч.-практ. конф., Саратов, 09–10 ноября 2017 г. / Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И.Вавилова. Саратов: Амирит, 2017. С. 208–210.
4. Общая гидрохимия, (Химия природных вод) / О.А. Алекин. – Л.: изд-во и 2-я типолитогр. Гидрометеоиздата, 1948. 208 с.

II. ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ И ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СООРУЖЕНИЙ ВОДОПОДГОТОВКИ

УДК 628.16.065.2 : 546.141

ИЗМЕНЕНИЕ ФОНОВЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ БРОМИДОВ ПРИ ОЧИСТКЕ ДОНСКОЙ ВОДЫ

А.С. Кулаков, Л.Н. Фесенко
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия

В работе представлены значения концентраций бромидов в донской воде и результаты экспериментальных исследований по изменению их фоновых значений в технологии водоочистки

Наличие токсичных веществ в питьевой воде может быть вызвано результатом взаимодействия компонентов природных растворов с применяемыми реагентами на водоочистных станциях. Особое внимание уделяется присутствию летучих хлорорганических соединений (ЛГС), которые образуются из органических и минеральных веществ природной воды после ее хлорирования – обязательного технологического приема. Особенно следует обратить внимание на то, что среди минеральных компонентов присутствуют соли бромоводородной кислоты (HBr) – бромиды (Br^-), которые под действием окислителя, например, хлорсодержащего реагента, образуют ряд бромсодержащих ЛГС: дихлорбромметан – $CHCl_2Br$; хлордибромметан - $CHClBr_2$; бромоформ – $CHBr_3$. Для них установлены соответственно следующие значения предельно допустимых концентраций (ПДК) в питьевой воде, мг/дм^3: 0,03; 0,03; 0,1.

При наличии в природной воде бромидов после первичного хлорирования наблюдается образование ЛГС с концентрациями выше

установленных нормативов в 2 – 8 раз [1]. В ряде зарубежных и отечественных исследований подчеркивается, что как бромиды, так и броморганические соединения на водопроводных очистных сооружениях (ВОС) не задерживаются, а более того, достигают максимального значения в резервуаре чистой воды. Согласно [2] содержание бромидов нормируется, для них ПДК – 0,2 мг/дм^3.

Для донской воды характерно присутствие бромидов. Еще в 1953 г. О.А. Алекин [3] отмечал этот факт и на тот момент содержание бромидов в р. Дон составляло 0,15 – 0,16 мг/дм^3. По данным [4] концентрация бромидов в воде от Цимлянского водохранилища до устьев р. Дон находится в пределах 0,2 – 0,4 мг/дм^3. Многолетние наблюдения, выполняемые ООО НПП «ЭКОФЕС», выявили, что присутствие брома в донской воде является постоянным природным фактором. Его источником могут быть подземные воды с высокой минерализацией (до 400 мг/дм^3), содержащие до 500 – 600 мг/дм^3 бромидов в почвообразующих породах и почвенном покрове (до $n \cdot 10^{-3}$%) с благоприятными климатическими условиями, позволяющими его фиксировать.

В статье приведены результаты предварительных исследований по изменению фоновых концентраций бромидов в технологической схеме ВОС.

Определяли концентрацию бромидов в гидрохимических створах вблизи уреза воды и по глубине рек Дон и Северского Донца, в контрольных точках очистных сооружений. Отбор проб проводился в емкости объемом 1,5 л на расстоянии 3 – 5 м от уреза воды. Вода не консервировалась.

Глубинный отбор воды вели при помощи батометра. Концентрацию бромидов определяли по методике [5], достаточно чувствительной, с хорошо воспроизводимыми результатами. Предел обнаружения исследуемого иона – 1 мкг.

Для исследования воды на ВОС-1 г. Новочеркасска пробы отбирались по сезонам года в контрольных точках очистных сооружений. Также производился отбор проб с периодичность 1,5 ч. Точки отбора проб на ВОС-1 г. Новочеркасска показаны на рисунке 1.

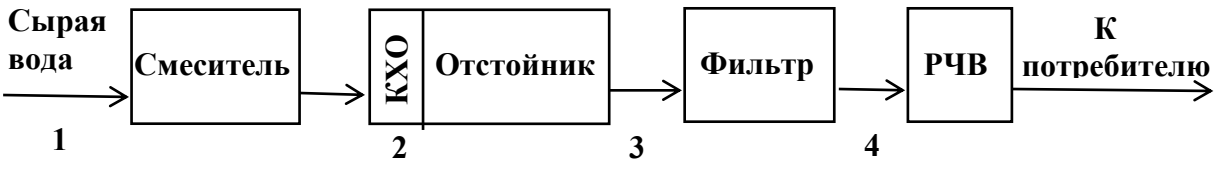


Рисунок 1. **Точки отбора проб на ВОС-1 г. Новочеркасска**

Результаты определения количества бромидов фотометрическим методом в пробах, взятых вблизи уреза воды и по глубине створа реки, приведены соответственно в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. **Содержание бромидов в воде нижнего течения реки Дон и ее притоков**

№ п/п	Наименование водного объекта, пункта	Местоположение створа наблюдений	Дата отбора проб	Концентрация бромидов, мг/дм^3
1	р. Дон, г. Константиновск	2 км ниже города	15.10.2021 18.05.2022	0,200 0,075
2	р. Дон, г. Семикаракорск	1 км выше города	15.10.2021 18.05.2022	0,210 0,075
3	р. Дон, ст. Раздорская	0,2 км ниже станицы	15.10.2021 18.05.2022	0,260 0,090
4	р. Дон, р.п. Багаевский	15 км ниже поселка	15.10.2021 18.05.2022	0,210 0,105
5	р. Дон, г. Ростов-на-Дону	1 км выше впадения пр. Аксай; 0,5 км ниже устья р. Темерник	18.05.2021 18.05.2022	0,105 0,100
6	р. Дон, г. Азов	1 км выше города, у водозабора	12.11.2021 18.05.2022	0,270 0,092
7	рукав Дон, х. Колузаево		12.11.2021 18.05.2022	0,260 0,080
8	рукав Старый Дон, г. Азов	0,5 км ниже г. Азова, водосброс	08.12.2021	0,340
9	рукав Большая Каланча, х. Дугино		18.05.2022	0,100
10	р. Северский Донец, х. Хрящевский		01.11.2021	0,310
11	р. Северский Донец, х. Поповка		18.05.2022	0,100

Таблица 2. **Содержание бромидов на различных глубинах отбора проб**

Наименование водного объекта, пункта	Местоположение створа наблюдений	Дата отбора проб	Глубина отбора проб, м	Концентрация бромидов, мг/дм^3
р. Дон, г. Ростов-на-Дону	0,5 км ниже сброса сточных вод ОАО «ПО Водоканал»	18.05.22	поверхность 0,1 0,5 0,9 дно	0,100 0,090 0,090 0,075 0,100
Рукав Старый Дон, г. Азов	0,5 км ниже г. Азова, водосброс	18.05.22	поверхность 0,1 0,5 0,9 дно	0,090 0,080 0,090 0,100 0,085

За период с октября 2021 г. по май 2022 г. содержание бромидов в воде Нижнего Дона изменялось в пределах $0{,}075 \div 0{,}340$ мг/дм^3 (максимальное превышение ПДК в 1,7 раза). Содержание бромидов на различных глубинах отбора проб существенно не меняется, что говорит о

равномерном нахождении бромидов в толще воды.

Были проведены лабораторные исследования по содержанию бромидов в обрабатываемой воде ВОС-1 г. Новочеркасска в зависимости от точки отбора проб по периодам года. Результаты исследований представлены на рисунках 2–5.

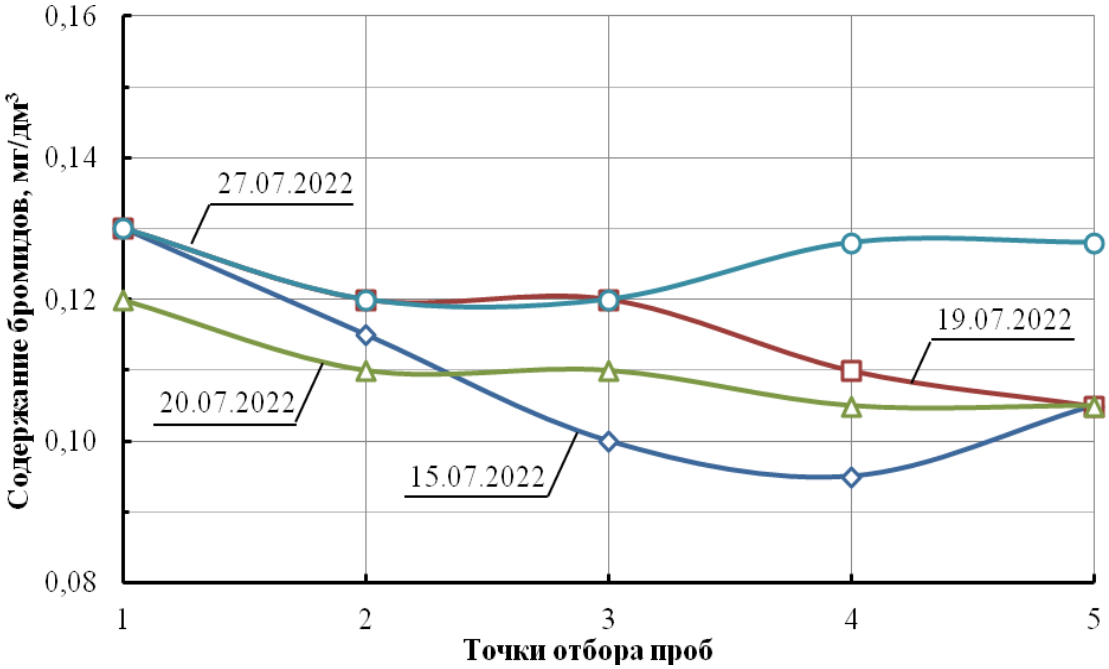


Рисунок 2. **График изменения концентрации бромидов в обрабатываемой воде в летний период 2022 г в зависимости от точки отбора проб:**
1 – исходная вода (до смесителя); 2 – камера реакции; 3 – после отстойников; 4 – после фильтров; 5 – резервуар чистой воды

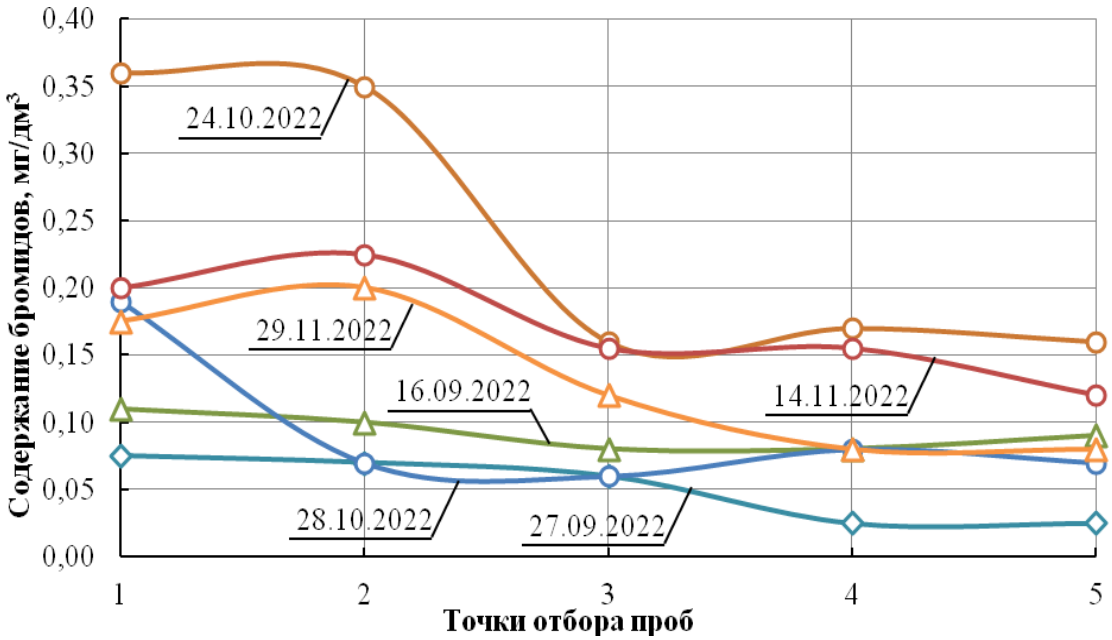


Рисунок 3. **График изменения концентрации бромидов в обрабатываемой воде в осенний период 2022 г в зависимости от точки отбора проб:**
1 – исходная вода (до смесителя); 2 – камера реакции; 3 – после отстойников; 4 – после фильтров; 5 – резервуар чистой воды

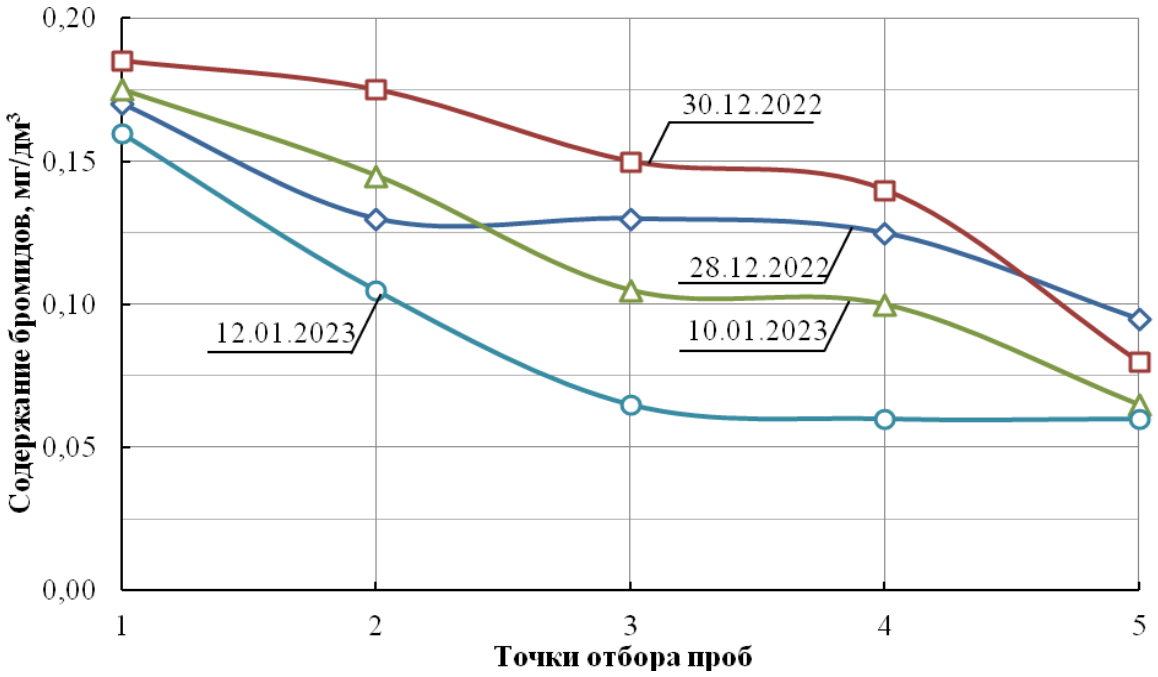


Рисунок 4. **График изменения концентрации бромидов в обрабатываемой воде в зимний период 2022-2023 гг. в зависимости от точки отбора проб:**
1 – исходная вода (до смесителя); 2 – камера реакции; 3 – после отстойников; 4 – после фильтров; 5 – резервуар чистой воды

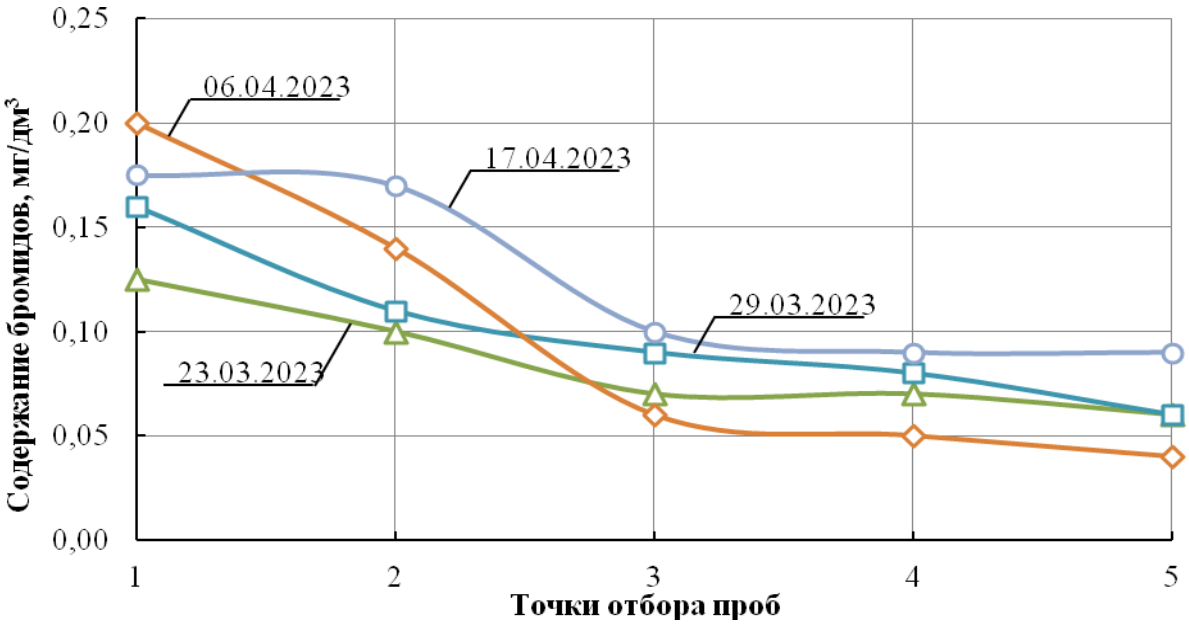


Рисунок 5. **График изменения концентрации бромидов в обрабатываемой воде в весенний период 2023 г. в зависимости от точки отбора проб:**
1 – исходная вода (до смесителя); 2 – камера реакции; 3 – после отстойников; 4 – после фильтров; 5 – резервуар чистой воды

Результаты, представленные на рисунках 2–5, показали, что отмечается общая тенденция снижения концентрации бромидов по этапам

прохождения воды по очистным сооружениям ВОС-1 г. Новочеркасска. Так, содержание бромидов в процессе очистки по сезонам года уменьшилось на 15 : 33 : 57 : 62 % соответственно в летний, осенний, зимний, весенний периоды. Наилучший эффект очистки достигается в весенний период.

Концентрация бромидов в летний период на входе в очистные сооружения колеблется в пределах 0,120 ÷ 0,130 мг/дм^3, в РЧВ составляет 0,105 ÷ 0,128 мг/дм^3. В осенний период концентрация бромидов на входе в очистные сооружения составляет 0,075 ÷ 0,360 мг/дм^3, в РЧВ – 0,030 ÷ 0,160 мг/дм^3. В зимний период на входе в очистные сооружения 0,160 ÷ 0,190 мг/дм^3, в РЧВ 0,060 ÷ 0,090 мг/дм^3. В весенний период на входе в очистные сооружения концентрация бромидов находится в пределах 0,125 ÷ 0,200 мг/дм^3, в РЧВ 0,040 ÷ 0,090 мг/дм^3.

ВЫВОДЫ

1. Отмечено присутствие бромидов в воде от Цимлянского водохранилища до устьев Дона в пределах 0,2 – 0,4 мг/дм^3, ПДК бромидов в питьевой воде – 0,2 мг/дм^3.

2. Установлено, что снижения концентрации бромидов в воде возможно добиться коагуляцией с предварительной обработкой воды окислителем – гипохлоритом натрия, что было установлено при эксплуатации ВОС-1 г. Новочеркасска.

ЛИТЕРАТУРА

1. Педашенко Д.Д., Божко Л.Н., Скрябин А.Ю. и др. Влияние обработки донской воды хлорреагентами на образование летучих хлорорганических соединений // Водоснабжение и санитарная техника, 2009, № 9. С. 58–62.
2. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2002. 103 с.
3. Алекин О.А. Основы гидрохимии. Л., Гидрометеоиздат, 1970. С. 69–70.
4. Фесенко Л.Н., Драй О.И. Снижение фоновой концентрации бромидов в воде методом коагуляции с предварительным хлорированием // «ТЕХНОВОД-2012»: материалы VII Межд. науч.-практ. конф.; г. Санкт-Петербург, 18–21 апр. 2012 г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). Новочеркасск: Лик, 2012. С. 51–54.
5. Кочеткова Т.М., Новикова Т.М. Определение микроколичеств бромидов в воде // Химия и технология воды, 1981, Т. 3, № 1.

УДК 628.16

ВЫБОР СХЕМ ОБРАБОТКИ ПРОМЫВНЫХ ВОД СКОРЫХ ФИЛЬТРОВ И ОТСТОЙНИКОВ

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

В работе предлагается новый подход к формированию схем обработки промывных вод скорых фильтров и отстойников. Представлены варианты схем.

Инженерно-технический персонал станций водоподготовки в непростой экономической ситуации и экологическими проблемами с поверхностными источниками водоснабжения все чаще стал задумываться над внедрением в практику ресурсосберегающих решений, рациональным природопользованием. Не открою большой тайны, что основное количество воды, используемое на собственные нужды станции, приходится на промывку скорых фильтров (контактных осветлителей) и удаление осадка из отстойных сооружений. Кроме того на очистку значительного объема воды, потребляемого на собственные нужды, образуется эквивалентный объем загрязненных сточных (промывных, сбросных) вод. Сбросные воды содержат взвешенные вещества (в среднем 50 – 150 г/м^3 для фильтров и 5000 – 15000 г/м^3 для отстойников), остаточные концентрации коагулятов (флокулянтов) и, в некоторых случаях, патогенную микрофлору и простейших. Технологические решения по обработке промывных вод скорых фильтров и сбросных вод отстойников разрабатывались В.Г. Водиным, Н.Т. Лубочниковым, В.Л. Драгинским, В.А. Клячко, М.И. Урванцевой, В.М. Любарским, В.А. Лысовым, Л.И. Нечаевой.

Исследования, выполненные на кафедре «Водоснабжение и водоотведение» ФГБОУ ВО ДГТУ, их обобщение и систематизация привели к мнению о методически неверном пути решения вопроса обработки промывных (сбросных вод) без увязки с их дальнейшей утилизацией. Именно направление утилизации следует рассматривать как отправную точку разработки схем обработки сбросных вод. В зависимости от направления утилизации устанавливаются качественные характеристики осадков и воды после их обработки, предъявляются требования к методам очистки, использованию методов естественного или механического обезвоживания осадка. Нами определены следующие направления утилизации промывных вод скорых фильтров:

- возврат в основную схему водоподготовки (в голову сооружений, перед фильтрами);
- использование для промывки контактных осветлителей;
- использование для полива сельскохозяйственных культур;

- техническое водоснабжение;
- поливомоечные нужды;
- очистка до требований к питьевой воде.

Осадок отстойников и сооружений обработки промывных вод скорых фильтров нами предлагается утилизировать:

- на станции водоподготовки в качестве замутнителя;
- в производстве строительных материалов;
- в производстве почвогрунта или рекультивации почв;
- накоплением в шламонакопители с последующим использованием его под строительство.

В литературе представлены также способы утилизации осадка: в качестве реагента для обработки сточных вод; в качестве сорбента производства гипса [1] и т.п. На данный момент эти технологии не вышли за рамки лабораторных или полупромышленных экспериментов, т.к. экономически не оправданы в промышленном масштабе.

Нами разработаны сооружения для обработки промывных вод скорых фильтров, позволяющие реализовывать в них (с минимальными изменениями) реагентное, безреагентное осветление или использовать их в качестве исключительно усреднителей [2–3]. Сооружения оборудованы собственными насосными станциями с погружными насосами или насосами сухой установки, имеют системы удаления осадка и рассредоточенного сбора воды, имеют возможность полной автоматизации.

Наиболее распространенными в практике приемами обработки водопроводных осадков является их естественная сушка на специальных площадках и перемешивание с предварительной обработкой осадков флокулянтами или известью с последующим обезвоживанием на фильтр-прессах, центрпрессах, центрифугах. Нами предложен способ интенсификации обезвоживания осадка в естественных условиях с использованием погруженных в него капиллярнопористых материалов. Эффект ускорения обезвоживания достигается за счёт подъема воды по открытым порам выше уровня осадка и увеличения площади испарения (сушки). Разработаны конструкции сооружений обезвоживания осадка в естественных условиях открытого и закрытого типов [4–5]. Эксперименты показывают, что уменьшение времени обезвоживания до расчетной влажности происходит до трех раз в сравнении с сооружениями без капиллярных элементов (патронов).

Основываясь на представленных выше направлениях утилизации сбросных вод скорых фильтров и отстойников, полученных нами закономерностях реагентной и безреагентной обработки, а также разработанных конструкциях сооружений, предлагаются к использованию в практике проектирования следующие принципиальные технологические схемы (рис. 1–3) предусматривающие:

- использование (утилизация) твердой фазы осадка и промывной воды скорых фильтров в качестве замутнителя;
- утилизацию осадка в строительных материалах или в почво-грунте;
- складирование и обезвоживание осадка в шламонакопителе.

Схема 1. Схема с использованием (утилизацией) твердой фазы осадка и промывной воды скорых фильтров в качестве замутнителя (рис. 1). Цель применения: снижение количества вводимого реагента с повышением качества воды в резервуарах чистой воды как по показателям мутность и цветность, так и по остаточному содержанию реагента. Актуальна такая схема на источниках водоснабжения с постоянной или с длительным в течение года периодом низкой мутности воды. Обязательным для данной схемы является наличие вихревого или механического смесителя с расчетным градиентом скорости, обеспечивающим поддержание вводимой суспензии (обезвоженного осадка) во взвешенном состоянии. При этом вариантами (в зависимости от качества воды) могут быть: добавление в смеситель (или перед ним) неосветленной воды; добавление неосветленной промывной воды с введенным в нее дополнительным количеством осадка в виде суспензии; очистка промывной воды до требуемого качества с последующим использованием на полив или технические нужды, а замутнитель в виде суспензии изготавливается из высушенного осадка. В схеме возможно применение как сооружений по естественному обезвоживанию осадка (вариант *а*), так и механическому обезвоживанию (вариант *б*). Избыток твердой фазы осадка отправляется на утилизацию, а надосадочная вода направляется в сооружения повторного использования промывных вод скорых фильтров для смешения с промывной водой. Фугат следует сбрасывать в промканализацию.

Схема 2. Схема утилизации осадка в строительных материалах или в почво-грунте (рис. 2). Цель применения: снижение негативного воздействия станции водоподготовки на экологическую ситуацию в месте ее расположения, получение дополнительного долгосрочного экономического эффекта от продажи продуктов из твердой фазы осадка. На возможность использования осадка водопроводных станций в составе строительных материалов или почво-грунтов указывается во многих работах российских и иностранных исследователей [6–8]. Нами получены результаты экспериментов по утилизации осадков в составе почвогрунта – состав сооружений основной схемы водоподготовки схемой обработки промывных вод или обработки осадка не лимитируются. Как и в предыдущей схеме, возможно использование естественной сушки осадка (вариант *а*) и механического обезвоживания (вариант *б*).

Промывная вода в смеси с надосадочной может осветляться в сооружении повторного использования, либо подаваться в смеситель без осветления. Осветление по аналогии с предыдущей схемой можно

проводить до требуемого качества с последующим использованием на полив, технические нужды или по требованиям для возврата в основной поток. Применение схемы с естественным обезвоживанием оправдано при утилизации осадка в почвогрунт или в строительные материалы, а механическое обезвоживание – при утилизации только в строительные материалы.

Использование осадка в составе керамических изделий, а в некоторых случаях, и в бетонной смеси, эффективно только после сушки до равновесной влажности или минерализации осадка при температуре 650 °С. Однако этот процесс нет необходимости производить на станции водоподготовки, так как заводы строительных материалов имеют возможность произвести тепловую обработку на своих мощностях. Целесообразно организовать хранение обезвоженного осадка на станции в закрытом помещении и отгрузку потребителям не реже чем раз в две недели.

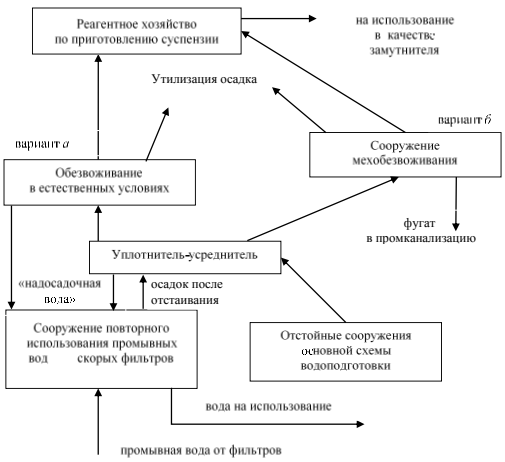


Рисунок 1. **Принципиальная схема с использованием твердой фазы осадка и промывной воды скорых фильтров в качестве замутнителя**

Рисунок 2 .**Принципиальная схема использования осадка в строительных материалах или в почвогрунте**

Рисунок 3. **Принципиальная схема с обезвоживанием и складированием осадка в шламонакопителе**

Схема 3. Схема с обезвоживанием и складированием осадка в шламонакопителе (рис. 3). Цель применения: обработка осадков и промывных вод скорых фильтров в условиях ограниченных ресурсов, недостаточность квалифицированного эксплуатационного персонала и наличия в непосредственной близости от станции свободных значительных площадей. Кроме того, производительность сооружений должна быть ограничена малой или средней. Опыт устройства и эксплуатации шламонакопителей в Российской Федерации обширен, в том числе представленный работами сотрудников кафедры «Водоснабжение и водоотведение» РГСУ (ДГТУ). Нахождение осадка в шламонакопителе и его обезвоживание происходит во второй фазе уплотнения, но в основном – в третьей фазе уплотнения. Осадок изменяет свою влажность до 75 – 80 % и со временем после наполнения площадь накопителя может быть использована под строительство.

Схема может быть реализована по двум вариантам: *а* – сброс промывных вод в сооружение повторного использования выполняющего только функцию накопителя с последующей перекачкой воды (и осадка, если он образовался) в шламонакопитель; *б* – сооружение повторного использования осветляет поступившую промывную воду и направляет ее на использование или в голову сооружений, в уплотнитель-усреднитель кроме осадка из отстойников направляется осадок из сооружений повторного использования (СПИПВ), надосадочная вода перекачивается в СПИПВ, а осадок в шламонакопитель.

Выбор схемы производится с учетом направления использования осадка и ограничений по производительности, имеющимся площадям и применяемой технологии водоподготовки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Комаров М.А., Камлюк Т.В. Синтетический гипс из осадков коагуляции природных вод // Водоснабжение и санитарная техника, 2022, № 1, С. 38–43.
2. Устройство для отстаивания и перекачки сбросных вод после промывки скорых фильтров: патент на полезную модель № 93081 Рос. Федерация, МПК C02F 1/52 (2006.01). – № 2009143548/22; заявл. 24.11.2009; опубл. 20.04.2010 / Бутко Д.А., Лысов В.А., Бутко А.В. [и др.]; заявитель Рос. гос. строит. ун-т. 6 с.
3. Устройство для отстаивания и перекачки сбросных вод после промывки скорых фильтров: патент на полезную модель № 129094. Рос. Федерация, МПК C02F 1/52 (2006.01). – № 2012158266/05; заявл. 29.12.2012; опубл. 20.06.2013 / Бутко Д.А., Лысов В.А., Бутко А.В., Родионова А.Б.; заявитель Рос. гос. строит. ун-т. 5 с.
4. Емкостное сооружение для обезвоживания осадка: патент на полезную модель № 127741. Рос. Федерация, МПК C02F 11/16 (2006.01). –

№ 2012143285/05; заявл. 09.10.2012; опубл. 10.05.2013 / Лысов В.А., Бутко Д.А., Рыльцева Ю.А.; Рост. гос. строит. ун-т. 6 с.
5. Сооружение для обезвоживания осадка: патент на полезную модель № 127742. Рос. Федерация, МПК C02F 11/16 (2006.01). – № 2012150892/05; заявл. 27.11.2012; опубл. 10.05.2013 / Лысов В.А., Бутко Д.А., Рыльцева Ю.А.; Рост. гос. строит. ун-т. - 8 с.
6. Исследование свойств новых почвогрунтов, полученных с применением осадков станций водоподготовки / К.Е. Хренов [и др.] // Водоснабжение и санитарная техника. 2011. № 10. С. 20–25.
7. Cremades, L.F. Recycling of sludge from drinking water treatment as ceramic material for the manufacture of tiles / L.V. Cremades, J.A. Cusido. F. Arteaga // Journal of Cleaner Production. 2018. Vol. 201. P. 1071–1080. – URL: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.094 (дата обращения: 19.02.2022).
8. Utilization of water treatment plant sludge in structural ceramics bricks / A. Benlalla, M. Elmoussaouiti, M. Dahhou, M. Assafi // Applied Clay Science. 2015. Vol. 118. P. 171–177. URL: http://dx.doi.org/10.1016/j.clay.2015.09.012 (дата обращения: 19.02.2022).

УДК 628.161

ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ ЖЕЛЕЗО-КАТАЛИТИЧЕСКОГО МЕТОДА ОЧИСТКИ ПРИРОДНЫХ СЕРОВОДОРОДНЫХ ВОД

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

В статье представлено новое технологическое решение в области подготовки сероводородных природных вод для хозяйственно-питьевых и технических целей. Технология железо-каталитической очистки природных сероводородсодержащих вод в реакторе с ультрафильтрационным разделителем отличается простотой в эксплуатации, малым количеством периферийного оборудования и высокой скоростью протекающих процессов, а также не имеет побочных продуктов и полностью экологически безопасна. Предлагаемое решение может быть рекомендовано для применения на объектах водоподготовки для целей водоснабжения предприятий, малых населённых мест и индивидуальных домовладений.

Очистка природных вод от сероводорода ($\sum H_2S = H_2S + HS^- + S^{2-}$) – направление водоподготовки, имеющее большое многообразие методов и технологических решений. Сероводород – растворённый в воде газ, имеющий характерный неприятный запах, относящийся ко второму классу опасности [1]. Его содержание в хозяйственно-питьевой воде строго нормируется (СанПиН 2.1.3684-21) и не должно превышать 0,05 мг/дм^3 по

молекулярному сероводороду (H_2S), по гидросульфид иону (HS^-) не более 3,0 мг/дм^3.

Из всего многообразия методов на сегодняшний день с технической и научной точек зрения наибольший интерес представляет железо-каталитическое окисление сероводорода кислородом воздуха [2].

Несмотря на то, что интерес к данному методу всё больше проявляется в последнее время, впервые данный процесс был предложен в 40-х годах 20 века Д. Андерсеном и группой ученных П.Г. Купцовым и Д.П. Козыревым [3]. Сущность метода заключается в связывании сероводорода в нерастворимую фазу с её последующим выделением из раствора. Процесс, как правило, протекает в несколько этапов (рис. 1).

На первом этапе: в зависимости от водородного показателя *pH* молекулярный сероводород (H_2S), гидросульфид (HS^-) и сульфид (S^{2-}) ионы при контакте с гидроксидом железа (III) связываются в нерастворимый сульфид (1, 2) и трисульфид (3, 4) железа. Реакции сопровождается выделением атомарного водорода и молекулярной серы:

$$3\ H_2S + 2\ Fe(OH)_3 \rightarrow 2\ FeS + S^0 + 6\ H_2O; \quad (1)$$

$$3\ HS^- + 2\ Fe(OH)_3 + 3\ H^+ \rightarrow 2\ FeS + S^0 + 6\ H_2O; \quad (2)$$

$$3\ HS^- + 2\ Fe(OH)_3 + 3\ H^+ \rightarrow Fe_2S_3 + 6\ H_2O; \quad (3)$$

$$S^{2-} + 2\ Fe(OH)_3 + 6\ H^+ \rightarrow Fe_2S_3 + 6\ H_2O. \quad (4)$$

На втором этапе: железо, связанное в нерастворимый сульфид, отделяется от очищаемой воды и может быть либо утилизировано, либо повторно использовано.

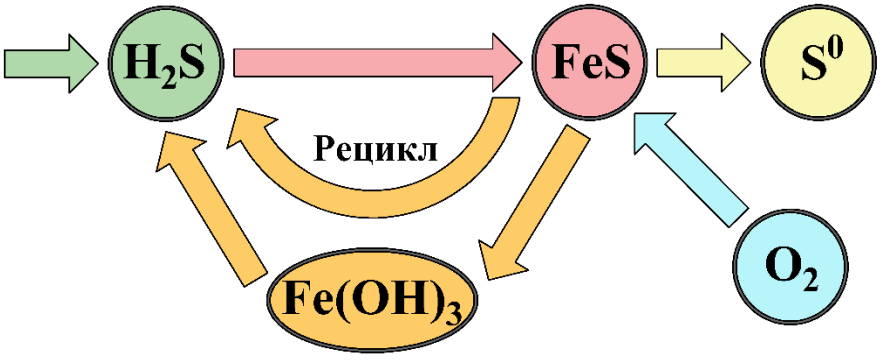


Рисунок 1. **Принципиальная схема железо-каталитического окисления сероводорода кислородом воздуха**

Для повторного применения железо (5, 6) на третьем этапе подлежит регенерации из сульфида кислородом воздуха:

$$4\ FeS + O_2 + 6\ H_2O \rightarrow 4\ Fe(OH)_3 + 4\ S^0; \quad (5)$$

$$4\ Fe_2S_3 + 3\ O_2 + 6\ H_2O \rightarrow 4\ Fe(OH)_3 + 6\ S^0. \quad (6)$$

В зависимости от pH среды железо в процессе регенерации может принимать двух- и (или) трехвалентное состояние (7). Последующее окисление двухвалентного железа осуществляется тем же подаваемым на регенерацию кислорода воздуха:

$$4\ Fe^{2+} + O_2 + 2\ H^+ - \bar{e} \rightarrow 4\ Fe^{3+} + 2\ OH^-. \quad (7)$$

Окисленное железо (7) в последующем может быть повторно использовано на этапе связывания сероводорода (8):

$$4\ Fe^{3+} + H_2S + \bar{e} \rightarrow 2\ Fe^{2+} + S^0 + 2\ H^+. \quad (8)$$

В случае осуществления процессов в замкнутом цикле железо выступает в роли катализатора, в результате чего параллельно с регенерацией сульфида железа протекает каталитическое окисление сероводорода кислородом воздуха (9, 10):

$$H_2S + ½\ O_2 \rightarrow S^0 + H_2O; \quad (9)$$

$$HS^- + ½\ O_2 \rightarrow 2\ S^0 + H_2O; \quad (10)$$

Возможность многократного использования одного и того же реагента – гидроксида железа (III), а также неограниченного ресурса – кислорода воздуха, делает весьма заманчивым использование метода для очистки сероводородных природных вод.

Затруднение распространения метода при подготовке сероводородных вод для хозяйственно-питьевых целей связано, в первую очередь, с его технологически сложным оформлением [4]. До настоящего времени железо-каталитическое окисление сероводорода предлагалось проводить двумя основными способами:

- последовательным связыванием, отстаиванием и регенерацией в разных технологических аппаратах (рис. 2) [6];
- фильтрованием через слой зернистой загрузки, заполненной суспензией частиц гидроксида железа (III) и регенерацией образующихся сульфидов железа продувкой загрузки или при обработке промывных вод [5] (рис. 3).

Представленные технологические решения имеют ряд существенных недостатков, влияющих, в первую очередь, на технико-экономические показатели и сложность их эксплуатации в производственных условиях.

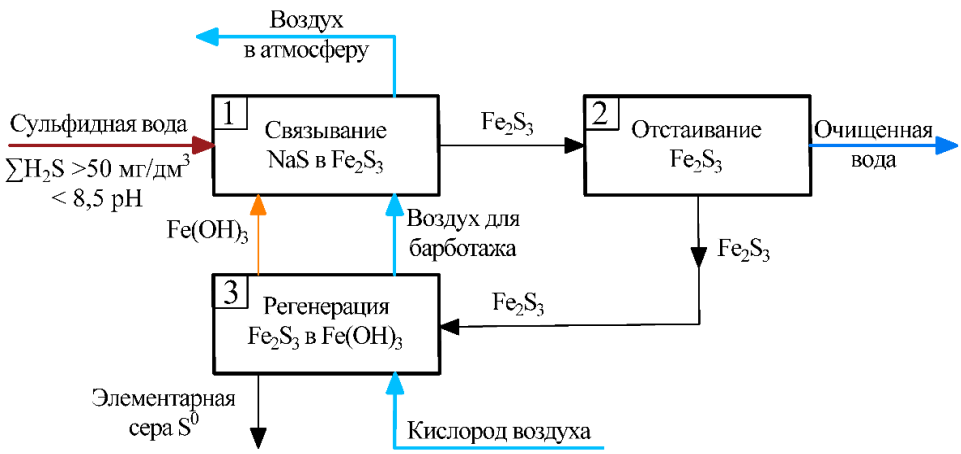


Рисунок 2. **Принципиальная схема последовательного железо-каталитического окисления сероводорода кислородом воздуха:**
1 – реактор-окислитель; 2 – отстойник; 3 – реактор-регенератор

Последовательное железо-каталитическое окисление со связыванием, отстаиванием (или фильтрованием) и регенерацией в разных технологических апааратах (рис. 2) при подготвке природных вод с концентрацией $\sum H_2S \leq 50$ мг/дм^3 представляется нецелесообразным в виду многостадийности процесса. Более простым в этом случае считаются традиционные методы, такие как химическое окисление или сорбция [4]. Однако данная схема нашла своё применение в технологии очистки высоко-концентраированных сернисто-щелочнх сточных вод [6], где концентрация сульфидов несоизмеримо больше, чем в природных водоисточниках.

У способа фильтрования сероводородной воды через слой зернистой загрузки, заполненной суспензией частиц гидроксида железа (III) [5], имеется ряд существенных недостатков таких как: небольшие скорости фильтрования (3,0 ÷ 5,0 м/ч); дополнительное введение окислителя в исходную воду для уменьшения доли образования коллоидной серы; постепенная кольматация загрузки и необходимость её регенерации щелочными растворами, а так же образование серосодержащих промывных вод требующих дополнительной специальной обработки.

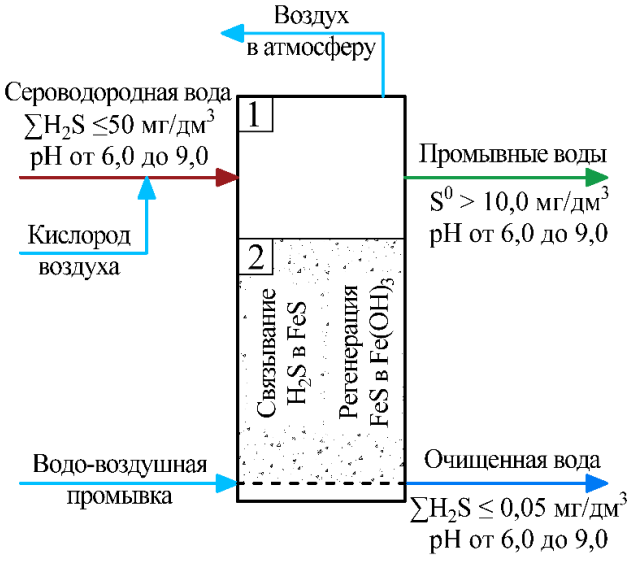


Рисунок 3. **Принципиальная схема железо-каталитического окисления сероводорода кислородом воздуха фильтрованием через зернистый слой заполненный суспензией гидроксида железа (III):**
1 – корпус фильтра; 2 – слой зернистой загрузки заполненной суспензией Fe(OH)

В результате теоретических исследований и поиска решения, направленного на совершенствование очистки сероводородных природных вод, с целью устранения недостатков ранее предлагаемых подходов было разработано и запатентовано [7] принципиально новое решение – технология железо-каталитического окисления сероводорода кислородом воздуха в реакторе с ультрафильтрационным разделителем.

Принципиальная новизна разработанной технологии заключается в объединении всех трех этапов процесса железо-каталитического

окисления, т.е. связывание сероводорода, разделение твердой фазы от жидкости и регенерация осуществляются в одном технологическом аппарате (рис. 4). Кроме того, разработанное решение по очистке сероводородных природных вод железо-каталитическим окислением сероводорода кислородом воздуха в реакторе с ультрафильтрационным разделителем по результатам лабораторных исследований [8] показало высокую окислительную способность в отношении сероводорода, простоту аппаратного оформления. Помимо вышеуказанных достоинств в технологии отсутствуют продукты вторичного загрязнения окружающей среды, такие как: дегазируемый молекулярный сероводород и коллоидная сера, как результат окисления $\sum H_2S$. Процесс протекает преимущественно до оксидов серы, таких как: тиосульфаты, сульфиты и реже до политионатов.

Развитие мембранных технологий в водоподготовке в последние годы позволило применить ультрафильтрационные мембраны для разделения среды в одном технологическом аппарате – реакторе-окислителе. Именно это обстоятельство делает технологию простой и недорогой для очистки сероводородных вод, поскольку реагент находится в постоянном обороте.

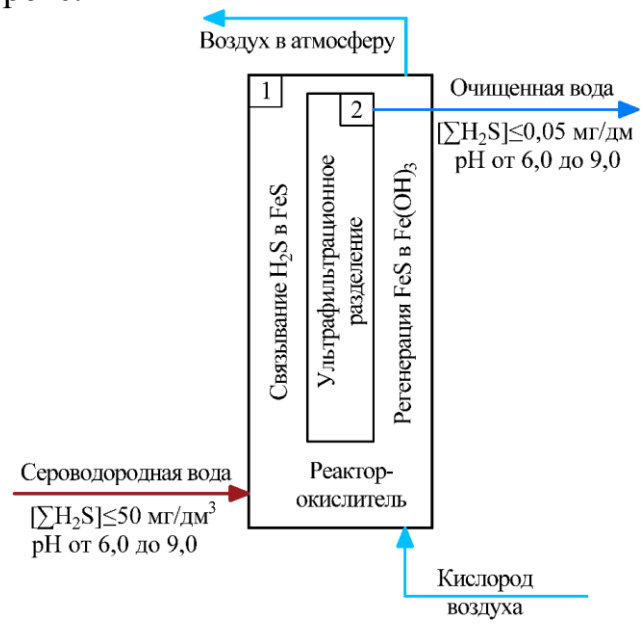


Рисунок 4. **Принципиальная схема железо-каталитического окисления сероводорода кислородом воздуха в реакторе с ультрафильтрационным разделителем:**
1 – реактор-окислитель; 2 – ультрафильтрационный разделитель

Предлагаемая технология (рис. 5) в первую очередь направлена на обеспечение питьевой водой малых населённых пунктов, сельскохозяйственных, промышленных предприятий и частного жилого сектора, имеющих доступ к подземным источникам, содержащих сероводород.

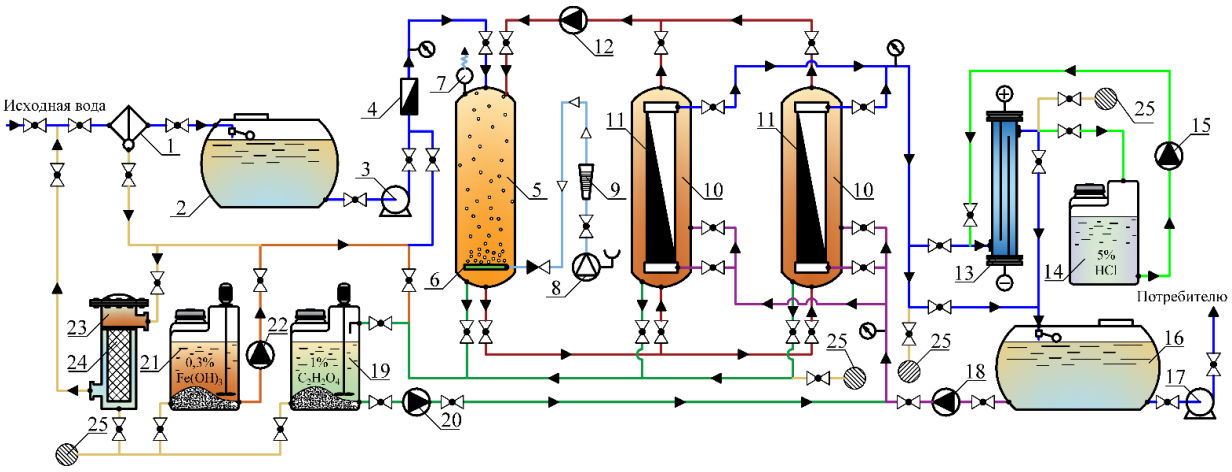


Рисунок 5. **Технология очистки природных сероводородных вод железо-каталитическим методом:**
1 – самопромывной сетчатый фильтр; 2 – бак разрыва струи;
3 – насос повышения давления; 4 – расходомер;
5 – реактор-окислитель; 6 – аэратор; 7 – воздухоотводчик;
8 – компрессор; 9 – ротаметр; 10 – ультарфильтрационный модуль;
11 – реактор-окислитель с мембранным разделителем;
12 – циркуляционный насос; 13 – проточный электролизёр;
14 – бак с 5 % соляной кислотой; 15 – насос кислотной промывки электролизёра; 16 – бак чистой воды;
17 – наос подачи очищенной воды потребителю;
18 – промывочный насос; 19 – бак с раствором щавелевой кислоты;
20 – насос кислотной промывки мембран; 21 – бак приготовления рабочего раствора гидроксида железа (III);
22 – насос перекачки рабочего раствора железа; 23 – мешочный фильтр;
24 – сменный мешок; 25 – сброс в канализацию

Технологический процесс состоит из нескольких этапов (режимов), необходимых для полноценного и бесперебойного функционирования.

Первый и основной режим работы – *режим фильтрования*: в процессе очистки исходная вода из подземного водозабора насосами подается на станцию водоподготовки через напорный самопромывной фильтр (1) в бак разрыва струи (2). С бака разрыва струи исходная вода насосами повышения давления (3) перекачивается в реактор-окислитель (5), заполненный 0,05 ÷ 0,3 % раствором гидроксида железа (III). Контроль расхода подаваемой на очистку сероводородной воды осуществляется установленным на напорной линии расходомером (4). Для осуществления ранее описанных стадий железо-каталитического окисления сероводорода в реактор-окислитель через аэратор (6) подаётся воздух. Подача воздуха осуществляется и контролируется компрессором (8) и ротаметром (9) соответственно. Для обеспечения времени контакта и лучшего перемешивания поступающей воды со средой предусмотрена рециркуляция рабочей среды между реактором-окислителем (5) и реактором с мембранным разделителем (10), обеспечиваемая работой

насоса (12). После окисления сероводорода разделение очищенной воды от рабочей среды осуществляется через ультрафильтрационный мембранный модуль (10), работающий в режиме тангенциального фильтрования. Полученный на выходе пермеат обеззараживается в проточном электролизере (13) и направляется в бак очищенной воды (16), откуда насосом (17) подаётся потребителю. Для регенерации анодных пластин электролизёра и растворения образующихся на них карбонатных отложений предусмотрен бак с 5 % раствором соляной кислоты. Промывка осуществляется рециркуляцией кислоты через электролизер насосом (15). После промывки в течении 5 минут производится сброс перового фильтрата в канализацию (25).

Для регенерации ультрафильтрационных мембран предусмотрены два режима – *режим обратной промывки водой* и *режим кислотной регенерации*.

В процессе эксплуатации производительность мембранных аппаратов постепенно уменьшается, так как на турбулизаторной сетке, на поверхности и на стенках пор мембран сорбируются частицы гидроксида железа и серы, увеличивающие общее гидравлическое сопротивление мембранных аппаратов.

Режим обратной промывки мембран водой: для очистки мембранного модуля от частиц гидроксида железа (III) с поверхности ультрафильтрационных волокон предусмотрена их промывка, осуществляемая путем кратковременного пропуска фильтрата обратным током. Процесс обработки воды в этом случае выглядит следующим образом: исходная вода в течение 1 – 2 часов фильтруется через мембрану под давлением от 1 до 4 атм., после чего следует обратная промывка. Для этого часть пермеата насосом (18) под давлением подается в фильтратный тракт модуля (11) в течение 0,5 – 1,0 мин. Во время обратной промывки вода сбивает с поверхности мембран слой накопившегося гидроксида железа (III).

Режим кислотной регенерации мембран: для устранения обрастания поверхности мембран в технологии предусмотрена их регенерация 0,5 ÷ 3,0 % раствором щавелевой кислоты. Регенерация осуществляется без полной остановки станции с выведением из работы одного из рабочих реакторов-окислителей (10). В процессе регенерации рабочий раствор гидроксида железа (III) вытесняется фильтратом, подаваемым насосом (18) в другие реакторы, где концентрируется до 0,45 %. После вытеснения рабочего раствора реактор опорожняется и производится кислотная регенерация. Подаваемый в реактор-окислитель с мембранным разделителем раствор готовится в баке (19), откуда насосом (20) часть его направляется в общий объём реактора (10), а часть – в фильтратный тракт модуля (11). Промывка выполняется в течение 1 ÷ 10 минут с постоянной циркуляцией раствора щавелевой кислоты. Приготовленный раствор

кислоты применяется многократно. После регенерации кислота сливается обратно в бак, после чего выполняется отмывка мембран и реактора от остатков кислоты чистой водой. Промывная вода сбрасывается в канализацию. После промывки реактор-окислитель с мембранным разделителем вновь вводится в работу. Сконцентрированный ранее рабочий раствор разбавляется чистой водой до изначального содержания 0,3 %.

Режим замены рабочего раствора гидроксида железа (III): применяемый в технологии раствор гидроксида железа (III) используется многократно, однако для лучшего протекания железо-каталитического окисления сероводорода необходима его периодическая замена. Новый раствор готовится за счёт растворения в воде коагулянта – хлорида железа (III) и едкого натра технического в баке (21). В ходе приготовления рабочего раствора образование гидроксида железа (III) происходит в результате гидролиза, после чего постепенно в течение рабочего цикла он претерпевает процессы оляции-оксоляции, при этом из индивидуальных молекул гидроксида с одним центральным атомом получаются многоатомные (конденсированные) оксо-гидроксосоединения (поликонденсация). Именно в связи с этим процессом свежеосажденные гидроксиды железа гораздо более реакционно способны, чем состарившиеся. К тому же спустя 1 – 3 месяца работы в замкнутом режиме в рабочем растворе может накапливаться коллоидная сера.

Приготовление и смена рабочего раствора проходит в следующей последовательности: рабочий раствор из системы вытесняется из реакторов чистой водой, подаваемой насосом (18). Вытесненный раствор направляется на мешочный фильтр (23). Образующийся фильтрат может быть возвращен в напорную линию перед баком разрыва струи или сброшен в канализацию (25). Задержанное железо в мешочном фильтре (24) с размерами пор от 1 до 20 мкм утилизируется на полигон ТБО. После вытеснения старого рабочего раствора свежеприготовленный раствор гидроксида железа подается в реакторы насосом (20). Промывная вода из заполненных реакторов вытесняется через мембранные разделители, а первый фильтрат сбрасывается в канализацию, после чего станция вновь вводится в работу. Для непрерывной работы станции бак чистой воды рассчитывается с учётом водоразбора и продолжительности остановки станции на смену рабочего раствора.

Рекомендуемые технические параметры для разработанной технологии представлены в таблице.

Разработка и исследование технологии выполнены при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках гранта «Аспиранты» по договору № 20-35-90048\20 на тему: «Исследование гомогенного каталитического окисления сероводорода кислородом воздуха в реакторе с мембранным разделителем».

Таблица 1. **Рекомендуемые технологические параметры проведения очистки природных сероводородных вод железо-каталитическим методом**

№ п/п	Наименование показателя	Ед. измерения	Значение
1.	Концентрация сероводорода в исходной воде	мг/дм^3	до 55,0
2.	Производительность станции	м^3/сут	0,5 – 5000
3.	Величина *pH* в исходной воде	–	6,0 ÷ 10,0
4.	Время пребывания очищаемой воды в реакторе-окислителе	ч	0,25 – 1,0
5.	Концентрация катализатора – $Fe(OH)_3$ в реакторе-окислителе	г/дм^3	0,5 – 3,0
6.	Удельный расход воздуха подаваемого в реактор-окислитель	м^3 на 1 м^3 реактора в минуту	0,1 – 1,0
7.	Величина *pH* в реакторе-окислителе	–	6,5 ÷ 8,5
8.	Температура среды в реакторе-окислителе	°С	5,0 – 30,0
9.	Редокс-потенциал Eh очищенной воды	мВ	≥ 0
10.	Материал ультрафильтрационной мембраны	Полиэфир- полиэстерсульфон, керамика, PVDF, PVC	
11.	Режим фильтрования	Тупиковый (dead-end), тангенциальный (cross flow)	
12	Удельный съём с ультрафильтрационной мембраны	л/ч·м^2	5 – 25
13.	Периодичность обратной промывки мембран	раз /сут	6 – 24
14.	Периодичность химической регенерации мембран	раз /мес	1 – 4
15.	Реагенты для химической регенерации мембран	Щавелевая, лимонная кислота	
16.	Периодичность замены гидроксида железа (III)	раз /год	1 – 6

ВЫВОДЫ

Разработанная на основании результатов научно-исследовательских работ технология железо-каталитического окисления сероводорода кислородом воздуха в реакторе с ультрафильтрационным разделителем характеризуется простотой в эксплуатации, малым количеством периферийного оборудования и высокой скоростью протекающих процессов, а также не имеет побочных продуктов и полностью безопасна в отношении окружающей среды. Предложенные технологические параметры экспериментально получены и подтверждены с использованием утвержденных научно-обоснованных методов анализа, применением метрологически аттестованных приборов и оборудования, большим объёмом экспериментальных данных и их высокой сходимостью с расчётными значениями. Представленное решение может быть рекомендовано к применению на объектах водоподготовки для целей водоснабжения предприятий, малых населённых мест и индивидуальных домовладений.

ЛИТЕРАТУРА

1. World Health Organization et al. Hydrogen sulfide: Human health aspects //Concise International Chemical Assessment Document. 2003. Т. 53. С. 26.
2. Клячко В.А. Очистка природных вод / В.А. Клячко, И.Э. Апельцин. – М/: Стройиздат, 1971. 579 с.
3. Козырев, Д.П. Удаление сероводорода из артезианских вод посредством гидрата окиси железа с последующей их регенерацией [Текст] / Д.П. Козырев, И.Г. Купцов. М.: Гостоптехиздат, 1946. 28 с.
4. Линевич, С.Н. Комплексная обработка и рациональное использование сероводородсодержащих природных и сточных вод [Текст] / С.Н. Линевич. – М.: Стройиздат, 1987. 88 с.
5. Патент № 2285670 C1 Российская Федерация, МПК C02F 1/00, C02F 1/74(2006.01), B01D 37/02, C02F 103/02. Способ очистки природных и сточных вод от сульфидов и сероводорода [Текст] / Гириков О.Г.; патентообладатель ГОУ ВПО Новосибирский гос. архит.-строит. ун-т (Сибстрин). – № 2004112221/15; заявл. 21.04.2004; опубл. 20.10.2006 г.
6. Черкесов А.Ю. Очистка сернисто-щелочных сточных вод нефтеоргсинтеза от сероводорода: Дисс.…канд. техн. наук. – Волгоград, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет – ГУВП, 2015. 173 с.
7. 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».
8. Фесенко, Л.Н., Щукин С.А., Черкесов А.Ю. Исследование гомогенного каталитического окисления сероводорода кислородом воздуха в реакторе с мембранным разделителем // Инженерный вестник Дона. – 2021. № 8 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2021/7133

УДК 544.77.052.22 : 543.3

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ХЛОПЬЕОБРАЗОВАНИЯ В ПРОЦЕССЕ ВОДОПОДГОТОВКИ

А.Н. Григорьева
ГК «Элма-Астерион», г. Санкт-Петербург, Россия

При проектировании водопроводных очистных сооружений, работающих по схеме отстаивания с предварительной коагуляцией и последующим фильтрованием, извлечение основного количества загрязнений предусматривается первой ступенью. Для повышения эффективности коагуляции в камерах хлопьеобразования устанавливаются перемешивающие устройства, предназначенные повысить вероятность столкновения мельчайших частичек с целью их агрегации в крупные

хлопья. Наиболее распространены камеры хлопьеобразования с организацией перемешивания за счет гидравлических эффектов. При эксплуатации таких камер наблюдается гидродинамическая нестабильность – значительное снижение эффективности перемешивания и, как следствие, плохое хлопьеобразование при снижении температуры и расхода обрабатываемой воды. В работе рассматривается процесс хлопьеобразования при механическом перемешивании коагулированной речной воды с помощью мешалки новой формы. Установлено, что выбор формы и оптимальной частоты вращения перемешивающего устройства в зависимости от температуры воды позволяет создавать гидродинамический режим, обеспечивающий формирование хлопьев максимальных размеров при пониженных дозах коагулянта.

Процесс хлопьеобразования при коагуляции загрязнений в объеме дисперсной среды может быть условно разбит на ряд стадий: смешение коагулянта с водой и его гидролиз, начало коагуляции – агрегацию частичек гидроксида и загрязнений в мельчайшие хлопья и их дальнейшее укрупнение в легко осаждаемые хлопья.

Смешение коагулянта с водой, а также протекание химических реакций гидролиза с образованием гидроксида (например, алюминия) происходит в смесителях. Дальнейшие процессы – фиксация коллоидных частиц загрязнений на частичках гидроксида и удаление из воды образовавшихся агрегатов могут происходить в объеме седиментационного сооружения (отстойника). Эффективность седиментации тем выше, чем больше характерный диаметр частицы, получаемой в результате коагуляции.

В результате экспериментальных исследований коагуляции коллоидных систем было показано и теоретически обосновано, что помимо дозы коагулянта, качественного состава и температуры воды, одним из ключевых факторов является упорядоченность движения коллоидных частиц, определяющая вероятность их столкновения и агрегирования [1].

По этой причине с конца 30-х годов XX века стали проектироваться и строиться специальные устройства – камеры хлопьеобразования. Создание в таких камерах слабой турбулентности потока, как правило, достигается за счет гидравлических эффектов, обусловленных их конструкцией.

Например, в водоворотных камерах вода, истекающая со скоростью 2 – 3 м/с из специальных устройств сопел-насадок, установленных на трубопровод, подающий воду в цилиндрическую камеру, создает водоворотное движение перпендикулярно вертикальной оси камеры по всей её высоте. В вихревых камерах хлопьеобразования при поступлении воды со скоростью 0,7 – 1,2 м/с в нижнюю узкую часть камеры, выполненную в виде перевернутого конуса, и последующего её отвода со скоростью 4 – 5 мм/с через верхний перелив формируются вихри во всем объеме камеры. Увеличение числа столкновений мелких агрегатов достигается и в осветлителях со взвешенным слоем осадка, в которых

поддержание осаждающихся под действием сил гравитации частичек во взвешенном состоянии осуществляется за счет гидродинамических сил восходящего потока воды, формирующегося при её истечении с высокой скоростью из сопел специальной конструкции [2].

Опыт эксплуатации подобных камер показал, что общими недостатками указанных способов является отсутствие возможности управления процессом, а также нелинейное падение эффективности хлопьеобразования при снижении температуры и расхода обрабатываемой воды через камеру. Как следствие, мелкие хлопья плохо осаждаются в отстойнике, а наиболее крупные хлопья выпадают в осадок непосредственно в камере, вызывая дальнейшее ухудшение её гидродинамического режима. Накопление осадка в камере приводит к необходимости его периодического удаления, как правило, методом размыва.

Таким образом, совершенствование конструкции камер хлопьеобразования, обеспечивающих максимальную крупность хлопьев и скорость их образования независимо от расхода и температуры воды представляет актуальную задачу.

К наиболее перспективным способам следует отнести механическое перемешивание. Однако, при разработке конструктивных решений стоит задача определить наиболее подходящую форму мешалки и создать расчетную модель для определения основных параметров процесса, в том числе: 1) Определение предельной частоты вращения мешалки, достаточной для поднятия осадка с дна, но не превышающей допустимую частоту, при которой хлопья будут разрушаться из-за чрезмерных сдвиговых напряжений на окончании лопастей. Причем необходимая степень турбулентности должна определяться по критерию крупности хлопка с учетом температуры воды. 2) Определение порога коагуляции при минимальной температуре и постоянной удельной энергии, подводимой в камеру (минимальная концентрация реагента и точка ввода коагулянта), 3) Определение предельного минимального времени перемешивания на пороге коагуляции при минимальной температуре и оптимальной энергии.

Целью настоящего исследования является определение параметров перемешивающего устройства (диаметра рабочего колеса и частоты вращения) для достижения максимального эффекта хлопьеобразования в зависимости от температуры воды при постоянном её качестве, дозе коагулянта, времени перемешивания. В качестве критерия эффективности хлопьеобразования принят размер образующихся хлопьев.

Материалы и методы. Эксперименты по оценке предельно допустимых напряжений турбулентного трения, способствующих образованию максимальных хлопьев, проводились в лабораторном аппарате с применением природной воды реки Волхов с цветностью

210 град ХКШ. Мерный стакан объемом 600 мл размещался в прямоугольной емкости, заполненной водопроводной водой, для исключения эффекта преломления при визуальном наблюдении процесса образования хлопьев.

Рисунок 1. **Геометрическая форма конической мешалки**

Параметры экспериментов: частота вращения конической мешалки от 30 до 90 об/мин (с шагом в 10 об/мин); диаметр мешалки – 50 мм; объем природной воды в стакане – 500 мл; концентрация рабочего раствора коагулянта – 15 мг/л (определена посредствам пробного коагулирования).

Для определения влияния температуры воды на размер образуемых хлопьев опыты проводились при различных условиях: 6 °С, 12 °С и 20 °С.

Ход проведения экспериментов: Коническая мешалка, установленная в стакане, запускалась на выбранной частоте вращения; При помощи мерного шприца в стакан добавлялся фиксированный объем коагулянта для получения рабочей концентрации в стакане 15 мг/л; Выдерживалось время хлопьеобразования 3 минуты, поле чего мешалка отключалась; После проведения эксперимента размер хлопьев определялся в ходе обработки фотографий, сделанных при помощи микроскопа Levenhuk, оснащенного видеоаккуляром.

В качестве обобщенного среднего значения размера образованного хлопка рассчитывался диаметр по Заутеру [7] (средний объемно-поверхностный диаметр частиц).

Результаты.

Таблица 1. **Размер хлопьев, полученных в процессе коагуляции при работе конической мешалки на различной частоте вращения при температуре воды 20 °С**

Частота вращения мешалки, об/мин	Создаваемые напряжения турбулентного сдвига, рассчитанные по формуле (1) с учетом (2) и (3), Па	Диаметр Заутера образованных хлопьев, мм
30	1,45	0,66
40	3,43	0,77
50	6,69	0,99
60	11,57	1,14
70	18,37	1,27
80	27,42	1
90	39,04	0,93

Таблица 2. **Основные параметры экспериментов в точках с максимальными размерами хлопьев при различной температуре воды**

Температура воды	Частота вращения мешалки, об/мин	Создаваемые напряжения турбулентного сдвига, Па	Диаметр Заутера образованных хлопьев, мм	Число Рейнольдса Rec
6	90	39,04	1,01	2546
12	85	32,88	1,22	2865
20	70	18,37	1,27	2899

Полученные результаты экспериментальной работы подтверждают предположение о том, что увеличение турбулизации потока способствует образованию более крупных агломератов, однако существует пороговая частота вращения мешалки, превосходя которую размеры хлопьев начинают уменьшаться из-за слишком высоких сдвиговых напряжений. Чем выше температура воды – тем крупнее образующиеся частицы, а также ниже потребность в введении механической энергии для их образования (при увеличении температуры вязкость воды повышается, броуновское движение молекул интенсифицируется). Соотношение сил инерции и сил вязкого трения выражается гидродинамическим критерием Рейнольдса. Примечательно, что наиболее крупные хлопья при различной температуре образовались при приблизительно равном числе Рейнольдса (отличие значения не превышает 15 %) для различных экспериментов. Однако использовать данный критерий для масштабирования промышленных аппаратов в настоящее время не представляется возможным, т.к. требуется наработка более полной статистики. Гораздо больший интерес для практического применения представляют значения полученных предельных напряжений турбулентного трения, необходимых для образования наиболее крупных частиц.

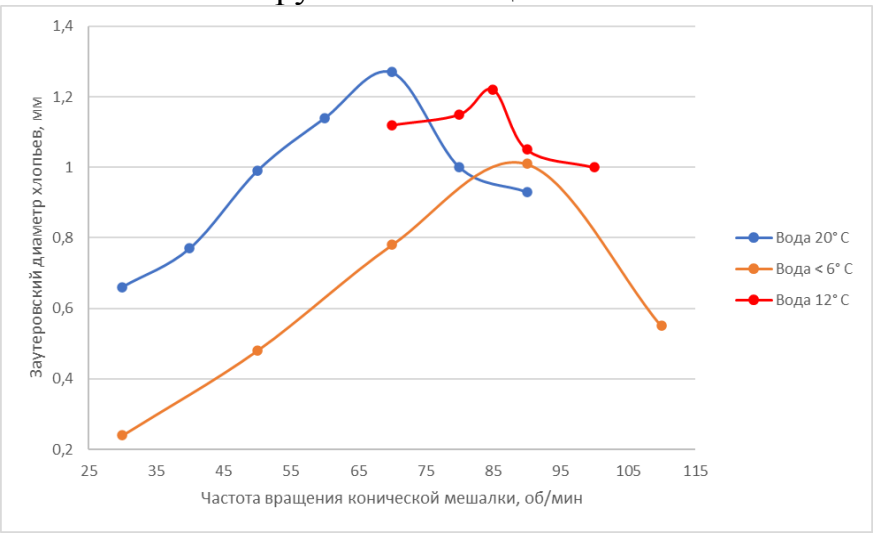


Рисунок 2. **График зависимости размера образуемых хлопьев от частоты вращения конической мешалки в процессе коагуляции при различной температуре воды**

Исходя из данных таблицы 2, можно заключить, что на станциях водоподготовки при заборе воды из природного источника в различные времена года необходима регулировка частоты вращения, что на практике легко реализуется посредствам установки частотного преобразователя. Для подбора перемешивающего устройства требуется рассчитать максимальную частоту вращения мешалки, которую необходимо будет установить в зимнее время года, когда коагуляция из-за низкой температуры усложняется. Наибольшая частота вращения требует установки более мощного двигателя, поэтому расчет следует вести исходя из того, что мешалка должна создавать напряжения до 39 Па. Причем, исходя из практического опыта, рекомендуется сделать запас 20 % к полученному значению, т.е. принять при расчете $\tau_т$ = 47 Па.

Исходя из анализа данных, представленных в таблице 1, можно сделать вывод о том, что гидродинамическая обстановка в аппарате с конической мешалкой способствует образованию самых крупных хлопьев, что объясняется ее конструктивными особенностями: лопасти мешалки скруглены, на внешнем диаметре мешалки создаются касательные напряжения ниже, чем вблизи турбинной или трехлопастной мешалки. В итоге предельно допустимая частота перемешивания для конической мешалки выше, нежели для других типов мешалок.

ВЫВОДЫ

В результате проделанной работы была исследована зависимость размера образованного хлопка в процессе коагуляции от интенсивности перемешивания при различной температуре поступающей природной питьевой воды. На основании результатов экспериментов была установлена величина предельно допустимых сдвиговых напряжений, которые могут быть приложены к частицам без их разрушения, которые послужили основой для создания упрощенной методики подбора конических мешалок для камер хлопьеобразования. Изучение влияния времени перемешивания, дозы коагулянта, pH поступающей воды на размеры образовавшихся флокул в процессе коагуляции является предметом дальнейших исследований, в процессе которых методика расчета перемешивающих устройств будет дополнена. В настоящее время предложен расчет максимальной частоты вращения мешалок, которая на практике должна быть уточнена посредствам технологического апробирования с конкретными условиями. Регулировка частоты вращения может осуществляться автоматически при установке датчиков мутности в камерах хлопьеобразования. Предложенная компоновка позволяет не только получать регулируемый гидродинамический режим, но и обеспечить отсутствие осадка на дне очистных сооружений, что приводит к существенной экономии эксплуатационных затрат (весь образовавшийся шлам подлежит осаждению в отстойниках, где предусматривается

автоматическое его удаление).

ЛИТЕРАТУРА

1. Химия воды: физико-химические процессы обработки природных и сточных вод: учеб. пособие для вузов по специальности «Водоснабжение и канализация» / Л.А. Кульский, В.Ф. Накорчевская. – Киев: Вища шк., 1983. 239 с.
2. Технология очистки природных вод: учеб. пособие для вузов по спец. «Рацион. использ. вод ресурсов и обезвреживание пром. стоков» и «Водоснабжение и канализация» / Л.А. Кульский, П.П. Строкач. – Киев: Вища школа, 1981. 327 с.
3. Водоснабжение: учебное пособие для инженеров-проектировщиков и студентов специальности «Водоснабжение и водоотведение» / Н.И. Куликов, А.Я. Найманов, Н.Г. Насонкина [и др.]. – Новосибирск: ООО «Центр содействия развитию научных исследований», 2016. 704 с.
4. Григорьева А.Н., Абиев Р.Ш. К выбору типа и частоты вращения мешалки для эффективного перемешивания флокулянтов в воде // Вода и экология: проблемы и решения. 2020. № 2 (82). С. 27–36.
5. Перемешивающее устройство: пат. Рос. Федерация: МПК B01F 7/18/ Абиев Р.Ш., Григорьева А.Н.; заявитель и патентообладатель АО Астерион – № 2 683 078; заявл. 06.06.2018; опубл. 26.03.2019, Бюл. № 9. 15 с.
6. Брагинский Л.Н., Бегачев В.И., Барабаш В.М. Перемешивание в жидких средах. – Л.: Химия, 1984.
7. J. Sauter. Die Grössenbestimmung der in Gemischnebeln von Verbrennungskraftmaschinen vorhandenen Brennstoffteilchen, Berlin: VDI-Verl., 1926.
8. Григорьева А.Н., Абиев Р.Ш. Сравнительный технико-экономический анализ пневматического и механического перемешивания биологической загрузки в устройствах для очистки сточных вод // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2020. № 10. С. 20–28.

УДК 628.1.032

ФОРМИРОВАНИЕ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ ФТОРСОДЕРЖАЩИХ ВОД

А.С. Долмат, Р.В. Федотов
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия

Приведены результаты анализа имеющихся литературных данных о формировании фтор содержащих природных вод в результате эрозии горных пород и антропогенного воздействия на окружающую среду. Дана классификация

фторсодержащих природных вод на основе концентрации фтора в растворе и влиянии употребления данных вод на человека. Приведены возможные формы присутствия фтора в природных водах и расположение крупных артезианских бассейнов вод с повышенными концентрациями данного элемента.

Фтор относится к числу микроэлементов, обладающих выраженным биологическим действием, при этом свойства соединений фтора значительно отличаются от свойств других галогенопроизводных.

Фтор – это биологические активный элемент, который оказывает ряд положительных влияний на живые организмы: 99 % всего количества фтора приходится на костную ткань и зубную эмаль. Фтор участвует в процессах формирования и развития дентина и зубной эмали. Играет важную роль в костеобразовании, участвует в нормализации фосфорнокальциевого обмена, активирует аденилатциклазу, ингибирует липазы, эстеразу, лактатдегидрогеназы [1]. Фтор оказывает влияние на процесс кроветворения, в том числе на образование лейкоцитов, оказывает влияние на активность ферментов, фториды повышают активность щелочной фосфатазы. Важен он в процессах выведения из организма радионуклидов и солей тяжелых металлов [2]. Выявлено, что при содержании в источнике питьевого водоснабжения фтора, хрома, кобальта, бора, ванадия, йода, молибдена, брома в концентрациях, находящихся на уровне действующих ПДК в питьевой воде, обеспечивается минимально необходимая их потребность для человека [3].

Фториды щелочных металлов растворимы в воде и их растворимость уменьшается в ряду KF > NaF > LiF. Кларк фтора, по данным А.Е. Ферсмана, в земной коре невелик и составляет 0,08 %. Среднее его содержание в литосфере составляет 400 – 800 мг/кг, в гидросфере $M \cdot 10^{-5}$ %, в живом веществе $M \cdot 10^{-4}$ %. Фтор образует более 90 различных минералов, в том числе фторапатит $Ca_{10}(PO_4)_6F_2$, флюорит CaF_2 (48,7 % по F), криолит $3NaF \cdot A1F_3$ (54,3 % по F), биотит, мусковит (3 – 4 % по F); фосфориты (апатиты, химически связанные в разной пропорции с фосфатами кальция) содержат от 0,1 до 6 % фтора.

Фторсодержащие минералы обычно находятся в горных породах и почвах в рассеянном состоянии, но встречаются и в виде месторождений.

Главными источниками фтора в окружающей среде, в том числе в почве, являются:

1. Разрушающиеся горные породы, содержащие в среднем 0,03 %, и их минералы (апатит, турмалин, биотит, мусковит, другие слюды).

2. Вулканические газы.

3. Газопылевые выбросы алюминиевых, сталелитейных, стекольных и фарфоровых заводов, в состав которых входят NaF, KF, $NaAlF_4$, AlF_3, CaF_2, HF, SiF_4.

4. Фосфорные удобрения, содержащие от 1 до 4 % фтора, фосфогипс (0,3 – 0,8 % F), другие химические мелиоранты. Например, при внесении

фосфорных удобрений из расчета 60 – 90 кг P_2O_5/га в почву поступает не более 6 – 8 кг фтора.

Необходимо отметить, что кислые породы содержат значительно больше фтора, чем основные и ультраосновные (табл.).

Таблица. **Содержание фтора в породах**

Порода	Содержание фтора, мг/кг	Порода	Содержание фтора, мг/кг
Базальт	360	Габбро, диабаз	420
Андезит	210	Липарит	480
Доломит	260	Гранит, гранодиорит	870
Известняк	220	Другие кислые породы	1000

В настоящее время техногенные источники поступления фтора в глобальный круговорот этого элемента составляют около 60 %, причем половина из этих поступлений формируется за счет работы горно-обогатительных комбинатов при добыче и обогащении фосфорного и фтористого сырья. Другая половина поступает за счет переработки и использования полученных концентратов в атомной, металлургической, пищевой, электротехнической и других отраслях промышленности. Для России основными источниками загрязнения окружающей среды фтором являются предприятия, производящие алюминий. Кроме названных источников загрязнения фтором окружающей среды, особенно почв, для России характерны выбросы предприятий по производству фосфорных удобрений.

Фтор накапливается преимущественно в илистой фракции почв, тогда как в песчаной фракции его содержание не превышает 0,2 – 4 % от общего количества, поэтому глинистые почвы всегда содержат больше фтора, чем песчаные.

Повсеместное распространение растворимых фторсодержащих соединений в породах обусловливает присутствие фтора в природных водах в широком диапазоне концентраций от 0,01 до 27 мг/л. Атмосферные осадки содержат в среднем $M \cdot 10^{-6}$ % фтора. В большинстве поверхностных вод концентрация фтора не превышает 0,8 мг/л. Подземные воды содержат больше фтора по сравнению с поверхностными, особенно если они залегают на богатых фтором водоупорных горизонтах (до 6 – 7 мг/л). Особенно его много в термальных водах, которые связаны с вулканической деятельностью [4].

Следует отметить, что основным источником поступления природного фторида в организм, является питьевая вода [5] и в природных водах фтор, как правило, присутствует в виде F-, HF. Соотношение форм фтористоводородной кислоты в водных растворах в зависимости от pH среды приведено на рисунке.

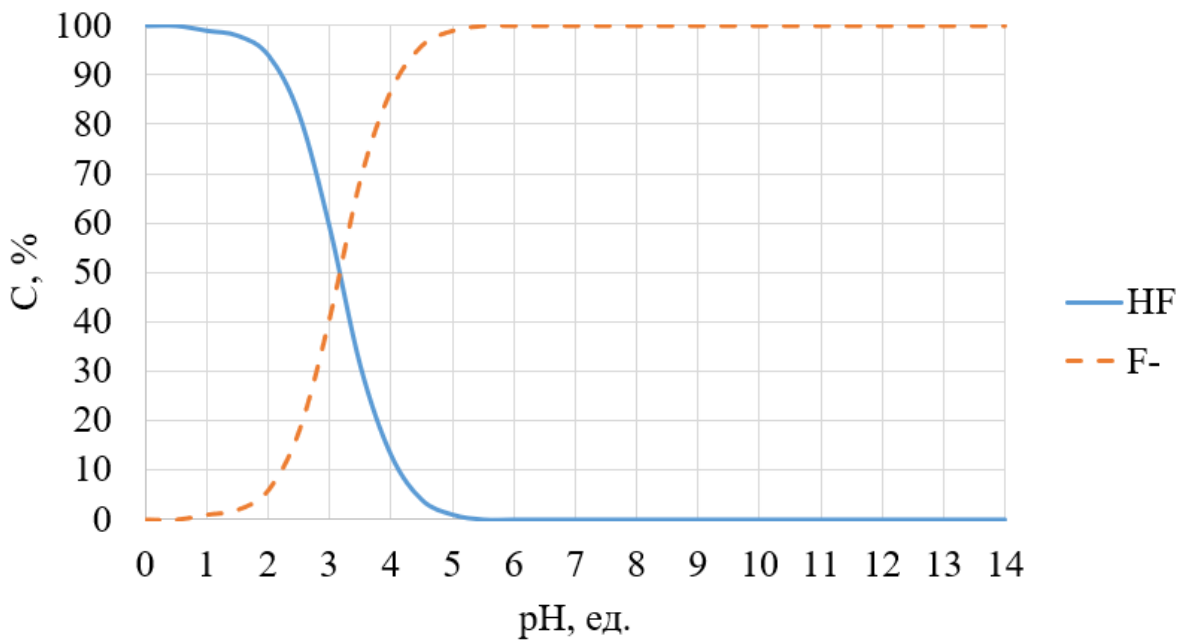


Рисунок. **Соотношение форм фтористоводородной кислоты в водных растворах в зависимости от pH раствора**

По содержанию фтора питьевые воды можно классифицировать следующим образом с указанием последствий употребления такой воды:

1. Воды с очень низкой концентрацией – до 0,3 мг/л. Пятнистость эмали зубов первой степени может наблюдаться у 1 – 3 % населения.

2. Воды с низкой концентрацией фтора – от 0,3 до 0,7 мг/л – флюороз первой степени, у 3 – 5 % населения.

3. Воды с оптимальной концентрацией фтора – от 0,7 до 1,1 мг/л – заболеваемость кариесом близка к минимальной.

4. Воды с повышенной, но еще допустимой концентрацией фтора – от 1,1 до 1,5 мг/л, флюороз у 2 % людей.

5. Воды свыше предельно допустимой концентрации – от 1,5 до 2 мг/л, флюороз у 30 % населения.

6. Воды с высокой концентрацией фтора – от 2 до 6 мг/л, до 80 % населения страдает флюорозом в эндемическом районе.

7. Воды с очень высокой концентрацией фтора – от 6 до 15 мг/л, до 80 – 100 % населения поражено флюорозом с преобладанием тяжелых форм [6].

Следует отметить, что для оценки содержания фторидов в воде существует ГОСТ, который регламентирует методы и степень концентрации соединений фтора [7]. СанПиН 2.1.3684-21 установил для климатических районов I и II группы содержание фторидов не более 1,5 и 1,2 мг/л. Однако большинство источников питьевой воды имеют отклонения по этому показателю [8–9].

В глубоких подземных водах содержание фтора характеризуется весьма широкой амплитудой колебаний от 0,5 до 4 мг/л и выше. Большие

количества фтора содержатся в грунтовых водах Ловозерского щелочного массива до 4 – 6,25 мг/л [10–11].

По мере увеличения глубины залегания водоносных горизонтов в Московском артезианском бассейне параллельно с увеличением минерализации и сульфатности вод увеличивается и количество фтора в водах карбона на территории Московской области до 6 мг/л [12].

Большим разнообразием отличается содержание фтора в подземных водах на территории Челябинской области. Наиболее высокие концентрации фтора наблюдаются в водах степной зоны, в некоторых источниках 3 – 4 мг/л. В подземных водах Восточного Забайкалья содержание фтора весьма разнообразно, в районах месторождений плавикого шпата содержание фтора в водах превышает 1,5 мг/л [13].

Подземные воды Центральной Якутии, залегающие на глубинах более 150 м, характеризуется содержанием фтора до 1 – 3 мг/л.

Содержание фтора в подземных водах на территории Донецко-Днепровской впадины достигает 5,6 мг/л. Также воды, богатые фтором, встречаются на территории Донецкой области. Здесь содержание фтора в воде водоисточников достигает 5 мг/л. Большинство этих вод приходится на долю шахтных колодцев [14].

Проблема очистки вод, содержащих фтор, возникла относительно недавно в связи с расширением масштабов использования подземных вод в хозяйственно-питьевом водоснабжении и стала еще более актуальной в последние годы в связи с все более высокими требованиями к качеству питьевой воды.

На основании проведенного анализа возникновения и распространения природных вод, содержащих соединения фтора, можно сделать следующие выводы:

– фтор принадлежит к элементам, которые имеют всестороннее воздействие на живые организмы и для нормальной жизнедеятельности он необходим в строго лимитированных количествах, при этом присутствие соединений фтора характерно для всех элементов биосферы, литосферы, гидросферы, атмосферы и всех живых организмов;

– фтор и его соединения являются сильными окислителями, поэтому он и не существует в природе в свободном состоянии, а образует соединения со всеми элементами, кроме азота и благородных газов;

– фторсодержащие водоисточники широко распространены в Центральных областях Европейской части России, Сибири и Дальнем Востоке, которые после соответствующей очистки до норм ПДК могут быть использованы для целей водоснабжения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Канатникова Н.В. Физиологическая роль фтора и его содержание в питьевой воде Орловской области / Н.В. Канатникова, Г.Л. Захарченко

// Здоровье населения и среда обитания. 2010. № 5. С. 40–43.
2. Шачнев Р.М. Фтор в питьевой воде, гигиенические нормы. Влияние фтора на биохимические процессы в организме на здоровье населения / Р.М. Шачнев, Л.О. Урчукова // Молодеж. науч. форум: Естеств. и мед. науки: материалы XXXI междунар. студ. науч.-практ. конф. №2(30). URL: https://nauchforum.ru/archive/MNF_nature/2(30).pdf
3. Синицына О.О. Эссенциальные элементы и их нормирование в питьевой воде / О.О. Синицына, С.И. Плитман, Г.П. Амплеева [и др.] // Анализ риска здоровью. 2020. № 3. С. 30–38.
4. Окушко В.Р. Флюороз зубов – маркер интоксикационной гипоплазии / В.Р. Окушко, И.М. Рябцева // Современная стоматология. 2016. №1(62).
5. Аничкина Н.В. Исследования биогеохимии фтора в компонентах геосистем // Научное обозрение. Биологические науки. 2016. № 3. С. 5–23.
6. Лиманцева О.А., Рыженко Б.Н., Черкасова Е.А. Модель формирования фтороносных вод в каменноугольных отложениях Московского артезианского бассейна // Геохимия. 2007. № 9. С. 981–998.
7. ГОСТ 4386-89. Вода питьевая. Методы определения массовой концентрации фтора [Электронный ресурс]. Доступ из электронного фонда правовой и нормативно-технич. документации Консорциум Кодекс (дата обращения: 20.10.2020).
8. Янин Е.П. Фтор в окружающей среде (распространенность, поведение, техногенное загрязнение) // Экологическая экспертиза. 2007. № 4. С. 2–98.
9. Сатыго Е.А. Оценка содержания фтора в воде для планирования эндогенной профилактики кариеса зубов / Е.А. Сатыго, Е.О. Данилов // Стоматология детского возраста и профилактика. 2011. Т. 10, № 2 (37). С. 64–66.
10. Аничкина Н.В. Содержание фтора в природных водах Окско-Цнинской низменности // Ученые записки. – Липецк, 1997. С. 66–69.
11. Баркалова Н.Г. Фоновое содержание фтора, брома и йода в природных водах Воронежской области: автореф. дис. … канд. биолог. наук. – Воронеж, 1975. 18 с.
12. Ворошилов Ю.И. Геохимия фтора в водах карбона Московского артезианского бассейна. – М.: Недра, 1972. 95 с.
13. Сараев В.Г. Фтор в геосистемах Назаровской котловины (территории формирования КАТЭКа): автореф. дис. ... канд. геогр. наук. – Иркутск, 1989. 16 с.
14. Жовинский Э.Я. Геохимия фтора в осадочных формациях юго-запада Восточно-Европейской платформы. – Киев: Наукова думка, 1979. 200 с.
15. Виноградов А.П. Фтор в природе // Гигиена и санитария. 1935. № 3. С. 127–129.
16. Габович Р.Д. Фтор и его гигиеническое значение. М.: Медгиз, 1957.

252 с.
17. Крайнов С.Р., Швец В.М. Геохимия подземных вод хозяйственно-питьевого назначения. М.: Недра, 1987. 237 с.
18. Перельман А.И. Геохимия природных вод. М.: Наука, 1982. 154 с.

УДК 628.16

РЕЗУЛЬТАТЫ ВНЕДРЕНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ РЕАГЕНТНОЙ ОБРАБОТКИ ВОДЫ ПОВЕРХНОСТНОГО ВОДОИСТОЧНИКА, ПОДВЕРЖЕННОГО ЗНАЧИТЕЛЬНОМУ АНТРОПОГЕННОМУ ЗАГРЯЗНЕНИЮ КАТИОННЫМ ПОЛИАКРИЛАМИДОМ В ТЯЖЕЛЫЕ ДЛЯ ВОДОПОДГОТОВКИ ПЕРИОДЫ НА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ АО «РОСТОВВОДОКАНАЛ»

И.А. Тронь, Г.В. Поповьян
АО «Ростовводоканал», г. Ростов-на-Дону, Россия

Освящены проблемы, возникшие при осветлении воды поверхностного водоисточника при высоком органическом загрязнении, представлены результаты внедрения технологии интенсификации осветления воды при применении органических флокулянов.

На протяжении более чем двух десятков лет специалисты АО «Ростовводоканал» отмечают в створе водозаборов постоянное ухудшение качества Донской воды [1–6]. На сегодняшний день водоисточник по показателям: химическое потребление кислорода (ХПК), концентрации фитопланктона, запаху, сухому остатку, жесткости не соответствует требованиям нормативных документов ГОСТ 2761-84 «Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Гигиенические, технические требования и правила выбора», с учетом которого были построены водопроводные очистные сооружения, и СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

Повышенные концентрации трудноокисляемой органики на фоне низких температур обрабатываемой воды, а также высокая биомасса фитопланктона в отдельные периоды года способствует значительному ухудшению коагуляции и дальнейшего процесса осветления воды в отстойниках и фильтрах водопроводных очистных сооружений, мутность воды на выходе из очистных сооружений в эти периоды выше, чем в среднем за остальные периоды года.

Специалистами технологического департамента АО «Ростовводоканал» в 2021 году была проведена исследовательская работа [6] по поиску возможных технологических решений в направлении

модернизации существующей реагентной обработки воды. Были изучены существующие типы и марки флокулятнов и коагулянтов, возможность их сочетаний. Точка ввода дополнительного реагента, а так же необходимые дозы были испытаны при моделировании процесса обработки воды на флокуляторе.

Наилучший эффект осветления воды был достигнут за счет синергетического эффекта взаимодействия, применяемого в настоящий момент синтетического флокулянта самостоятельного действия полиДАДМАХ, вводимого на водозаборных сооружениях, и дополнительного флокулянта полиакриламид (с катионным зарядом) марки Экоплюс 630, дозируемого на площадках водопроводных очистных сооружений перед смесителями в дозах 0,1 – 0,2 мг/дм^3 (рис. 1).

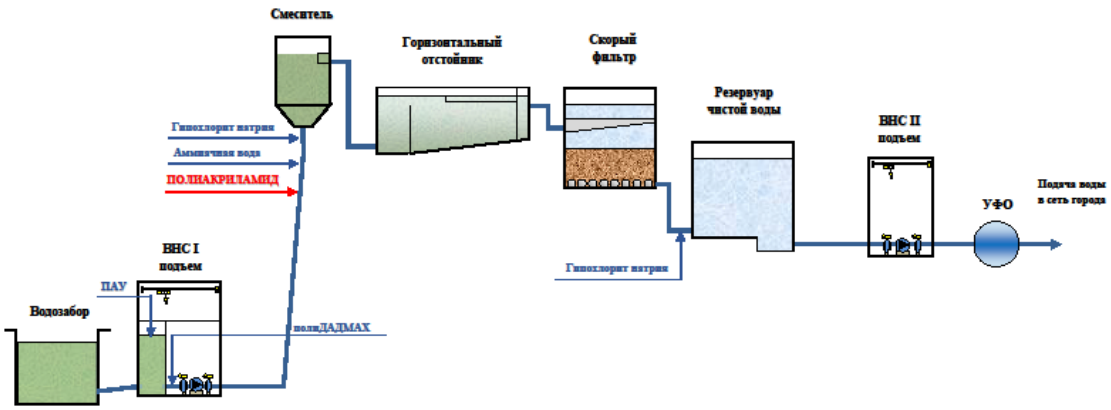


Рисунок 1. **Технологическая схема очистных сооружений**

С учетом подобранной технологии, особенностей точки дозирования реагента, а также на основании технических требований специалистов АО «Ростовводоканал» была запроектирована станция приготовления флокулянта (СПФ) переливного типа, состоящая из трех отсеков с мешалками для обеспечения эффективного затворения и получения реагента заданной концентрации и предотвращения его расслоения и выпадения в осадок. Емкости выполнены из нержавеющей стали, все отсеки оборудованы закрывающимися окнами в верхней части для обеспечения возможности отбора проб реагента, промывки, а также наблюдения за процессом затворения. В нижней части каждого отсека предусмотрены сбросные краны для полного опорожнения и промывки. Загрузка сухого реагента осуществляется в отдельно стоящий бункер из мешка и далее вакуумным загрузчиком в расходный бункер, затем дозирующим шнеком в первый отсек флокулянтской станции.

С учетом объемов водоподготовки на площадках водопроводных очистных сооружений установлены 2 флокулянтские станции производительностью 5 м^3/час (СПФ-5) для очистных сооружений «Александровский водопровод» и 1 флокулянтская станция

производительностью 2 м^3/час (СПФ-2) для очистных сооружений «Центральный водопровод», производитель СПФ АО «ДАКТ-Инжиниринг» (рис. 2).

Рисунок 2. **Станция приготовления флокулянта СПФ-5 на очистных сооружениях «Александровский водопровод»**

Для дозирования реагента применены винтовые насосы-дозаторы с частотным приводом, контроль объемов подаваемого реагента к точкам дозирования осуществляется электромагнитными расходомерами, а также ротаметрами.

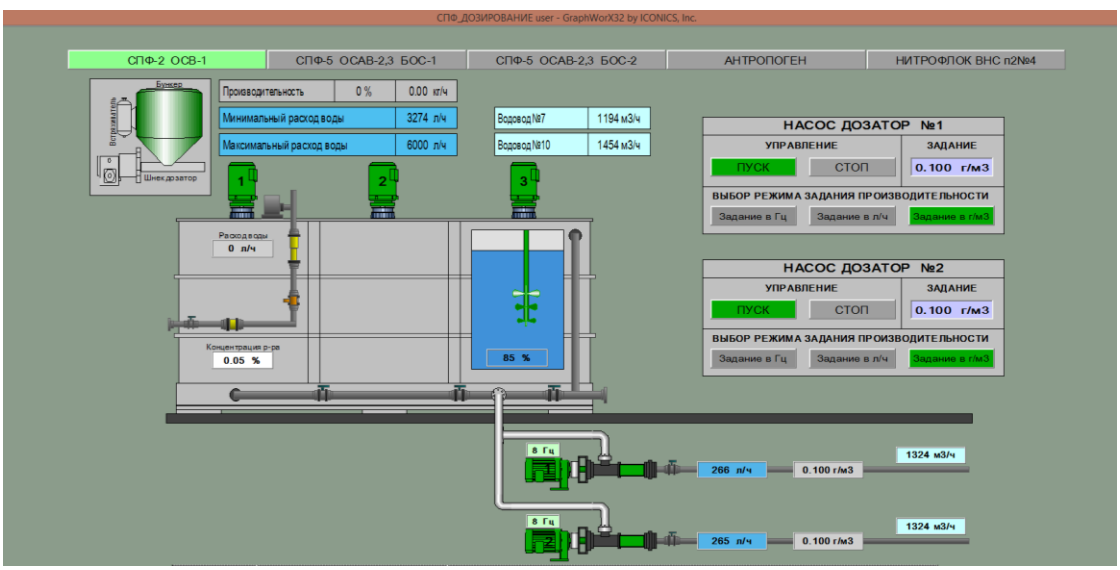


Рисунок 3. **Окно контроля работы СПФ-2**

Управление СПФ осуществляется в автоматическом режиме в зависимости от расхода обрабатываемой воды и установленной дозы реагента, предусмотрено дистанционное управление, а также возможность ручной установки необходимых параметров работы (рис. 3).

Монтаж и пуско-наладка оборудования осуществлялись в апреле месяце 2023 года. В летне-осенний период 2023 года необходимости в дозировании дополнительного реагента не было в связи с незначительным «цветением» водоисточника. Снижение эффективности осветления воды наблюдалось с декабря месяца при понижении температуры обрабатываемой воды и высокой концентрации органических веществ в водоисточнике (ХПК до 32 мгO_2/дм^3), мутность осветленной воды на выходе из отстойников увеличилась в среднем на 30 %, очищенной воды на выходе с очистных сооружений на 20 ÷ 50 % (особенно на очистных сооружениях «Центральный водопровод» в связи с неудовлетворительным состоянием ряда фильтров, требующих замены и досыпки фильтрующей загрузки до нормативных отметок). При осуществлении дозирования реагента «Экоплюс 630» мутность воды на выходе с площадок очистных сооружений составляла в среднем 0,4 ÷ 0,7 мг/дм^3, для подтверждения эффективности внедренной технологии в периоды работы с декабря по март месяцы осуществлялись кратковременные перерывы в дозировании полиакриламида, при этом наблюдалось постепенное снижение эффективности осветления воды, мутность питьевой воды увеличивалась более 1 мг/дм^3.

Кроме того с конца февраля 2023 года наблюдалось ухудшение качества водоисточника по органолептическому показателю «запах», а также питьевой воды по показателям «запах» и «привкус». Для соблюдения требований СанПиН 1.2.3685-21 [7] осуществлялось дозирование порошкообразного активированного угля дозами до 10 мг/дм^3, при этом нагрузка на очистные сооружения соответственно значительно возросла, однако с учетом внедренной технологии дополнительного ввода полиакриламида наблюдается стабильно низкая мутность питьевой воды в рамках указанных выше диапазонов.

ВЫВОДЫ

Таким образом, в условиях негативной динамики снижения качества воды реки Дон за последние несколько лет и с учетом его несоответствия требованиям ГОСТ 2761-84 и СанПиН 1.2.3685-21 совместное применение реагента полиДАДМАХ и катионного полиакриламида в дозах 0,1 ÷ 0,2 мг/дм^3 способствует образованию крупных хлопьев, интенсивно оседающих в существующих отстойниках, что позволяет поддерживать высокое качество питьевой воды, в том числе и в периоды введения порошкообразного активированного угля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лысов В.А., Скрябин А.Ю., Поповьян Г.В. Микрофиты в системе подготовки донской воды // «Строительство-2009»: Материалы юбилейной Международной научно-практической конференции. – Ростов н/Д: Рост. гос. строит. ун-т, 2009. 334 с.
2. Скрябин А.Ю., Поповьян Г.В. Изменение качества реки Дон: микроводоросли как фактор, влияющий на органолептические свойства воды // Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2014»: материалы VIII Межд. науч.-практ. конф.; Красная Поляна, г. Сочи, 23-24 октября 2014 г. / Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т. (НПИ). – Новочеркасск: Лик, 2014. 285 с.
3. Скрябин А.Ю., Поповьян Г.В., Тронь И.А. Микроводоросли как фактор, влияющий на органолептические свойства реки Дон // Водоснабжение и санитарная техника», 2015, № 8.
4. Скрябин А.Ю., Поповьян Г.В., Тронь И.А. Изменение качества воды реки Дон. Изучение факторов, влияющих на интенсивное развитие микроводорослей // Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2016»: материалы IX Межд. науч.-практ. конф.; г. Ростов-на-Дону, 5–7 октября 2016 г. / Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т. (НПИ) имени М.И. Платова. – Новочеркасск: Лик, 2016. С. 173–176.
5. Скрябин А.Ю., Поповьян Г.В., Тронь И.А. Изучение факторов, влияющих на интенсивное развитие микроводорослей // Водоснабжение и санитарная техника, 2017. № 4.
6. Тронь И.А., Поповьян Г.В. Оптимизация реагентной обработки воды на очистных сооружениях водопровода АО «Ростовводоканал» в тяжелые для водоподготовки периоды // 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. 174-179.
7. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.

УДК 628.1.032

СЕЗОННОЕ ИЗМЕНЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ ВОДЫ В НИЖНЕМ ТЕЧЕНИИ Р. ДОН

Н.И. Князева, Р.В. Федотов, С.А. Щукин
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия

Приведены результаты многолетних наблюдений изменения химического состава воды в нижнем течении р. Дон по нормируемому показателю – жесткость воды. Установлены максимальные величины сезонного колебания жесткости воды и

статистические периоды с превышением требований СанПиН 2.1.3684-21 по данному показателю в рассматриваемом створе. В результате статистической обработки данных определена оптимальная величина расчетного значения максимальной среднемесячной жёсткости воды для выбора оптимальных технологических решений кондиционирования воды.

Территория бассейна р. Дон – важнейший в экономическом отношении регион России, где проживает более 12 млн. человек, а плотность населения в 4,5 раза превышает среднероссийскую. В этом бассейне остра проблема обеспечения населения и объектов экономики водными ресурсами надлежащего качества и в требуемом режиме [0].

Нижний Дон представляет собой природно-техногенную систему «поток-мероприятие-русло», в которой процессы формирования русла определяются не только антропогенными, но и природными факторами [1]. В условиях возрастающей антропогенной нагрузки и сопутствующего изменения русловых процессов нижнего участка реки [2] так или иначе это ведет к изменению физико-химических показателей качества воды.

Река Дон на всем своем протяжении является типично равниной рекой. Средний годовой расход воды составляет 935 $м^3/с$, модуль стока около 2 $дм^3/сек·км^2$. Средняя скорость течения 0,1 м/с, дно глинистое и илистое, местами песчаное. Правый берег высокий (50 – 80 м), крутой (до 15 градусов), левый – низкий и пологий. Средний уклон русла в приустьевых участках 2,2 %. Амплитуда колебания уровня воды в реке значительна на всем протяжении и достигает 8 – 13 м. Современная долина Нижнего Дона претерпела глубокие изменения в связи с крупномасштабным строительством промышленных и жилых сооружений, каналов, прудов, дамб и дорог. В результате сильного изменения рельефа происходит заболачивание и последующее засоление территории. Ее современная поверхность формировалась паводковыми водами естественного режима, а стока до 1952 г.

После зарегулирования стока (Цимлянский гидроузел), часть поверхности поймы превращена в сельхозугодия. На описываемом участке поймы создано около 20 нерестово-выростных и товарных прудовых хозяйств, защищенных земляными дамбами от повреждения паводковыми водами. Пойму пересекает несколько транспортных насыпей. Средний годовой сток Дона составляет 27,9 $км^3$ (11,8 – 52,0 $км^3$). В результате строительства Цимлянской плотины весенний сток сократился с 77 до 48 % [3].

Так как режим расходов воды р. Дон в нижнем течении зависит от сбросов из Цимлянского водохранилища, то таковые изменения повлекли за собой изменения качественных показателей воды реки Дон.

В гидрологическом отношении Нижний Дон (участок реки от Цимлянского гидроузла до устья) изучен на достаточном уровне [4–7].

С точки зрения экологического состояния реки Дон на сегодняшний день наблюдается выраженная отрицательная тенденция.

Сильное косвенное антропогенное воздействие на водные объекты на водосборе связано с заселением территории и хозяйственной деятельностью жителей. Регион характеризуется высоким уровнем индустриализации и развитой транспортно-коммуникационной инфраструктурой. Благоприятные транспортно-географическое положение, природные и демографические условия обусловили большие потенциальные возможности для социально-экономического развития региона. Поступательное развитие региона тормозит нарастающий дефицит водных ресурсов. В бассейне р. Дон функционирует сложившийся многоотраслевой водохозяйственный комплекс, основные участники следующие: водоснабжение всех категорий (промышленное, включая тепловые и атомные электростанции, коммунально-бытовое и сельскохозяйственное), обводнение пастбищ, орошаемое земледелие, рыбное хозяйство (воспроизводство рыбных запасов искусственное и естественное, товарное прудовое рыбоводство), водный транспорт, гидроэнергетика [0].

Развитое сельское хозяйство на протяжении всего Нижнего Дона, основными выращиваемыми культурами которого являются пшеница и подсолнечник, требует применения большого количества минеральных удобрений, остатки которых смываются ливневыми водами в реку Дон.

Самой серьезной опасностью для Дона является судоходство и работа предприятий, которые систематически сбрасывают в акваторию отходы. Существенный вред приносят шахты, углеобогатительные фабрики, ТЭЦ и ТЭС. Ростовская область и соседние регионы ежегодно сбрасывают с шахты в р. Дон сотни тысяч тонн вредных веществ. Ситуацию усугубляют выбросы в реку отходов с территории кожевенных и мясоперерабатывающих комбинатов, которые несут с собой болезнетворные микробы и бактерии.

Наиболее масштабно бактериологическое загрязнение в низовьях Дона, где оно превышает предельно допустимые нормы в десятки раз. Постоянный смыв береговых отложений в акваторию приводит к откладыванию донных отложений и обмелению. На месте ранее полноводных участков образуются островки и мелководья, вода в которых прогревается сильнее, чем в глубине. В теплой мелкой воде активнее развиваются микроскопические формы жизни, в том числе сине-зелёные водоросли и фитопланктон.

Таким образом, из перечисленного выше следует, что в конечном итоге воздействие многочисленного количества факторов ведет к ухудшению качества воды в реке Дон. Рассматриваемые в данной работе показатели жёсткости, солесодержания воды и динамика их изменения в будущем зависят в первую очередь от антропогенных воздействий.

Для оценки колебания жёсткости воды из реки Дон в створе о. Зеленый г. Ростов-на-Дону был построен график отображающей изменение изучаемых среднегодовых показателей в период с 1990 по 2022 год (рис. 1).

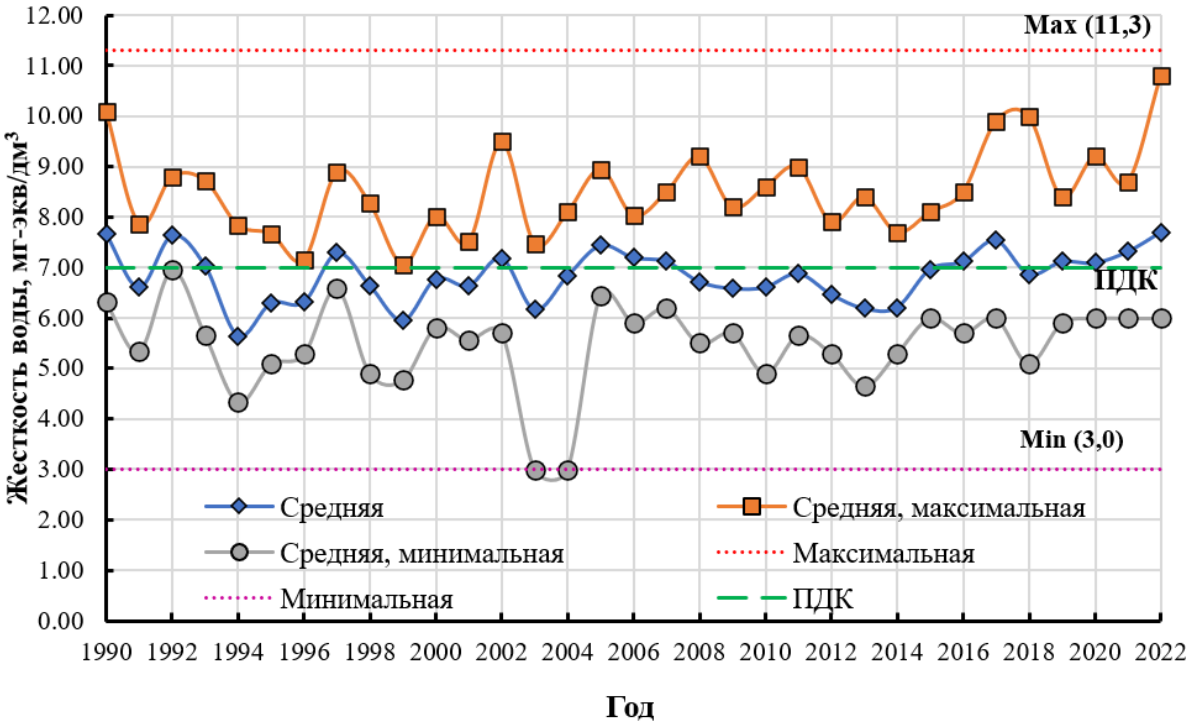


Рисунок 1. **Динамика среднегодовой жёсткости донской воды за период с 1990 по 2022 г.г.**

Представленные на рисунке 1. данные свидетельствуют о существенной неравномерности распределения жёсткости донской воды на протяжении всего периода наблюдений. Среднегодовые показатели жесткости воды в 40,6 % случаев превышают ПДК по данному показателю. Следует отметить тенденцию роста среднегодовой жёсткости воды за последние годы, с 2018 по 2022 годы.

Что касается средних максимальных и минимальных годовых значений жёсткости то в первом случае из проанализированных данных следует, что в 100 % случаев наблюдается превышение ПДК, во втором 96,9 % случаев жесткость остается в пределах значений ПДК, предъявляемых к воде хозяйственно-питьевого назначения.

За период с 1990 по 2022 гг. зафиксированная максимальная жёсткость воды в рассматриваемом створе составляет 11,3 °Ж (1990 год). Минимальная жёсткость воды за этот же период времени зафиксирована в 2003 году и составляет 3,0 °Ж.

Для деталировки динамики изменения жёсткости воды по месяцам года в период с 1990 по 2022 гг. были построены графики, представленные на рисунках 2–5.

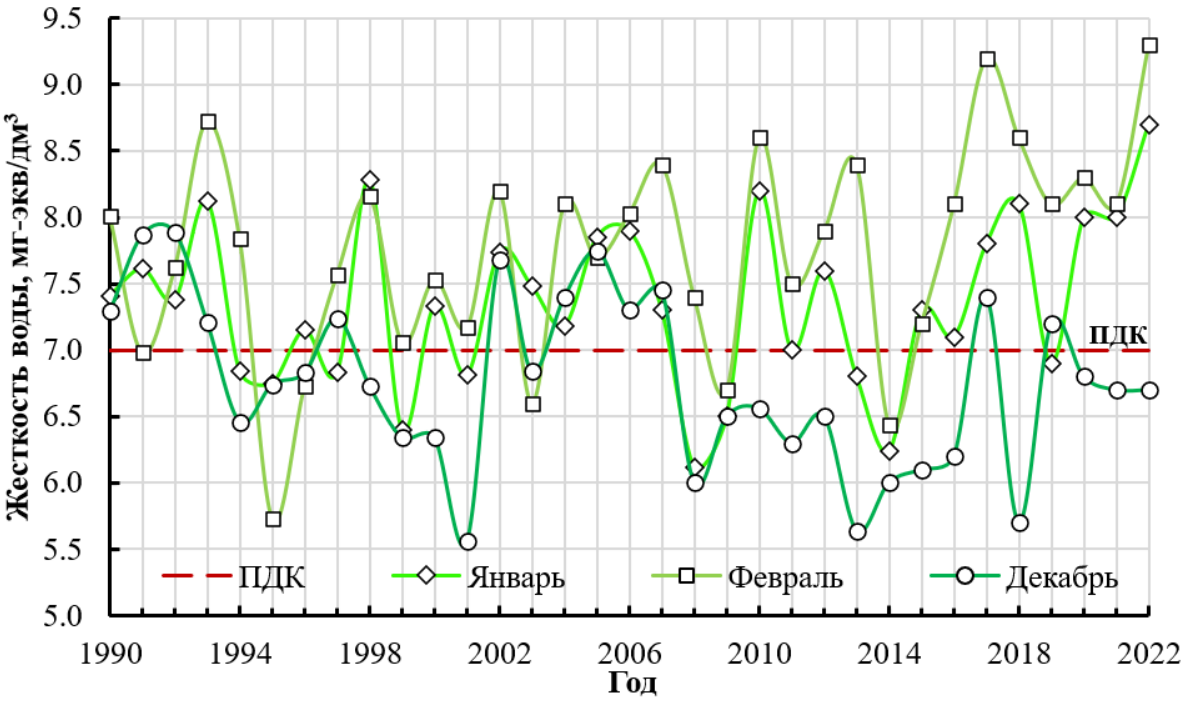


Рисунок 2. **Динамика изменения среднемесячной жёсткости воды в зимний период времени с 1990 по 2022 г.г.**

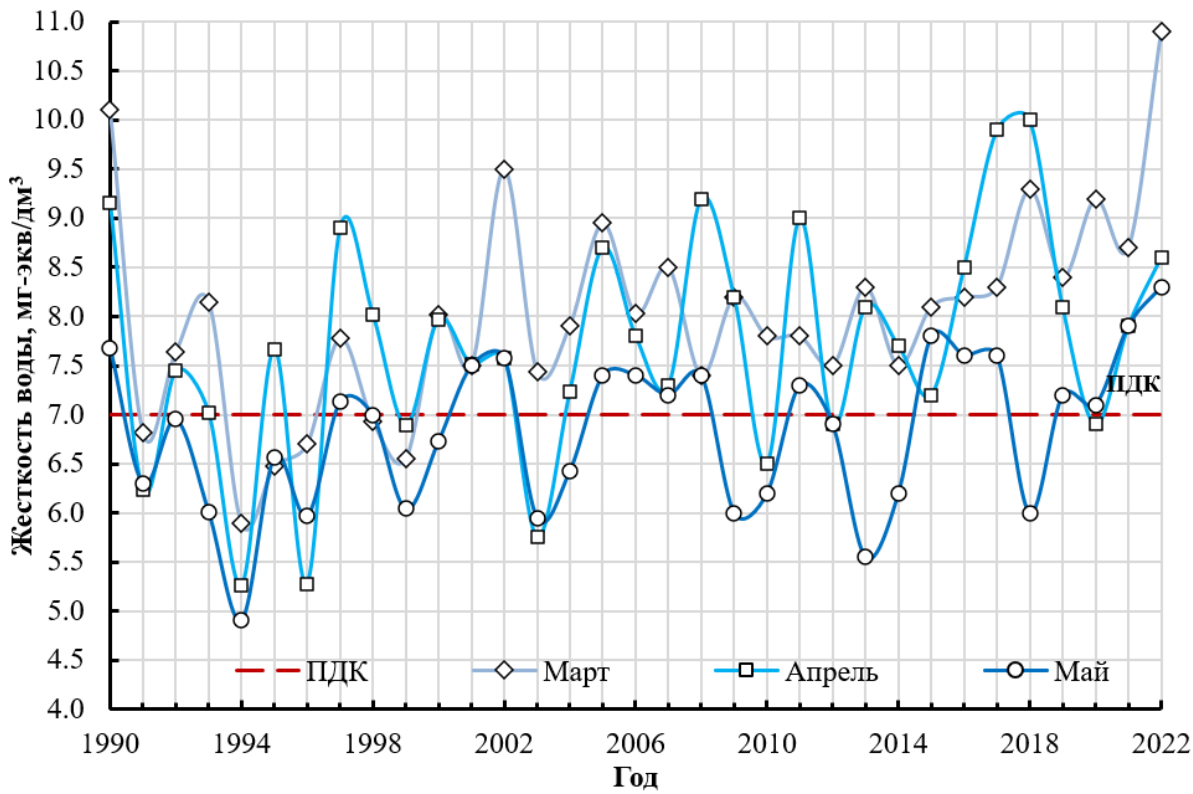


Рисунок 3. **Динамика изменения среднемесячной жёсткости воды в весенний период времени с 1990 по 2022 г.г.**

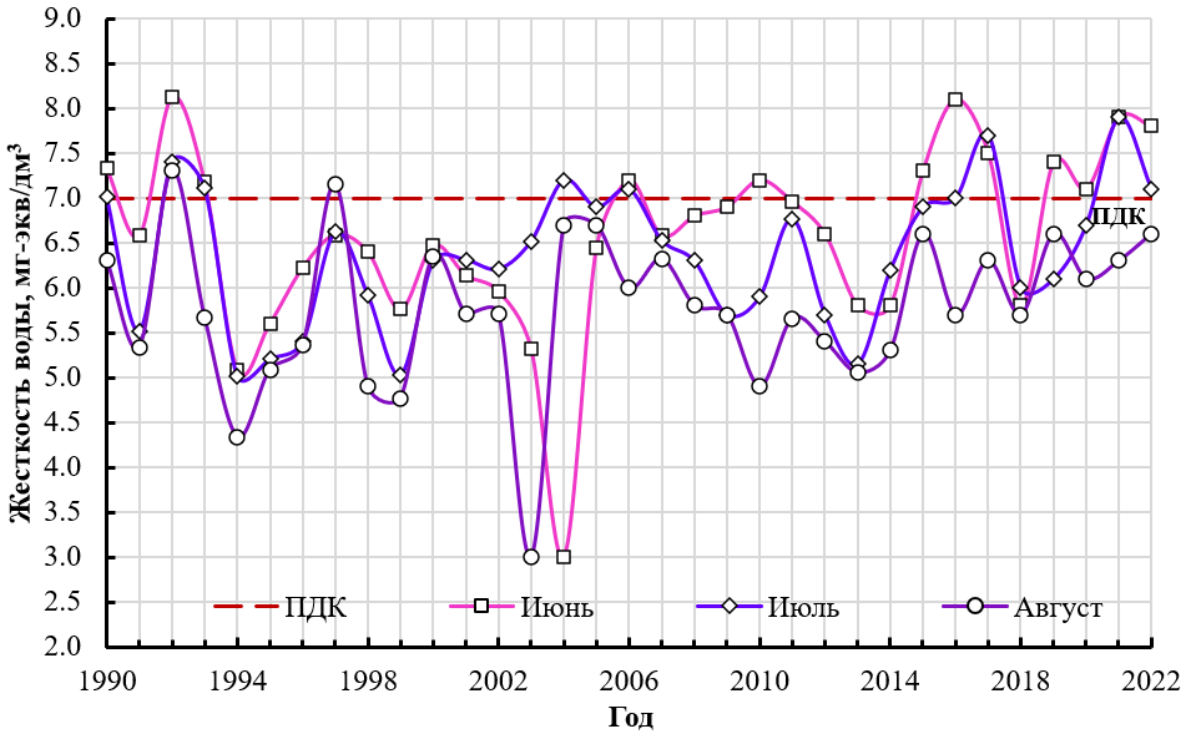


Рисунок 4. **Динамика изменения среднемесячной жёсткости воды в летний период времени с 1990 по 2022 г.г.**

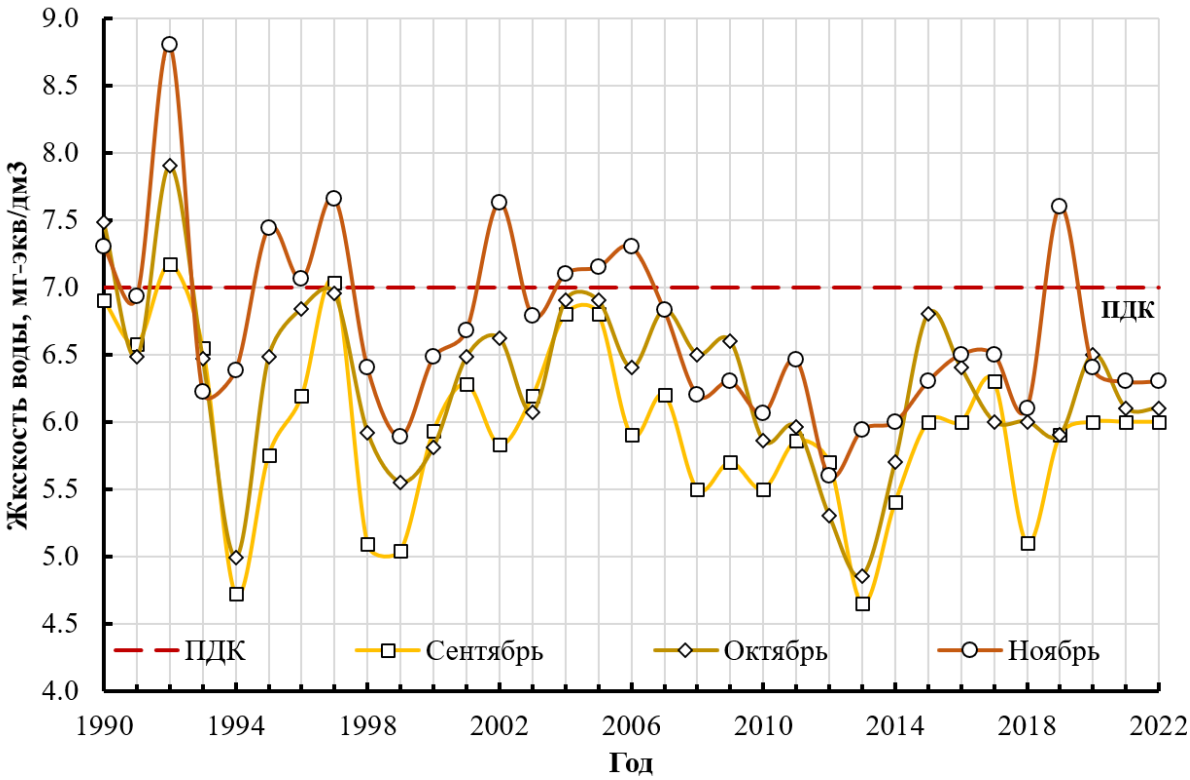


Рисунок 5. **Динамика изменения среднемесячной жёсткости воды в осенний период времени с 1990 по 2022 г.г.**

Согласно приведенным графикам, представленным на рисунке 2 наибольшие пиковые значения жёсткости характерны для зимнего и

весеннего периода времени (период паводков). В летний период превышение жесткости в донской воде наблюдается в основном в июне, реже в июле. В осенний период превышение показателя жесткости воды преимущественно наблюдается в ноябре.

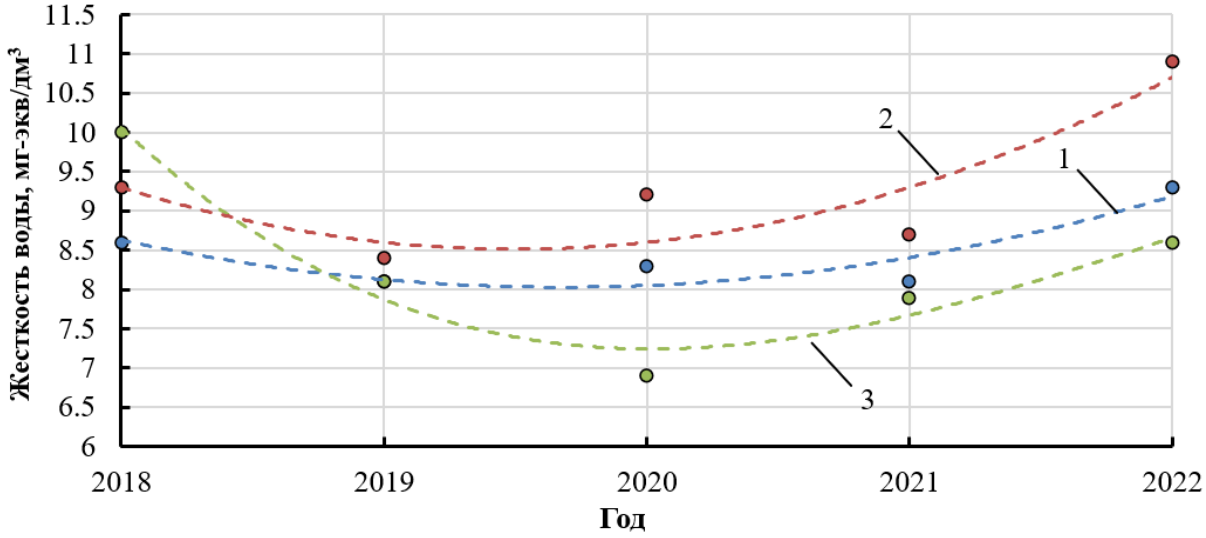


Рисунок 6. **Динамика изменения показателя жёсткости донской воды в период паводка (февраль – апрель):**
1 – февраль; 2 – март; 3 – апрель

Динамика увеличения жесткости донской воды, превышающая ПДК в период паводка так же подтверждаются графиками, представленными на рисунке 6, отображающем изменение среднемесячной жёсткости в пробах воды рассматриваемого створа за последние 5 лет.

Из приведенных данных можно сделать вывод, что при последующем выборе оптимальной технологии умягчения воды из нижнего течения реки Дон следует учитывать фактор постоянного колебания жёсткости, зависящий от периода года и ряда антропогенных факторов. В результате статистической обработки приведенных данных установлено, что при выборе технологий и методов умягчения воды нижнего течения реки Дон оптимальной величиной расчетного значения максимальной среднемесячной жёсткости воды следует принимать 10,8°Ж.

ЛИТЕРАТУРА

1 Демин, А.П. Водообеспечение населения и объектов экономики в бассейне реки Дон: современное состояние и проблемы / А.П. Демин // Водные ресурсы. 2020. Т. 47, № 6. С. 767-778. – DOI 10.31857/S032105 9620060048. – EDN HKMOGZ.

2 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.

3 Тимофеева В.В. Русловые процессы Нижнего Дона и их антропогенные изменения [Текст]: дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.25: защищена 31.10.07: утв. 29.11.07 /Тимофеева Валентина Владимировна. - М., 2007. С. 153–154.
4 Миноранский, В.А. Дельта Дона [Электронный ресурс] /В.А. Миноранский // Водно-болотные угодья России. (http://www.fesk.ru/wetlands/313.html)
5 Баев О.А. Моделирование процесса водопроницаемости противофильтрационных экранов из геомембран [Электронный ресурс] (2015). Инженерный вестник Дона, № 1 (ч. 2) URL: ivdon.ru/ru/magazine/ archive/n1p2y2015/2818.
6 Косиченко Ю.М. Современные методы борьбы с фильтрацией на оросительных системах [Электронный ресурс] / Ю.М. Косиченко, О.А. Баев, А.В. Ищенко (2014) // Инженерный вестник Дона.- № 3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2014/2593.
7 Семенова Е.А. От экологически ответственного хозяйствования к сохранению водных и энергетических ресурсов [Электронный ресурс] / Е.А. Семенова, М.Ф. Маршалкин, С. Г. Саркисова (2014). Инженерный вестник Дона, № 2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/ archive/n2y2014/2375.
8 Чижевская, Н. А. Экологическое состояние реки Дон / Н. А. Чижевская, И. А. Приходько // Colloquium-Journal. 2021. № 3-2(90). С. 19–20. – DOI 10.24412/2520-2480-2021-390-19-20. – EDN MAHEDH.

УДК 328.166

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ КИСЛОТНОЙ ПРОМЫВКИ КАТОДОВ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРА РАСТВОРАМИ СОЛЯНОЙ И СУЛЬФАМИНОВОЙ КИСЛОТ

Л.Н. Фесенко, И.В. Пчельников
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия
С.И. Игнатенко, Д.В. Каберская, Заичко Д.А.
ООО НПП «ЭКОФЕС», г. Новочеркасск, Россия

В работе представлено технико-экономическое сравнение двух методов кислотной промывки электродных пластин электролизного аппарата растворами соляной и сульфаминовой кислот при растворении в них наработанного осадка, образующегося при получении гипохлорита натрия из 3%-ного раствора хлорида натрия.

Традиционно проблема санитарно-эпидемиологической безопасности питьевой воды решается хлорированием, которое продолжает оставаться самым распространенным в мире способом обеззараживания воды в силу своей санитарно-гигиенической надежности,

пролонгированности бактерицидного действия, относительной простоты и экономичности. Однако, при использовании жидкого хлора бесспорной остается проблема его транспортировки через населенные территории и хранение многотонных запасов на водоочистных станциях, многие из которых уже стали опасно соседствовать с расширяющейся городской жилой застройкой. Опасность использования жидкого хлора (2 - й класс опасности), а также невозможность соблюдения водоканалами ряда положений Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности производства хлора и хлорсодержащих сред (от 20.11.2013 г. № 554)» привели традиционную хлорную технологию дезинфекции питьевой воды к необходимости перевода водоочистных станций на менее опасный дезинфектант, сочетающий положительные качества хлорирования и отсутствие его недостатков.

Мировой опыт научного поиска альтернативных жидкому хлору дезинфектантов обозначил, а в дальнейшем и подтвердил на практике перспективность применения для обеззараживания питьевых и сточных вод низкоконцентрированного электролитического гипохлорита натрия (ГХН), производимого на месте потребления в нужном количестве путём электролиза водного раствора поваренной соли. Наиболее простым и распространённым является электролиз солевого раствора без мембранного (или диафрагменного) разделения электродного пространства. При этом электролизер выполняется в виде ёмкости с размещенными в ней электродами (анод и катод). При прямом электролизе раствора NaCl протекают реакции:

на катоде:

$2\,Na^{+} + 2\bar{e} \rightarrow Na^{+}$;

$2\,Na^{+} + H_2O \rightarrow NaOH + H_2\uparrow$;

на аноде:

$2\,Cl^{+} - 2\bar{e} \rightarrow Cl_2$;

$Cl_2 + H_2O \rightarrow HClO + HCl.$

Выделившийся в результате реакции гидроксид натрия взаимодействует с хлорной и хлорноватистой кислотами с последующим выделением в смеси хлорида и гипохлорита натрия, суммарную реакцию образования которых можно записать:

$2\,NaCl + H_2O \rightarrow NaClO + NaCl + H_2\uparrow.$

Опыт эксплуатации электролизных установок показывает, что основная проблема надежности их работы связана с образованием на поверхности катодов нерастворимых соединений ($CaCO_3, CaSO_4, Mg(OH)_2$), что приводит к нештатному режиму электролиза, перегреву и короблению электродной системы, разрушению оксидного покрытия анодов, резкому снижению производительности установки и др. Установлено, что скорость образования осадков и их

структура зависят от плотности тока, состояния поверхности электрода, времени поляризации и химического состава воды [1]. Наибольшее влияние на образование солей жидкости и гипса при электролизе солевых растворов, оказывает химический состав воды, что связано с наличием ионов $Ca^{2+}, Mg^{2+}, HCO_3{}^{-}, SO_4$ и растворенного CO_2, присутствующих в воде.

В щелочном (по реакции среды) прикатодном пространстве свободная углекислота CO_2, и ионы гидрокарбоната $HCO_3{}^{-}$ взаимодействуют с катионами кальция Ca^{2+} с последующим образованием $CaCO_3$ по реакциям:

$$NaOH + CO_2 \rightarrow NaHCO_3;$$
$$NaOH + NaHCO_3 \rightarrow Na_2CO_3 + H_2O;$$
$$Ca^{2+} + CO_3^{2-} \rightarrow CaCO_3 \downarrow.$$

Выделившиеся при электролизе ионы OH^{-} не только смещают карбонатное равновесие в область CO_3^{2-}, но и участвуют в образовании ещё одного малорастворимого соединения – гидроксида магния:

$$Mg^{2+} + 2OH^{-} \rightarrow Mg(OH)_2 \downarrow.$$

Карбонат кальция – малорастворимое соединение с кристаллическим строением, способное создавать, как и гипс, на поверхности катода прочные отложения. В отличие от $CaCO_3$ гидроксид магния имеет рыхлую аморфную структуру [2]. На практике проблему образования отложений на катодах электролизера минимизируют путем удаления из воды ионов жесткости (обычно Na-катионированием), снижением её щелочности (декарбонизации), увеличением скорости протока электролита с выносом нерастворимых продуктов из электролизного аппарата, использованием ингибиторов (антискалантов), а также применением метода переполюсовки. При использовании технологий переполюсовки (реверса тока) – периодическим переключением режима работы электрода с анодной поляризации «+» на катодную «-» и обратно, отложения на электродах отсутствуют вследствие их растворения в попеременнообразующейся кислой среде в приэлектродном пространстве, однако происходит непрерывное уменьшение толщины анодного покрытия и, как следствие, необратимая потеря оксидов рутения и иридия. При этом скорость реакции растёт с увеличением плотности тока.

Применяемый на практике метод ликвидации карбонатных отложений путём периодической промывки электродной системы 3 – 5 процентным раствором соляной кислоты не всегда экономически оправдан, особенно для водоисточников, характеризующихся повышенной карбонатной жесткостью. Кислотная промывка требует частых остановок электролизера и значительного расхода кислоты (0,15 – 0,3 л соляной кислоты на 1 кг вырабатываемого хлора). Так, для электролизных установок марки «Санер» (г. Подольск) инструкция по эксплуатации предполагает кислотную очистку катодов через каждые 9 – 18 часов

работы (в зависимости от жесткости воды). Поэтому экономически целесообразным может быть включение в состав электролизной установки блока кондиционирования воды, идущей на приготовление солевого раствора с целью удаления из неё катионов жесткости или карбоната, а также применение взамен соляной других, меньших по стоимости марок кислот (сульфаминовой, лимонной и др.).

Для экспериментального изучения и сравнения характеристик растворов соляной и сульфаминовой кислот при растворении в них наработанного на катоде осадка использовали лабораторную электролизную ячейку габаритами 6,5 х 2,5 х 11 см (ДхШхВ) и полезным объёмом $W_{пол}$ = 0,066 дм^3, два плоских титановых электрода (анод и катод) с окисно-рутениевым титановым покрытием (ОРТА); блок питания GwINSTEK марки SPS-3610 с постоянной силой тока I = 5А; насос-дозатор марки INTLLAB с постоянным расходом Q = 2 л/ч; рабочий солевой раствор NaCl марки РУССОЛЬ с концентрацией 3 % и приготовленные растворы 5 % соляной и сульфаминовой кислот. Вольт-амперные характеристики электролиза контролировали подключенным к ячейке блоком питания, рабочий солевой раствор подавали насосом через подводящий штуцер, расположенный в нижней части торца корпуса с постоянным расходом. Образующийся при электролизе раствор гипохлорита натрия отводили через верхний сливной штуцер, установленный на противоположном торце ячейки. Электролиз вели при постоянной силе тока 5А в течении 75 часов для наработки осадка на катоде. Непрерывное время работы ячейки в среднем составляло 8 – 10 ч/сутки.

Предварительно сухие неиспользованные электроды взвешивали с определением начального веса $G_{нач}$. По истечении 75 часов электролиз прекращали, пластины вынимали из ячейки и высушивали до постоянного веса $G_{кон}$. По разности между $G_{кон}$ и $G_{нач}$ определяли массу наработанного на катоде осадка.

Перед началом исследований готовили 5 %-ные растворы соляной и сульфаминовой кислот и определяли в них исходную кислотность (H_1^+). Далее, катод с наработанным осадком погружали в стакан с 200 мл исследуемой кислоты до полного растворения осадка и после повторно определяли кислотность (H_2^+). В каждой пробе кислоты с растворенным осадком определяли общую жесткость $(Ж_{общ})$, жесткость кальциевую $(Ж_{Ca^{2+}})$ и магниевую $(Ж_{Mg^{2+}})$, а также сульфаты (SO_4^{2+}). По результатам анализа рассчитывали состав осадка и составляли экономический расчёт целесообразности применения соляной и сульфаминовой кислот для промывки электролизеров. Концентрации нерастворимых солей $CaCO_3$, $CaSO_4$, $Mg(OH)_2$ рассчитывали из предположения, что $Mg(OH)_2$ был равен концентрации $Mg^{2+}(мг-экв/дм^3)\cdot Э_{Mg(OH)_2}$, где

$Э_{Mg(OH)_2} = (24{,}3 + 17)/2 = 20{,}65$ – эквивалент $Mg(OH)_2$. Аналогично $CaSO_4 = SO_4^{2-} \cdot Э_{CaSO_4} = SO_4^{2-} \cdot 68$ и для $CaCO_3 = Ca^{2+} \cdot Э_{CaCO_3} = Ca^{2+} \cdot 50$, где $Ca^{2+} = Ca^{2+}_{общ} - CaSO_4$, в котором $Ca^{2+}_{общ}$ – кальциевая жесткость в пробе растворенного осадка и $Ca^{2+}SO_4^{2-}$ – концентрация кальция, связанная в осадке $CaSO_4$, т.е. $Ca^{2+}SO_4^{2-} = SO_4^{2-}(мг - экв/дм^3)$. После расчёта концентраций $CaCO_3$, $CaSO_4$, $Mg(OH)_2$ $(мг - экв/дм^3)$ определяли их процентные содержания в осадке.

Опыт № 1. Промывка электродных пластин 5%-ной сульфаминовой кислотой.

Исходные данные:

Объём сульфаминовой (NH_2SO_3H) кислоты для растворения осадка — 200 мл;

Начальный вес чистого катода — $G_{нач} = 33{,}820$ г.;

Вес катода после 75 часов работы — $G_{кон} = 35{,}905$ г.;

Вес осадка — $G_{ос} = G_{кон} - G_{нач} = 35{,}905 - 33{,}820 = 2{,}085$ г.;

Время работы электролизера — 75 часов.

Состав осадка:

По ионам $Ж_{общ} = Ca^{2+} + Mg^{2+} = 192 + 18 = 210$ $мг - экв/дм^3$:

$Ca^{2+} = 192$ мг-экв/дм^3; $Mg^{2+} = 18$ мг-экв/дм^3; $SO_4^{2-} = 15$ мг-экв/дм^3.

Процентно-весовой состав осадка:

$C_{Ca^{2+}} \cdot Э_{CaCO_3} = (192 - 15) \cdot 50 = 8850$ $мг/дм^3$ или 86,4% — содержание $CaCO_3$ в составе осадка;

$Ca^{2+} \cdot Э_{CaSO_4} = 15 \cdot 68 = 1020$ $мг/дм^3$ или 9,96 % — содержание $CaSO_4$ в составе осадка;

$C_{Mg^{2+}} \cdot Э_{Mg(OH)_2} = 18 \cdot 29{,}15 = 524{,}7$ $мг/дм^3$ или 3,64 % — содержание $Mg(OH)_2$ в составе осадка;

Суммарный вес осадка $G_{ос} = 10241{,}7$ $мг/дм^3$ или в 200мл сульфаминовой кислоты 10241,7/5=2,048 $г/дм^3$;

Кислотность исходной 5 %-ной сульфаминовой кислоты, определенная методом титрования пробы 0,1Н раствором едкого натра: $H_1^+ = 520$ мг-экв/дм^3. Кислотность 5 %-ной сульфаминовой кислоты после промывки $H_2^+ = 302$ мг-экв/дм^3.

Поскольку содержание $CaCO_3$ составляет 86,4 % принимаем условно, что весь осадок в количестве 2,085 г. состоит из $CaCO_3$.

Расход кислотности 5 %-ной сульфаминовой кислоты, пошедшей на растворение осадка $CaCO_3$:

$$H_3^+ = H_1^+ - H_2^+ = 520 - 302 = 218 \text{ мг-экв/дм}^3.$$

В 2,085 г. осадка $CaCO_3$ находится $(40 \cdot 2{,}085)\ /\ 100 = 0{,}83$ г Ca^{2+}, или в 1000 мл будет 0,83 · 5 = 4,15 г Ca^{2+}, или 4150/20 = 207,5 мг-экв/дм^3 Ca^{2+} (по анализу $Ca^{2+} = 192$ мг-экв/дм^3, т.е. сопоставимые результаты).

Количество Ca^{2+} в массе осадка составит:

$$Ca^{2+}_{ос} = Ca^{2+}, мг/Э_{CaCO_3} = \frac{830}{20} = 41{,}5. мг\text{-}экв$$

На растворение $1\ мг-экв/дм^3\ Ca^{2+}$, содержащегося в $CaCO_3$ пошло кислотности:

$H_4^+ = H_3^+/Ca^{2+}_{ос} = 218/41{,}5 = 5{,}25$ мг-экв/дм^3, где H_3^+–кислотность, пошедшая на растворение осадка $CaCO_3$ в количестве 2,085 г., $Ca^{2+}_{ос}$ – количество Ca^{2+} в составе осадка.

Стоимость сульфаминовой кислоты (NH_2SO_3H)

$$Ц_1 = 1380{,}0\ руб\ /\ кг.$$

Теоретическая масса 100 %-ной сульфаминовой кислоты, пошедшая на растворение 1 мг-экв Ca^{2+}

$M_{100\%} = M \cdot H_4^+ = 97{,}09 \cdot 5{,}25 = 509{,}72$ мг-экв.

где $M = 97{,}09$ — молярная масса NH_2SO_3H;

$H_4^+ = 5{,}25$ – кислотность, пошедшая на растворение 1 мг-экв Ca^{2+}.

Тогда для растворения 1 мг-экв Ca^{2+}, содержащегося в осадке $CaCO_3$ необходимо сульфаминовой кислоты:

$$NH_2SO_3H = 509{,}72/1000 = 0{,}51\ г.\ или\ 0{,}00051\ кг.$$

Экономические затраты на растворение 1 мг-экв Ca^{2+}. составят:

$$З = Ц_1 \cdot NH_2SO_3H = 138 \cdot 0{,}00051 = 0{,}07\ {}^{руб}/_{мг-экв}\ Ca^{2+},$$

где $Ц_1$ – стоимость 1 кг сульфаминовой кислоты, руб.;

NH_2SO_3H – навеска сухой сульфаминовой кислоты, необходимой для растворения 1 мг-экв Ca^{2+}, кг.

Для промывки использовали 5 %-ный $(50\ г/дм^3)$ раствор сульфаминовой кислоты, стоимость 1 л которого составит:

$$Ц_{5\%} = \frac{Ц_{100\%}}{1000} \cdot 50 = \frac{138}{1000} \cdot 50 = 6{,}9\ руб.$$

Исходя из того, что начальная кислотность H_1^+ 520 мг-экв/дм^3,после первой промывки снижается до $H_2^+ = 302$ мг-экв/дм^3,следует, что максимальное количество промывки будет:

$$n_{пром} = \frac{H_1^+}{H_3^+} = \frac{520}{218} = 2{,}38\ раза.$$

Тогда стоимость одной промывки составит:

$$Ц_{пром} = \frac{Ц_{5\%}}{n_{пром}} = \frac{6{,}9}{2{,}38} = 2{,}9\ руб.$$

Опыт № 2. Промывка электродных пластин 5 %-ной соляной кислотой.

Исходные данные:

Объём соляной кислоты для растворения осадка – 200 мл;

Начальный вес чистого катода $G_{нач.} = 33{,}820$ г;

Вес катода после 75 часов работы $G_{конеч.} = 36{,}675$ г;

Вес осадка - $G_{ос.} = 36{,}675 - 33{,}820 = 1{,}855$ г.
Состав осадка:
По ионам: $Ж_{общ} = Ca^{2+} + Mg^{2+} = 165 + 10 = 175$ мг-экв/дм^3
$Ca^{2+} = 165$ мг-экв/дм^3; $Mg^{2+} = 10$ мг-экв/дм^3; $SO_4^{2-} = 5.$ мг-экв/дм^3.
Содержание $CaCO_3$ в составе осадка:

$$C_{Ca^{2+}} \cdot Э_{CaCO_3} = (165 - 5) \cdot 50 = 8000 \text{ мг/дм}^3 \text{ или } 93{,}47\ \%.$$

Содержание $CaSO_4$ в составе осадка: $Ca^{2+} \cdot Э_{CaSO_4} = 5 \cdot 68 = 340$ мг/дм^3 или 3,97 %.
Содержание $Mg(OH)_2$ в составе осадка:

$$C_{Mg^{2+}} \cdot Э_{Mg(OH)_2} = 10 \cdot 29{,}15 = 218{,}5 \text{ мг/дм}^3 \text{ или } 2{,}56\ \%$$

Кислотность исходной 5 %-ной соляной кислоты: $H_1^+ = 1220$ мг-экв/дм^3.
Кислотность после промывки: $H_2^+ = 1110$ мг-экв/дм^3.
Расход кислотности, пошедшей на растворение:

$$H_3^+ = H_1^+ - H_2^+ = 1220 - 1110 = 110 \text{ мг-экв/дм}^3.$$

Количество кальция в массе осадка:

$$Ca_{ос}^{2+} = Ca^{2+}, \text{мг}/Э_{CaCO_3} = 742/20 = 37{,}1 \text{ мг-экв.}$$

На растворение 1 мг-экв/дм^3 Ca^{2+}, содержащегося в $CaCO_3$, пошло кислотности:

$$H_4^+ = H_3^+/Ca_{ос}^{2+} = 110/37{,}1 = 2{,}96 \text{ мг-экв.}$$

где H_3^+ – кислотность, пошедшая на растворение осадка $CaCO_3$ в количестве 1,855 г., $Ca_{ос}^{2+}$ – количество Ca^{2+} в составе осадка.
Стоимость 35 % соляной кислоты Ц = 37,5 руб./л.
Теоретическая масса 100 %-ной соляной кислоты, пошедшая на растворение 1 мг-экв Ca^{2+}

$$M_{100\%} = M \cdot H_4^+ = 36{,}5 \cdot 2{,}96 = 108{,}4 \text{ мг-экв,}$$

где $M = 36{,}5$ – молярная масса HCl;
$H_4^+ = 2{,}96$ – кислотность, пошедшая на растворение 1 мг-экв Ca^{2+}.
Тогда для растворения 1 мг-экв Ca^{2+}, содержащегося в осадке $CaCO_3$ необходимо 35 %-ной соляной кислоты:

$$М_{35\%} = \frac{Ц_{100\%}}{C} \cdot М_{100\%} = \frac{100}{35} \cdot 108{,}04 = 308{,}99 \text{ мг-экв,}$$

где С – концентрация соляной кислоты, %
Или для растворения 1 мг-экв Ca^{2+}, содержащегося в осадке $CaCO_3$ необходимо соляной кислоты:

$$HCl = 308{,}99/1000 = 0{,}31 \text{ г. или } 0{,}00031 \text{ кг.}$$

Экономические затраты на растворение 1 мг-экв Ca^{2+} составят:

$$З = Ц_1 \cdot HCl = 37{,}5 \cdot 0{,}00031 = 0{,}01162 \text{ руб/мг-экв.}$$

Стоимость 1 л 5 %-ной соляной кислоты составит:

$$Ц_{5\%} = \frac{35\%}{5\%} \cdot Ц_{35\%} = \frac{35}{5} \cdot 37{,}5 = 5{,}36 \text{ руб.}$$

Исходя из того, что начальная кислотность $H_1^+ = 1220$ мг-экв/дм^3, после первой промывки снижается до $H_2^+ = 1110$ мг-экв/дм^3 следует, что

максимальное количество промывок будет:

$$n_{\text{пром}} = \frac{H_1^+}{H_3^+} = \frac{1220}{110} = 11{,}09 \text{ раза.}$$

где H_3^+ – кислотность, пошедшая на растворение осадка $CaCO_3$ в количестве 1,855 г.

Стоимость одной промывки составит:

$$Ц_{\text{пром}} = \frac{Ц_{5\%}}{n_{\text{пром}}} = \frac{5{,}36}{11{,}09} = 0{,}48 \text{ руб.}$$

ВЫВОДЫ

При относительно невысоком превышении стоимости 1 л 5 %-ной сульфаминовой кислоты (6,9 руб./л) над 5 %-ной соляной (5,36 руб./л) стоимость одной промывки сульфаминовой кислотой (2,9 руб.), что в 6 раз дороже стоимости одной промывки соляной кислотой (0,48 руб.), что связано с разными возможностями повторного использования кислот для очередной промывки электролизного аппарата. Т.е. если 5 %-ную HCl возможно использовать 11,1 раз до ее нейтрализации, то 5 %-ную NH_2SO_3H только 2,4 раза или в 11,1 / 2,4 = 4,6 раза меньше, что и определяет очевидное экономическое предпочтение соляной кислоты перед сульфаминовой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Медриш Г.Л. Обеззараживание природных вод и сточных вод с использованием электролиза. [Текст] / Г.Л. Медриш, А.А. Теймева, Д.Л. Басин. – М.: Стройтздат, 1982. 81 с.
2. Кургаев Е.Ф. Осветлители воды. М.: Строиздат, 1977. 190 с.

УДК 628.161

ОБОСНОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ЖЕЛЕЗО-КАТАЛИТИЧЕСКОГО ОКИСЛЕНИЯ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ПРИРОДНЫХ СЕРОВОДОРОДНЫХ ВОД

А.Ю. Черкесов, С.А. Щукин, Ю.С. Щукина
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия

В статье представлено новое технологическое решение в области подготовки сероводородных природных вод для хозяйственно-питьевых и технических целей. Разработанная технология железо-каталитической очистки природных сероводородсодержащих вод в реакторе с ультрафильтрационным разделителем отличается простотой в эксплуатации, малым количеством периферийного оборудования и высокой скоростью протекающих процессов, а также не имеет побочных продуктов и полностью экологически безопасна. Предлагаемое решение

может быть рекомендовано для применения на объектах водоподготовки для целей водоснабжения предприятий, малых населённых мест и индивидуальных домовладений.

Очистка природных сероводородных вод для хозяйственно-питьевых целей – процесс не только сложный и требующий постоянного технологического контроля, но и дорогостоящий. Из существующих методов удаления сероводорода наибольшее распространение получили технологии, основанные на химическом окислении сероводорода, преимущественно до молекулярной серы (S^0) [1], с последующим её выведением из материального баланса. Однако, в действительности очистка сероводородных вод по такому принципу требует выполнения двух условий: первое – небольшое содержание сероводорода в исходной воде (до 10 мг/дм^3), второе – доступность используемого в технологии окислителя. При использовании в качестве реагентов гипохлорита натрия (ГХН) или озона (ОЗ) рекомендуемые дозы для окисления 1 мг $\sum H_2S$ составят 4,5 – 5,0 мг и 0,8 – 1,2 мг соответственно [2]. При значительных концентрация сероводорода, например 30 мг/дм^3, суточная потребность в реагенте при производительности станции 2 000 м^3/сут составит для ГХН 300 кг, для озона – 60 кг. Следовательно, необходимо приобретение и строительство крупных установок по приготовлению и дозированию используемых реагентов на месте их применения, что влечёт за собой значительные капиталовложения, эксплуатационные затраты и, как следствие, увеличение себестоимости отпускаемой продукции – 1 м^3 очищенной воды.

Одним из векторов решения проблемы высокой стоимости подготовки природных сероводородсодержащих вод является их очистка железо-каталитическим методом в реакторе с ультрафильтрационным разделителем [3–4].

Для обоснования экономической эффективности применения технологии очистки сероводородных вод железо-каталитическим методом в схемах подготовки питьевой воды выполнено технико-экономическое сравнение двух альтернативных вариантов станций водоподготовки производительностью 2000 м^3/сут.

Первый вариант – технологическая схема с применением железо-каталитического окисления сероводорода (вариант I) (рис. 1).

Второй вариант – технологическая схема с применением метода окисления сероводорода гипохлоритом натрия (вариант II) (рис. 2).

В качестве расчетного состава исходной воды был принят следующий: концентрация $\sum H_2S$ – 10,0 мг/дм^3; мутность – 1,5 мг/дм^3; цветность – 20 град. ПКШ. Требования СанПиН 1.2.3685-21 по лимитирующим показателям: $\sum H_2S$ – 0,05 мг/дм^3; мутность – 1,5 мг/дм^3; цветность – 20 град. ПКШ.

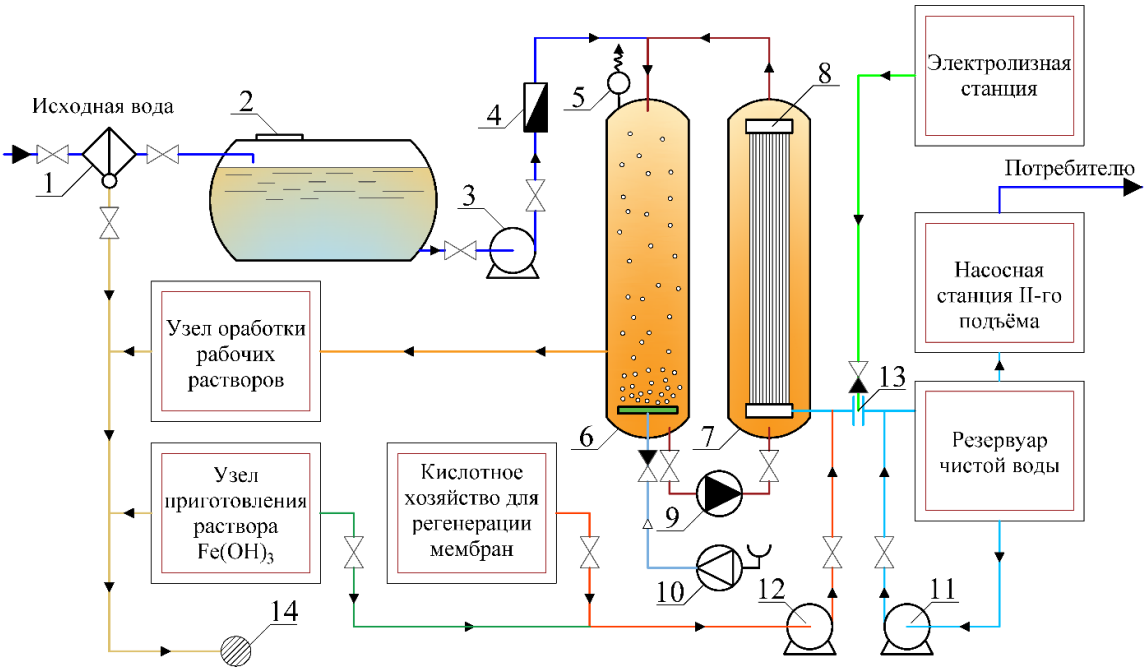


Рисунок 1. **Принципиальная схема очистки природных вод с применением метода железо-каталитического окисления сероводорода кислородом воздуха в реакторе с ультрафильтрационным разделителем:**
1 – фильтр грубой очистки; 2 – бак разрыва струи;
3 – насос повышения давления; 4 – расходомер; 5 – воздухоотводчик;
6 – реактор-окислитель; 7 – реактор-окислитель с мембранным разделителем;
8 – ультрафильтрационный разделитель; 9 – насос рециркуляции;
10 – воздуходувка; 11 – промывочный насос;
12 – насос подачи регенерационного раствора; 13 – точка ввода ГХН для вторичного обеззараживания; 14 – сброс в канализационную сеть

Критерием экономической эффективности и целесообразности внедрения новых методов очистки принята стоимость 1 м^3 воды и годовой экономический эффект, отнесенный к годовому объему производства по формуле [5,6]:

$$Э = П_2 – П_1$$

где $П_2$, $П_1$ – приведенные затраты единицы продукции по новой технологии и варианту сравнения, определяемые по формуле:

$$П_i = C_i + E \cdot K_i$$

где C_i – эксплуатационные затраты по *i*-му варианту; *E* – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, равный 0,12; K_i – капиталовложения по *i*-му варианту.

Общие капитальные затраты на строительство сооружений очистки равны сметной стоимости. Капитальные затраты по вариантам составляют:

для первого варианта – 27 593,5 тыс. рублей;

для второго варианта – 91 368,3 тыс. рублей;

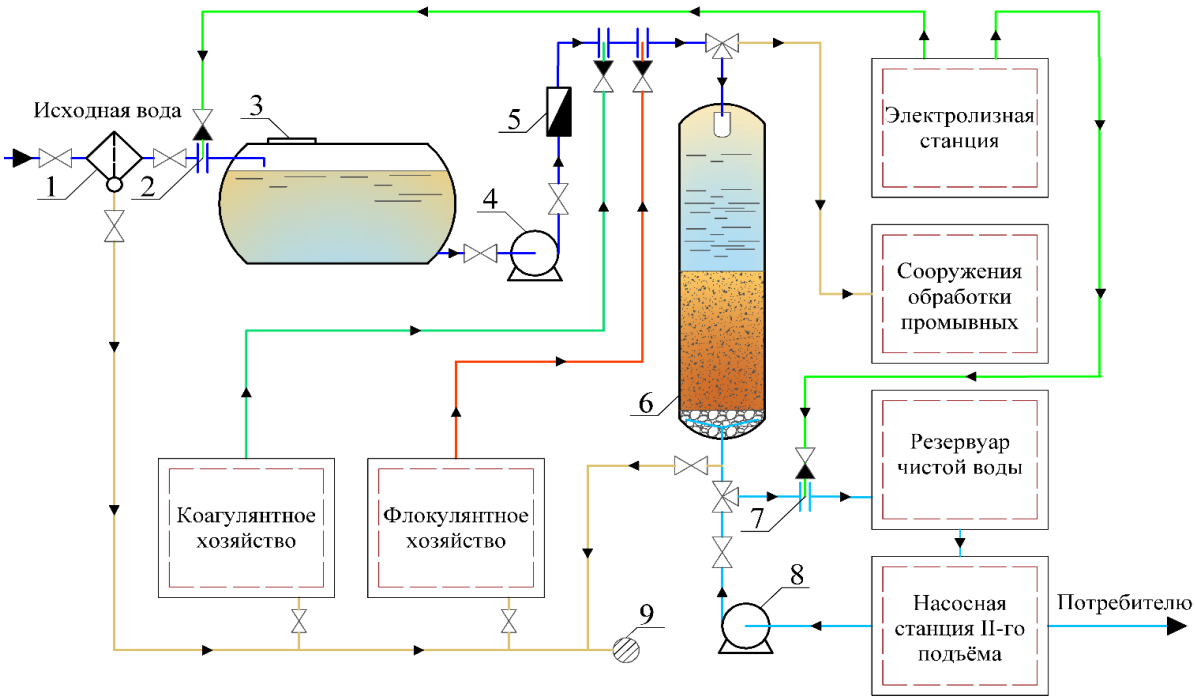


Рисунок 2. **Принципиальная схема очистки природных вод с применением метода окисления сероводорода гипохлоритом натрия:**
1 – фильтр грубой очистки; 2 – точка ввода окислителя (ГХН); 3 – бак разрыва струи; 4 – насос повышения давления; 5 – расходомер; 6 – напорный контактный фильтр; 7 – точка ввода ГХН для вторичного обеззараживания; 8 – промывной насос; 9 – сброс в канализационную сеть

Себестоимость продукции является важным показателем, позволяющим дать экономическую оценку сравниваемых вариантов. Этот параметр включает в себя затраты в денежной форме, пошедшие на производство питьевой воды, которые связаны (косвенно или прямо) с выпуском продукции. Расчёт себестоимости производится по формуле:

$$S = C / (Q_у \cdot K)$$

где $Q_у$ – среднее количество воды в год, подаваемое потребителям, $Q_у$ = 730 000 м^3/год; K – коэффициент изменения цен и тарифов, K = 1; C – суммарные годовые эксплуатационные расходы (руб./год).

Величину издержек организации на выпуск, реализацию продукции рассчитывали с помощью суммарных годовых эксплуатационных затрат по следующей формуле:

$$C = C_{атм} + C_р + C_э + C_м + C_{фот} + C_{соц} + C_н$$

Результаты расчетов годовых эксплуатационных затрат сведены в таблицу 1, технико-экономические показатели – в таблицу 2.

Приведенные затраты при нормативном сроке окупаемости 8,3 года ($E_н$ = 0,12) составляют:

$$П_1 = C_1 + E \cdot K_1 = 23\,599{,}31 + 0{,}12 \cdot 27\,593{,}53 = 26\,910{,}53 \text{ тыс. руб/год}$$

$$П_2 = C_2 + E \cdot K_2 = 47\,971{,}99 + 0{,}12 \cdot 91\,368{,}28 = 58\,936{,}18 \text{ тыс. руб/год}$$

Таблица 1. **Определение годовых эксплуатационных затрат**

Наименование статей расходов	Годовые расходы			
	Технологическая схема с применением железо-каталитического окисления сероводорода (I вариант)		Технологическая схема с применением метода окисления сероводорода ГХН (II вариант)	
	тыс. руб.	% к итогу	тыс. руб.	% к итогу
Амортизационные отчисления $С_{атм}$	2 796,86	11,9	8 513,19	17,7
Затраты на все виды ремонтов $С_{р.}$	2 330,71	9,9	7 094,32	14,8
Затраты на электроэнергию $С_{э.}$	5 418,36	23,0	12 549,63	26,2
Затраты на реагенты и материалы $С_{м.}$	1 135,91	4,8	2 358,80	4,9
Затраты на зарабатную плату рабочих $С_{фот}$	9 108,00	38,6	13 338,00	27,8
Затраты на социальные отчисления $С_{соц.}$	2 796,16	11,8	4 094,77	8,5
Налог со строений $С_{н.}$	13,31	0,06	23,28	0,05
Всего годовых эксплуатационных расходов, $С_{соц.}$	23 599,31	100,00	47 971,99	100,00
Себестоимость воды, руб./м^3	32,3		65,7	

Годовой экономический эффект по вариантам сравнения составит:

$$Э = П_2 – П_1 = 58\ 936{,}18 – 26\ 910{,}53 = 32\ 025{,}65 \text{ тыс. рублей}$$

Таблица 2. **Технико-экономические показатели по сравниваемым вариантам**

Наименование показателя	Ед. изм.	Технологическая схема с применением железо-каталитического окисления сероводорода (I вариант)	Технологическая схема с применением метода окисления сероводорода ГХН (II вариант)
Производительность годовая, Q	тыс. м^3/год	2000	2000
Сметная стоимость строительства, К	тыс. руб	27 593,53	91 368,28
Капитальные вложения (удельные) на 1 м^3, K/Q	тыс. руб/м^3	13,80	45,68
Эксплуатационные затраты (годовые), С	тыс. руб/год	23 599,31	47 971,99
Затраты приведенные, П	тыс. руб/год	26 910,53	58 936,18
Себестоимость воды 1 м^3, C/Q	руб/м^3	32,3	65,7

Выполненные расчёты и технико-экономический анализ таблицы 2 показали, что применение технологии очистки подземной воды от сероводорода с применением метода железо-каталитического окисления даст ожидаемый годовой экономический эффект в размере 32 025,65 тыс. рублей в сравнении с классической технологией окисления сероводорода гипохлоритом натрия для станции производительностью 2000 $м^3$/сут.

Разработка и исследование технологии выполнены при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках гранта «Аспиранты» по договору №20-35-90048\20 на тему «Исследование гомогенного каталитического окисления сероводорода кислородом воздуха в реакторе с мембранным разделителем».

ВЫВОДЫ

Очистка природных сероводородных вод для хозяйственно-питьевых целей – процесс не только сложный и требующий постоянного технологического контроля, но и дорогостоящий. Одним из вариантов решения проблемы высокой стоимости подготовки природных сероводородсодержащих вод является их очистка железо-каталитическим методом в реакторе с ультрафильтрационным разделителем. Выполненные технико-экономический расчет и сравнение технологий очистки воды от сероводорода с применением железо-каталитического метода и традиционного варианта кондиционирования воды с применением метода химического окисления сероводорода гипохлоритом натрия показали, что применение технологии железо-каталитического окисления сероводорода даст экономический эффект от её реализации в 32 025,65 тыс. рублей при себестоимости 1 $м^3$ воды 32,3 руб. в то время как себестоимость очистки воды традиционным способом составит 65,7 руб.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фесенко, Л.Н. Научное обоснование, разработка технологии очистки и дальнейшего использования вод, содержащих йод, бром, сероводород [Текст]: дис. … д-ра техн. наук / Фесенко Л. Н. – Москва, 2004. 377 с.
2. Линевич, С.Н. Комплексная обработка и рациональное использование сероводородсодержащих природных и сточных вод [Текст] / С.Н. Линевич. - Москва: Стройиздат, 1987. 88 с.
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. 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.
5. Москаленко А.П. Инвестиционное проектирование: основы теории и практики / А.П. Москаленко, С.А. Москаленко, Р.В. Ревунев, Н.И. Вильдяева // Санкт-Петербург: Издательство «Лань», 2018. 376 с.
6. Шифрин С.М., Панибратов Ю.П., Экономика водопроводно-канализационного хозяйства: учебник для вузов. 2-е изд., доп., и перераб. – Л.: Стройиздат. Ленингр. отделение, 1982. 319 с.

УДК:621.9.079

ГИПЕРПРОИЗВОДИТЕЛЬНОЕ ОСВЕТЛИТЕЛЬНОЕ ФИЛЬТРОВАНИЕ ВОДЫ

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

Выполнен анализ существующих разработок технологических процессов фильтрования, обеспечивающих достижение высокой производительности при компактной конструкции. При этом достигается удельная производительность до 100 раз большая, чем при скором напорном фильтровании с применением в качестве загрузки кварцевого песка. Подобные гиперпроизводительные процессы организуются при двух разных подходах. Первый заключается в формировании относительно кратких циклов фильтрования с большой удельной производительностью через фильтрующие перегородки, изначально обеспечивающие заданную тонкость очистки, что соответствует виду фильтрования с постепенным закупориванием пор. Особенностью второго подхода является радикальное увеличение живого сечения фильтрующей перегородки за счет организации объемно-пространственных поровых структур (глубинное фильтрование) или поверхностных структур (картриджные с гофрированными камерами, нанизанными на отводящий канал, или патронные с нанесением на цилиндрическую отводящую крупнопористую подложку с центральным каналом фильтрующего порошка – кизельгура). Кроме того, выявлена весьма эффективная форма фильтрующего покрытия из нитей трапецеидального сечения с расширением нити по направлению навстречу водному потоку (шпальтовое сечение).
Сформирована классификация технологических приемов и средств, обеспечивающих гиперфильтрование с достижением удельной производительности в 20 – 100 раз большей, чем при скором напорном фильтровании с дисперсными фильтрующими загрузками.

Разработаны конструкции опытных гиперфильтровальных устройств и методика экспериментальных исследований их технологической эффективности. На основе результатов НИР сформировано представление о параметрах фильтрующих устройств и режимах проведения процесса фильтрования.

Показана возможность создания станций очистки вод с расчетной удельной производительностью до 1000 ($м^3$/ч)/$м^2$ при снижении в несколько раз стоимости воды, очищенной до норм СанПиНа.

Для успешного решения проблемы экономичной доочистки

вторично загрязняемой в сетях распределения питьевой воды (ахиллесовой пяты систем централизованного водоснабжения) целесообразно создание малогабаритных фильтровальных модулей, обеспечивающих высокую производительность очистки при малых капитальных затратах.

В настоящее время для доочистки в многоквартирных домах используются картриджные очистители, в том числе картриджные фильтры.

Однако производительность картриджных фильтров невысока и составляет при качественном осветлении 10 – 20 л воды на человека в сутки. Работают они при кратковременных включениях. Для обеспечения очистки на уровне 150 л/сутки на 1 человека (реально необходимом сегодня расходе) использование подобных фильтров неэффективно и неэкономично (срок службы не более 1 недели).

Для создания гиперпроизводительного фильтровального оборудования целесообразно решение двух задач:

1. повышение в разы скорости прохождения фильтровальной перегородки (средней скорости фильтрования);
2. увеличение площади фильтровальной перегородки за счет создания многослойных или многоэлементных объемно-структурированных фильтровальных устройств.

Повышение скорости фильтрования реализуемо при использовании начального вида процесса фильтрования с постепенным закупориванием пор фильтрующей перегородки [1].

Если фильтровальная перегородка надежно обеспечивает с начального момента фильтрования требуемое качество осветления воды, то она способна работать в течение некоторого заданного времени (2 – 3 ч и более) с близкой к максимально допустимой скоростью фильтрования, в 10 и более раз превышающей скорость в режиме длительного фильтрования (при существующей парадигме напорного фильтрования с загрузкой).

Для надежной реализации скоростного вида фильтрования необходима организация гибкого процесса с обратной связью в режиме «on-line», что возможно при использовании соответствующих датчиков качества воды на входе и выходе и микропроцессорной системы управления процессом фильтрования.

Такая автоматизация характерна для современных технологий и оборудования для очистки воды, например технология и станции «Actiflo» фирмы «Veolia» (Франция). В настоящее время с помощью подобных сооружений за рубежом во множестве случаев (до 70 %) решается проблема очистки поверхностной воды [2].

Ниже приводятся результаты экспериментальных исследований возможности и эффективности применения гиперпроизводительного

фильтрования для доочистки питьевой воды, вторично загрязненной в сетях водоснабжения частицами микронного и субмикронного размеров.

На рисунке 1 показаны основные технические характеристики напорных намывных фильтров, зависимости скорости фильтрования и перепада давления.

Характерная особенность зависимостей W(t) и Δp(t) заключается в снижении скорости фильтрования W и повышении перепада давления Δp во времени непрерывной работы вследствие закупоривания пор фильтра и увеличения сопротивления фильтрованию.

При фильтровании с постепенным закупориванием происходит снижение скорости W не более чем на 10 – 20 %, перепад давления Δp при этом соответственно увеличивается. Вследствие этого многократно уменьшается время цикла $\tau_{цI}$ до $\tau_{цn}$, однако в целом обеспечивается многократное увеличение удельной производительности q.

За счет увеличения площади фильтровальной перегородки с помощью многоэлементного объемно-пространственного конструктива в настоящее время повышают удельную производительность q фильтрования до 10 и более крат, рисунок 2. [1]

Чем меньше продолжительность непрерывного фильтрования, тем больше средняя скорость фильтрования W и удельная производительность фильтрования q. Однако при этом уменьшается допустимое время непрерывной работы. Промывка осуществляется противотоком. При этом снижается давление необходимое для надежной и качественной промывки.

На протяжении многих лет в промышленности успешно используются патронные фильтры, в которых на поверхности цилиндрических патронов размещается намываемый микропорошок из цеолита – вспомогательный фильтровальный материал (ВФМ). Достоинствами такого фильтрования являются относительно большая удельная фильтрующая поверхность и удельная производительность, вследствие высокой пористости слоя ВФМ, и высокое качество очистки вследствие малого размера пор фильтрующего слоя ВФМ. Недостаток, ограничивающий применение патронных фильтров со слоем ВФМ, заключается в одноразовости применения самого ВФМ, поскольку его отделение от взвеси достаточно дорогостояще и сложно.

В дальнейшем фильтрующая перегородка со слоем ВФМ преобразовались в постоянную фильтрующую перегородку с рельефной тонкослойной камерной структурой (рис. 3,а) или пористую толстостенную цилиндрическую структуру на поверхности сборного трубчатого корпуса с центральным каналом (рис. 3,б).

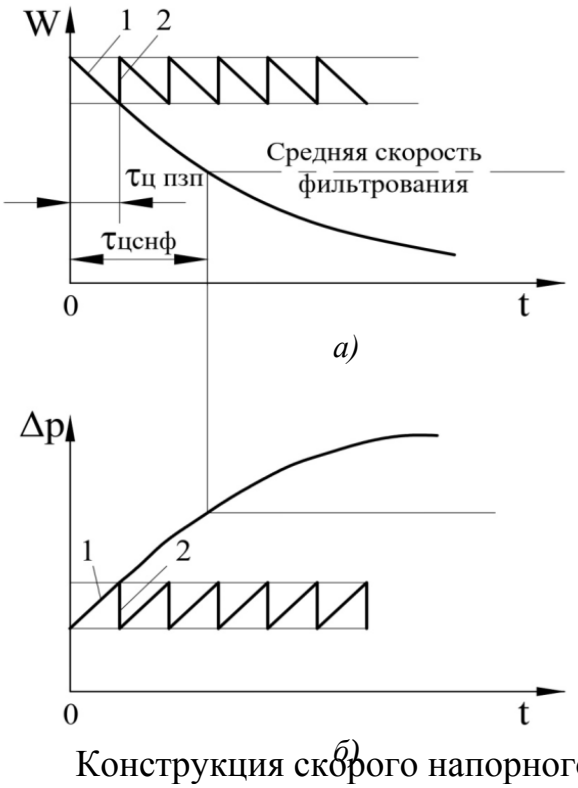


Рисунок 1. **Зависимость скорости фильтрования (а) и перепада давления (б) от времени фильтрования:**
1 – снижение скорости W и перепада давления Δp при постепенном закупоривании пор и увеличении сопротивления фильтрованию;
2 – восстановление первоначальных значений W и Δp вследствие промывки фильтрующей перегородки противотоком

Конструкция скорого напорного фильтра показана на рисунке 2.

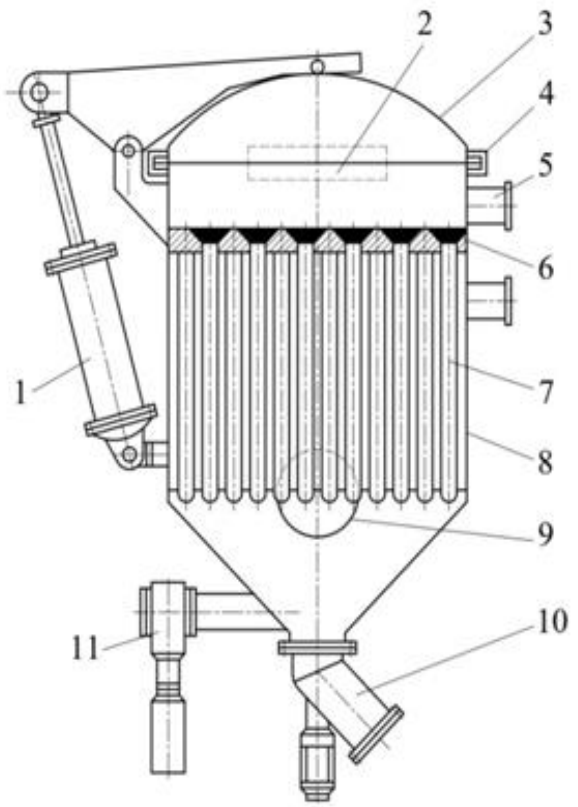
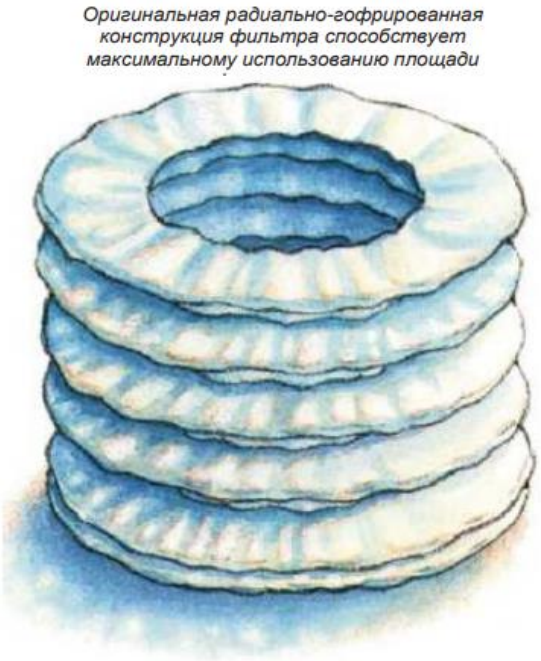


Рисунок 2. **Скорый напорный патронный фильтр с нанесением слоя вспомогательного фильтровального материала:**
1, 2 – пневмоцилиндры; 3 – крышка;
4 – байонетные затворы;
5, 9, 11– патрубки; 6 – опорная решетка;
7 – фильтровальные патроны;
8 – корпус; 10 – донный клапан

Также разработаны горизонтальные и вертикальные варианты фильтров.



а) б)

Рисунок 3. **Объемно-структурированный постоянный поверхностный слой фильтрующей перегородки (структуры)**:
а- гофрированная; б – глубинная

При гофрированной фильтрующей перегородке основные технические характеристики выглядят следующим образом: а) удельная поверхность фильтрования (наружный цилиндр), отнесенная к площади поперечного сечения $S_{ф.уд} = 36 – 37$ м^2/м^2 (характеризует кратность увеличения фильтрующей поверхности для картриджной компоновки); б) плотность упаковки картриджей в корпусе $К_{пл} = 0,58 – 0,6$; в) производительность разработанных фильтров Q = 79,5; 454 м^3/ч; г) удельная производительность q = 798; 995 (м^3/ч)/м^2; д) средняя скорость движения воды перед фильтрующей перегородкой в поперечном направлении W = 22,3 и 26 м/с.

При гофрированной фильтрующей перегородке удельная производительность фильтра составляет 800 – 1000 (м^3/ч)/м^2, то есть в 100 раз больше удельной производительности скорых напорных фильтров – 8 – 12 (м^3/ч)/м^2.

При глубинном формировании объемно-пространственной пористой перегородки наблюдаются схожие технические характеристики:

а) удельная поверхность фильтрования $S_{ф.уд} = 37$ м^2/м^2;

б) плотность упаковки картриджей в корпусе $К_{пл} = 0,59$;

в) производительность фильтра Q = 79,5; 454 м^3/ч;

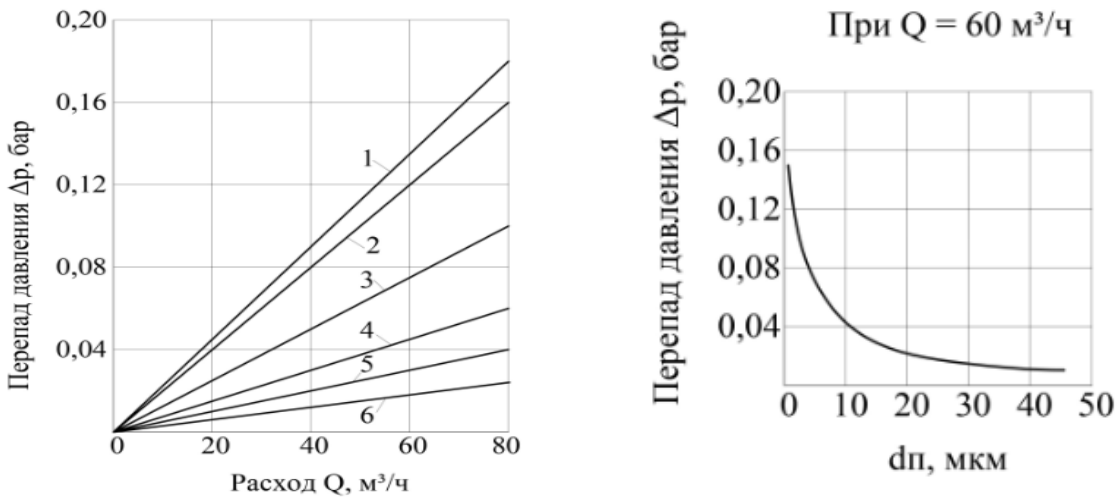
г) удельная производительность фильтрования q= 614; 692 (м^3/ч)/м^2;

е) скорость фильтрования W = 16,5; 18,8 м/с.

Таким образом, гофрированное и глубинное исполнения пористой фильтрующей перегородки позволили за счет замены ими слоя загрузки песка (высотой до 0,8 – 1 м) увеличить удельную производительность в 60 – 100 раз.

На рисунке 4, а [3] показана зависимость перепада давления от расхода (для анализируемых конструкций). Для зависимости характерен линейный вид. В то же время зависимость перепада давления от размера пор Δр ($d_п$) имеет нелинейный вид. При постоянном расходе снижается (рис. 4, б) перепад давления при увеличении размера пор, поскольку при этом уменьшается сопротивление фильтрованию. Особенно сильно это проявляется при $d_п$ □ 10 мкм

Фильтрационное оборудование [3] позволяет обеспечить при высоком качестве очистки увеличение удельной производительности фильтрования до 100 раз. Это позволяет резко снизить капитальные затраты в связи с уникальной компактностью технологического оборудования.



а) б)

Рисунок 4. **Технические характеристики картриджа Dк:**
а) – зависимость Δр от требуемого расхода: 1,2,3,4,5,6 – $d_п$ = 1; 2; 5; 10; 15; 25–70 мкм;
б) – зависимость расхода Q от размера поры $d_п$ (картридж D = 218 мм, H = 1 м)

Широко используемые за рубежом для очистки воды листовые фильтры в то же время не пригодны для разделения суспензий с быстроосаждающейся твердой фазой, а также суспензий, осадки которых при просушке растрескиваются [3].

Основное преимущество листовых фильтров:

- большая площадь фильтрации 1 – 125 м^2;
- автоматическое удаление осадка;
- высокая производительность;
- компактная компоновка;

- принудительное стационарное или вибрационное удаление осадка.

Применяются уплотнительные элементы из фтористой резины «Витон»", нитрила, силикона и др.

С точки зрения обеспечения высокой пористости (живого сечения) фильтрующего покрытия пристальное внимание привлекают шпальтовые покрытия фильтроэлементов.

Преимущество такого рода фильтрующих перегородок заключается в высоком живом сечении с улучшенной подверженностью промывке противотоком. Размеры щелевых сит представлены в ГОСТ 9074-85.

Необходимо отметить, что из шпальтовых фильтрующих перегородок возможно создание многослойных фильтров, обеспечивающих по отношению к однослойным многократное увеличение скорости и длительности фильтрования водных жидкостей с относительно широким распределением дисперсных частиц по размерам.

Классификация приемов и средств радикального повышения удельной производительности. Все приемы и средства радикального повышения удельной производительности выполняются в рамках двух подходов (рис. 5).

Радикальное повышение скорости фильтрования обеспечивается при фильтровании с постепенным закупориванием пор фильтра. При этом достигается улучшение всех технико-экономических показателей эффективности фильтрования: удельная производительность q; компактность S_Q или V_Q; надежность; энергоемкость W_Q; экономичность $Ц_V$; регулируемость качества.

Значительное повышение скорости движения воды через фильтровальную перегородку отмечается при изменении формы поры в плане за счет уменьшения числа поперечных нитей на единицу площади, например замена формы поры в плане на полосовой зазор (шпальтовое покрытие).

При этом также наблюдается возможность улучшения показателей эффективности, а также управления качеством фильтрата.

Увеличение скорости фильтрования через пористую перегородку отмечается при исполнении нити, образующей фильтр, в форме трапеции с расширением в направлении ввода воды. К особенностям фильтровального покрытия относится простота регенерации (промывки) фильтра. В настоящее время шпальтовые покрытия (сита) только начали широко входить в практику фильтрования.

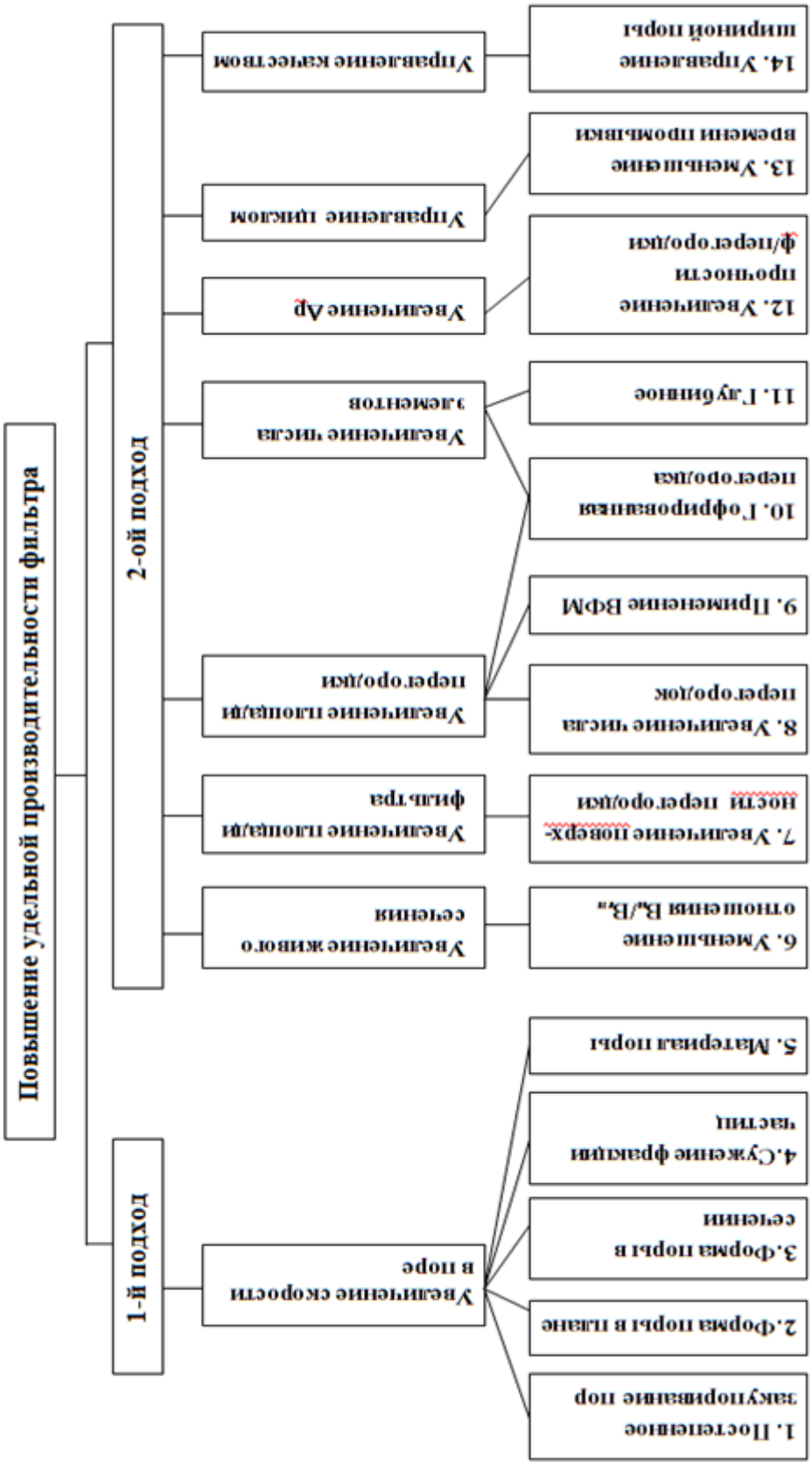


Рисунок 5. **Классификация приемов и средств повышения удельной производительности фильтра**

Положительные эффекты увеличения скорости фильтрования наблюдаются при принудительном сужении фракций отделяемых частиц с помощью многоступенчатых фильтров с уменьшающимся размером пор в направлении движения воды через фильтрующую перегородку.

В этом случае увеличивается пористость осадка, а, следовательно, и скорость фильтрования.

Увеличение скорости фильтрования достигается при оптимизации материала фильтрующей перегородки. Например, сита из металла или пластмассы обеспечивают различные скорости фильтрования.

Увеличение живого сечения фильтрующей перегородки обеспечивается при уменьшении соотношения размера поры и толщины (ширины) нити. Но применение этого приема ограничивается прочностью и гибкостью нити фильтрующего покрытия.

Увеличение площади фильтра производится за счет многоярусного размещения фильтрующих перегородок с независимым распределением исходной воды.

Увеличение числа фильтрующих перегородок – с помощью создания множества миниатюрных камер, объединяемых в единую структуру, например, фильтрующие патроны.

Повышение площади перегородок осуществляется путем увеличения числа перегородок и применения вспомогательных фильтрующих материалов ВФМ.

Увеличение числа фильтрующих (картриджных) элементов путем расположения гофрированных кольцевых камер на поверхности отводящего канала или глубинного фильтрующего покрытия путем организации объемно-пространственной структуры пор внутри пластиковых цилиндров.

Повышение перепада давления возможно в некоторых пределах, обусловленных прочностью пористой перегородки.

Уменьшение потерь времени на промывку фильтровальной перегородки обуславливает значительное увеличение в цикле доли времени непрерывного фильтрования.

Для обеспечения качества очищенной воды возможна организация управления размером (шириной) поры, а для выявления возможностей применения фильтрования с закупориванием пор фильтрующей перегородки были проведены экспериментальные исследования, подтвердившие эффективность гиперфильтрования.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

1) выявлен вид фильтрования, позволяющий создать опытные образцы, обеспечивающие многократное повышение удельной производительности фильтрования и направления их совершенствования;

2) выявлены конструктивные решения по увеличению площади пористых перегородок за счет объемно-пространственного

структурирования;

3) разработана методика проведения экспериментальных исследований, в том числе разработан стенд для очистки и опытные образцы фильтров; сформулирована программа (условия) проведения опытов; состав показателей эффективности и параметров, контролируемых при испытаниях;

ЛИТЕРАТУРА

1. Копылов А.С., Верховский Е.И. Спецводоочистка на атомных электростанциях. М.: Высшая школа, 1987. 207 с.
2. Фильтры 3M/https://teplomega.ru/wp-content/uploads/2013/-High-Flow.pdf
3. Вертикальный напорный листовой фильтр / http: [Электронный ресурс]//xn--80akjhddxhghnv8b2cm.xn--p1ai/wp-content/uploads/2017/03/VPLF-CATALOG-NEW-13_rus_ed.pdf
4. Шпальтовые фильтрэлементы [Электронный ресурс] /https:/eurositex.ru/produkciya/welevye-shpal-tovye-sita-i-fil-try/
5. Шпальтовые сита [Электронный ресурс]/https://ooo-specmash.ru/sita_shpalt
6. ГОСТ 9074-85 Сетки щелевые на соединительных шпильках.
7. Патент/https://yandex.ru/patents/doc/RU2710196C1_20191224

.

УДК 628.161

ФИНАНСОВО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОДЫ С ПОМОЩЬЮ ХЛОРСОДЕРЖАЩИХ ВЕЩЕСТВ

А.А. Фесенко

ООО «ЭКОФЕС-инжиниринг», г. Новочеркасск, Россия

В работе представлено технико-экономическое сравнение трёх технологий обеззараживания питьевой воды: газообразным хлором; низкоконцентрированным гипохлоритом натрия, получаемым электролизом 3 %-ого раствора поваренной соли; прямым электролизом дезинфицируемой воды с получением хлорсодержащего компонента из хлоридов, присутствующих в обеззараживаемой воде. Показано, что с ростом суточной производительности активного хлора себестоимость обеззараживания воды снижается.

Одним из важных аспектов здоровья человека является употребление качественной питьевой воды, которая должна соответствовать всем гигиеническим требованиям, включая обязательный элемент обеззараживания. Это обусловлено относительно высоким бактериальным и вирусным загрязнением источников водоснабжения, что усугубляется неудовлетворительным состоянием разводящей водопроводной сети. Сооружения водоподготовки, на которых используются традиционные

методы и процессы, не всегда в состоянии обеспечить требуемую степень очистки воды. В полной мере это относится к обеззараживанию воды – главному барьеру на пути передачи водных инфекций. Такое положение требует нового подхода к обеспечению эпидемиологической безопасности и, в частности, стимулирует работы по совершенствованию старых и внедрению принципиально новых технологий обеззараживания воды.

На сегодняшний день наибольшее распространение получило обеззараживание воды с помощью хлорсодержащих веществ, которые представлены в данной работе: растворение хлора в воде, электролиз солевого раствора, непосредственно на месте потребления использование хлоридов, которые содержатся в данной воде. Преимуществом хлорирования является эффективность, экономичность, удаление запахов, привкусов и обесцвечивание воды, отсутствие воздействия на процессы отстаивания воды и фильтрования воды, относительно простое аппаратурное оформление. Однако при назначении конкретного типа хлорсодержащего продукта для дезинфекции воды и метода его получения перед эксплуатирующими организациями стоит неочевидный выбор схемы обеззараживания, которая должна обеспечивать не только безопасность и технологичность применения, но и быть экономически выгодной для предприятия. Финансово-экономический анализ следует выполнять для конкретного объекта с учётом его местоположения, стоимости электроэнергии, условий эксплуатации и т.д.

Оценку экономической эффективности выполняли в сравнении технологий обеззараживания: газообразным хлором, поставляемым на объект в контейнерах, низкоконцентрированным гипохлоритом натрия (ГХН), получаемым электролизом 3 %-ого раствора поваренной соли, прямым электролизом дезинфицируемой воды с получением хлорсодержащего компонента из хлоридов, присутствующих в обеззараживаемой воде.

Все расчёты произведены на примере донской воды.

Для того, чтобы определить, какой метод обеззараживания воды менее затратный, был использован сравнительный анализ. Методика заключается в том, чтобы сравнить себестоимость 1 кг произведённого дезинфектанта, используя три технологии обеззараживания при разной производительности активного хлора 0,5; 2,5; 6; 10; 15; 20 кг/сут.

Поскольку себестоимость – это сумма всех затрат на единицу произведённой продукции, были сформулированы следующие категории расходов на производство 1 кг дезинфектанта [1]:

- приобретение реагента/сырья;
- электроэнергия;
- оплата труда + социальные отчисления;
- амортизационные отчисления;
- строительство сооружений.

Полученные результаты финансово-экономического обоснования приведены в таблице 1 и на рисунках 1–4.

Таблица 1. **Себестоимость 1 кг дезинфектанта, полученного предлагаемыми способами на оборудовании производительностью 6 кг/сут.**

№ п/п	Показатель	Единица измерения	Способы получения ГХН		
			из 3%-го раствора NaCl	Пресная вода	Хлор
Эксплуатационные затраты					
1	Годовое производство ГХН	кг	2190	2190	2190
2	Суточное производство ГХН	кг	6	6	6
3	Концентрация активного хлора	мг/дм³	8 000		
4	Годовой расход реагента/сырья	кг	Соль [2]		Хлор [2]
			9 855,00	-	2 190,00
5	Стоимость реагента/сырья	руб./кг	3,5 [4]	-	159,9 [5]
6	Годовые затраты на приобретение реагента	руб.	34 493[1]	-	350 181
7	Годовой расход на электроэнергии	кВт·ч	12264[2]	43 800[3]	919,8[4]
8	Тариф на электроэнергию	руб./кВт·ч	3,6 [6]	3,6 [6]	3,6 [6]
9	Годовые затраты на оплату электроэнергии	руб.	44 150	157 680	3 311
10	Расход соляной кислоты, 14%	кг	678,9[5]	21,9[6]	-
11	Стоимость соляной кислоты, 14%	руб./кг	45,2 [7]	45,2 [7]	-
12	Годовые затраты на соляную кислоту	руб.	30 686	990	-
13	Итого затраты на сырье и реагенты	руб.	109 329	228 750	353 492
14	Количество работников	чел.	7	0	7
15	Заработная плата, с НДФЛ	руб./чел.	26 500	26 500	26 500
16	Страховые взносы	руб./чел.	6 266,85	6 266,85	6 266,85
	Ежемесячные затраты на сотрудников	руб./мес.	229 368,00	–	229 368,00
17	Годовые затраты на сотрудников	руб.	2 752 416	0	2 752 416
18	Замена пластин (1 раз в 2 года)	руб.	77 083	1 943 000	

19	Сумма годовых эксплуатационных затрат	руб.	2 904 335	3 467 086	3 105 908
Капитальные затраты					
20	Общая сметная стоимость строительства	руб.	6 200 000	25 500 000	
Амортизационные отчисления					
21	Амортизационные отчисления	руб./год	413 333	1 700 000	2 000 000 [8]
Всего затрат					
Итого		руб.	3 352 161	5 167 086	5 105 908
Итого эксплуатационные и капитальные затраты					
Себестоимость 1 кг ГХН для обеззараживания воды		руб./кг	1 531	2 359	2 331

[1] – при удельном расходе соли 4,5 кг на 1 кг дезинфектанта;
[2] – при удельном расходе электроэнергии 5,6 кВт/ч на 1 кг дезинфектанта;
[3] – при удельном расходе электроэнергии 20 кВт/ч на 1 кг дезинфектанта;
[4] – при удельном расходе электроэнергии 0,42 кВт/ч на 1 кг дезинфектанта;
[5] – расход соляной кислоты 0,31 л/кг дезинфектанта;
[6] – расход соляной кислоты 0,01 л/кг дезинфектанта.

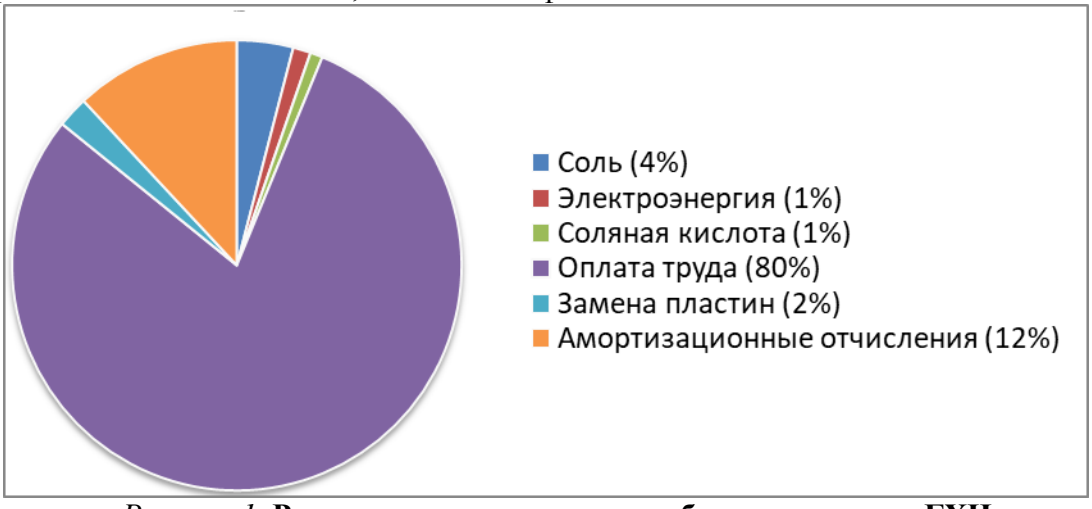


Рисунок 1. **Расходы предприятия при обеззараживании ГХН**

Рисунок 2. **Расходы предприятия при обеззараживании проточным электролизом**

Рисунок 3. **Расходы предприятия при обеззараживании жидким хлором**

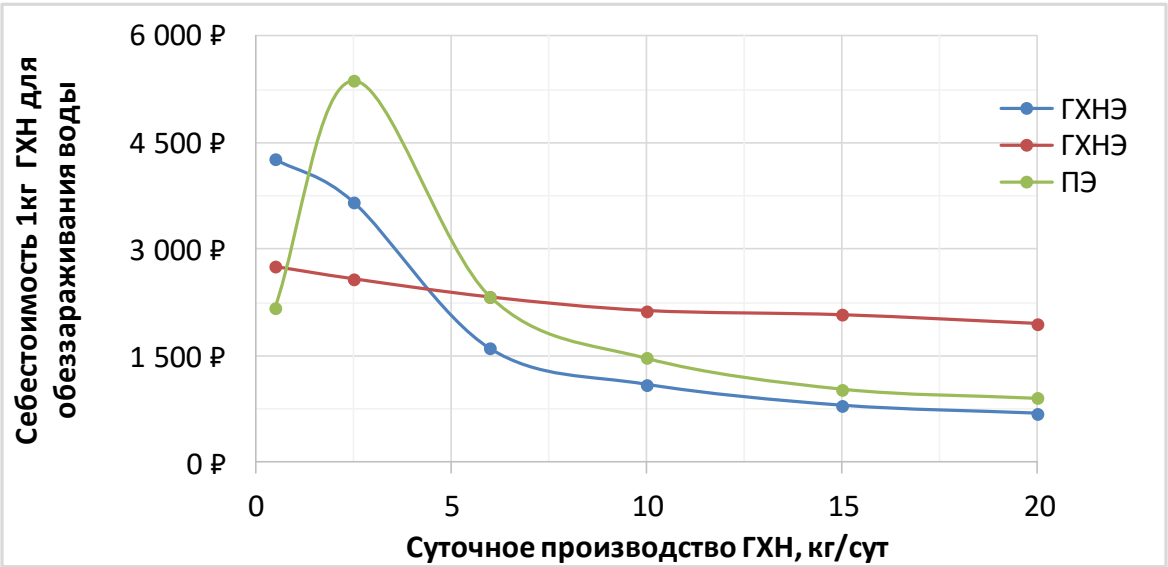


Рисунок 4. **Себестоимость 1 кг дезинфектанта, полученного предлагаемыми способами**

Полученные результаты свидетельствуют о том, что при более высокой производительности экономически предпочтительна технология использования солевого раствора, который практически в 2 раза дешевле, чем применение технологии растворения газообразного хлора, а при производительности до 4,5 кг/сут наиболее выгодным является обеззараживание воды проточным электролизом очищаемой воды на месте потребления. В заключение хочется отметить, что данная работа является исходными данными для создания в будущем программы для расчёта экономической эффективности для предприятий, которые закладывают в проект установки для обеззараживания воды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральный закон от 07.12.2011 N 416-ФЗ (ред. от 19.12.2022) "О водоснабжении и водоотведении" (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2023)
2. Фесенко, Л.Н. Дезинфектант воды – гипохлорит натрия: производство, применение, экономика и экология [Текст] / Л.Н. Фесенко, В.В. Денисов, А.Ю. Скрябин; под ред. проф. В.В. Денисова. – Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦ ВШ ЮФУ, 2012. С. 8–48.
3. ООО «УЛИСС». Соль поваренная пищевая 3 помол (Фасовка 50 кг) (стоимость от 13 декабря 2022 г.)
4. АО «Каустик» хлор жидкий в баллонах, 1 сорт (стоимость от 13 февраля 2023 г.)
5. zakupki.gov.ru

III. ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ И ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

УДК 628.14.1.530

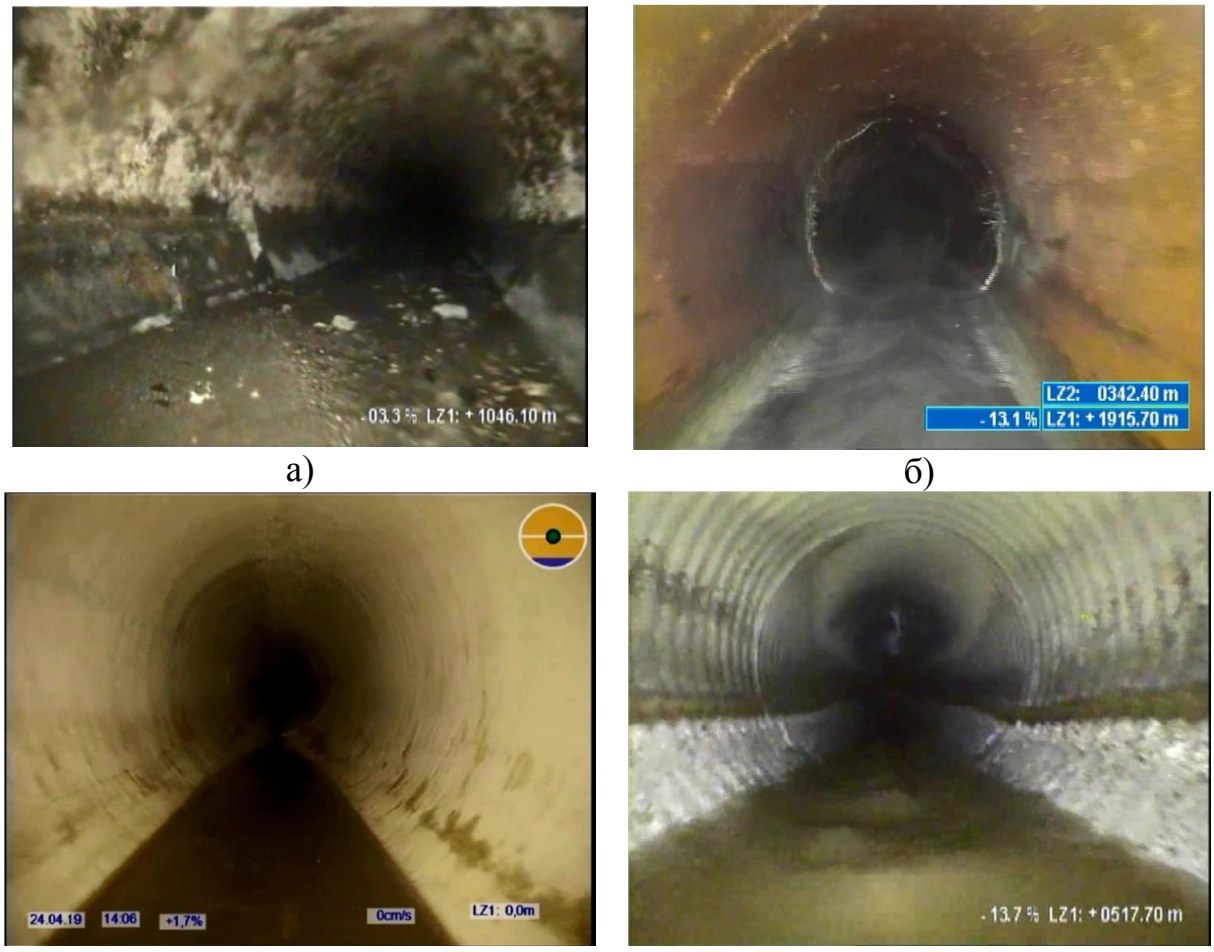
ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ СТОИМОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЗАТРАТ НА СОДЕРЖАНИЕ СЕТИ ВОДООТВЕДЕНИЯ С ОСАДКОМ В ЛОТКОВОЙ ЧАСТИ ТРУБ

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

Оценка изменения стоимости эксплуатационных затрат на содержание сети водоотведения с отложениями в лотковой части труб может быть произведена на основе сравнения затрат на содержание новой сети без слоя отложений и затрат на содержание сети со слоем отложений в лотковой части труб.

В процессе жизненного цикла «Эксплуатация» самотечных канализационных сетей, в зависимости от фактической скорости потока может образовываться в лотковой части труб осадок из твердых частиц (песка) или иловые отложения из биокомпонентов, содержащихся в сточной жидкости. Этому также подвержены сети для отведения поверхностных стоков, работающие циклично или периодически во время дождей или таяния снега [1–2]. На рисунке 1 приведен внешний вид труб с осадком в их лотковой части.

Обращает на себя внимание тот факт, что отложения (осадок) в лотковой части труб образуются в трубах из любого вида материала:



а) б)

в) г)

Рисунок 1. **Внешний вид внутренней поверхности труб с осадком в лотковой части:**

а) железобетон, б) керамика, в) стеклопластик, г) полипропилен

Сравним на конкретном примере изменение стоимости эксплуатационных затрат для новой сети водоотведения из железобетонных труб диаметром 400 мм и затрат на содержание той же сети, имеющей осадок (заиленность) в лотковой части, составляющий 20 % от величины внутреннего диаметра труб.

Условие задачи. Сравнить стоимость эксплуатационных затрат на содержание сети водоотведения из новых железобетонных труб диаметром 400 мм, длиной 60 п.м и труб той же длины со слоем иловых отложений – 70 мм.

Решение. Для участка сети длиной 60 п.м с двумя железобетонными смотровыми колодцами диаметром 1 м рассчитывают стоимость эксплуатационных затрат по формуле [4]:

$$Э = C + З + A + Г + P, \text{ руб.} \quad (1)$$

где: C – расходы на содержание сети водоотведения, включая содержание смотровых колодцев, тыс. руб.; $З$ – заработная плата бригады, эксплуатирующей сеть указанной длины, тыс. руб. [4]; A – норма

амортизационных отчислений, тыс. руб. [4]; *Г* – расходы на проведение гидродинамической очистки сети водоотведения диаметром 400 мм, тыс. руб. [3]; *Р* – расходы на проведение телевизионной диагностики участка, подвергнутого гидродинамической очистке, тыс. руб. [3].

В таблице 1 для сравнения и оценки приведены эксплуатационные затраты для участка сети в приведенном примере.

Таблица 1. **Виды эксплуатационных затрат**

Перечень видов затрат	Расходы для сравниваемых участков сети, тыс. руб.	
	новые трубы	трубы с осадком в лотковой части
Содержание сети, *С*, тыс. руб.	1 800,0	2 100,0
Зарплата бригады, обслуживающей сеть из 3-х чел., тыс. руб.	110 000,0	110 000,0
Амортизационные отчисления *А**, тыс. руб.	40 400,0	451 200,0
Расходы на гидродинамическую очистку участка сети, *Г*, тыс. руб.	------	35 107,2
Расходы на проведение TV – диагностики, *Р*, тыс. руб.	------	3 511,0
Итого:	152 200,0	191 918,2

Примечание: *– величины расходов в таблице 1 по видам перечня затрат взяты из примера, приведенного в работе [4].

Сравнение итоговых значений стоимости эксплуатационных затрат в таблице 1 для условий приведенного примера показывает, что:

- стоимость эксплуатационных затрат на содержание сети водоотведения с осадком в лотковой части труб на 20,8 % больше, чем стоимость затрат на содержание сети без внутренних отложений

191 918,2 руб. >152 000 руб. на 20,80 % или в 1,26 раза.

Разница в величине стоимости затрат объясняется следующим образом:

1. Содержание сети *С* с осадком в лотковой части требует более частого контроля и обхода бригад, обслуживающих данный участок сети, поэтому расходы на содержание сети будут больше:

C = 2100 руб. > C = 1800 руб. на 14,23 % или в 1,17 раза.

2. При этом заработная плата бригады *З* из трех специалистов, обслуживающих данный участок сети не меняется.

$З$ = 40 000 руб. + 40 000 руб. + 30 000 руб.=110 000 руб.

3. Изменяется норма амортизационных отчислений A, зависящая от стоимости основных фондов [4]:

A = 41200 руб. > A = 40400 руб. на 1,94 % или в 1,02 раза.

4. Возникают дополнительные затраты $Г$ и $Р$ на проведение гидродинамической очистки участка сети Г и его телевизионной диагностики $Р$, составляющей 10 % от стоимости $Г$.

Таким образом, анализ данных, приведенных в таблице 1, позволяет сделать следующие выводы:

- сети водоотведения из любых видов материалов труб в процессе жизненного цикла «Эксплуатация» подвергаются образованию слоя иловых отложений, которые требуется удалять с внутренней поверхности труб для обеспечения их нормальной работы;
- требуется разработать и обосновать гидравлически предельно допустимые значения толщины слоя иловых отложений в трубах разного диаметра и видов материалов;
- нормировать в СП 32.13330.2018 проведение обязательной гидродинамической очистки всех сетей для водоотведения хозяйственно-бытовых и поверхностных сточных вод на всей территории страны, не реже одного раза в год. Внести изменения в МДК 3.02-2001 г. [2];
- разработать критерии для обоснования необходимости проведения гидродинамической очистки сетей водоотведения с внутренними отложениями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Михайлов А.В., Ким А.Н., Продоус О.А., Графова Е.О., Рублевская О.Н. Водоотведение и очистка поверхностного стока на торфяных фильтрах. Монография. // Издательство «Сборка», Санкт-Петербург. 2014. 134 с.
2. МДК 3.02-2001 Правила технической эксплуатации систем и сооружений коммунального водоснабжения и канализации. Утв. Приказом Госстроя РФ от 30 декабря 1999 г. № 168.
3. Прейскурант на выполняемые работы и оказываемые услуги ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» физическим и юридическим лицам в 2023 году.//https://www.vodokanal.spb.ru/dopolnitelnye_uslugi/menu/yuridicheskim_heam/
4. Расчет эксплуатационных затрат на содержание канализационной системы//https://studbooks.net/2317125/nedvizhimost/raschet_ekspluatatsionnyh_zatrat_soderzhanie_kanalizatsionnoy_sistemy

УДК 628.35

РЕИНЖИНИРИНГ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ВОДООТВЕДЕНИЯ МАЛЫХ ГОРОДОВ И ПОСЕЛЕНИЙ

Д.А. Бутко, Л.А. Долженко
Донской государственный технический университет,
г. Ростов-на-Дону, Россия

В статье представлены результаты выполненного обследования ОСК г. Сальска, на основании которого разработаны варианты реконструкции с максимальным использованием существующих емкостей.

Переход на экологическое нормирование на основе наилучших технологий требует особого внимания отрасли водоотведения городов и поселений. Практически все очистные сооружения централизованной системы водоотведения, которые относятся к первой категории (при расходах более 20 тыс м^3/сут.) объектов негативного воздействия на окружающую среду должны будут в обязательном порядке получать комплексные экологические разрешения (КЭР). Работа в этом направлении началась и крупные очистные сооружения активно привлекают инвестиции для улучшения эффективности очистки сточных вод и внедрения наилучших доступных технологий. Гораздо хуже ситуация в малых городах и поселениях, где по данным Росстата проживает около 54,5 % населения России. Для очистных сооружений централизованных систем водоотведения производительностью менее 20 тыс. м^3/сутки, рекомендовано также получать КЭР в добровольном порядке при наличии утвержденных информационно-технических справочников по НДТ, а, следовательно, проводить модернизацию сооружений [1]. Экономические возможности таких населенных пунктов много ниже больших городов. Очистные сооружения систем водоотведения имеют срок службы более 30 лет, запроектированы по старым нормативам, не справляются с экологической нагрузкой и требуют изменений с применением современных технологий. Разработка и внедрение поэтапной реновации для таких предприятий имеет большое значение.

Анализ работы очистных сооружений системы водоотведения малых городов выявил ряд проблем: фактическая гидравлическая нагрузка существенно снизилась, изменились качественные показатели поступающих сточных вод, но при этом качество очистки не соответствует современным технологическим нормативам [2]. Проблема удваивается отсутствием кадров инженерных работников, знающих современные технологии и оборудование. Цель инжиниринга в области очистки сточных вод для станций малой производительности, это не только решение определенной технологической задачи с наименьшими затратами

ресурсов, но и передачи знаний, технологий и опыта от специалистов к инженерно-техническому персоналу. Комплекс инжиниринговых работ включает обследование сооружений, разработку технического решения, экономическое обоснование, проектные работы, рекомендации по поставкам оборудования и материалов, а также обучение персонала и консультации до приема готового объекта в эксплуатацию [3]. В случае удолетворительного состояния строительных конструкций и активного участия специалистов очистных сооружений появляется возможность реинжиниринга очистных сооружений с использованием резерва существующих емкостей в несколько этапов при минимальных затратах.

Необходимость реконструкции очистных сооружений канализации г. Сальска была установлена авторами по результатам обследования. В результате были определены расчетные характеристики и режим поступления сточных вод: среднесуточный расход сточных вод – 3500 м^3/сут., концентрация загрязняющих веществ в поступающих сточных водах при приеме суточного привоза из выгребов и/или осадков септиков по взвешенным веществам – 290 мг/дм^3; по органическим БПК$_п$ – 293 мгО$_2$/дм^3; азот аммонийных солей – 68 мгN$_2$/дм^3; фосфаты – 7 мг/дм^3. Строительные конструкции сооружений механической очистки (горизонтальные песколовки с круговым движением воды и двухъярусные отстойники) находятся в удовлетворительном состоянии и имеют значительный резерв неиспользованных мощностей. Сооружения биологической очистки (высоконагружаемые биофильтры) полностью выведены из эксплуатации и частично демонтированы. Проектная производительность сооружений – 7,5 тыс. м^3/сутки. Сброс сточных вод производится в реку Маныч (по реке Средний Егорлык).

На основании выводов экспертного заключения сформулированы следующие задачи: 1) размещение на существующей площадке очистных сооружений при максимальном использовании имеющихся емкостных сооружений станции; 2) поиск возможности поэтапной реконструкции очистных сооружений без остановки приема сточных вод; 3) обучение персонала для максимального задействования внутренних ресурсов; 4) простота и надежность технических решений изменения конструкции сооружений как необходимое условие успешной эксплуатации после реконструкции станции очистки сточных вод.

На основании установленных технологических рекомендаций ИТС НДТ, Заказчику предложена следующая схема [4]: сооружения механической очистки сточных вод, выполненные из конструкций заводского изготовления; сооружения биологической очистки; сооружения уплотнения и обезвоживания осадков; обеззараживание очищенных сточных вод.

Дополнительное обследование объекта позволило выбрать в качестве этапа «поддержание мощности» наладку в имеющихся объемах очистки

согласно НДТ 8б «Биологическая очистка с удалением азота» [1, 3]. Анализ допустимых НДТ и возможности реализации их на станции очистки сточных вод г. Сальска при минимальных капитальных затратах показывает, что для реконструкции подходит в большей степени НДТ 8г «Очистка с биологическим удалением азота и биолого-химическим удалением фосфора» [5]. Обследование технического состояния бетонных конструкций шести двухъярусных отстойников (Ø12 м) показало возможность их дальнейшей эксплуатации. Их объем использован следующим образом: группа из четырех отстойников переоборудуется в аэротенки-нитрификаторы с частичной денитрификацией – 4; группа из двух отстойников – во вторичные вертикальные отстойники. Существующая система распределения сточной жидкости от сооружений механической очистки подлежит демонтажу. Новая система подачи и распределения монтируется с учетом необходимого геодезического перепада высот. Таким образом, по временной схеме реконструкции очистных сооружений, 6 существующих двухъярусных отстойников достаточно для организации биологической очистки и илоотделения.

Ориентировочные затраты на реконструкцию или новое строительство сооружений на станциях близкой производительности рассчитывались по удельным затратам при переходе на НДТ очистных сооружений в 2015 – 2019 г.г. Исходя из состояния сооружений на момент обследования и с учетом рекомендуемой технологической схемы оптимальным вариантом является новое строительство очистных сооружений на имеющейся площадке. Ориентировочная стоимость проектирования и строительства очистных сооружений, производительностью 3500 м^3/сут. составила 220,5 млн. рублей, из них затраты на строительство биоблока с переходом на БНДФ – 40,6 млн. руб; сооружений обезвоживания осадка – 10,5 млн. руб.; устройство воздуходувной станции, установка системы автоматического контроля и регулирования кислорода в аэротенке – 5,0 млн. руб. Предварительные технико-экономические расчеты показывают, что для снижения затрат возможно поэтапное финансирование реноваций для достижения технологических нормативов с соблюдением графика притока сточных вод. С учетом тяжелого материального положения Водоканала и необходимости постоянной очистки сточных вод предлагаем выполнить поэтапную модернизацию существующих сооружений. В результате технологических расчетов и подбора оборудования была разработана дорожная карта этапов реинжиниринга очистных сооружений для достижения требуемых технологических нормативов при минимальных затратах.

Этап 1. Работы по улучшению технического состояния существующих сооружений. Выполнить очистку от осадка всех лотков между сооружениями, произвести их ремонт с укреплением, приобрести и

установить новые решетки и щитовые затворы вместо вышедших из строя. Проверить гидравлический режим распределения поступающих и сбора очищенных сточных вод. В случае невозможности ремонта лотков необходима замена на трубопроводы по существующей схеме. Отремонтировать переливные кромки вторичного отстойника, установить центральную распределительную трубу. Запустить очистку сточных вод по временной схеме: первичные отстойники – вторичные отстойники – обеззараживание.

Этап 2. Новое строительство. Реконструировать сооружения механической очистки путем полного демонтажа существующих конструкций, размещения комплектной комбинированной установки (решетка с прозорами менее 5 мм, песколовка аэрируемая). Установить ее после приемной камеры. Выполнить привязку типового проекта резервуара-усреднителя емкостью не менее 900 м^3 после комбинированной установки механической очистки. Оснастить резервуар насосами для перекачки жидкости в распределительные лотки. Закупить и установить компрессорную насосную станцию производительностью 2 240 м^3/ч (с учетом реконструкции двухъярусных отстойников и ввода в эксплуатацию аэротенков-нитрификаторов с частичной денитрификацией и системы дехлорирования).

Этап 3. Реконструкция сооружений. Провести промывку и переоборудование существующих двухъярусных отстойников в аэротенки–нитрификаторы с частичной денитрификацией и вторичные отстойники. Изменить схему подачи и распределения осветленных сточных вод, а также потоков возвратного и избыточного активного ила на реконструированных двухъярусных отстойниках. Таким образом, по временной схеме реконструкции очистных сооружений 6 существующих двухъярусных отстойников достаточно для организации биологической очистки и илоотделения. Существующие вторичные отстойники переоборудовать в контактные резервуары с дехлорированием путем продувки воздухом. Окончание работ по третьему этапу следует рассматривать как промежуточное к достижению технологических нормативов. Его выполнение не даст требуемого природоохранными организациями эффекта очистки, а сточные воды следует отнести к недостаточно очищенным. Однако это позволит прекратить сброс без очистки сточных вод в поверхностный водоем.

Этап 4. Новое строительство. Приобрести и разместить механическое оборудование для обезвоживания осадков. Комбинированная установка включает в себя все этапы предварительной очистки и обеспечивает эффективное извлечение из сточных вод отбросов, песка и жира, объединяя в одном корпусе весь комплекс оборудования для механической очистки: решетку тонкой очистки, аэрируемую песколовку, жироловку, установку отмывки и уплотнения отбросов и песка.

Запроектировать и построить новый блок биологической очистки сточных вод по наилучшим доступным технологиям НДТ 8г «Очистка с биологическим удалением азота и биолого-химическим удалением фосфора» с доведением качества очищенных сточных вод до технологических нормативов. При использовании существующей электролизной для получения обеззараживающего раствора гипохлорита натрия, один из вторичных отстойников переоборудуется в контактный резервуар, второй оборудуется системой аэрации для дехлорирования обеззараженных очищенных сточных вод. В будущем возможна замена хлорирования на установку УФ-обеззараживание с приобретением оборудования. В случае отказа от хлорирования возможно переоборудование контактных резервуаров в биореактор доочистки.

Осадок подлежит сбору с последующим обезвоживанием в естественных условиях или механическим путем, его дальнейшей утилизации. Обезвоживание в естественных условиях с фильтрацией воды через пористые мембраны происходит за счет протекание второй и третьей фазы уплотнения. При расчетной влажности осадка на выходе 82 % длительность третьей фазы может составлять от нескольких недель до нескольких месяцев. Реализация процесса осуществляется либо в мешковых фильтрах, либо в геотубах с двух-трехкратным заполнением после уплотнения осадка. Фильтрующие мешки размещаются в установке (стенде для подвески) и работают в ручном или полуавтоматическом режиме. В основном мешки используются однократно, но следует изучить возможность отмывки фильтрующей ткани от осадка и повторного использования мешков. Инвестиции в покупку и установку сооружений, систем и конструкций предполагается окупить за счет длительной эксплуатации, в том числе после завершения всего комплекса работ по реконструкции станции. Объем имеющихся железобетонных резервуаров, не использованный в основной схеме, после укрепления и герметизации следует считать резервом на дальнейшее увеличение производительности или внедрения новых технологий, например, дефосфотизации сточных вод. Для максимального вовлечения инженерно-технического персонала в процесс реконструкции, были проведены курсы переподготовки по новым законодательным документам в области очистки сточных вод с учетом внедрения НДТ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС-10-2019 «Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов». [Электронный ресурс]
2. Кулаков А.А. Оценка достижимости природоохранных и технологических нормативов на малых канализационных очистных

сооружениях // Водоснабжение и санитарная техника. 2022. № 3. С. 46–51.
3. Зубов М.Г., Обухов Д.И., Дячук С.А. Инженерное обследование как основа успешной реконструкции сооружений очистки природных и сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2021. № 8. С. 18–22.
4. Бутко Д.А., Долженко Л.А. Выбор схем реконструкции очистных сооружений водоотведения малых городов и поселений // 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. 208–213.
5. Бутко Д.А., Долженко Л.А. Варианты использования резервных емкостей при реконструкции очистных сооружений централизованной системы водоотведения // Актуальные проблемы науки и техники: материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. Ростов-на-Дону, 2022. С. 149–151.

УДК 628.35

ОЧИСТКА ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД НА СООРУЖЕНИЯХ С ЭРЛИФТНЫМИ БИОРЕАКТОРАМИ

В.С. Рожков, Ю.В. Васильева
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
г. Макеевка, Россия

В статье рассмотрены особенности систем биологической очистки городских сточных вод с эрлифтными биореакторами. Представлена эффективная схема для биологического удаления органических загрязнений, соединений азота и фосфора, полученная путем совмещения Йоханнесбургского процесса и симультанной нитри-денитрификации в аэротенках-осветлителях с затопленной эрлифтной аэрацией. Приведены преимущества данного решения относительно распространенных в РФ и за рубежом технологических схем улучшенного биологического удаления фосфора.

Сброс сточных вод различной степени очистки оказывает значительное воздействие на водные экосистемы [1–3], что выражается в снижении биосферных функций водоемов, принимающих сточные воды антропогенного характера. Причиной этого явления является эвтрофикация водных источников за счет интенсивного развития анаэробных микроорганизмов и водорослей, обусловленная, в свою очередь, сбросом очищенных сточных вод, содержащих соединения азота и фосфора (биогенных элементов).

Для сокращения данного воздействия в части очистки сточных вод, в настоящее время разработаны различные схемы и сооружения биологической очистки городских стоков [4], наиболее эффективные из которых представлены двумя группами методов: БНДБФ (биологическая нитри-денитрификация с биологическим удалением соединений фосфора) и БНДБХФ (биологическая нитри-денитрификация с комбинированным химико-биологическим удалением фосфора).

Такие системы представлены сооружениями (биореакторами различного типа и вторичными отстойниками), объединенными в целостную систему посредством перетоков и рециклов. Основой большинства наиболее распространенных схем БНДБФ и БНДБХФ в мире в настоящее время являются процессы Phoredox [5], модифицированный вариант процесса Кейптаунского университета MUCT [6], Йоханнесбургский процесс JHB [7]. Данный перечень схем не является исчерпывающим. Существует еще ряд технических решений, которые либо базируются на приведенных выше, либо достаточно специфические по качеству исходного стока и аппаратному оформлению. К ним можно отнести PhoStrip [8], Renphosystem [9], VIP [10], ISAH [11], SBR и др. Часть из этих методов можно отнести к комбинированным – совместному биолого-химическому удалению фосфора.

Приведенные основные схемы биологического удаления азота и фосфора достаточно сложны в исполнении, что обуславливает дороговизну их реализации в отечественной практике очистки городских сточных вод. Кроме того, достаточной часто в случае реализации данных схем наблюдается расхождение фактического качества очистки с проектными расчетными величинами [4, 12–15]. Причиной подобных явлений являются не только колебания качества исходных сточных вод, но и несовершенство системы вторичного отстаивания – анаэробные условия вторичного отстаивания приводят к выделению фосфора в очищаемый сток [16].

Такого недостатка лишены системы, основанные на предложенных в ГОУ ВПО «ДонНАСА» аэротенках-осветлителях с затопленной эрлифтной системой аэрации [17], которые являются основным элементом концепции биологической очистки с эрлифтными биореакторами (БОСЭБ) [18–19]. Концепция БОСЭБ подразумевает, в том числе, использование осветления во взвешенном слое для вторичного илоразделения, что исключает нахождение активного ила в анаэробных условиях на конечных стадиях биологической очистки, и исключает выделение фосфора в очищаемый сток.

Кроме того, системы биологической очистки БОСЭБ не предусматривают перекачивания иловой смеси для организации нитрифицированного рецикла – в аэротенке с затопленной эрлифтной системой аэрации протекают процессы симультанной нитри-

денитрификации, что снижает затраты на перекачивание жидкости. Сравнение основных технологических показателей предложенной схемы JHB-ЭБ (Йоханнесбургский процесс, модифицированный эрлифтным биореактором – рис.) с основными используемыми в мировой и отечественной практике процессами приведено в таблице.

В процессе JHB-ЭБ (рис.) исходные сточные воды поступают с разделением потока в две зоны: анаэробную и аноксидную. В аноксидную зону, кроме того, поступает возвратный активный ил для протекания процессов биологической денитрификации и снижения концентрации нитратов. Денитрифицированный рецикл поступает в анаэробную зону, где в смеси с поступающими сточными водами, происходит высвобождение фосфатов фосфор-аккумулирующими микроорганизмами. Из анаэробной зоны иловая смесь подается в эрлифтный биореактор для проведения симультанной нитри-денитрификации и илоразделения.

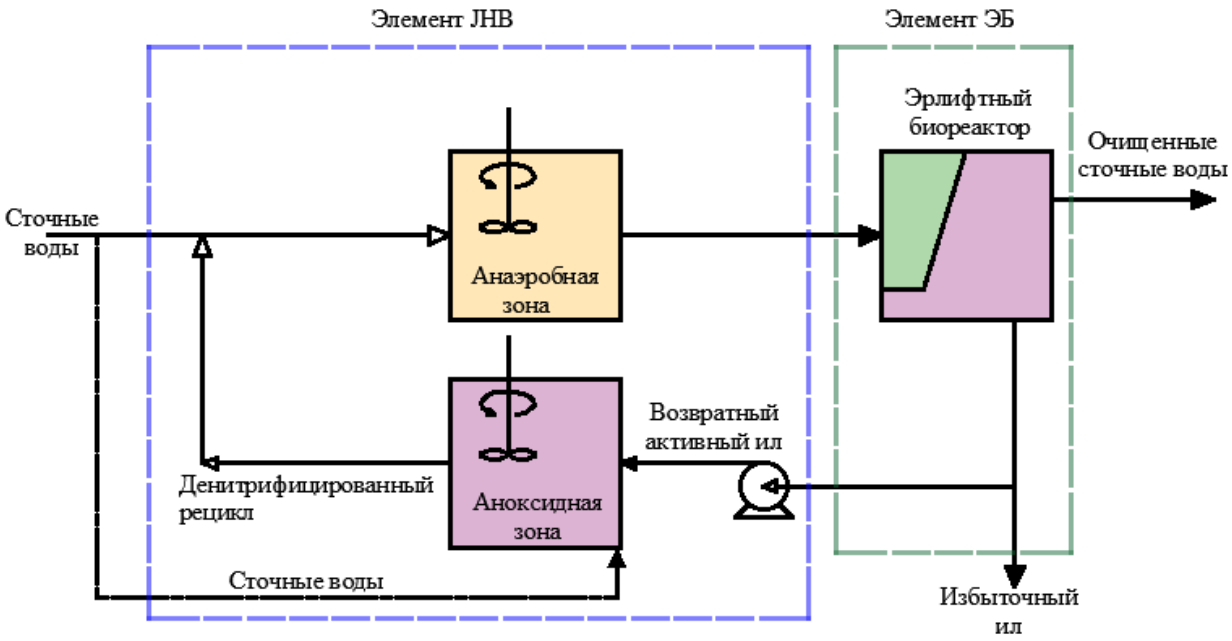


Рисунок 4. **Схема биологической очистки от соединений азота и фосфора в рамках концепции БОСЭБ – JHB-ЭБ**

Таблица. **Укрупненная характеристика схем биологической очистки сточных вод**

Технологическая схема	ИПКО	$T_{оч}$, ч	$I_{ОК}$, м^3/м^3	$S_{РЕЦ}$	$З_{ПЕР}$
Процесс Phoredox	14…20	18…28	26…55	2,0…6,0	2,5
Процессы UCT и MUCT	8…10	16…25	22…42	1,5…7,0	2,0
Йоханнесбургский процесс JHB	9…12	17…26	22…42	1,5…7,0	3,0
Процесс JHB-ЭБ	7…10	18…24	15…20	0,6…1,0	2,0

В таблице 1 использованы следующие обозначения: ИКПО – интегральный показатель качества очистки; $T_{оч}$ – время пребывания жидкости на станции очистки; $I_{ОК}$ – удельный расход воздуха на окисление органического вещества 1 метра кубического поступающих сточных вод, $м^3/м^3$; $S_{РЕЦ}$ – кратность превышения рециркуляционных потоков над расходом исходного стока; $З_{ПЕР}$ – количество условных зон перемешивания.

По относительным показателям процесс БОСЭБ превосходит все использующиеся в настоящее время технологические схемы, что соответствует требованиям Наилучших Доступных Технологий при более низких, чем у известных технологий, эксплуатационных затратах за счет меньшего объема рециркуляции и расхода воздуха.

ЛИТЕРАТУРА

1. Smith, V.H. Eutrophication science: Where do we go from here? / V.H. Smith, D.W. Schindler // Trends Ecol. Evol., 2009, т. 24, С. 201–207.
2. Du, M. Evaluation and analysis of present water environment quality of MinJiang & TuoJiang river basins / M. Du, Q. Liu, B. Luo и D. Zhang // Sichuan Environ, 2016, т. 35, С. 20–25.
3. Васильева, М.В. Влияние сточных вод на водные объекты в Воронежской области / М.В. Васильева, А.А. Натарова // Наука. Мысль: электронный периодический журнал. 2016., т. 1, № 7-1 URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-stochnyh-vod-na-vodnye-obekty-v-voronezhskoy-oblasti (дата обращения: 12.11.2022).
4. ИТС 10-2019. Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов. Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, Москва: Бюро НДТ, 2019, 416 с.
5. Barnard, J.A review of biological phosphorus removal in the activated sludge process / J. Barnard // Water SA, 1976, № 2, С. 136–144.
6. Ekama, G.A. Theory, Design and Operation of Nutrient Removal Activated Sludge Processes / G.A. Ekama, G.R. Marias, I.P. Siebritz, A.R. Pitman, G.P. Keay Buchan / University of Cape Town, City Council of Johannesburg and the National Institute for Water Research of CSIR, Pretoria, 1984.
7. Burke, R. Biological excess phosphorus removal in short sludge age activated sludge. Research Report No. W58 / R. Burke и P. M. G. Dolb / Cape Town: University of Cape Town, S.A., 1986.
8. Levin, G.V. PhoStrip® process – a viable answer to eutrophication of lakes and coastal sea water in Italy / G.V. Levin и U. Delia Sala // Biological Phosphate Removal From Wastewaters, 1987, С. 249–259.
9. Харькина, О.В. Эффективная эксплуатация и расчет сооружений биологической очистки сточных вод / О.В. Харькина, Волгоград: Панорама, 2015, 433 с.

10. Randall, C.W. Upgrading a Municipal Activated Sludge Plant for High-Rate Biological Nutrient Removal / C.W. Randall, D. Waltrip, M.V. Wablé, // Water Science and Technology, 1990, № 22, С. 21–33.
11. Seyfried, C.F. Upgrading of wastewater treatment plants for the reduction of nitrogen and phosphorus in Schleswigholstein FRG / C.F. Seyfried, E. Daumaum // Wat. Sci. Tech., T. 27-8, № 22, 1990, С. 69–76.
12. Кулаков, А.А. Управление работой малых канализационных очистных сооружений в условиях нестабильной нагрузки / А.А. Кулаков // НДТ, 2020, № 4, С. 46–56.
13. Козачек, А.В. Безопасность водных экосистем и проблемы реализации процесса очистки сточных вод от биогенных веществ / А.В. Козачек, Ю.В. Зеленева, Т.В. Скопинцева, А.Г. Синельников, К.А. Конькова, М.И. Михайлин // Вестник российских университетов. Математика, 2015, 20 (1), С. 219–222.
14. Константинова, Т.И. Анализ эффективности работы очистных сооружений по фосфору и рекомендации по удалению фосфора // Евразийское научное объединение, 2019, № 10-2(56), С. 127–129.
15. Галанцева, Л.Ф. Исследования эффективности очистки сточных вод г. Чистополя от фосфатов / Галанцева, Л.Ф., Фридланд С.В. // Вестник Казанского технологического университета, 2010, № 2, С. 311–314.
16. Сапон, Е.Г. Перераспределение фосфора между фазами суспензии избыточного активного ила при аэробной и анаэробной стабилизации / Е.Г. Сапон, В.Н. Марцуль // Труды БГТУ. Серия 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология, 2015, № 4(177), С. 288–294.
17. Пат. 132076 Україна, B01D 21/02 (2006.01), C02F 3/02 (2006.01), C02F 103/00 Аеротенк-освітлювач / В.І. Нездоймінов, Д.В. Заворотний, В.І. Зятіна, В.С. Рожков – № 201809073; заявл. 31.08.2018; опубл. 11.02.2019, Бюл. №3. 4 с.
18. Нездойминов, В.И. Биологическая очистка городских сточных вод с эрлифтными биореакторами-осветлителями / В.И. Нездойминов, В.С. Рожков, Д.В. Заворотный // Строитель Донбасса, 2018, т. 4, С.17–21.
19. Нездойминов, В.И. Концепция биологической очистки сточных вод с эрлифтными биореакторами / В.И. Нездойминов, В.С. Рожков, В.Н. Чернышев // 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. 220–224.

УДК 628.381

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ СНИЖЕНИЯ ПАТОГЕННОСТИ АКТИВНОГО ИЛА

В.И. Нездойминов, А.В. Могукало
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
г. Макеевка, Россия

Рассмотрен биологический метод снижения патогенности ила. Приведены экспериментальные исследования снижения санитарно-бактериологических показателей в процессе продленной аэрации с учетом повышения rH_2.

Важной характеристикой биологического ила является его патогенная обсеменённость. Значительное количество патогенных (болезнетворных) микроорганизмов ежедневно поступает в канализационную сеть. Источником патогенных микроорганизмов, поступающих на городские очистные сооружения, являются фекально-бытовые стоки. Жизнеспособность патогенных микроорганизмов может достигать от нескольких месяцев до нескольких лет. Микроорганизмы, присутствующие в городских сточных водах, разделяются на патогенные и условно патогенные [1]. Процесс биологической очистки городских сточных вод является наиболее эффективным методом удаления из сточных вод одиночных клеток патогенных бактерий и вирусов, не прикрепленных к частицам активного ила. Микроорганизмы, связанные с более плотными частицами, в процессе вторичного отстаивания быстро оседают, и накапливаются в иле.

Одним из перспективных направлений снижения патогенности ила является биологический метод, основанный на повышении окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) среды за счет растворенного кислорода в воде, а также в результате протекания сложных биохимических процессов с участием автотрофных нитрифицирующих групп микроорганизмов. Многочисленные экспериментальные данные показывают определенную взаимосвязь между значениями ОВП и гибелью единичных патогенных микроорганизмов активного ила. На распределение и гибель патогенов в активном иле накладываются дополнительные диффузионные ограничения, связанные с проникновением активных форм кислорода внутри флокулы. Для болезнетворных микроорганизмов характерное значение ОВП находится в диапазоне –300…+250 мВ. Единичные клетки болезнетворных бактерий, такие как *E. coli*, *Salmonella*, *Listeria,* попадая в окислительную среду с ОВП более 665 мВ, имеют время выживания менее 30 с, а при ОВП менее 485 мВ время жизнедеятельности составляет более 300 с [2].

В биологических системах для оценки ОВП используется параметр rH_2. Этот параметр представляет собой отрицательный логарифм давления молекулярного водорода в среде. Его величина изменяется в пределах 0÷41 и может характеризовать присутствие в осадках как анаэробных, так и аэробных условий. Нижний предел для аэробов rH_2 – 15, облигатные анаэробы живут в диапазоне rH_2 не выше 12…14. Величина rH_2 зависит от Eh и pH в соответствии с уравнением (1):

$$\mathrm{rH}_2 = \frac{Eh}{0.029} + 2\mathrm{pH} \qquad (1)$$

Значения ОВП служат одним из базисных параметров для оценки эффективности обеззараживания осадка от патогенной обсемененности. В биологических системах с активным илом значение rH_2 в значительной мере зависит от ОВП, который в аэротенках варьируется в пределах +100…+350 мВ. Кроме того, rH_2 характеризует суммарное окислительно-восстановительное состояние среды, обусловленное не только концентрацией (парциальным давлением) кислорода и водорода, но и всеми присутствующими окислителями и восстановителями.

Известно, что по мере созревания активного ила происходит укрупнение хлопьев, а также перераспределение различных групп гетеротрофных и автотрофных микроорганизмов [6], включая патогенные. Флокула активного ила состоит из нескольких зон: в наружной оболочке находится аэробная зона, внутри образуется – аноксидная, а непосредственно, в центре располагается анаэробная. На размеры зон оказывают влияние процессы диффузии субстрата, кислорода, нитратов, а также интенсивность перемешивания активного ила при аэрации воздухом. Высокая турбулентность потока приводит к временному дроблению флокул ила на отдельные клоны и, следовательно, к уменьшению их размеров и увеличению объема аэробных зон.

В аэробных зонах ила увеличивается ОВП, способствующий снижению патогенной обсемененности ила. Уменьшение размеров флокул ила возможно при механическом воздействии и добавлении сильных окислителей, одним из которых является пероксид водорода (H_2O_2) [3]. Пероксид способствует окислению внеклеточных полимерных веществ ила, что приводит к его частичному разрушению и влечет за собой увеличение аэробной зоны флокулы ила.

Рассчитать соотношения размеров аэробных и анаэробных зон можно, зная степень проникновения кислорода и окисленных форм азота во флокулу. Транспорт органического вещества, кислорода и нитратов во флокулу активного ила происходит под действием диффузии. Степень проникновения субстрата можно рассчитать по уравнению (1):

$$\beta = \sqrt{\frac{2DS}{k_o L^2}} \qquad (1)$$

где: D – коэффициент диффузии; S – концентрация вещества; k_o – константа скорости удаления продукта, L – толщина флокулы.

Из уравнения (2) можно определить на какую глубину проникает субстрат:

$$\beta L = \sqrt{\frac{2DS}{k_o}} \qquad (2)$$

Зная коэффициенты диффузии по зависимости (1) можно определить проникновение любого субстрата, включая кислород и нитраты, Исходя из этого, можно ориентировочно определить размеры аэробных и анаэробных зон флоккулы ила.

В зависимости от концентрации кислорода в объеме жидкости изменяются размеры аэробной зоны флокулы, так чем выше концентрация кислорода, тем больше аэробная зона и выше значения ОВП. Окислительный потенциал в объеме аэрируемой жидкости всегда выше, чем в аэробной зоне флокулы ила. В работе [4] показано, что кислород полностью проницаем во флокулу на толщину 100…125 мкм, а нитраты и нитриты до 200 мкм. Несложные вычисления показывают, что при условном диаметре флокулы активного ила 200 мкм, аэробная зона составляет не более 80 %. В данной зоне, в основном преобладают аэробные гетеротрофные и автотрофные нитрифицирующие микроорганизмы. В анаэробных зонах, где ОВП поддерживается в пределах 200…+50 мВ, размещаются денитрифицирующие и патогенные микроорганизмы. Микропрофили, полученные при микроэлектродных измерениях, подтверждают неоднородность окислительных процессов внутри флокулы активного ила [5]. В связи со сложностью измерения ОВП внутри флокулы ила, его величину косвенно можно определять по концентрации растворенного кислорода и нитратов в объеме жидкости, где культивируется активный ил.

Для определения эффективности снижения болезнетворных микроорганизмов активного ила биологическим методом, который заключается в продленной аэрации, использовался ил Макеевских очистных сооружений. Экспериментальным путем было установлено влияние rH_2 на снижение патогенной обсемененности ила по показателям бактериальной группы кишечной палочки (БГКП) и *Salmonella.* В таблице приведена оценка эффективности снижения санитарно-бактериологических показателей активного ила в процессе продленной аэрации.

Из таблицы видно, что эффективное снижение патогенности ила происходит в период первых двух суток и составляет 73,6 % для БГКП и 70,2 % для *Salmonella*, после чего увеличение времени обработки незначительно влияет на дальнейшее снижение патогенности.

Проведенные исследования показали, что продленная аэрация приводит к повышению аэробности иловой смеси, что губительно влияет на болезнетворные микроорганизмы. Для визуализации на графике представлены изменения БГКП в зависимости от повышения аэробности иловой смеси.

Таблица. **Эффективность снижения санитарно-бактериологических показателей активного ила в процессе продленной аэрации по показателям БГКП и *Salmonella***

Продолжительность биологической обработки, сут.	БГКП КОЕ/г сухого вещества ила	$Э_1$, %	*Salmonella* КОЕ/г сухого вещества ила	$Э_2$, %
0	170000	–	3500	–
1	110000	35,3	2310	34
2	45000	73,6	1043	70,2
3	44800	73,7	927	73,5
4	44750	73,7	920	73,8

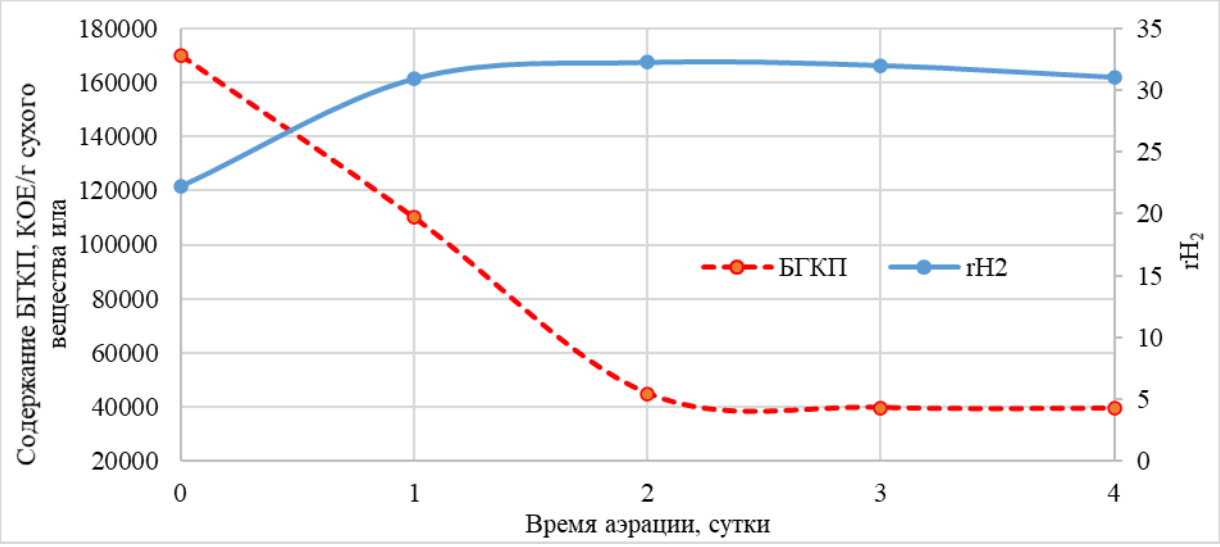


Рисунок 1. **Изменение БГКП и rH_2 от времени продленной аэрации**

Установлено, что повышение rH_2 до 30 и более приводит к гибели патогенных микроорганизмов, в течение двух суток аэробной обработки, о чем свидетельствуют экспериментальные исследования.

Таким образом полной гибели болезнетворных микроорганизмов при продленной аэрации достичь сложно из-за особенностей строения флокулы активного ила и диффузионных ограничений проникновения активных форм кислорода. В соответствии с приведенным обоснованием, и учитывая экономические затраты на переработку биологического ила,

полное удаление болезнетворных микроорганизмов можно достичь с дополнительно химической обработкой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Янин, Е.П. Осадки городских сточных вод как источник биологического загрязнения окружающей среды // Экологическая экспертиза. 2009. № 2. С. 48–77.
2. 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.
3. Tak-Hyun Kim. Disintegration of excess activated sludge by hydrogen peroxide oxidation / Sang-Ryul Lee, Youn-Ku Nam, Jeongmok Yang [etc.] // Desalination. 2009. № 246. С. 275–284.
4. Нездойминов, В.И. Одноиловая нитрификация денитрификация в биологических реакторах с затопленной эрлифтной системой аэрации: дисс…док. техн. наук. Макеевка, 2012. 280 с.
5. Baikun Li, Paul L. Bishop. Oxidation–Reduction Potential Changes in Aeration Tanks and Microprofiles of Activated Sludge Flocё in Medium- and Low-Strength Wastewaters // Water Environment Research. 2004. № 75(5). С. 394–403.
6. Никитина О.Г. БИОЭСТИМАЦИЯ: контроль и регулирование процессов биологической очистки и самоочищения воды: автореф. дис…д-ра биол. наук: Москва, 2012. 47 с.

УДК 628.292

ЗАВИСИМОСТЬ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК САМОТЕЧНЫХ СЕТЕЙ КАНАЛИЗАЦИИ ОТ ТОЛЩИНЫ СЛОЯ ОТЛОЖЕНИЙ В ЛОТКОВОЙ ЧАСТИ ТРУБ

А.Г. Челоненко, Д.И. Шлычков
Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

Приведена формула А. Шези для гидравлического расчета сетей канализации с отложениями в лотковой части. На примере задачи доказана зависимость фактического гидравлического уклона от толщины слоя отложений в лотковой части труб.

В процессе эксплуатации канализационной сети образуются отложения в лотковой части труб, что значительно влияет на характеристики гидравлического потенциала трубопровода[1, 4].

Для расчета фактического уклона принимаем формулу, уточненную профессором Продоусом О.А. и Шлычковым Д.И., которая представлена в следующем виде [2]:

$$i = \frac{4 \cdot \left(V_{\text{ср}}^{\text{ф}}\right)^2}{C^2 \cdot d_{\text{пр}}}, \text{ м/м} \qquad (1)$$

где $V_{\text{ср}}^{\text{ф}}$ – средняя фактическая скорость потока сточной воды, м/с; C – коэффициент А. Шези, характеризующий потери напора в сети, в зависимости от шероховатости стенки трубы, размеров и формы живого сечения; $d_{\text{пр}}$ – приведенный внутренний диаметр труб с отложениями h в лотковой части трубы.

В таблице 1 приведены значения характеристик потока для условий следующей задачи.

*Условие задачи***.** По керамической трубе диаметром 400 мм, изготовленной по ГОСТ 286-82, перемещается самотечный поток хозяйственно-бытовых сточных вод. Расход составляет $q = 120$ л/с.

Задавая различные значения толщины слоя отложений (от 0 до 12 см), необходимо определить гидравлические характеристики трубопровода: уровень фактического наполнения в трубе, фактическую скорость и гидравлический уклон.

Таблица. **Изменение значений гидравлических характеристик трубы при различной толщине слоя осадка h**

Толщина слоя отложений h, м	Уровень фактического наполнения трубы $H_ф$, м	Приведенный диаметр трубы, $d_{пр}$, м	Приведенная скорость $V_{пр}$, м/с	Коэффициент А. Шези$C_{пр}$	Фактический гидравлический уклон $i_{пр}$, м/м
0	0,280	0,400	0,80	64,058	0,00154
0,02	0,300	0,268	1,78	59,906	0,01318
0,04	0,320	0,233	2,34	58,551	0,02743
0,06	0,340	0,191	3,50	56,623	0,08007
0,08	0,360	0,133	7,24	53,296	0,55578
0,1	0,380	0,100	12,74	50,843	2,51110
0,12	0,400	Нерасчетные значение, так как труба работает полным сечением согласно СП 32.13330.2017			

Принятые расчетные зависимости:

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

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

3. $i_{пр} = \dfrac{4 \cdot V_{пр}^2}{C^2 \cdot d_{пр}}$, м/м

По данным таблицы построен график зависимости $i_{пр} = f(h)$ (рис.), свидетельствующий об изменении фактического гидравлического уклона от толщины слоя отложений.

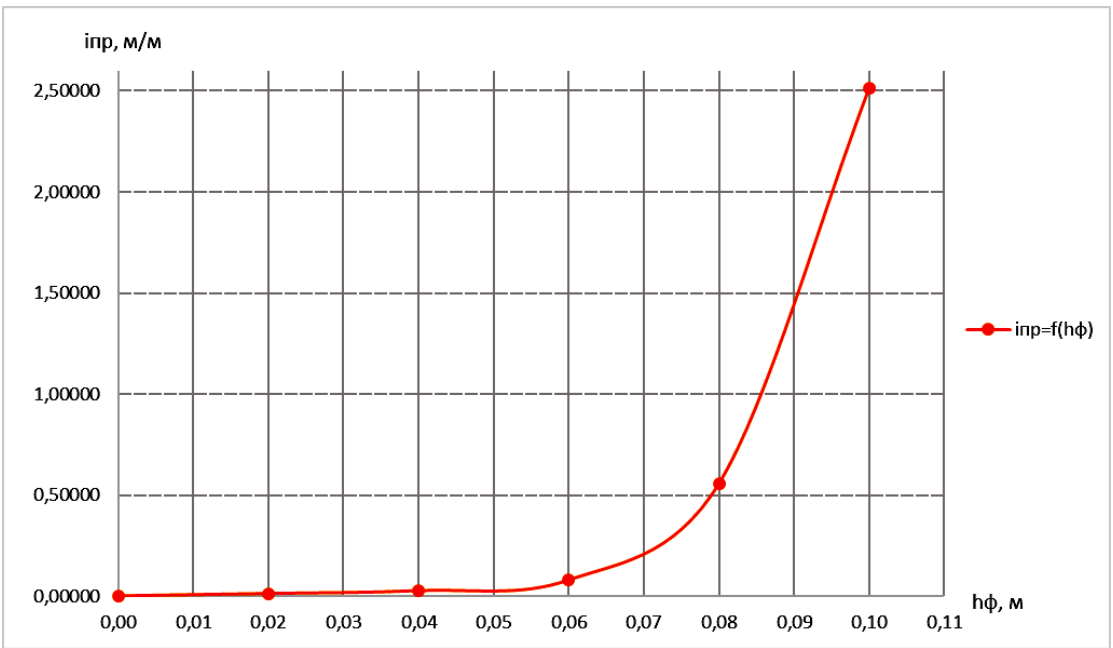


Рисунок. **График зависимости** $i_{пр} = f(h_ф)$

Анализ изменения гидравлических характеристик в трубе с отложениями в их лотковой части для приведенного примера позволяет сделать следующие выводы:

- Изменение толщины слоя отложений $h_ф$ в лотковой части труб оказывает влияние на изменение приведенного диаметра $d_{пр}$ и скоростного режима потока, характеризуемого значениями приведенных скоростей $V_{пр}$, зависящих от толщины слоя осадка $h_ф$ [3];
- уровень фактического наполнения труб $H_ф$ также зависит от толщины слоя осадка h и для приведенного примера изменяется в интервале значений от $H_ф = 0{,}300$ м (при $h = 0{,}02$ м) до $H_ф = 0{,}400$ м (при $h = 0{,}12$ м). То есть изменяется на 33,3 % или в 1,3 раза;

- при толщине слоя отложений $h_ф = 0{,}12$ м ($H_ф = 0{,}400$ м) дальнейшая эксплуатация сети канализации недопустима, так как труба работает полным сечением, что нарушает требования СП 32.13330.2018, так как степень фактического наполнения $\frac{H_ф}{d} = 1{,}0$ превышает нормативную $\frac{H}{d_{вн}} = 0{,}7$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Продоус О.А., Шлычков Д.И. Гидравлический расчет сетей водоотведения с внутренними отложениями: монография. М.: Издательство МИСИ – МГСУ, 2022. 120 с.
2. Продоус О.А., Шлычков Д.И. Об изменении значений гидравлических характеристик напорных канализационных коллекторов из стальных и чугунных труб с внутренними отложениями // Известия вузов. СТРОИТЕЛЬСТВО. 2020. № 12 (744). С. 70–77.
3. Продоус О.А. Зависимость фактической скорости потока в самотечных сетях водоотведения от толщины слоя отложений в лотковой части труб / О.А. Продоус, Д.И. Шлычков // 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. 101–104.
4. Продоус О.А., Малышева А.А., Абросимова И.А., Челоненко А.А. Особенности гидравлического расчета самотечных сетей водоотведения с внутренними отложениями. // Вестник ТГАСУ. Т. 24, № 3. 2022. С. 173–179.

УДК 628.33:622.5

ОЧИСТКА ШАХТНЫХ ВОД РУДНИКА ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ НА ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННОЙ УСТАНОВКЕ

Г.Д. Мартыненко

ООО «Агроспецкомплекс», г. Белгород, Россия

А.Я. Найманов

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

А.А. Найманова

ГУП «Вода Донбасса», г. Макеевка, Россия

Шахтная вода загрязнена взвешенными веществами, ионами меди, марганца, железа, цинка и никеля, нефтепродуктами и нитратами, а также небольшим количеством фекальных загрязнений. На опытно-промышленной установке предусмотрена очистка воды в два этапа – вначале безреагентное отстаивание,

добавление хлора, извести, коагулянта и флокулянта, затем – осветление в вертикальном отстойнике-осветлителе с загрузкой в верхней части полимерными «ершами». На втором этапе осветленная вода пропускается через параллельно установленные натрий-катионитный и сорбционный фильтры. Производительность установки составляет 1 м^3/ч. Проведены исследования по очистке воды в разные сезоны года при значительных колебаниях величин показателей ее качества. Установлено, что данная технологическая схема позволяет удалить основные загрязнения до требований к сбросу стоков в рыбохозяйственный водоем.

1. Описание опытно-промышленной установки. Очистку шахтных вод от взвешенных веществ и ионов тяжелых металлов осуществляют в две ступени: 1 – известкование и коагуляция с последующим отстаиванием; 2 – ионный обмен или сорбция [1–5].

На опытно-промышленную установку (рис. 1) исходная шахтная вода подавалась из существующего пруда-отстойника рудника. Вначале осуществлялось безреагентное отстаивание в баках 1 и 2, емкостью по 0,2 м^3 каждый, суммарная длительность отстаивания – около 0,5 ч. Затем насосом 3 шахтная вода подавалась в вертикальный смеситель 4 диаметром 200 мм и высотой 1,5 м. Перед смесителем в воду добавлялись реагенты: известь, хлорная известь и коагулянт. На выходе из смесителя в воду поступает флокулянт. Далее шахтная вода подавалась в вертикальный отстойник-осветлитель 5 с размерами 0,5 х 0,5 х 7 м. В верхней части отстойника расположен блок с полимерными «ершами» 6 для повышения эффективности осветления [6]. Для регенерации «ершей» встряхиванием пузырьками воздуха предусмотрена дырчатая труба 7 и компрессор 8. Высота отстойной части 4 м, высота блока с «ершами» 1,5 м, толщина слоя воды под блоком 1,2 м. Осветленная вода после первой ступени очистки поступала в бак 9 емкостью 0,2 м^3.

На вторую ступень очистки вода подавалась насосом 10. Натрий-катионитный фильтр 11 и сорбционный фильтр 12 установлены параллельно и предназначены для улавливания проскока ионов металлов из 1-ой ступени. В качестве катионитного фильтра использована умягчительная установка заводского изготовления «Ecodar compact S-1500» максимальной производительностью 1,5 м^3/ч. Установка загружена сильнокислотным катионитом «Пюрвезин PC 002» (близок по свойствам катиониту КУ-2-8). Объем загрузки катионита 30 л, рабочая обменная емкость составляет 33 г-экв. Установка оборудована устройством для автоматической регенерации катионита раствором поваренной соли.
Сорбционный фильтр также заводского изготовления, марки «ФСЭ» (фильтр сорбционный экспериментальный), выпущен научно-производственным объединением «Экосервис» (Смоленская область). Загружен фильтр специальным керамическим гранулированным сорбентом «АВЕСОРБ®», объем загрузки 2,5 л. По информации изготовителя на поверхности сорбента ионы металлов переводятся в гидроксиды и

остаются на ней. Регенерация сорбента производится либо 3 % раствором сульфата магния, либо 10 % раствором едкого натра. Производительность сорбционного фильтра 5,1 – 6,8 л/ч, скорость фильтрования 3 – 4 м/ч.

После ионообменного и сорбционного фильтров очищенная вода поступает в емкости 13 и 14, а затем сбрасывается в водоем.

Для приготовления растворов реагентов предусмотрены баки: 15 – для известкового молока, 16 – для хлорной извести, 17 – для коагулянта «АКВА-АУРАТ™30» и 18 – для флокулянта «Праестол». Дозирование реагентов осуществлялось насосами-дозаторами 19.

2. Методика проведения исследований. Установка работала круглосуточно. Всего проведено 75 опытов в 3 этапа: 1 – наладочно-поисковые (18 опытов, декабрь 2021 г.), 2 – эксперименты в весенний период (март-апрель 2022 г., 30 опытов), 3 – в летний период (июнь 2022 г., 27 опытов).

Определение показателей качества воды выполнялось химической лабораторией рудника. Состав основных загрязнений шахтной воды приведен в таблице. Величины ПДК приняты по СанПиН 1.2.3685-21 [7].

Таблица. **Показатели качества шахтной воды**

№ пп	Наименование показателя	Ед.изм.	Величины показателей			ПДК для рыбохоз. водоема
			мин.	средн.	макс.	
1	Температура	°С	5,8	7,0	8,1	–
2	Взвешенные вещества	мг/дм^3	10,3	136,0	556,8	+0,25 к водоему
3	Нефтепродукты	мг/дм^3	0,005	0,017	0,115	0,05
4	БПКполн	мгO_2/дм^3	2,1	2,29	3,35	3,0
5	pH	ед. pH	6,76	7,3	8,3	6,5-8,5
6	Железо общее	мг/дм^3	0,003	0,56	8,21	0,1
7	Медь	мг/дм^3	0,0014	0,024	0,22	0,001
8	Цинк	мг/дм^3	0,05	0,101	0,35	0,01
9	Марганец	мг/дм^3	0,15	0,74	2,21	0,01
10	Никель	мг/дм^3	0	0,034	0,13	0,01
11	Магний	мг/дм^3	14,7	27,5	57,0	40
12	Кальций	мг/дм^3	61,7	78,9	134	180
13	Хлор-ион	мг/дм^3	менее 10			
14	Сульфат-ион	мг/дм^3	138,7	341,4	575,3	100
15	Щелочность	мг-экв/дм^3	3,17	4,88	8,16	–
16	Нитраты	мг/дм^3	10,7	38,2	85	40

В каждом опыте контролировались следующие параметры: расход воды через установку, дозы реагентов (извести, хлора, коагулянта и флокулянта), а также основные показатели качества воды до и после сооружений очистки: отстойника, катионитного фильтра и сорбционного фильтра.

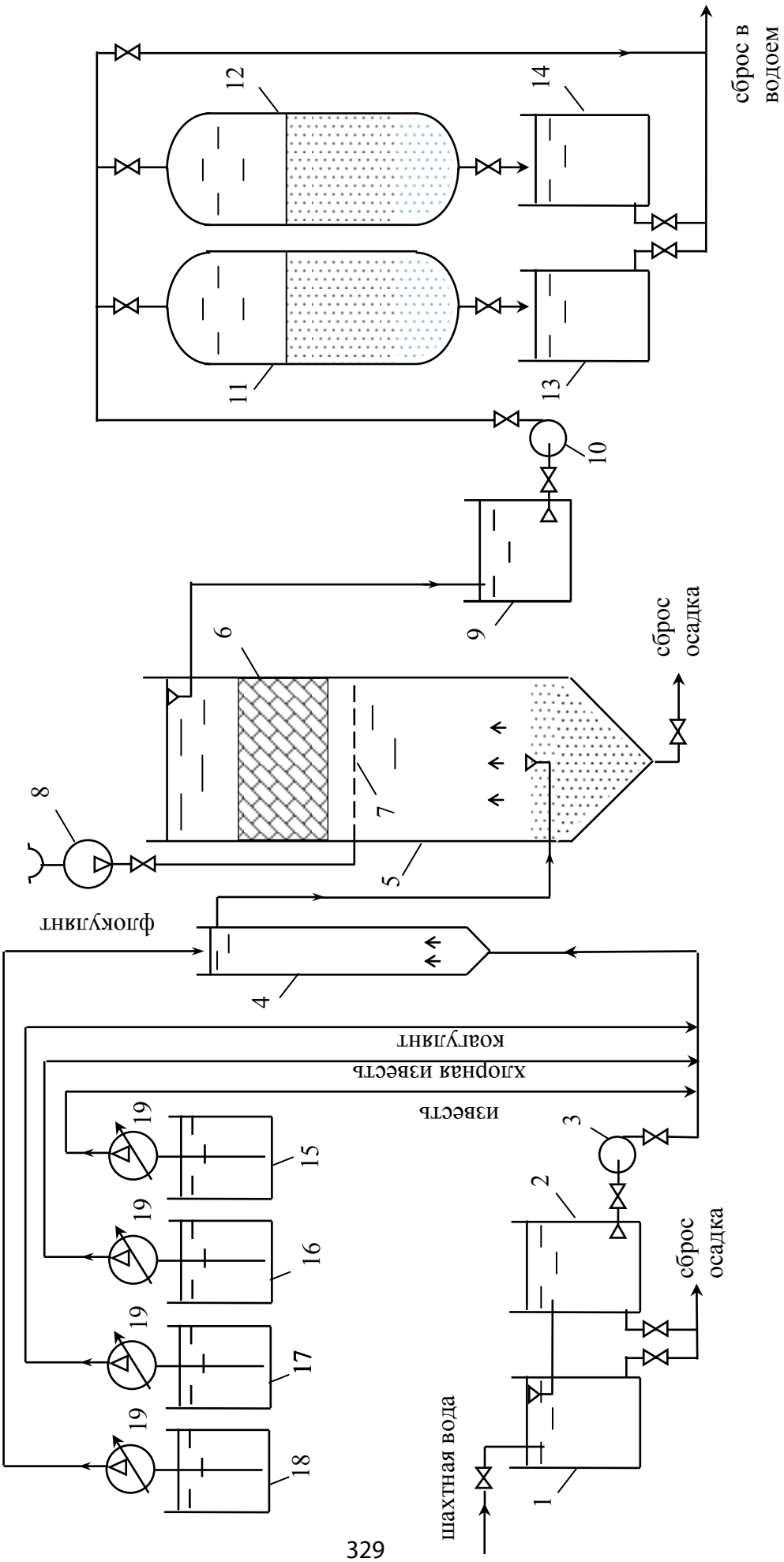


Рисунок 1. **Схема опытно-промышленной установки**

Отбор проб воды, затем изменение доз реагентов и расхода воды проводилось 2 раза в сутки: в 8.00 и 14.00.

Промежуток между этими цифрами представлял собой длительность каждого опыта.

Для средних значений показателей качества шахтной воды, предварительно по данным литературы [1–5], произведена оценка доз реагентов, мг/дм^3: извести – 60, хлора – 3, коагулянта – 20, флокулянта – 1,5.

Принимаемые в каждом опыте дозы колебались относительно этих значений в весьма широких пределах, мг/дм^3: извести 44÷344, хлора 0,1÷31, коагулянта 6,6÷278, флокулянта 0,2÷3,6. Чтобы избежать влияния неучтенных факторов назначение доз реагентов в опытах производились в случайном порядке, т.е. рандомизировано. Для повышения точности дозирования растворы реагентов готовились относительно небольших концентраций: известковое молоко 2 – 2,5 %, коагулянт «АКВА-АУРАТ™30» 0,8 – 1 %, флокулянт «Праестол» 0,1 – 0,3 % и лишь хлорная известь 5 – 12 %. Для приготовления растворов использовалась вода из питьевого водопровода.

Расход шахтной воды через установку в большинстве опытов поддерживался 1 м^3/ч, в ряде опытов он снижался до 0,5 м^3/ч для оценки влияния на эффективность осветления в отстойнике.

Необходимо также отметить, что в природном водоеме, куда сбрасывается очищенная вода, содержание таких компонентов как железо, медь, цинк и марганец, часто превышает ПДК для рыбохозяйственных водоемов.

3. Результаты опытов и их анализ. Результаты всех опытов и условия их проведения собраны в сводную таблицу, проведена предварительная оценка и отсеивание ошибочных результатов и сбоев в работе установки.

Температура воды на входе в установку колебалась от 5,8 до 8,5 °С, а на выходе 7,8 – 11,2 °С, т.е. повышалась на 2 – 2,7 °С.

По результатам 1 этапа очистки воды (известкование, коагуляция и осветление) построены кривые зависимости остаточных концентраций основных загрязнений от доз реагентов. Для построения использована компьютерная программа «Statistica», подпрограмма «Curve Expert». Необходимо отметить, что наблюдался довольно значительный разброс экспериментальных точек, впрочем, это характерно при колебании качества поступающей воды. Исходные концентрации загрязнений при дозах реагентов равных нулю на графиках условно не показаны из-за большого количества (до 50 – 60 точек) и сливания в одно сплошное пятно. Кривые начинаются около средних значений концентраций загрязнений в поступающей шахтной воде.

Установлено, что остаточное содержание взвешенных веществ в воде после отстойника-осветлителя зависит сразу от доз трех реагентов – коагулянта, извести и флокулянта (рис. 2–4). Кстати, на рисунке 3 все же показаны концентрации взвешенных веществ в исходной шахтной воде. Кривые остаточных концентраций носят сходный характер, характерный для стадии «быстрой» коагуляции. Это свидетельствует о том, что несмотря на низкие температуры шахтной воды коагуляция взвешенных веществ протекает вполне удовлетворительно. Вероятной причиной являются достаточно большие дозы коагулянта, флокулянта и извести, а также относительно небольшая доля мелкодисперсных частиц в воде.

Исходное содержание взвеси в шахтной воде не оказывало существенного влияния на остаточные концентрации взвешенных веществ при осветлении. Коэффициенты корреляции всех трех кривых на рисунках 1–3 достаточно высокие (r = 0,75; r = 0,73; r = 0,74). Для осветления рациональными можно считать дозы коагулянта около 50 мг/л, флокулянта около 1 мг/л и извести около 90 мг/л. Однако, известь добавляется не для осве… будет опре…

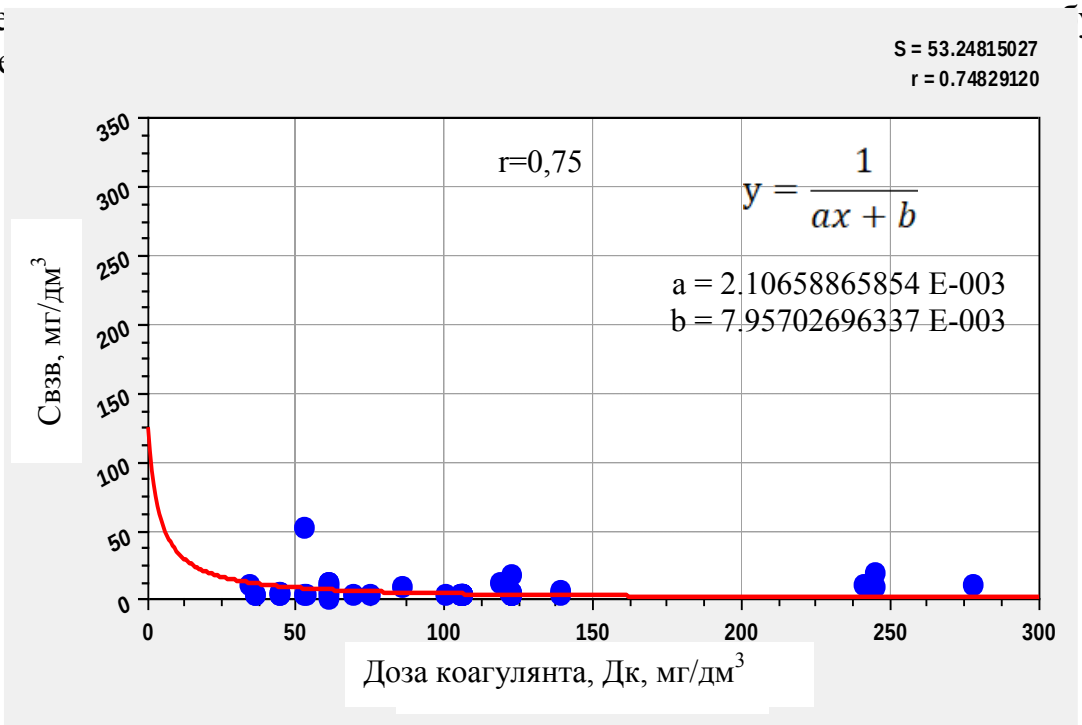


Рисунок 2. **Зависимость остаточного содержания взвешенных веществ от дозы коагулянта**

Установлено, что повышение температуры воды на входе от 6,8 °С до 7,7 °С снизило остаточные концентрации взвеси с 8,5 до 5,5 мг/л, а при температуре выше 10 °С остаточные концентрации снижаются до 3 мг/л при одних и тех же рациональных дозах реагентов. Следовательно, при необходимости повышения эффективности осветления шахтную воду необходимо подогревать не менее чем до 10 °С. Подтвердилась высокая

эффективность наличия «ершей» в верхней части вертикального отстойника [5].

Анализ таблицы результатов опытов показал, что изменение дозы хлора от 0,1 до 31 мг/л не оказало заметного влияния на остаточное содержание взвешенных веществ при осветлении. Очевидно, органики в воде практически нет и дозу хлора в процессе эксплуатации следует поддерживать около 3 мг/л, которая считается достаточной для

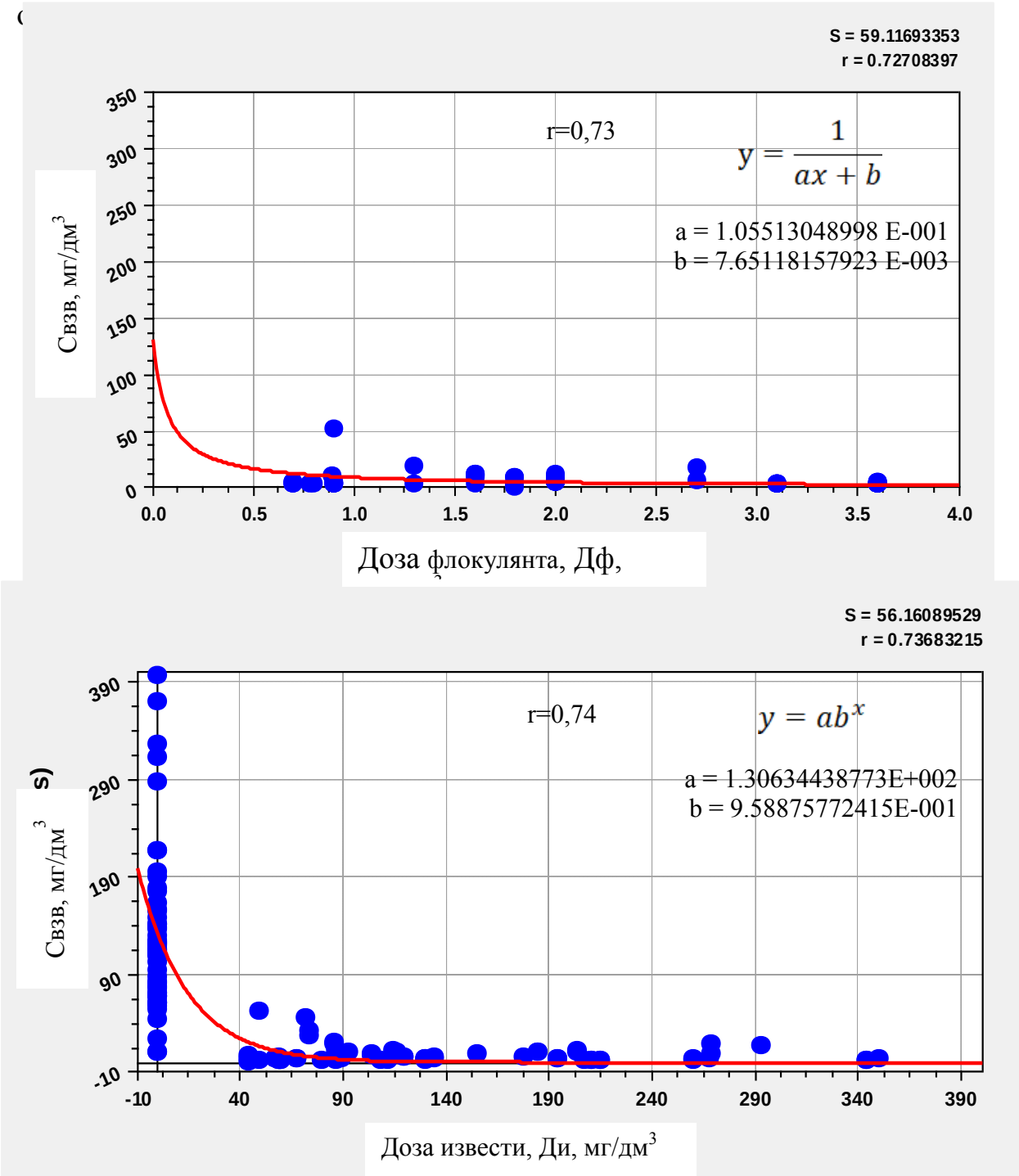


Рисунок 4. **Зависимость остаточного содержания взвешенных веществ от дозы извести**

При добавлении извести и увеличении pH снижается содержание в воде ионов тяжелых металлов. Известно, что для удаления меди необходимо величину pH поддерживать более 8,5, а для удаления марганца выше 10,5 [1–5]. При этом одновременно удаляются в виде гидроксидов ионы железа, никеля и цинка. По результатам опытов найдено уравнение зависимости pH данной воды от дозы извести (формула 1) с r = 0,8.

$$\text{pH} = 7{,}52 + 0{,}0173\,Д_{н} - 0{,}0000265\,Д_{н}^{2} \qquad (1)$$

Добавление извести не позволяет достичь pH выше 10,33 даже при дозе 350 мг/л.

Далее построены кривые зависимости остаточного содержания ионов меди и марганца в осветленной воде от дозы извести (рисунки 5, 6). При этом, ниже оси абсцисс с дозами извести приведена еще ось с величинами pH, которые вычислены по уравнению (1).

Снижение концентраций меди и марганца протекает удовлетворительно, несмотря на низкую температуру воды. Весьма чувствительной к температуре оказалась эффективность удаления меди, при колебаниях температуры отмечался большой разброс остаточных концентраций при одной и той же дозе извести. Этим объясняется относительно низкий коэффициент корреляции (r = 0,49) для меди. Большинство опытов проводились при температурах воды не более 8,5 °С, остаточное содержание меди при pH = 9 (Ди ≈ 100 мг/л) составляло, в среднем, около 0,0016 мг/л при исходной концентрации, в среднем, около 0,01 мг/л. При повышении температуры до 11 °С удалось достичь снижение содержания меди, при той дозе извести, до 0,001 мг/л, т.е. ПДК.

Снижение содержания марганца при известковании и коагуляции до ПДК оказалось невозможным, поскольку необходимой величины pH ≥ 10,5 [6] достичь добавлением одной извести не удается. Признано нерациональным применять дозы извести выше 150 мг/л (pH ≈ 9,5). При этом условии содержание марганца при среднем исходном содержании около 0,03 мг/л снижается в соответствии с уравнением на рисунке 6 до 0,0147 мг/л, т.е. примерно вдвое.

В принципе можно получить обобщенное уравнение:

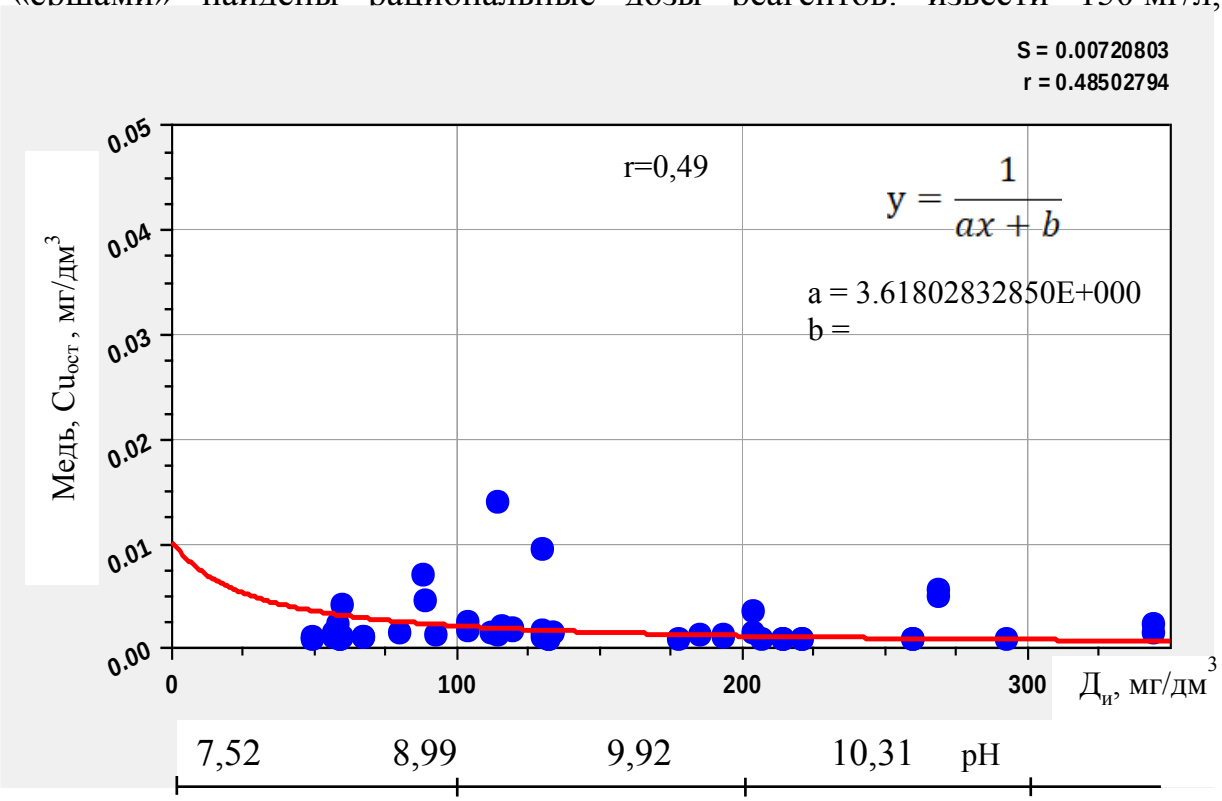
$$С_{ост} = A f(Д_{н}) f(Д_{к}) f(Д_{ф})$$

по любому компоненту методом Брандона [8]. Однако, практическое использование его потребует выполнения ряда вычислений и выглядит малоцелесообразным. Проще использовать графики (рис. 2–6).

Остаточные концентрации железа, никеля и цинка в осветленной воде при этом не превышали ПДК. Содержание нефтепродуктов при этом снижается до 0,039 мг/л. Содержание нитратов, кальция и магния не снижается.

В результате первого этапа очистки шахтной воды известкованием и коагуляцией с последующим осветлением в вертикальном отстойнике с

«ершами» найдены рациональные дозы реагентов: известь 150 мг/л,



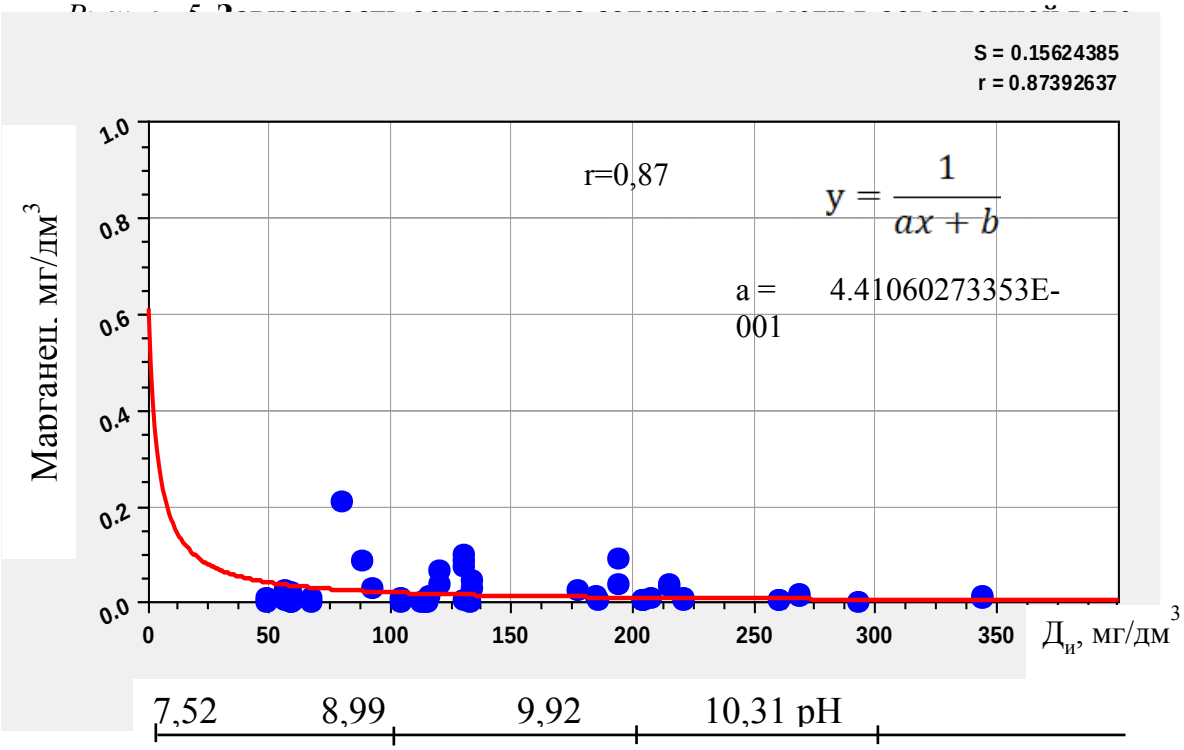


Рисунок 6. **Зависимость остаточного содержания марганца в осветленной воде от дозы извести и pH**

На втором этапе очистки шахтной воды использовались натрийкатионирование и сорбция, которые показали довольно близкие результаты. При пропускании осветленной воды через свежеотрегенерированный натрийкатионитный или сорбционный фильтр

содержание ионов меди и марганца снижалось в среднем в два раза и становилось ниже ПДК. Кроме того, происходило значительное снижение концентрации ионов кальция и магния, т.е. протекало умягчение воды. Однако, по мере работы фильтров, эффективность удаления ионов металлов снижалась и к концу фильтроцикла она была близка к нулю, а иногда фильтры даже увеличивали содержание металлов. Осмотр фильтров выявил, что загрузка в них заносится частицами взвешенных веществ, выносимых из отстойника-осветлителя. Отсюда следует, что воду после отстойника необходимо дополнительно осветлять пропусканием через скорые фильтры и не допускать повышенных концентраций взвеси выше 5 мг/л. Либо, как уже упоминалось, шахтную воду перед очисткой надо подогревать до температуры не менее 11 – 12 °С, что также снижает содержание как взвеси, так и ионов тяжелых металлов.

ВЫВОДЫ

1. Применение известкования и коагуляции с последующим отстаиванием и фильтрованием через натрийкатионитный или сорбционный фильтр позволяет снизить концентрации ионов тяжелых металлов в шахтной воде до ПДК.
2. Для обеспечения высокой эффективности процесса очистки необходим подогрев шахтной воды не менее, чем до 11 °С.
3. Во избежание заноса загрузки натрийкатионитного и сорбционного фильтров необходимо применение скорых фильтров после отстойников.

ЛИТЕРАТУРА

1. Монгайт И.Л., Текиниди К.Д., Николадзе Г.И. Очистка шахтных вод. М.: Недра, 1978. 178 с.
2. Милованов Л.В., Краснов Б.П. Методы химической очистки сточных вод горнорудных предприятий цветной металлургии. М.: Недра, 1967. 148 с.
3. Пилинчук А.Т. и др. Комплексная переработка шахтных вод. Киев: Техника, 1985. 107 с.
4. Филипчук В.Л. Природоохранные системы очистки и использования многокомпонентных сточных вод с тяжелыми металлами. Автореферат докт.дисс. –Донецк, ДонНУ, 2008. 35 с.
5. Фрог Б.Н., Левченко А.П. Водоподготовка. М.: Издат-во МГУ, 1996. 680 с.
6. Мартыненко Г.Д., Найманов А.Я., Найманова А.А., Кармалов А.Н. Реконструкция сооружений повторного использования промывной воды фильтров станции обезжелезивания // Водоснабжение и санитарная техника, 2020, №10, С. 14–20.
7. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов

среды обитания. 2021, рег. № 62296, г. Москва.
8. Кафаров В.В. Методы кибернетики в химии и химической технологии. М.: Химия, 1971. 496 с.

УДК 628.336.3(08)

К ВОПРОСУ СНИЖЕНИЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ АЭРОБНОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ СМЕСИ ОСАДКОВ ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД

В.Н. Чернышев, В.В. Ручка
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
г. Макеевка, Россия

Обоснованы причины повышенной продолжительности аэробной стабилизации смеси сырого осадка и неуплотненного активного ила, установлена возможность торможения процесса стабилизации из-за разных значений параметра rH_2 у сырого осадка и активного ила. Предложено для сокращения продолжительности стабилизации направлять содержащую нитраты иловую воду стабилизированного осадка в начало стабилизатора.

Аэробная стабилизация широко применяется в технологии обработки осадков городских сточных вод. По сравнению с анаэробным методом стабилизации в метантенках она имеет ряд преимуществ. К ним относится простота конструкции сооружений и технологии их эксплуатации, устойчивость к изменению качественного состава осадков, лучшие водоотдающие свойства стабилизированных осадков [1]. Как правило, аэробной стабилизации подвергаются осадки на очистных сооружениях с биологической очисткой сточных вод в аэротенках. При этом стабилизироваться может как избыточный неуплотненный активный ил, так и смесь сырого осадка первичных отстойников с неуплотненным или же уплотненным активным илом. Продолжительность стабилизации при разных вариантах состава осадков также различная. Так, при температуре 20 °С эта продолжительность принимается равной для неуплотненного активного ила от 2-х до 5-ти суток, для смеси сырого осадка и неуплотненного активного ила от 6-ти до 7-ми суток, для смеси сырого осадка и уплотненного активного ила от 8-ти до 12-ти суток. Кроме того, на продолжительность стабилизации оказывает влияние температура, концентрация взвешенных веществ осадков, подаваемых на стабилизацию, и возраст активного ила [1]. Повышенные концентрации взвешенных веществ наблюдается в смеси сырого осадка и активного ила и не должны превышать 25 – 27 г/л [2]. Органические вещества сырого осадка являются для микроорганизмов активного ила источником питания в качестве экзогенного субстрата. Однако процесс потребления этого субстрата

микроорганизмами ила начинается не сразу. В начальный период смешения сырого осадка с активным илом частицы сырого осадка, обволакивая хлопья ила, тормозят диффузионные процессы поступления к микроорганизмам ила кислорода, питательных веществ и отвода продуктов их жизнедеятельности. Постепенно аэробные микроорганизмы ила адаптируются к условиям среды, и начинается процесс окисления органических веществ сырого осадка. Проведенные эксперименты по аэрации смеси сырого осадка и активного ила показали, что скорость окисления органики осадка постепенно увеличивается, при этом наблюдается формирование хлопьевидной структуры смеси, а иловая вода постепенно приобретает прозрачность. Это свидетельствует о переработке сырого осадка в активный ил. Как показали эксперименты, для этого процесса потребовалось не менее 2-х суток аэрации. И только после завершения процесса формирования хлопьевидной структуры смеси фактически начинается аэробная стабилизация.

Аэробная стабилизация осуществляется в три этапа. Первый этап включает потребление микроорганизмами экзогенного субстрата. На втором этапе микроорганизмы потребляют эндогенный субстрат, и начинается отмирание клеток из-за исчерпания энергетических ресурсов. Третий этап осуществляют внутриклеточные ферменты, которые подвергают гидролизу органические вещества, являющиеся структурными элементами отмерших клеток. Продукты гидролиза, проникающие в окружающую среду, являются пищей для еще живых клеток микроорганизмов.

Таким образом, объем стабилизатора можно условно поделить на две части. В первой части происходит переработка сырого осадка в активный ил, и только во второй части осуществляется аэробная стабилизация. В результате увеличивается время пребывания осадков, подаваемых в стабилизаторы, что приводит к увеличению и их объемов. Увеличению времени пребывания осадков способствует также неравномерное поступление сырого осадка в стабилизаторы из-за периодичности выгрузки его из первичных отстойников.

В некоторых случаях приходится решать задачи по увеличению производительности существующих аэробных стабилизаторов, осуществляющих стабилизацию смеси осадков, или по сокращению объемов этих сооружений в процессе проектирования. Установлено, что возможным вариантом решения этих задач может быть использование иловой воды стабилизированного ила при рециркуляции ее в голову стабилизаторов. Такая иловая вода содержит нитраты ориентировочно в количестве 320 – 540 мг/дм3 и растворенный кислород, являющиеся окислителями. Наличие нитратов и кислорода свидетельствует о высоком окислительно-восстановительном потенциале (Eh) иловой воды. Eh выражается в вольтах или миливольтах, может иметь положительное или

отрицательное значение и характеризует содержание в водных растворах, в том числе в жидких осадках сточных вод, окислителей и восстановителей. Так, сырой осадок содержит восстановители, а его Eh имеет отрицательное значение. Активный ил и иловая вода характеризуются положительным значением Eh и в них содержатся окислители. В биологических системах, к которым относятся городские сточные воды и их осадки, для характеристики окислительно-восстановительных условий используется параметр rH_2. Этот параметр представляет собой отрицательный логарифм давления молекулярного водорода в среде. Его величина может изменяться в пределах $0 \div 41$ и характеризуется присутствием в осадках как анаэробных, так и аэробных микроорганизмов. Известно, что облигатные анаэробные микроорганизмы могут существовать при rH2 в пределах $0 \div 20$, а размножаться при rH_2 3 – 5. Строгие аэробы существуют при rH_2 12 – 15, размножаются при rH_2 $12 \div 36$ [3–4]. Величина параметра rH_2 зависит не только от Eh, но и от pH и вычисляется по выражению:

$$rH_2 = \frac{Eh}{0{,}029} + 2pH$$

Путем измерения Eh сырого осадка очистных сооружений г. Макеевки установлено, что этот показатель находится в пределах 100÷150 мв, pH – в пределах $5{,}2 - 6{,}1$, Eh активного ила находится в пределах $+150 \div +200$ мв, его pH – в пределах $7{,}3 - 7{,}8$. Используя вышеприведенное выражение для определения rH_2, были вычислены значения этой величина для сырого осадка и активного ила. Результаты вычисления приведены в таблице.

Таблица. **Влияние Eh и pH на величину rH_2**

Вид осадка	Параметры		
	Eh, в	pH	rH_2
Сырой осадок	−0,10	6,1	8,75
	−0,15	5,2	5,23
Активный ил	+0,15	7,3	19,77
	+0,20	7,8	22,50

Приведенные в таблице значения rH_2 подтверждают наличие в сыром осадке условий для развития и жизнедеятельности, но только анаэробных микроорганизмов, а в активном иле условий для развития и жизнедеятельности аэробных микроорганизмов. При смешивании сырого осадка с активным илом значение rH_2 смеси будет больше, чем для сырого осадка и меньше, чем для активного ила. Это значение устанавливается постепенно и требует пополнения смеси окислителем, каким является растворенный кислород.

Таким образом, для сокращения времени пребывания осадков в

стабилизаторе необходимо изменить метод обработки сырого осадка. Для этого предложено изначально смешивать сырой осадок не с активным илом, а с иловой водой от стабилизированного ила.

Учитывая присутствие в иловой воде значительного количества нитратов, являющихся окислителем, следует ожидать повышения Eh при смешении иловой воды с сырым осадком. Это также дает возможность осуществлять денитрификацию в смеси сырого осадка и иловой воды, тем самым повысить pH и rH_2. Повышенные значения rH_2 могут способствовать созданию благоприятных условий для жизнедеятельности аэробных микроорганизмов избыточного активного ила, поступающего из вторичных отстойников на стабилизацию. Для проверки данного предположения были проведены эксперименты по изучению влияния процесса перемешивания смеси сырого осадка и иловой воды на параметр Eh. В ходе экспериментов в разные промежутки времени фиксировались значения величин Eh и pH. Результаты экспериментов приведены на рисунке.

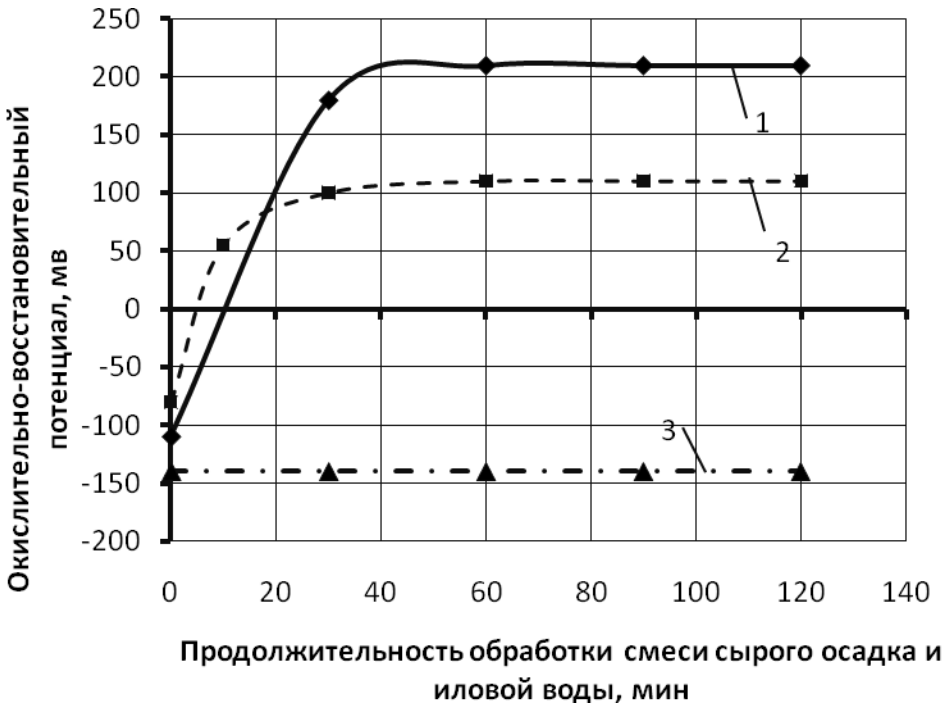


Рисунок. **Изменение во времени величины Eh при перемешивании сырого осадка с иловой водой стабилизированного ила:**
1 – смесь сырого осадка и иловой воды в соотношении объемов 1:1 при перемешивании аэрацией; 2 – смесь сырого осадка и иловой воды в соотношении объемов 1:3 при механическом перемешивании; 3 – смесь сырого осадка и иловой воды в соотношении объемов 3:1 при механическом перемешивании

По рисунку можно сделать следующие выводы. При перемешивании смеси путем аэрации максимальное значение Eh, равное +210 мв, достигается после 60 мин перемешивания (кривая 1). Достичь

максимального значения Eh, которое при механическом перемешивании смеси составило +110 мв, потребовалось также 60 мин (кривая 2). Смесь в соотношении объемов сырого осадка и иловой воды 3 : 1 при механическом перемешивании не изменяет величины Eh, равной –140 мв, что свидетельствует о дефиците нитратов в смеси из-за малого количества в ней иловой воды. Перемешивание смеси путем аэрации по сравнению с механическим перемешиванием дает более высокие значения Eh из-за присутствия в смеси растворенного кислорода.

В ходе экспериментов установлено, что pH стабилизировалось также как и Eh после 60-ти минут перемешивания смеси. Так, при перемешивании смеси аэрацией значение pH = 8, при механическом перемешивании 7-ми. При этом rH_2 соответственно стало равным 23 и 18. Полученные значения rH_2 свидетельствуют о создании благоприятных условий для жизнедеятельности аэробных микроорганизмов за время перемешивания смеси не менее 60-ти минут [3]. Это говорит о готовности сырого осадка к смешиванию с избыточным активным илом, после чего начинается процесс стабилизации смеси.

Таким образом, кратковременность обработки сырого осадка рециркулирующей иловой водой дает возможность сократить время пребывания осадков в аэробных стабилизаторах. Снижение концентрации взвешенных веществ в осадках за счет разбавления иловой водой может обеспечить применение предложенной технологии для стабилизации смеси сырого осадка не только с неуплотненным, но и уплотненным активным илом. Это требует проведения дополнительных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Обработка осадков городских сточных вод: учебное пособие / Л.Р. Хисамеева, А.С. Селюгин, Р.Н. Абитов, А.В. Бусарев, Н.С. Урмитова. – Казань: Изд-во Казанск. гос. архит.-строит. ун-та, 2016. 105 с.
2. Проектирование сооружений для очистки сточных вод / Всесоюзный комплексный научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт водоснабжения, канализации, гидротехнических сооружений и инженерной геологии. М.: Стройиздат, 1990. 192 с.
3. Скиба, Е.А. Основы промышленной микробиологии: учебное пособие / Е.А. Скиба, Н.А. Шавыркина, М.Э. Ламберова. // Алтайский государственный технический университет, БТИ. – Бийск : Изд– во Алт. гос. техн. ун-та, 2013. 110 с. – URL: http://irbis.bti.secna.ru. (дата обращения 02.03.2022).
4. Чурбанова, И.Н. Микробиология: учебник для вузов по специальности «Рациональное использование водных ресурсов и обезвреживание промышленных стоков» / И.Н. Чурбанова. М.: Высшая школа, 1987. 279 с.

УДК 628.316

ОПЫТ ОЧИСТКИ СИЛЬНОЗАГРЯЗНЁННЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ СТОЧНЫХ ВОД СЛОЖНОГО СОСТАВА С ПРИМЕНЕНИЕМ ФИЛЬТРОВ ФОПС®

А.В. Чечевичкин, Л.А. Якунин
ООО «Аква-Венчур®», г. Санкт-Петербург, Россия

Изложен многолетний опыт наблюдений за составом поверхностных сточных вод с различных селитебных территорий. Произведена оценка фактической загрязнённости поверхностных сточных вод с реальных объектов в сравнении с рекомендациями действующих нормативно-технических документов. Представлены результаты натурных испытаний и практической эксплуатации локальных очистных сооружений на основе фильтров ФОПС® по очистке сильнозагрязнённых поверхностных сточных вод сложного состава.

Поверхностные сточные воды (ПСВ) с территорий крупных мегаполисов являются значимым фактором загрязнения гидросферы, причём их состав всё более определяется результатами технической деятельности человека.

Основными составляющими ПСВ принято считать ливневые, талые, инфильтрационные и поливомоечные воды. Фактическая загрязнённость этих вод различна на конкретных территориях и объектах.

В последнее время увеличение интенсивности движения автотранспорта привело к повышению содержания в ПСВ не только взвешенных веществ и нефтепродуктов, но и различных форм тяжёлых металлов, результатом чего стало образование сильнозагрязнённых поверхностных сточных вод сложного состава с селитебных территорий и объектов транспортной инфраструктуры.

В ходе проведённых в 2016 – 2017 и в 2021 – 2022 гг. совместных с ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» натурных испытаний серийных фильтров ФОПС® различных типов на реальной селитебной территории подтверждено, что фактический состав ПСВ с техногенно-нагруженных селитебных территорий, испытывающих высокую транспортную нагрузку, существенно отличается от рекомендаций действующих нормативно-технических документов (НТД), что представлено в таблице 1.

С другой стороны, результаты периодического мониторинга ПСВ с селитебных и промышленных территорий обнаруживают аномально высокие концентрации (до 20 ÷ 200 ПДК) по железу и марганцу, а иногда и алюминию, цинку и меди (10 ÷ 60 ПДК), что достаточно часто связано с притоком высоко загрязнённой инфильтрационной компоненты.

Таблица 1. **Состав поверхностного стока с исследованного участка техногенно-нагруженной селитебной территории**

Загрязнитель	Средняя годовая концентрация за период испытаний, мг/дм^3	Максимальная концентрация за период испытаний, мг/дм^3
Период весна 2016 – лето 2017 гг. [1]		
Железо (общ.)	7,7	48,7
Марганец	0,41	0,89
ХПК	317,83	747,0
АПАВ	0,77	2,5
Период весна 2021 – лето 2022 гг.		
Железо (общ.)	6,05	19,2
Марганец	0,54	0,98
Алюминий	4,30	15,0
Цинк	0,52	0,84
Свинец	0,28	0,45
Кадмий	0,0025	0,018

Принято считать инфильтрационный сток, формирующийся в результате просачивания грунтовых вод в канализационные сети через их негерметично соединённые элементы, по составу загрязнений и их количеству более чистым, чем дождевой и талый, что справедливо только для взвешенных веществ и нефтепродуктов, задерживающихся компонентами почв. Как показали проведённые исследования состава ПСВ с нескольких селитебных территорий, в случае формирования инфильтрационного стока из безнапорных межпластовых вод высока вероятность наличия в нём ионов железа и марганца биогенно-почвенного происхождения. На рисунке 1а показано, что максимальная концентрация этих ионов наблюдается в летне-осенний период, т.е. во время биологической активности почв.

В крупных городах со сложившейся застройкой центральной части нередко в селитебных целях используются бывшие промышленные площадки, а иногда и засыпанные (но не рекультивированные) свалки строительных, бытовых и промышленных отходов. В результате различных процессов деградации (электрохимическое окисление, биохимическое анаэробное разложение и т.д.) из захороненных отходов в грунтовые воды поступают не только ионы железа и марганца в высоких концентрациях, но и ионы цинка, алюминия, меди, (а в некоторых случаях – ртути, кадмия, свинца). На рисунке 1б видно, что превышение реальных концентраций над ПДК в этом случае значительное, а пик значений приходится на весенние месяцы – период интенсивного таяния снега. Более того, в крупных городах Европейской части территории России период пиковых значений содержания указанных загрязнителей с большой вероятностью будет растянут на весь осенне-зимне-весенний период в связи с участившимися периодами продолжительных оттепелей.

Данные проведённого мониторинга состава ПСВ показали, что инфильтрационный сток с промышленных и селитебных территорий, устроенных на местах бывших захороненных свалок и территорий, подвергавшихся интенсивной техногенной нагрузке, в обоих случаях сопровождается сильным загрязнением грунтов, приближается по составу и концентрациям компонентов к стоку с полигонов твёрдых коммунальных отходов (ТКО, табл. 2) [2].

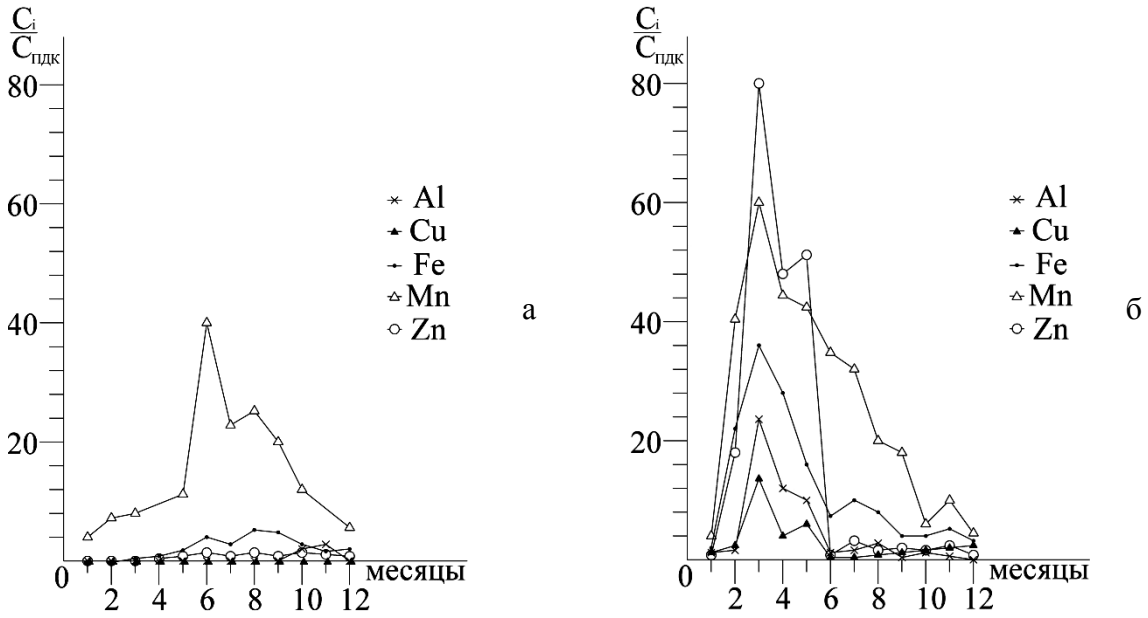


Рисунок 1. **Сезонная зависимость состава:**
а) естественного инфильтрата**;** б) инфильтрата с техногенно-нагруженной территории

Таблица 2. **Сравнение состава инфильтрата с техногенно-нагруженных территорий и стока полигона ТБО**

Загрязнители	Концентрация, мг/дм^3				ПДК$_{РХ}$
	БЦ[1]	ТЦ[2]	ПТ[3]	Усреднённый сток с полигона ТКО	
Нефтепродукты	710	0,5	0,67	0,5 ÷ 10	0,05
Жиры	1 726	-	-	-	отс.
АПАВ	0,90	0,16	-	-	0,1
Фенолы	0,162	0,006	0,0012	-	0,001
Железо (общ.)	322	26	8,7	до 22,5	0,10
Марганец	6,0	2,7	1,9	до 2,6	0,01
Алюминий	17,5	1,9	0,25	-	0,04
Цинк	31,90	0,52	0,18	до 0,9	0,01
Медь	0,720	0,045	0,0025	до 0,590	0,001
ХПК	1 100	700	75	1 200 ÷ 8 700	30

[1] – бизнес-центр на территории бывшего трансформаторного завода;
[2] – торговый центр на территории захороненной свалки;
[3] – транспортно-техническая база на территории бывшего химпредприятия

Наиболее эффективным методом очистки больших объёмов ПСВ от растворённых загрязнителей (включая ионы тяжёлых металлов), обладающим высокой эксплуатационной пригодностью, высокой эффективностью очистки, низкими капитальными и эксплуатационными затратами, а также удобством утилизации и обращения с образующимися отходами является сорбционно-фильтрационная технология с применением фильтров ФОПС®.

Основой сорбционно-фильтрационной технологии очистки ПСВ с применением фильтров ФОПС® является использование недорогих природных сорбционно-фильтрационных материалов (СФМ) – цеолитов и опок, активных углей, обладающих свойствами комплексных геохимических барьеров (что позволяет говорить об использовании природоподобной технологии), которые для удобства работы размещаются в пластиковых проницаемых промышленных картриджах – фильтрах ФОПС®. Барьерные свойства применяемых СФМ позволяют необратимо извлечь, например, железо и марганец из ПСВ в виде малоподвижных форм, предотвращая возможность их выделения обратно в окружающую среду.

Конструктивные решения для реализации указанной технологии (рис. 2) были разработаны в виде компактных картриджей для размещения СФМ, что позволяет создавать локальные очистные сооружения с применением типовых канализационных колодцев [3]. Для повышения эксплуатационной пригодности сорбционно-фильтрационной технологии с применением фильтров ФОПС® были разработаны опорные кольца и крышки для оборудования колодцев с фильтрами. Все конструктивные решения защищены патентами на полезные модели (получено более пятидесяти патентов).

а

б

Рисунок 2. **Внешний вид фильтров ФОПС®** (а) **и способ их размещения в канализационных колодцах** (б)

Проведённые совместно с ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» натурные испытания серийного фильтра ФОПС® с цеолитовой загрузкой в период 2021 – 2022 гг. (время испытаний – 12 месяцев) для очистки ПСВ с

селитебной территории, испытывающей высокую транспортную нагрузку, продемонстрировали высокую эффективность очистки сточных вод: Fe (общ.) – 78 ÷ 93 % масс.; Mn^{2+} – 95 ÷ 99 % масс.; Al^{3+} – 97 ÷ 99 % масс.; Pb^{2+} – 77 ÷ 98 % масс.; Zn^{2+} – 97 ÷ 99 % масс.; Cd^{2+} – 88 ÷ 95 % масс. (рис. 3).

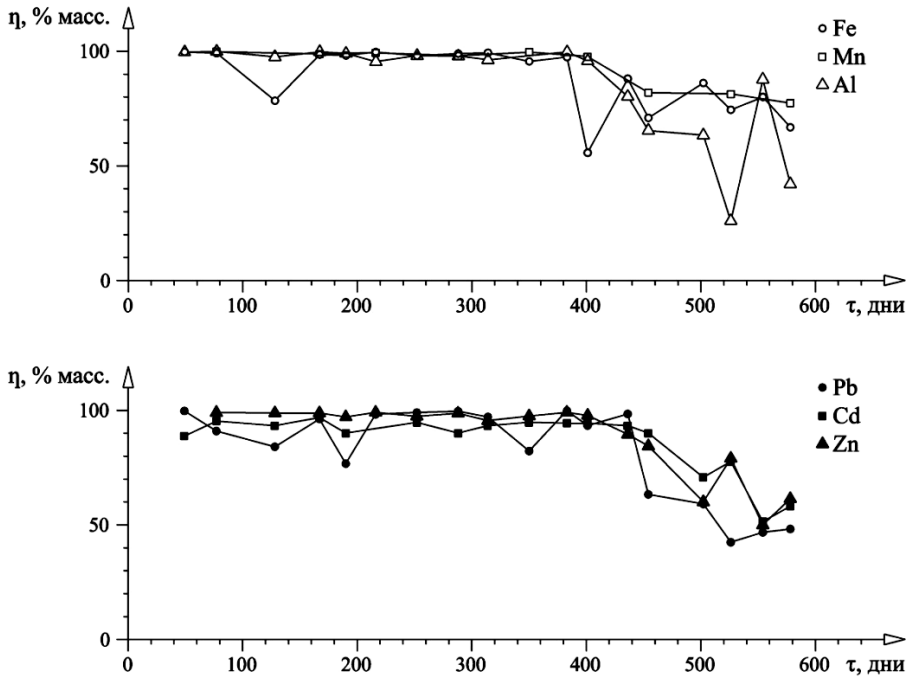


Рисунок 3. **Результаты натурных испытаний фильтра ФОПС®-Ц при очистке ПСВ с техногенно-нагруженной селитебной территории**

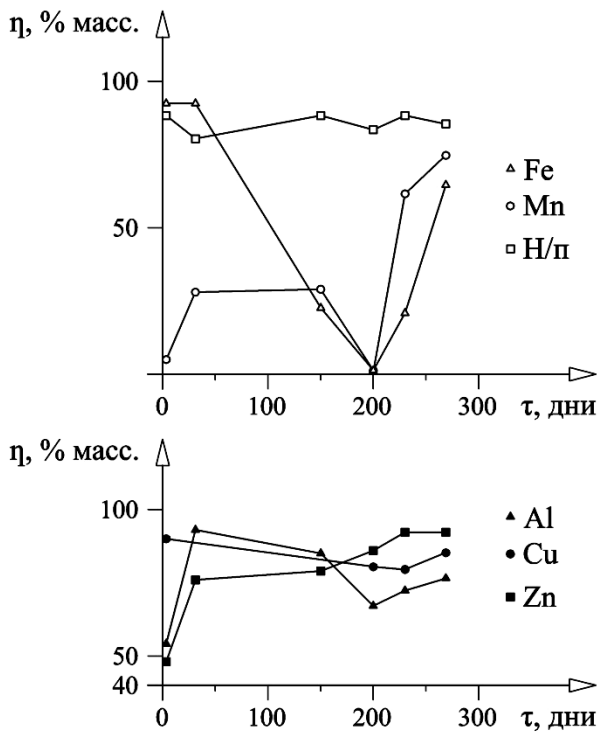


Рисунок 4. **Результаты натурных испытаний фильтра ФОПС®-Ц при очистке загрязнённых инфильтратом ПСВ с производственной территории**

Высокая эффективность очистки ПСВ была также показана в ходе натурных испытаний серийного фильтра ФОПС® с цеолитовой загрузкой на производственной территории, которая ранее подвергалась высокой техногенной нагрузке, что стало причиной загрязнения ПСВ инфильтратом [4]. Фактические ПСВ с этой территории обладали повышенным содержанием как растворённых, так и взвешенных форм Fe и Mn (из инфильтрата). Эффективность очистки составила: Fe (общ.) – 27 ÷ 93 % масс.; Mn^{2+} – 26 ÷ 28 % масс.; Al^{3+} – 58 ÷ 93 % масс.; Zn^{2+} – 48 ÷ 86 % масс.; Cu^{2+} – 88 ÷ 95 % масс. (рис. 4).

Приобретённый опыт очистки сильнозагрязнённых ПСВ сложного состава позволяет сделать следующие выводы:

- ПСВ с техногенно-нагруженных селитебных и производственных территорий, а также объектов транспортной инфраструктуры обладают сложным составом и высоким содержанием растворённых загрязнителей;
- основными источниками дополнительного существенного загрязнения являются транспорт и инфильтрационный сток;
- очистные сооружения таких ПСВ должны в обязательном порядке включать в свой состав сорбционную очистку;
- технология сорбционно-фильтрационной с применением фильтров ФОПС® является наиболее оптимальным решением для очистки сильнозагрязнённых ПСВ сложного состава.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ватин Н.И., Греков М.А., Леонов Л.В., Пробирский М.Д., Рублевская О.Н., Чечевичкин А.В., Якунин Л.А. Результаты тестовой эксплуатации фильтра ФОПС® для очистки ливневого стока с селитебной территории Санкт-Петербурга // Водоснабжение и санитарная техника. 2017. № 1. С. 58–65.
2. Чечевичкин В.Н., Ватин Н.И. Особенности состава и очистки поверхностного стока крупных городов // Инженерно-строительный журнал. 2014. № 6. С. 67–74.
3. Чечевичкин А.В. Проектирование и применение локальных очистных сооружений поверхностного стока на основе фильтров ФОПС®. СПб: Любавич, 2017. 176 с.
4. Ватин Н.И., Панкова Г.А., Леонов Л.В., Пробирский М.Д., Рублевская О.Н., Чечевичкин А.В., Якунин Л.А. Тестовая эксплуатация фильтра ФОПС® с природным цеолитом для очистки загрязнённого инфильтратом поверхностного стока // Водоснабжение и санитарная техника. 2017. № 9. С. 39–49.

.

УДК 628.353

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ЗАТОПЛЕННОГО БИОФИЛЬТРА В УСЛОВИЯХ ЕГО ПЕРИОДИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Е.В. Спасибо, Е.С. Гогина
Научно-исследовательский институт строительной физики
Российской академии архитектуры и строительных наук г. Москва. Россия
И.А. Гульшин
Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

В статье представлены результаты работы системы с прикрепленной биомассой на поверхности плавающего носителя в затопленном биофильтре Moving Bed Bio Reactor (MBBR) при его периодическом использовании. MBBR доказал свою эффективность в удалении до 96,4 % биохимической потребности в кислороде, а также до 95,2 % в удалении азота аммонийного. Применение затопленного биофильтра рекомендовано для применения его в качестве малого очистного сооружения, поскольку он эффективен, компактен и прост в эксплуатации.

Благодаря последним Федеральным проектам по оздоровлению водных объектов, а также тенденции на сохранении экологической обстановки, в последнее время, наблюдается увеличение устанавливаемых канализационных очистных сооружений малой производительности в индивидуальных домах, коттеджных поселках, отелях, небольших поселениях и пр., что приводит к одновременному сбросу сточных вод с очистных сооружений, качество которых не удовлетворяет требуемому. Это происходит, в первую очередь, из-за проектирования и изготовления сооружений малой производительности по стандартам больших. При этом не учитывается то, что малые очистные сооружения имеют значительно меньшие объемы, а, следовательно, процессы очистки имеют достаточно отличий, которые необходимо учитывать на начальных стадиях. К тому же, при проектировании, как правило, не учитывается то, что очистные сооружения малой производительности работают в большинстве в периодическом режиме, что сказывается на качестве очистки сточных вод. При оценке работы малых очистных сооружений часто делается скидка на то, что при сбросе очищенных сточных вод в водоемы рыбохозяйственного значения, наблюдается разбавление некачественно очищенной сточной воды. В результате чего происходит значительное отрицательное воздействие на качество воды рыбохозяйственного водоема, что приводит к заболачиванию территорий, активному цветению водоемов и в свою очередь к замору рыбы из-за нехватки растворенного кислорода в воде.

На рынке представлено множество малых очистных сооружений в различных исполнениях. В настоящее время активно применяются

технологии с активным илом, реализующие процессы денитри-нитрификации. Наиболее распространенные – это блочно-модульные станции [1]. Неравномерность притока сточных вод в данном случае возможно установкой регулирующих резервуаров, однако сильное сезонное сокращение производительности полностью нарушает стабильность биологической системы. Это может привести либо к нитчатому вспуханию активного ила и его вымыванию из системы за достаточно короткий промежуток времени, либо к снижению эффективности очистки (в первую очередь от соединений азота).

Более стабильная работа наблюдается у циркуляционных окислительных каналов.[2] Высокая внутренняя рециркуляция обеспечивает равномерное распределение поступающих загрязнений по объему активного ила, предотвращая сильное негативное воздействие залповых сбросов сточных вод. К сожалению, данные системы, работая со взвешенным активным илом также не способны работать в условиях сезонного водоотведения без необходимости длительной пуско-наладки после восстановления притока сточных вод.

Еще одним вариантом является использование реакторов периодического действия [3]. Данные сооружения широко используются во всем мире для очистки сточных вод малых расходов. При отсутствии притока сточных вод возможно отключение части СБР (либо всех), однако повторный запуск станции также потребует значительного времени.

Согласно недавним исследованиям, одним из наиболее современных подходов к обеспечению стабильности работы биологических систем очистки сточных вод являются технологии на основе биопленок [4–5]. Закрепленные биопленки, иммобилизованный активный ил [6] показывают определенные преимущества по сравнению со свободно плавающим активным илом.

Биологические системы с биопленками могут работать на низкоконцентрированных сточных водах, по сути, имитируя работу естественных водоемов. Режим работы данных сооружений при сильной недогрузке (или при повышенном разбавлении сточных вод) является рабочим.

Конструкции и виды биофильтров различны, в данной работе рассмотрен затопленный биофильтр MBBR [7–10].

Лабораторная установка затопленного биофильтра эксплуатировалась в течение 35 суток. Первый этап работы установки предполагал обеспечения наращивания необходимого количества биопленки в аноксидной и аэробной зонах реактора. Для сокращения сроков, необходимых для наращивания биопленки, биореактор был инокулирован активным илом с действующих канализационных очистных сооружений. Доза ила при этом составляла не более 0,5 г/л для предотвращения нарушения эксплуатационного режима установки.

Установка включала в себя два отсека биореактора и вторичный отстойник. Первый отсек работал в аноксидном режиме и был оснащен плоскостным загрузочным материалом с удельной поверхностью около 250 $м^2/м^3$. Второй отсек работал в аэробном режиме и был оснащен плавающим загрузочным материалом в виде пенополистирольных гранул с общей удельной поверхностью около 300 $м^2/м^3$. Вторичный отстойник обеспечивал возврат нитратной воды в первый отсек установки для обеспечения процессов удаления азота. За время проведения эксперимента значительного количества избыточной и отмершей биопленки зафиксировано не было. Продолжительность отстаивания в отстойнике составляла 1 час при степени рециркуляции 150 %. Схема установки представлена на рисунке 1.

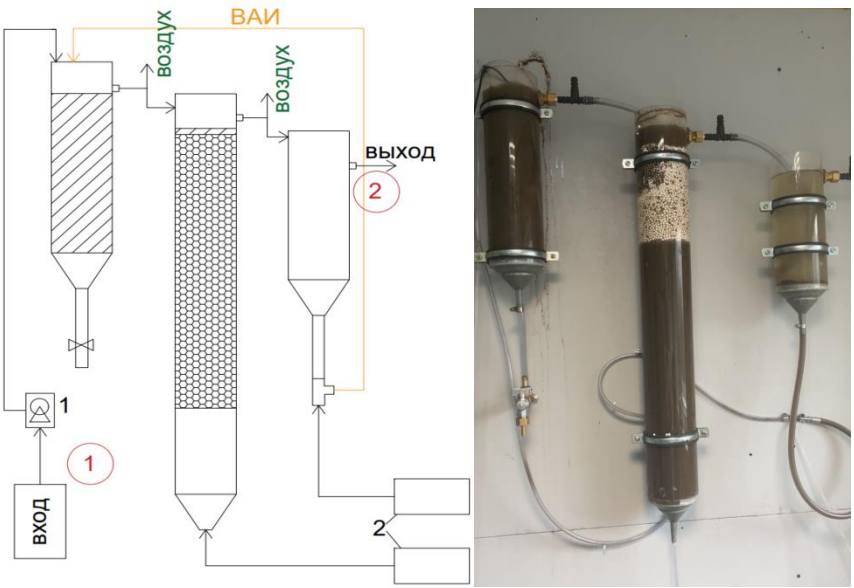


Рисунок 1. **Схема установки затопленного биофильтра**

В качестве исследуемой сточной воды используется искусственно составленная сточная жидкость на основе пептона, максимально приближенная по составу к хозяйственно-бытовой сточной воде малых населенных пунктов.

Установка эксплуатировалась в круглосуточном режиме. После наращивания биопленки было реализовано четыре этапа наблюдения за работой системы с периодическим отключением от подачи сточной воды. Период остановки работы модели в среднем составлял 72 часа, период работы установки после перезапуска не более 96 часов.

Результаты работы установки после кратковременных отключений показывают стабильную способность биопленки, образовавшейся на затопленной загрузке, восстанавливать эффективность процессов окисления органических загрязнений и азота. В ходе эксплуатации установки избыточного отмирания биопленки установлено не было.

Рисунок 2. **Фотография загрузочного материала с биопленкой**

В результате были составлены графики усредненных значений по очистке в начале и конце четырех этапов. Графики представлены ниже.

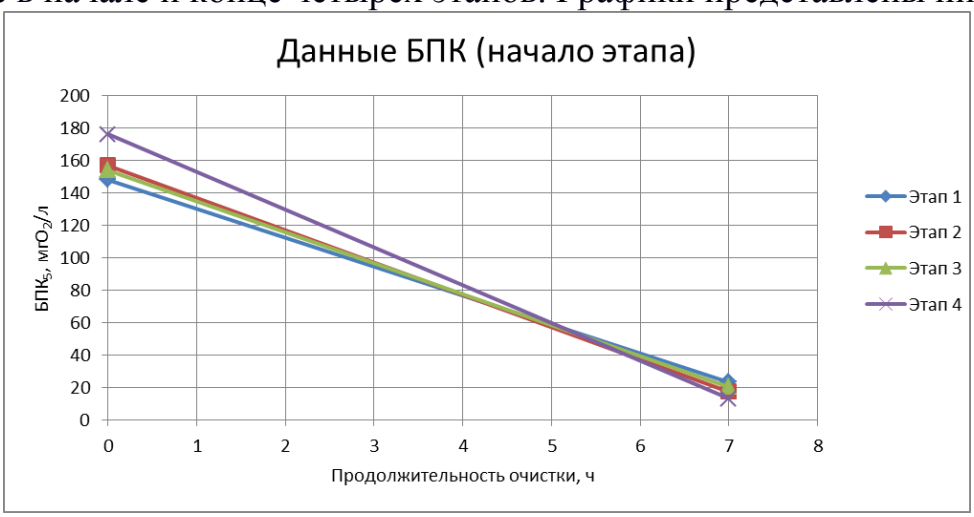


Рисунок 3. **Усредненные данные снижения БПК$_5$**
(начало каждого из этапов)

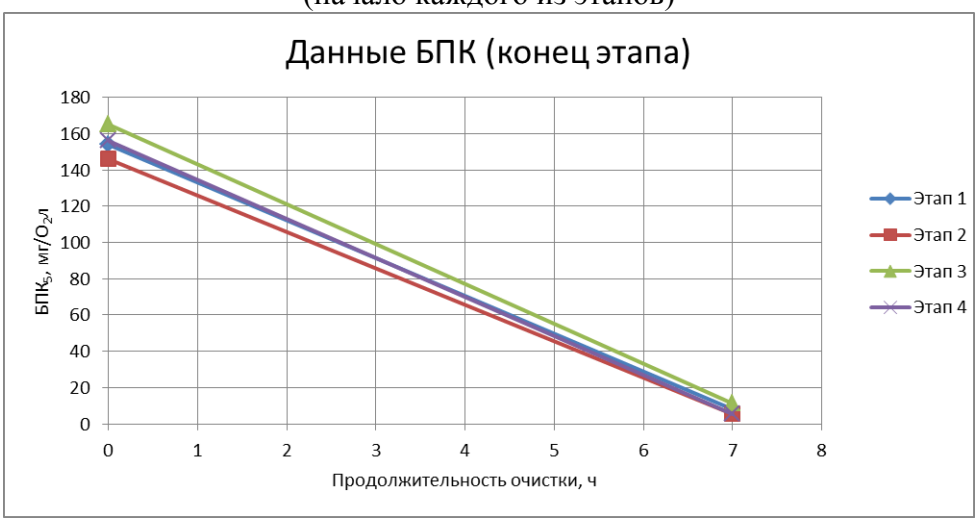


Рисунок 4. **Усредненные данные снижения БПК$_5$**
(конец каждого из этапов)

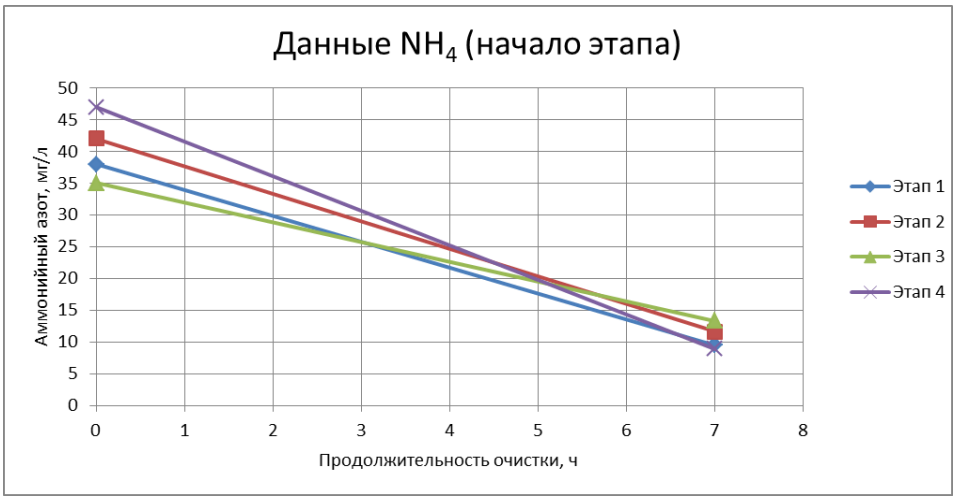


Рисунок 5. **Усредненные данные снижения аммонийного азота** (начало каждого из этапов)

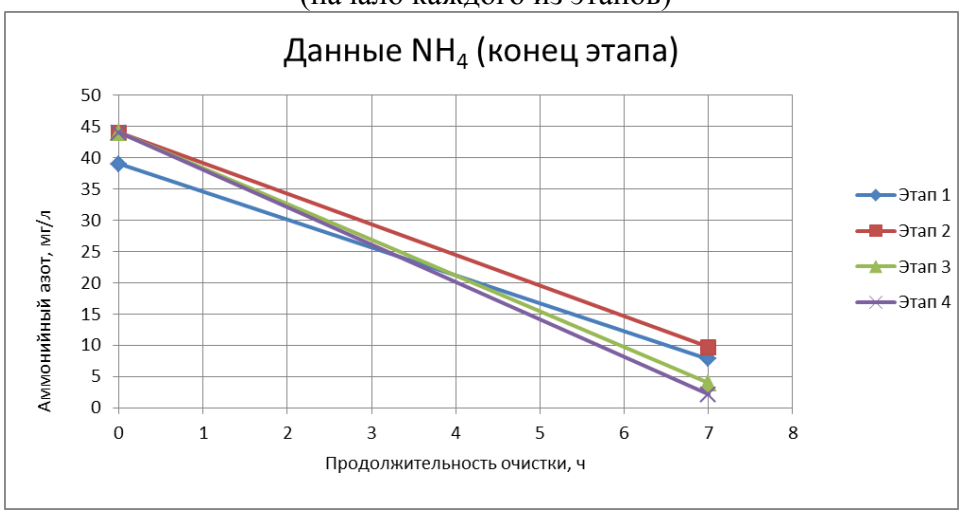


Рисунок 6. **Усредненные данные снижения аммонийного азота** (конец каждого из этапов)

Результаты эксперимента по нитритам и нитратам в очищенной воде представлены на одном графике с целью наглядности представления.

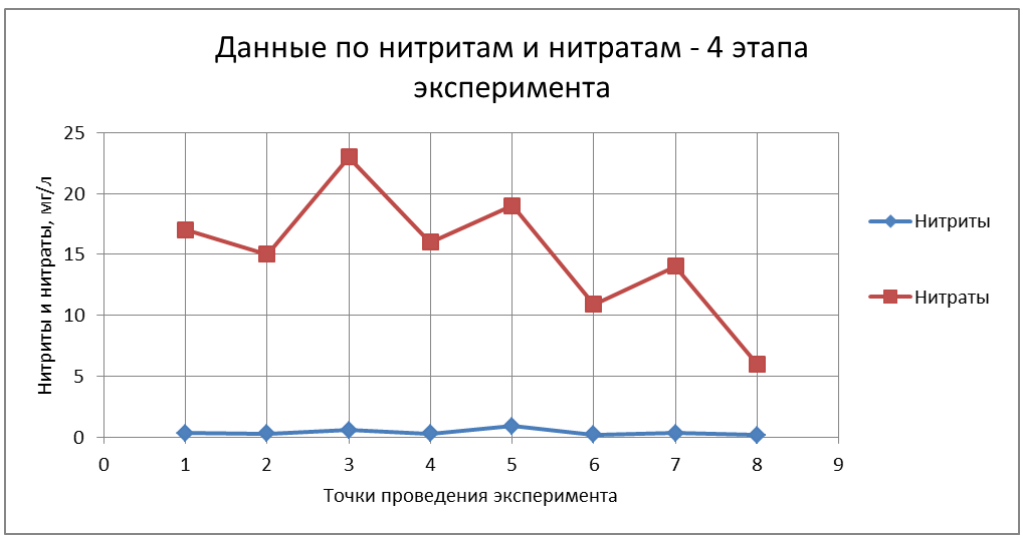


Рисунок 7. **Концентрация нитратов и нитритов в очищенной воде**

Полученные в ходе проведения эксперимента данные, соответствуют технологическим показателям наилучших доступных технологий по всем исследуемым параметрам, кроме фосфатов (эффективность удаления составила 10,9 %). Очистка сточной воды по органическим загрязнениям во всех случаях проведения эксперимента удовлетворяла имеющимся требованиям по соответствию технологическим показателям за исключением единичных проскоков. Фосфаты при использовании сооружений подобного типа рекомендуется удалять физико-химическими методами.

ВЫВОДЫ

1. Затопленный биофильтр в режиме нитрификации – денитрификации показывает результаты работы, соответствующие технологическим показателям наилучших доступных технологий по органическим загрязнениям и соединениям азота.
2. Периодическое поступление сточных вод в биофильтр не оказывает сильного воздействия на качество получаемой очищенной воды.
3. Затопленный биофильтр может рассматриваться в качестве малого очистного сооружения, которое может быть запроектировано для объекта периодического использования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федотов, Д.Е. Модульные и Блочные системы очистки сточных вод / Д.Е. Федотов // Теории, школы и концепции устойчивого развития науки в современных условиях : сборник статей Международной научно-практической конференции, Екатеринбург, 02 октября 2020 года. – Уфа: Общество с ограниченной ответственностью «омега сайнс», 2020. С. 42–46. – edn alujin.
2. Гогина, Е.С. Удаление азота в модели циркуляционного окислительного канала при пониженном содержании органики в сточных водах / Е.С. Гогина, И.А. Гульшин // Водоснабжение и санитарная техника. 2017. №12. С. 26–33.
3. Чан, Х.К. Совершенствование технологии очистки сточных вод в биологических реакторах периодического действия: дис. … канд. техн. наук. ¬ М., 2021.
4. Гогина, Е.С. Интенсификация процессов удаления соединений азота из сточных вод на биофильтрах / Е.С. Гогина, О.В. Янцен, О. А. Ружицкая, В. Дабровски, Р. Жилка, Д. Боружко // Вода и экология: проблемы и решения. 2016. № 3 (67). С. 35–45.
5. Carpenter, C.M.G. Removal of micropollutants in biofilters: Hydrodynamic effects on biofilm assembly and functioning / Corey M. G. Carpenter, Damian E. Helbling // Water Research. 2017. № 120, p. 211–221.

6. Вострова, Р.Н. Применение иммобилизационной загрузки для интенсификации биологической очистки сточных вод / Р.Н. Вострова, А.В. Роденко // Вода Magazine. 2018. № 2 (126). С.32–36.
7. Huang, C. Comparison of biomass from integrated fixed-film activated sludge (IFAS), moving bed biofilm reactor (MBBR) and membrane bioreactor (MBR) treating recalcitrant organics: Importance of attached biomass / C. Huang, Y. Shi, J. Xue, Y. Zhang, M. Gamal, Y. Liu // Journal of Hazardous Materials. 2017. № 326. – p.120–129.
8. Kamstra, A. Mixing and scale affect moving bed biofilm reactor (MBBR) performance / A. Kamstra, E. Blom, B.F. Terjesen // Aquacultural Engineering. 2017. №78, Part A. p. 9–17.
9. Choi, H.J., Comparison between a moving bed bioreactor and a fixed bed bioreactor for biological phosphate removal and denitrification / H.J. Choi, A.H. Lee, M.Lee // Water Science & Technology. 2012. № 65.10. p. 1834–1838.
10. Young, B. Post carbon removal nitrifying MBBR operation at high loading and exposure to starvation conditions / B. Young, R. Delatolla, K. Kennedy, E. LaFlamme, A. Stintzi // Bioresource Technology. 2017. № 239. p. 318–325.

УДК:621.9.079

ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОДОРАЗБАВЛЯЕМЫХ СИНТЕТИЧЕСКИХ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ ЖИДКОСТЕЙ В КОНТЕКСТЕ МАСШТАБНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ПРИ МЕТАЛЛООБРАБОТКЕ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ЗАЛПОВЫХ СТОКОВ НА РАЗЛОЖЕНИЕ

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

Статья посвящена обеспечению экологичности технологий применения смазочно-охлаждающих жидкостей, неотъемлемого ресурсного элемента металлообрабатывающих производств, значимость и затратность которого не уступает металлорежущему инструменту. Однако срок эксплуатации самых распространенных водоэмульсионных жидкостей недостаточен, а затраты на их утилизацию велики. Поэтому в настоящее время повышается интерес к синтетическим жидкостям, срок бессточной эксплуатации которых достигает 2 – 3 лет и более. При масштабном централизованном применении синтетических жидкостей обнаруживаются большие резервы повышения их технико-экономической эффективности и экологичности. В

статье описана технология применения синтетических жидкостей при металлообработке, структура системы организации их жизненного цикла, достоинства и возможности таких жидкостей и резервы повышения эффективности. Ниже показаны важнейшие каналы необратимых потерь объемов смазочно-охлаждающих жидкостей при эксплуатации, а также основные виды физико-механических и физико-химических воздействий на эксплуатируемые жидкости, что приводит к вероятностной потере важнейших технологических свойств. Обоснован основной принцип оптимизации объема оборачиваемых жидкостей. Смазочно-охлаждающая жидкость должна сохранять свои свойства дольше, чем она израсходуется в процессе эксплуатации или она должна быть израсходована быстрее, чем потеряет свои технологические свойства.

Смазочно-охлаждающая жидкость (СОЖ) является неотъемлемым элементом технологических металлообрабатывающих производств [1].

В калькуляции себестоимости обработки затраты на СОЖ могут превышать затраты на режущий инструмент.

Наиболее совершенными в эксплуатационном отношении считаются синтетические СОЖ, поскольку способны обеспечивать высокие технологические и технико-экономические показатели при длительном сроке эксплуатации, что предопределяет их экологичность [2].

Однако при масштабном централизованном применении одновременно нескольких синтетических СОЖ отчётливо проявляются особенности организации жизненного цикла (ЖЦ), технологического процесса применения, в т.ч. особенности и значимость операций разложения и утилизации отработанных СОЖ.

ЖЦ синтетической СОЖ включает:

- приготовление объемов свежей СОЖ;
- оборот в эксплуатационной инфраструктуре – «установка централизованной очистки и циркуляции – производство»;
- разложение отработанной СОЖ и образование водного стока;
- нейтрализацию (обезвреживание) водного стока и сброс в канализацию;
- нейтрализацию и обезвоживание шламовых продуктов и сдачу на полигоны твёрдых коммунальных отходов.

Отдельные централизованные системы (установки) очистки (ЦСО) и циркуляции СОЖ одного типа объединены в комплексы (кластеры). Приготовление СОЖ осуществляется на отдельном предприятии, участке или технологической установке. С помощью насосов СОЖ в зависимости от марки раздается по централизованным установкам очистки и циркуляции, обслуживающим отдельные участки, технологические линии и группы металлообрабатывающих станков.

После прохождения зоны резания и выполнения главной технологической задачи СОЖ стекает по лоткам в сборные емкости. Затем снова подается на станки и так в течение всей длительности эксплуатации. После потери технологических свойств СОЖ признается отработавшей и

сбрасывается из этих емкостей в установку переработки (разложения) на водную фазу (сток) и твердую фазу (шлам). Водный сток подаётся на станцию водоотведения для обеззараживания и последующего сброса в канализацию, а шлам после обезвоживания и обезвреживания отправляется на полигон хранения твёрдых коммунальных (производственных) отходов.

Проблема экологизации производств механической обработки заключается в снижении объемов отходов и стоков, образующихся в результате применения смазочно-охлаждающих жидкости (СОЖ), что позволяет снизить экологическую нагрузку на среду.

Крупное предприятие обеспечивает приготовление до 1000 т в год концентратов одного-двух СОЖ.

Общий годовой объем стоков одной из синтетических СОЖ, например 205, доходит до 4000 т/год.

Цель разработки – кратное уменьшение затрат на разложение СОЖ, снижение объемов стоков и продуктов разложения.

Задачи, обеспечивающие достижение поставленной цели.

1. Снижение объемов сточных вод.

2. Снижение стоимости разложения (переработки) единицы объема отработанной СОЖ.

3. Уменьшение объемов или полная ликвидация водных стоков, обводненного шлама (ОШ) и пенно-масляного продукта (ПМП).

4. Снижение энерго- и материалозатратности процессов переработки СОЖ.

При этом необходимо предусматривать максимальное возможное использование технологического потенциала сложившейся системы применения СОЖ.

В случае, если в системе применения СОЖ установлено число замен СОЖ $n_з = 2$ раза в год по обеим жидкостям (рис. 1).

Длительность времени эксплуатации задается при моделировании условий с величиной $k_{сн}$ (коэффициент снижения числа замен в год),. При увеличении $k_{сн}$ число замен снижается, $T_ц$ – увеличивается пропорционально при концентрации СОЖ – α (рис. 1). $k_{сн}$ выбирается из ряда чисел 1, 2, 4, 8 (при этом $k_{сн} = 1$ – базовое значение).

При $n_з = 2$ $T_ц = 0,5$; 1; 2 и 4 года

График замен СОЖ разрабатывается в зависимости от величины $k_{сн}$ и представлен на рисунке 1.

На рисунке 1 показаны изменения объемов СОЖ в виде графика в сноске. СОЖ теряется с течением времени и корректируется посредством добавления новой. На поверхности СОЖ появляется масло – утечки со станков. Колебания уровня СОЖ показаны в виде широкой полосы более интенсивного цвета. В течение дня уровень жидкости (если она

успокаивается в перерыв) снижается, а вечером после коррекции повышается.

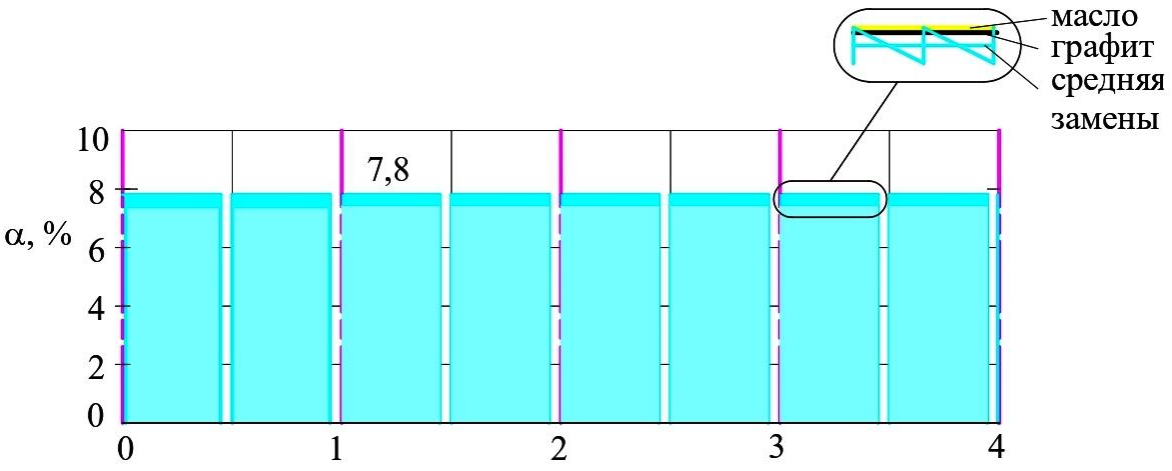


Рисунок 1. **График замены систем с применением СОЖ при $n_з$ = 2 раза в год**

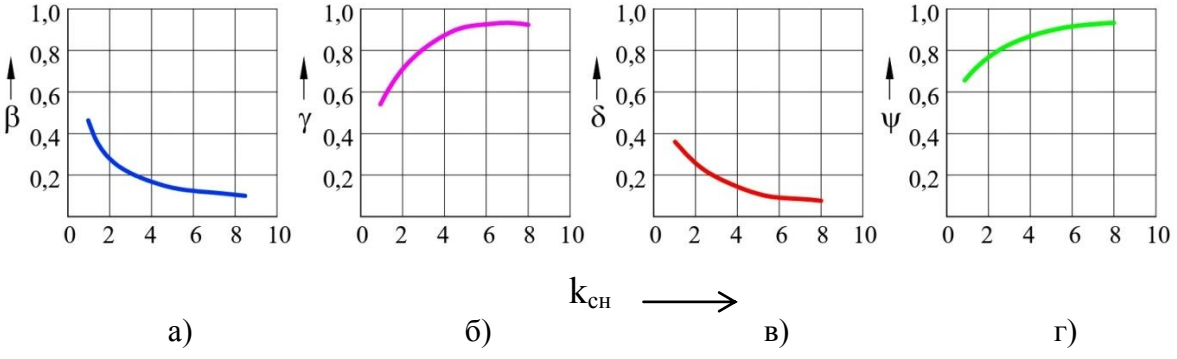


Рисунок 2. **Зависимость относительных показателей, степеней характеризующих основные потоки СОЖ:**
а) – замены β, б) – коррекции γ, в) – залпового стока δ и
г) – диффузного стока ψ в потоке приготавливаемой СОЖ (при $n_з$ = 2 раза в год)

Чем реже сбрасывается СОЖ, тем стабильнее состав при определенных условиях (рис. 2). Если будет нарастать загрязнение СОЖ, уменьшаться ее концентрация, проявляться значимо деструкция (разрушение компонентов и изменение их соотношения), то в этом случае СОЖ рано или поздно необходимо заменить. Если же процессы деструкции компенсируются процессами обновления (осветления), то замены можно делать значительно реже.

Процессы переработки отработанных синтетических и полусинтетических СОЖ в научном плане толком не исследованы. На практике такие стоки выливают в стоки отработанных водоэмульсионных СОЖ, а там «будь, что будет»…

Уравнение баланса

$$M_{з.г.} + M_{к.г.} - \left(M_{ст.г.} + M_{д.г.}\right) = 0 \qquad (1)$$

$$\frac{V_{\text{з.г.}}}{V_{\text{пр.г.}}}+\frac{V_{\text{к.т.}}}{V_{\text{пр.г.}}}+\left(\frac{V_{\text{ст.т.}}}{V_{\text{пр.т.}}}+\frac{V_{\text{д.т.}}}{V_{\text{пр.т.}}}\right)=0 \qquad (2)$$

$$\beta+\gamma-(\delta+\psi)=0 \qquad (3)$$

где V – объем, м³; M – массовая доля концентрата; индексы: з – замена; к – коррекция; ст – стоки (залповые); Д – диффузные потери; г – годовые; β, γ, δ, ψ – степени замены, коррекции, стойкости и потери СОЖ.

Анализ возможностей уменьшения объема стоков СОЖ показывает, что они зависят от объемов емкостей систем, числа замен СОЖ, типа СОЖ и коэффициента снижения числа замен $k_{\text{сн}}$ в год, длительность цикла эксплуатации. Годовые объемы стоков уменьшаются пропорционально $k_{\text{сн}}$.

ВЫВОД

При предотвращении залповых сбросов из баланса уходят δ и соответственно β. При этом предотвращается залповый сброс стоков СОЖ полностью, т.е. в этом случае будут снижаться затраты на переработку СОЖ и объемы ВФ, ПМП и ОШ. При этом может сформироваться основная функция установки разложения СОЖ: переработка стоков в чрезвычайных (аварийных) ситуациях. Например, при случайной или намеренной порче СОЖ, а также при выходе ее показателей за пределы допустимых значений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Булыжев Е.М. Ресурсосберегающее применение смазочно-охлаждающих жидкостей при металлообработке / Е.М. Булыжев, Л.В. Худобин. М.: Машиностроение, 2004. 352 с.
2. Смазочно-охлаждающие технологические средства: Справочник / Под общей ред. Л.В. Худобина М.: Машиностроение, 2006. 543 с.
3. Булыжев Е.М. Основы моделирования и конструирования гравитационных и магнитных очистителей водных технологических жидкостей / Е.М. Булыжев, Л.В. Худобин, А.Ю. Богданов, Е.Н. Меньшов; под общ. ред. Л.В. Худобина и Е.М. Булыжева. – Ульяновск: УлГТУ, 2016. 290 с.
4. Горчаков П.А. Исследование ингибирующих свойств биоцидных присадок в производстве экологически безопасных СОЖ: автореферат, 2003 г. https://new-disser.ru/_avtoreferats/01002636768.pdf.
5. Попов В.Г., Диньмухаметова Л.С., Тягунова В.Г., Пояркова Е.В. Разрушение высокодисперсных коллоидных систем на основе синтетических СОЖ и шламовых гидроокисных осадков методами температурного воздействия // Фундаментальные исследования. 2015. № 2-24. С. 5357–5361.

УДК:621.9.079

ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ЗАЛПОВЫХ СТОКОВ СИНТЕТИЧЕСКИХ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ ЖИДКОСТЕЙ НА РАЗЛОЖЕНИЕ И УТИЛИЗАЦИЮ ПУТЕМ ОПТИМИЗАЦИИ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

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

Работа посвящена рассмотрению условий эксплуатации синтетических смазочно-охлаждающих жидкостей, определяющих их состояние в процессе эксплуатации, механизмы потери жидкостями технологических свойств вследствие внешних физических и физико-химических воздействий. Несмотря на высокую сопротивляемость синтетических СОЖ таким воздействием их технологическая эффективность значимо снижается в процессе эксплуатации. Поэтому нередко после 4 – 6 месяцев эксплуатации, несмотря на периодическую коррекцию концентрации, вместо планируемых обычно двух – трех лет синтетические жидкости сбрасываются на разложение и утилизацию.

В работе показаны пути и средства предотвращения потерь оборотных СОЖ на разложение и утилизацию, в том числе, очистка от механических примесей и нефтепродуктов (смазочных масел), коррекция состава и концентрации. Разложение синтетических смазочно-охлаждающих жидкостей обходится предприятию в 2 – 3 раза дороже их приготовления. Необратимые потери синтетических смазочно-охлаждающих жидкостей позволяют перейти к пополнению и восстановлению их качества взамен разложения. В результате достижимы большие экономические эффекты.

Ранее рассматривалась возможность предотвращения образования залповых стоков смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) на разложение и утилизацию [1]. Синтетические СОЖ один из самых современных видов неотъемлемого ресурсного обеспечения металлообрабатывающих производств. Срок эксплуатации синтетических СОЖ достигает 2 – 3 лет и более. Однако он может резко снизиться (до 4 – 6 месяцев) вследствие потери жидкостями технологических свойств под воздействием физических и физико-химических факторов.

Стабильность компонентного состава и концентрации синтетических СОЖ в процессе эксплуатации обусловлена устойчивостью состояния, деградацией компонентного состава в процессе эксплуатации и его сопротивлением расслоению и биопоражению.

Проанализируем процесс, механизмы деградации СОЖ и каналы её потерь. Внутри кругового графа деградации синтетических СОЖ (рис. 1)

отрезками прямых линий показаны взаимосвязи возмущающих факторов между собой.

Раскрытие взаимообусловленности, порождаемой этими факторами, процессов их влияния на состав и состояние жидкости, ее технологическую устойчивость, позволяет сформировать и проанализировать механизмы деградации СОЖ, дать их системное описание для обеспечения возможности уменьшения объемов залповых стоков, вплоть до их полной ликвидации. Особенности деградации синтетических СОЖ представлены в таблице [4].

В результате воздействия негативных факторов на состав, структуру и свойства синтетических СОЖ их срок эксплуатации может уменьшиться с 2 – 3 лет до 4 – 6 месяцев (немногим больше, чем срок эксплуатации для водоэмульсионных СОЖ).

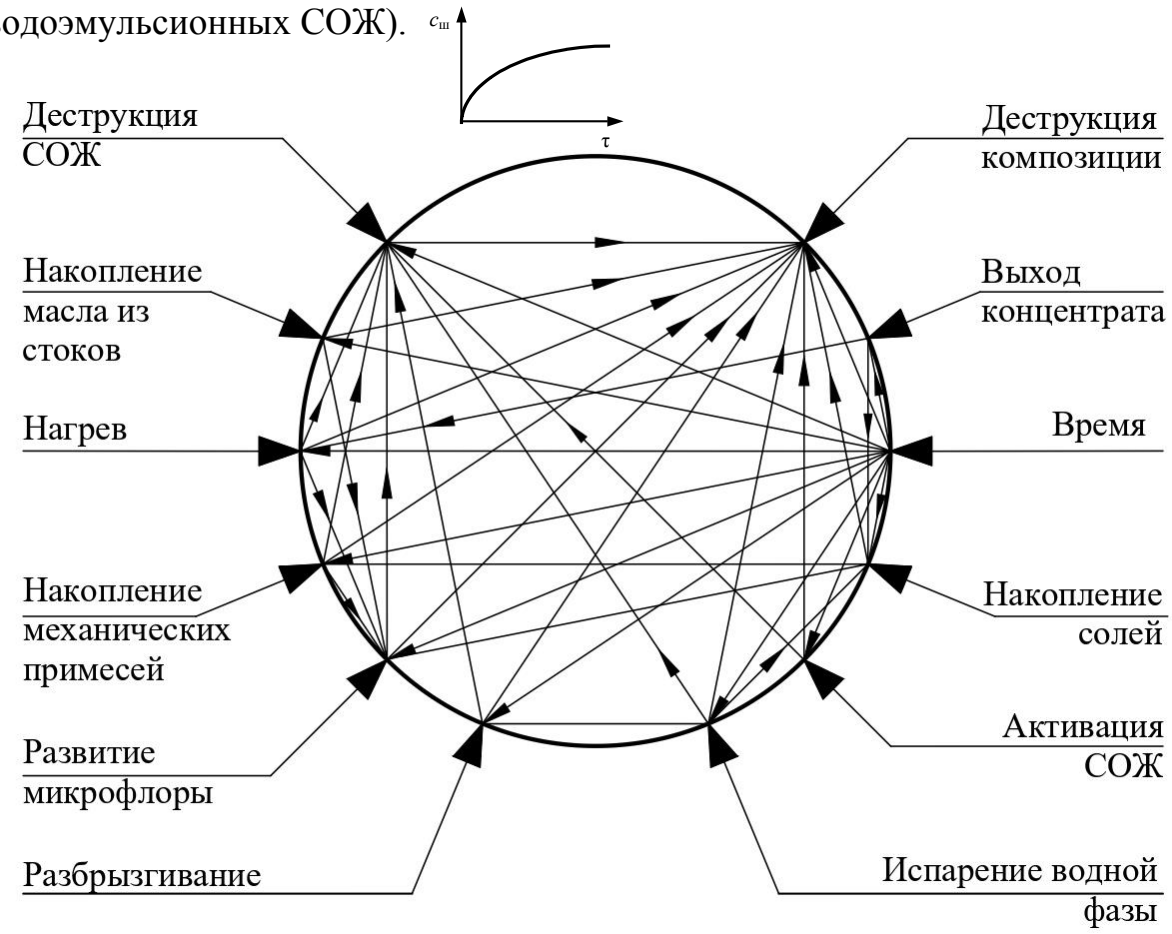
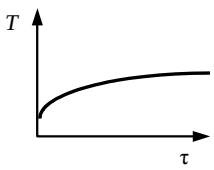
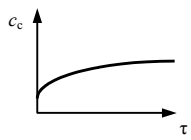
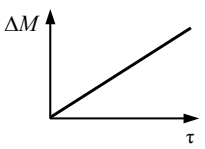
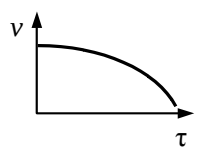
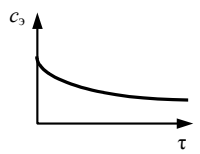
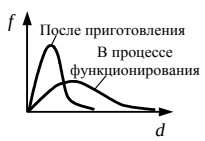
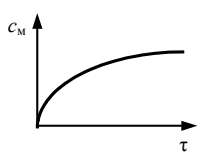
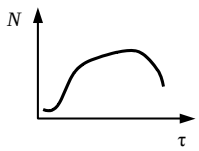
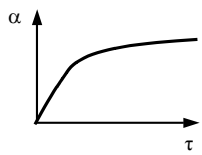
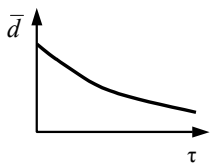


Рисунок 1. **Граф деградации синтетической СОЖ**

В большинстве случаев СОЖ признается отработанной по причине потери свойств ингибирования коррозии и бактериальной стойкости, а также в связи с их расслоением. СОЖ нередко сбрасывается на разложение по причине потери технологической эффективности.

Таблица. **Особенности деградации СОЖ**

Процессы и факторы, ухудшающие функциональные свойства СОЖ	Следствия	Характер изменения параметров процесса	Мероприятия по предотвращению деградации СОЖ	Реализуемость мероприятий
1	2	3	4	5
Теплообмен в зоне механической обработки, сжатие в насосах	Нагрев СОЖ		Термостабилизация, снижение времени воздействия тепловых факторов на СОЖ, снижение напора в системе применения	Трудно реализуемо
Испарение водной фазы в зоне механической обработки при разбрызгивании, на открытых поверхностях	Накопление солей жесткости в СОЖ		Водоподготовка, использование воды после обратного осмоса	Доступна, перспективна очистка воды с помощью обратного осмоса Остальное труднодоступно
Пиролиз и гидролиз в зоне механической обработки	Деструкция композиции СОЖ		Коррекция СОЖ	Обязательна и доступна коррекция состава СОЖ
Унос со стружкой и с заготовкой, угар и разбрызгивание в зоне резания, утечки, расслоение, расслоение вследствие биопоражения	Потери СОЖ		Герметизация системы применения СОЖ, технологического оборудования, возврат СОЖ из стружки	Трудно реализуемо
	Изменение концентрации СОЖ		Коррекция состава	Реализуемо
Потеря ПАВ со стружкой, при разбрызгивании, биопоражение	Дисперсная деструкция СОЖ		Диспергирование, удаление масла, коррекция состава, бактерицидная обработка	Реализуемо
Утечки с оборудования, поверхности заготовок	Накопление инородного масла		Коррекция состава, флотация, удаление масла с поверхности скиммером	Последнее легко достигается

Смыв стружки из зоны механической обработки	Накопление тонких механически х примесей (графита) от трения стружки		Очистка от тонких механических примесей с помощью центрифуг , фильтров, магнитных сепараторов	Легко достигается в ночное время
Бактериальное поражение	Развитие микрофлоры		Удаление масла инородного, очистка от механических примесей. Периодическое насыщение воздухом	Реализуемо
Воздействие энергетических полей (магнитного	Активация СОЖ		Оптимальная напряженность в магнитных аппаратах	Легко достигается, хотя и не используется
Недостаточная эффективность очистки	Накопление тонких фрак-ций механи-ческих частиц		Бактериальная оптимизация, накопление масляной пленки в объеме вывод эмульгаторов и технологических присадок	Магнитные сепараторы (для магнитных частиц) малой производительн ости

Синтетические СОЖ могут вследствие вышеупомянутых негативных воздействий (тепловых, физико-химических и биологических и др.) приобретать непрезентабельный вид (темнеть, синеть и т.д.), неприятный запах (насыщение анаэробной микрофлорой, сероводородом, аммиаком и т.д.), коррозионную активность из-за снижения pH, а также терять технологическую эффективность из-за снижения концентрации СОЖ и ускоренной утраты технологической компоненты концентрата (табл.). Совокупность таких проявлений вынуждает пользователя синтетической СОЖ сбрасывать их на разложение [5] задолго до их утраты через «каналы» диффузионных потерь (пп. 3–8 табл.: образование аэрозоля в зоне резания, разбрызгивание инструментом на станке, утечки в трубопроводах и через уплотнения, потери в каналах и лотках стока, расползание по станку и т.д.) [6].

Резервы технико-экономической эффективности СОЖ и комплекс основных мероприятий по предотвращению коррозионной активности, биопораженности и расслоения СОЖ: удаление постороннего масла и плохо поддающихся осаждению тонких механических примесей,

увеличение концентрации ПАВ и бактерицидных присадок в СОЖ при коррекции, введение концентрированных растворов с повышенной концентрацией ингибиторов коррозии [7].

Массообменные процессы, протекающие при эксплуатации, обуславливают баланс прихода и потерь СОЖ в системе оборота

$$\upsilon_{зам} + \upsilon_{кор} = \upsilon_{зс} + \upsilon_{рп} \quad (1)$$

где $\upsilon_{зам}$, $\upsilon_{кор}$, $\upsilon_{зс}$ и $\upsilon_{рп}$, м^3 – соответственно объёмы: ёмкостей при замене СОЖ в ЦСО, коррекции за период времени между смежными заменами, залпового сброса, и распределенных потерь за период времени между заменами.

Объём замен $\upsilon_{зам}$, как правило, соответствует объёму залпового сброса $\upsilon_{зс}$ (в том случае, если планово перед заменой СОЖ не прекращается коррекция концентрации СОЖ). Объём коррекции СОЖ $\upsilon_{кор}$ меньше или равняется объёму распределенных потерь $\upsilon_{рп}$. Излишек оборачивающейся жидкости нарушает условия равновесия, желательно, чтобы объём жидкости был потерян быстрее, чем утратит свою эффективность.

В соответствии с пунктами 1–11 (табл.) происходит изменение концентрации и состава СОЖ, а в соответствии с п. 3–8 происходит потеря объемов СОЖ.

Если потеря свойств СОЖ и снижение её концентрации компенсируются в процессе коррекции, то залповые сбросы СОЖ становятся излишними и необходимы, лишь при чрезвычайных ситуациях.

В этом случае уравнение (1) приобретает следующий вид:

$$\upsilon_{кор} = \upsilon_{рп} \quad (2)$$

Из уравнения (1) исключены $\upsilon_{зам}$ и $\upsilon_{зс}$.

Из уравнения (2) следует, что если СОЖ не теряет своих функциональных свойств за истекший период времени эксплуатации, то $\upsilon_{кор}$ численно равно $\upsilon_{рп}$.

Важнейшее следствие:

Если в процессе эксплуатации свойства СОЖ поддерживаются в заданных интервалах численных значений, то нет необходимости в залповых сбросах. Параметром оптимизации в этом случае является объем залповых сбросов.

Что это даёт производству?

Это позволяет предотвратить сброс СОЖ и избежать:

- затрат на разложение и замену «якобы» отработанных СОЖ;
- образования водных стоков от разложения СОЖ и генерации обводненных шламов;
- процесса нейтрализации (доочистки) водных стоков и переработки обводненных шламов;

- сброса нейтрализованных водных стоков в канализацию и обезвоженных переработанных шламов на полигоны твердых отходов.

Если приготовление 1 м^3 СОЖ обходится в 1 усл. ед., то её ликвидация и утилизация в 2 усл. ед. и более.

ВЫВОДЫ

1. Оптимизация объема циркулирующей в централизованной установке и коррекция концентрации, состава и свойств СОЖ, очистка от инородного масла и тонких механических примесей позволяют предотвратить залповые сбросы на разложение.
2. Благодаря рациональному управляемому процессу оборота синтетических СОЖ в централизованных системах металлообрабатывающих производств возможно:

   а) избежать потери технологических свойств жидкостями;

   б) повысить качество продукции;

   в) уменьшить затраты и отходность производства, а также и экологизировать его.

ЛИТЕРАТУРА

1. Булыжев Е.М. Ресурсосберегающее применение смазочно-охлаждающих жидкостей при металлообработке / Е.М. Булыжев, Л.В. Худобин. М.: Машиностроение, 2004. 352 с.
2. Смазочно-охлаждающие технологические средства: Справочник / Под общей ред. Л.В. Худобина. М.:Машиностроение, 2006. 543 с.
3. Худобин Л.В. Технология и техника применения смазочно-охлаждающих жидкостей при механической обработке: учебн. пособие / Л.В. Худобин, Е.М. Булыжев. – Старый Оскол; ТНТ,2016. 228 с.
4. Булыжев Е.М. Основы моделирования и конструирования гравитационных и магнитных очистителей водных технологических жидкостей / Е.М. Булыжев, Л.В. Худобин, А.Ю. Богданов, Е.Н. Меньшов; под общ. ред. Л.В. Худобина и Е.М. Булыжева. – Ульяновск: УлГТУ, 2016. 290 с.
5. Горчаков П.А. Исследование ингибирующих свойств биоцидных присадок в производстве экологически безопасных СОЖ: автореферат, 2003 г. https://new-disser.ru/_avtoreferats/01002636768.pdf
6. Попов В.Г., Диньмухаметова Л.С., Тягунова В.Г., Пояркова Е.В. Разрушение высокодисперсных коллоидных систем на основе синтетических СОЖ и шламовых гидроокисных осадков методами температурного воздействия // Фундаментальные исследования. 2015. № 2-24. С. 5357–5361

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
- дезапрайм

ЧИСТЯЩИЕ И МОЮЩИЕ СРЕДСТВА
- тринатрийфосфат
- динатрийфосфат
- кальцинированная сода
- каустическая сода (едкий натр)

КИСЛОТЫ
- соляная
- серная
- азотная
- ортофосфорная

www.aurat.ru E-mail: aurat_vv@mail.ru Тел.: +7 (499) 553-91-67

ЭКОФЕС

- 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

Абросимова И.А.	58
Алякин Ю.Б.	290, 353, 358
Антонян Д.В.	55, 201, 224
Асатрян А.А.	101, 116
Балашов С.С.	80, 85, 96
Балобанов А.С.	105
Беляк А.А.	42
Бондарев А.А.	12
Бондаренко В.Л.	101
Булыжев Е.М.	290, 353, 358
Бутко Д.А.	240, 309
Бырин Д.С.	116
Васильева Ю.В.	314
Вербина К.В.	201
Вурдова Н.Г.	24
Герасимов М.М.	42
Гогина Е.С.	73, 347
Голованов В.Н.	290
Гостева Ю.В.	68
Горелкина А.К.	177
Григорьева А.Н.	254
Гульшин И.А.	347
Гуринович А.Д.	111, 135, 147
Демченко Н.В.	12
Денисова И.А.	157
Долмат А.С.	260
Долженко Л.А.	309
Заичко Д.А.	277
Жибоедов А.В.	27
Игнатенко С.И.	206, 277
Иевлева Н.Е.	45, 123
Исраилов Р.В.	157
Каберская Д.В.	206, 224, 277
Кашарин Д.В.	63
Клочков Д.П.	50
Князева Н.И.	270
Коваленко В.Н.	111, 135
Колосова К.Г.	73
Костюков В.П.	55, 201
Кузьменко А.С.	224
Кулаков А.С.	234
Куцуба А.А.	216

Латыпова Р.А. 45, 123
Ларин Д.С. 167
Лесной В.И. 27
Лобанов Ф.И. 210
Мартыненко Г.Д. 326
Медведько В.В. 152
Могукало А.В. 319
Москвичева Е.В. 50, 216
Мохов А.И. 58
Найманов А.Я. 130, 326
Найманова А.А. 326
Нездойминов В.И. 27, 319
Онкаев А.В. 180
Онкаев В.А. 180
Осокина Е.С. 193
Первов А.Г. 140, 152
Поповьян Г.В. 266
Примин О.Г. 147
Продоус О.А. 80, 85,96, 305
Пчельников И.В. 185, 224, 277
Пчельникова А.С. 224
Радченко О.П. 50
Рожков В.С. 314
Рученин А.А. 193
Ручка В.В. 336
Семенов А.Б. 58
Скрябин А.Ю. 180
Смирнов А.Д. 42
Спасибо Е.В. 73, 347
Спицов Д.В. 140
Суржко О.А. 167
Сухоносов Н.А. 163
Тет Зо Аун 140
Тимофеев А.Г. 216
Тимощук И.В. 177
Трипутько А.И. 111, 135
Тронь И.А. 266
Турсунова Э.А. 36
Турчина Г.С. 68, 130
Тхай Тхи Ким Тьи 31
Федотов Р.В. 206, 260, 270
Фесенко А.А. 299
Фесенко Л.Н. 185, 234, 277

Чесноков В.А. 221
Челоненко А.Г. 323
Черкесов А.Ю. 90, 157, 185, 245, 284
Чернышев В.Н. 336
Чечевичкин А.В. 341
Худобин Л.В. 353, 358
Хецуриани Е.Д. 101, 116, 167
Хецуриани Те.Е. 116, 167
Шипилов А.А. 45, 123
Шлычков Д.И. 305, 323
Щукин С.А. 245, 270, 284
Щукина Ю.С. 245, 284
Юрьев Ю.Ю. 216
Якубчик П.П. 80, 85, 96
Якунин Л.А. 341
Янцен О.В. 73

Научное издание

Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2023»

Материалы XIV Международной научно-практической конференции

Издается в авторской правке

Подписано в печать 4.04.2023.
Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.
Печать оперативная. Усл. печ.л. 21,4. Уч.-изд. л. 21,6.
Тираж 100 экз. Заказ № 47-10332.

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