ГК «АУРАТ», Россия

ООО НПП «ЭКОФЕС», г. Новочеркасск

РОССИЙСКАЯ АССОЦИАЦИЯ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ

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

АО «РОСТОВВОДОКАНАЛ», г. Ростов-на-Дону

ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ВОДЫ «ТЕХНОВОД-2016»

Материалы IX Международной научно-практической конференции
5 – 7 октября 2016 года
г. Ростов-на-Дону

Новочеркасск
«Лик»
2016

УДК 628.161 (0630
ББК 38.761.1я43
Т 384

Редакционная коллегия:

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

Т 384 **Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2016»:** материалы IX Межд. науч.-практ. конф.; г. Ростов-на-Дону, 5 – 7 октября 2016 г. / Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т. (НПИ) имени М.И. Платова – Новочеркасск: «Лик», 2016.– 300 с.
ISBN 978-5-906844-55-2

В настоящем сборнике представлены материалы докладов IX Международной научно-практической конференции «Технологии очистки воды» – ТЕХНОВОД–2016 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 представляет интерес для научных работников, производственников, проектировщиков, бакалавров, магистров и аспирантов.

В процессе редактирования сборника все основные положения авторов публикаций оставлены в авторском изложении, хотя некоторые из них могут явиться причиной дискуссии.

УДК 628.161 (0630
ББК 38.761.1я43

ISBN 978-5-906844-55-2

© Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, 2016
© Авторы, 2016

С О Д Е Р Ж А Н И Е

ПРЕДИСЛОВИЕ……..8

Михеева И.В. Водные объекты и состояние водоснабжения на территориях ЮФО……..……..……11

I. КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ, ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ. ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО……..…….……..19

Волосухин В.А. Безопасность гидротехнических сооружений водохозяйственного комплекса России в условиях комплексного использования водных ресурсов.……19

Косиченко Ю.М. Современные водохозяйственные проблемы на нижнем Дону……..……..…….23

Иванкова Т.В. Социальная и экологическая безопасность сооружений водного хозяйства……..……30

Волосухин Я.В., Наволокин Д.Ю. Обеспечение безопасности водопользования в Республике Крым…….…….……...35

Волосухин В.А., Бандурин М.А. Мониторинг водопользования на юге России в условиях роста техногенных нагрузок и климатических изменений……...……..….39

Тхай Тхи Ким Тьи Методы защиты побережья в г. Хойан, провинции Куангнам, Республика Вьетнам……...……..…….42

Горчаков В.В., Кабыляцкий В.Ю., Савин В.А Особенности применения автономных телеметрических постов на объектах гидротехнических сооружений……45

Хецуриани Е.Д, Костюков В.П., Хецуриани Т.Е. Рекомендации по борьбе с наносами в ковшевом водозаборе на Александровских водопроводных очистных сооружениях г. Ростова-на-Дону……49

Волосухин В.А., Мордвинцев М.М. Комплексное использование водных ресурсов нижнего Дона с учётом строительства Багаевского гидроузла…….……...52

Онкаев В.А., Арашаев А.В., Онкаев А.В. Элистинское водохранилище – источник водоснабжения для населения Калмыкии…...58

Косиченко Ю.М., Угроватова Е.Г. Гидравлические и фильтрационные аспекты эксплуатации крупных каналов комплексного назначения юга России……..60

Кашарин Д.В. Оптимизационное моделирование мобильных микроГЭС и сооружений инженерной защиты из композитных материалов для условий малых горных рек……...64

Гавардашвили Г.В. Прогнозирование эрозионных процессов в коридоре

нефтетрубопровода Баку-Тбилиси-Супса и методология проектирования новых противоэрозионных мероприятий……...70

II. ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ И ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ ОЧИСТКИ И ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ПРИРОДНЫХ ВОД……...75

Игнатенко С.И., Черкесов А.Ю., Фесенко Л.Н., Пчельников И.В., Федотов Р.В. Технологические и проектные решения реконструкции сооружений очистки воды нижнего течения р. Дон (на примере ВОС х. Хапры Мясниковского района Ростовской области)……..75

Фесенко Л.Н., Федотов Р.В., Чепкасова Н.И., Игнатенко С.И., Гетманцев С.В. Исследования эффективности коагулянта оксихлорида алюминия в технологии едко-натрового умягчения донской воды для хозяйственно-питьевых целей……..85

Боронина Л.В., Шикульская О.М. Информационно-аналитическая поддержка формирования технологических схем очистки питьевой воды……92

Алексеева Л.П., Алексеев С.Е. Применение озона для очистки воды из поверхностных водоисточников……97

Денисова И.А., Денисова А.В. Повышение бактерицидной эффективности мобильных установок полевого водоснабжения……..103

Краснова Т.А., Гора Н.В., Голубева Н.С., Петрова В.А. К вопросу использования новых адсорбционных материалов для удаления фенола из природных вод……..105

Фесенко Л.Н., Дилина М.А., Титова М.А. К определению содержания бромидов в нижнем течении реки Дон……108

Шипилов А.А., Скуднева И.А., Усков К.А. Способ размещения фильтров-поглотителей в хозяйственно-питьевых резервуарах……110

Бреус С.А., Скрябин А.Ю., Фесенко Л.Н. Очистка воды для питьевых целей в период чрезвычайных ситуаций: производство активного хлора электролизом природной воды….....115

Шипилов А.А., Скуднева И.А. Проектирование резервуаров запаса воды для сейсмических районов 119

Булыжев Е.М., Худобин Л.В., Булыжев Э.Е. Объемно-патронные фильтры……....123

Ким А.Н., Утин А.В., Романова А.Ю., Продоус О.А. Концепция метода сверхскоростного фильтрования в водочистной установке с объемными фильтрующими элементами……..128

Фесенко Л.Н., Игнатенко С.И., Черкесов А.Ю., Пчельников И.В., Федотов Р.В., Бабаев А.А. Анализ экологической безопасности и

технологической надежности работы современных электролизных установок по производству хлорсодержащих продуктов на месте их последующего применения……133

Вергунов А.И., Фесенко Л.Н., Фесенко А.Л., Швецов В.Н., Морозова К.М. Биосорбционно-мембранный реактор с плоскорамными мембранами для очистки донской воды……146

Флисюк О.М., Круковский О.Н., Гетманцев С.В., Сычев А.В., Рашковский Г.Б. Новая товарная форма полиоксихлорида алюминия – гранулированный коагулянт «ГРАНЭКО»……151

Доскина Э.П., Сахарова А.А., Москвичева А.В., Рыльцева М.В., Шишкина Д.В. Очистка промывных вод станции обезжелезивания……153

Фесенко Л.Н., Пчельников И.В., Геркен А.Е., Игнатенко С.И., Косолапова С.В. Исследования получения электролитического гипохлорита натрия электролизом морской воды персидского залива для нужд ТЭС «Хормозган» Исламской Республики Иран……157

Фесенко Л.Н., Федотов Р.В., Пчельников И.В., Чепкасова Н.И., Игнатенко С.И., Черкесов А.Ю. Блочно-модульная установка и технология очистки высокоцветной сероводородсодержащей подземной воды производительностью 10 м^3/час……165

Скрябин А.Ю., Поповьян Г.В., Тронь И.А. Изменение качества воды реки Дон. Изучение факторов, влияющих на интенсивное развитие микроводорослей……173

Бутко А.В., Скрябин А.Ю., Курьянов С.А. Использование геоинформационных технологий в практике работы АО «РОСТОВВОДОКАНАЛ»……...176

III. ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ И ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ ОЧИСТКИ ХОЗБЫТОВЫХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД……178

Графова Е.О., Петухова Ж.Н., Ким А.Н., Михайлов А.В. Особенности многослойных фильтров малой высоты.....178

Киреев С.А., Серпокрылов Н.С. Анализ и рекомендации по совершенствованию режима эксплуатации очистных сооружений сточных вод в условиях Крайнего Севера…..….....183

Войтюк А.А., Игнаткина Д.О., Доскина Э.П., Милешкин С.И., Арутюнян Д.М. Извлечение ионов тяжелых металлов сорбентом, полученным на основе избыточного активного ила……187

Рашковский Г.Б., Старостин Г.С., Сухоносов Н.А., Сычев А.В., Куцева Н.К., Русанова А.Н. Аналитическое определение

основности коагулянтов……..……..…192

Спиридонова Л.Г., Серпокрылов Е.Н., Серпокрылов Н.С. Корректировка регламента по эксплуатации очистных сооружений в условиях изменения исходных параметров сточных вод……196

Вильсон Е.В. Реализация процесса денитрификации в схеме с аэротенком-отстойником ……...201

Кузнецов Ю.В., Башкиров А.В., Заплохова Т.Р., Гаязов Р.Р., Мехоношина Т.В., Костюков В.П., Титова М.А., Костюков П.В. Оценка возможности применения реагента Vta Biokat P500 на биологических очистных сооружениях городского округа г. Стерлитамак…….206

Степанов С.В., Солкина О.С., Морозова К.М., Степанов А.С., Соколова Т.В. Исследование биологической очистки сточных вод молокозаводов на модельном стоке……..210

Куасси Бру Гийом Получение адсорбентов из ореховой скорлупы анакарда для очистки воды……215

Фесенко Л.Н., Мирошниченко Л.Г., Тер-Матиосова К.С., Ткаченко А.И. Применение шерсти в качестве сорбентов для очистки водоисточников при разливах нефтепродуктов.....219

Куликов Н.И., Куликова Е.Н., Куликов Д.Н., Приходько Л.Н., Омельченко В.В. О возможности увеличения производительности действующей канализационной очистной станции……223

Серпокрылов Н.С., Куасси Бру Гийом, Борисова В.Ю., Хайсерова Л.Я. Модификация скорлупы орехов кешью с целью получения сорбционного материала для очистки водных сред от ионов аммония ……...226

Гогина Е.С., Гульшин И.А. Моделирование энергоэффективного процесса биологической очистки сточных вод в циркуляционном окислительном канале на легкоокисляемом органическом субстрате ….231

Оковитая К.О., Суржко О.А., Барышников А.В. Совершенствование технологии очистки шахтных вод (Восточный Донбасс).....236

Марам Саийд Особенности очистки сточных вод в Сирии…..…….239

Земченко Г.Н. Эффективность совмещённого процесса известкования, коагуляции и адсорбции тяжёлых металлов из воды……..243

Байдулова М.К., Волкова И.В.,. Боронина Л.В. Влияние полигонов твердых бытовых отходов на состояние почвы и подземных вод ……246

Костюков В.П., Титова М.А., Костюков П.В., Заплохова Т.Р. Влияние органических веществ сточной жидкости на скорость нитрификации……..…251

Востоков В.В. Использование тепловых насосов в целях

теплоснабжения жилых зданий……..254

Данильченко В.В., Мацур В.Н., Овчаренко Л.А., Серпокрылов Н.С., Коренев Ю.И. Сравнение методик оценки состояния и разработки рекомендаций по совершенствованию режима очистки городских сточных вод ……257

Куликов Н.И., Куликова Е.Н., Куликов Д.Н., Приходько Л.Н., Шлыков Е.В. Экономичная и экологичная биотехнология очистки сточных вод сообществами прикреплённых и свободноплавающих гидробионтов……...261

Краснова Т.А., Тимощук И.В., Жунева Л.С. Разработка экологически безопасной адсорбционной технологии очистки сточных вод производства фенолформальдегидных смол…….....265

Новиков М.Г., Продоус О.А., Чесноков В.А. Предотвращение процессов минерализации и биологических обрастаний трубопроводов систем оборотного водоснабжения тепловых и атомных электростанций……...269

Серпокрылов Н.С., Халил А., Борисова В.Ю., Кондакова Н.В., Бурханова Р.А. Модификация рисовой соломы с целью получения сорбционного материала для очистки водных сред от ионов аммония….274

Оковитая К.О., Суржко О.А., Барышников А.В. Исследование железосодержащих шламов и расчет его класса опасности……...278

Надтока В.И., Надтока И.И., Тюрнин Г.В. Работы ООО НПП «ВНИКО» на объектах теплоснабжения, водоснабжения и водоотведения.....282

Ракчеев Ю.П. Приборно-методические решения ГК «ЛЮМЭКС» для экологического контроля и мониторинга……...284

Информационно-рекламные материалы.....289

П Р Е Д И С Л О В И Е

В этом году Международная научно-практическая конференция «Технологии очистки воды», сокращенно «ТЕХНОВОД», девятая по счету. «ТЕХНОВОД-2016» проводится в г. Ростове-на-Дону 5 – 7 октября. Ранее были проведены конференции:
«ТЕХНОВОД-2004», г. Новочеркасск;
«ТЕХНОВОД-2005», г. Казань;
«ТЕХНОВОД-2006», г. Кисловодск;
«ТЕХНОВОД-2007», г. Калуга;
«ТЕХНОВОД-2009», г. Кисловодск;
«ТЕХНОВОД-2011», г. Чебоксары;
«ТЕХНОВОД-2012», гг. Санкт-Петербург, Карловы Вары;
«ТЕХНОВОД-2014», г. Сочи, Красная поляна.

Место проведения конференции «ТЕХНОВОД-2016» в городе Ростове-на-Дону было продиктовано тем, что он имеет один из старейших (более 150 лет) водопроводов Юга России, кроме того здесь реализована крупномасштабная модернизация систем водоснабжения и водоотведения на основе государственно-частного партнерства. Именно оно дало мощный импульс развитию Ростовского Водоканала, водопроводно-канализационного хозяйства г. Ростова-на-Дону, Ростовской области и было расширено до Всероссийского масштаба. Кроме инвестиций, программы государственно-частного партнерства позволяют создать новые рабочие места, снизить нагрузку на бюджет, способствуют внедрению новых отечественных и зарубежных технологий, научных разработок.

Инвестиционные проекты, реализуемые АО «Евразийский» на донской земле, в который входит Ростовский Водоканал – не просто перечень объектов водоснабжения и канализации, это еще и свод передовых норм и принципов эффективного управления водохозяйственным комплексом на основе государственно-частного партнерства. Их введение потребовало решительной перестройки всей работы Ростовского Водоканала, а мегаполис получил возможность планомерно и пропорционально развиваться с улучшением качества жизни горожан и жителей пригородов.

Одним из главных достижений стало то, что к 2015 г. благодаря внедрению отечественных инновационных технологий и оборудования Ростовский Водоканал смог отказаться от использования жидкого хлора в технологическом процессе очистки питьевой воды и сточных вод. Это позволило существенно повысить промышленную безопасность и антитеррористическую защищенность объектов предприятия, качество очистки питьевой воды и сточных вод. Применение гипохлорита натрия и ультрафиолетового облучения явилось реализацией технической политики

АО «Евразийский» и Ростовского Водоканала, направленной на переход на альтернативные технологии обеззараживания воды – безопасные, экологичные, характеризуемые высокой бактерицидной эффективностью.

По традиции, в преддверии конференции «ТЕХНОВОД-2016», выпущен настоящий сборник материалов, который на протяжении 12 лет развивает и приумножает лучшие традиции, заложенные российскими научными и проектными организациями, такими как: ВНИИ ВОДГЕО, НИИ КВОВ, Мосводоканалниипроект и многими другими, а также водоканалами городов – Москвы, Санкт-Петербурга, Самары, Ростова-на-Дону, Новосибирска, Уфы и др. и специализированными кафедрами ряда вузов России.

За прошедшие 12 лет научное сообщество «ТЕХНОВОД» внесло значительный вклад в развитие российской науки и техники. Результаты научных исследований и инновационных технологических решений в области водоснабжения и водоотведения, опубликованные в трудах «ТЕХНОВОД», способствовали широкому внедрению в городское хозяйство, промышленное и сельское строительство новых эффективных технологий и конструкций.

Мы помним одного из основателей конференций «ТЕХНОВОД» – профессора, д.т.н. Линевича С.Н. – большого ученого, талантливого организатора, безвременно ушедшего из жизни, чей вклад в развитие нового научного сообщества трудно переоценить.

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. – первому заместителю генерального директора АО «Ростовводоканал»; Серпокрылову Н.С. – д.т.н., профессору ДГТУ; г. Ростов-на-Дону; Фесенко Л.Н. – д.т.н., профессору ЮРГПУ(НПИ), г. Новочеркасск; Игнатенко С.И. – заместителю директора по научной работе ООО НПП «ЭКОФЕС», г. Новочеркасск. Особенно следует отметить Енгибарьянц Н.В. – ведущего инженера ЮРГПУ(НПИ), ответственного секретаря редакционной коллегии, взявшую на себя техническую и творческую часть оформления сборника материалов конференции «ТЕХНОВОД-2016».

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 Л.А. Чубуковой, всегда активно поддерживающих и участвующих в проведении конференций «ТЕХНОВОД»!

В условиях кризисной ситуации из-за западных санкций значимость наших конференций еще более возрастает, а сборник трудов «ТЕХНОВОД» позволит закрепить достигнутые результаты для

возрождения российской отраслевой науки. Сегодня, как никогда, нужна консолидация научного сообщества, государственных органов и решений Правительства РФ на техническое перевооружение жилищно-коммунального хозяйства, внедрение экологически безопасных технологий в производство, создание импортозамещающих аппаратов и установок по обработке вод.

Впервые в перечень традиционных тем статей «ТЕХНОВОД» включен раздел водного хозяйства и гидротехнического строительства. На конференции «ТЕХНОВОД-2016» планируется обсудить широкий круг вопросов. Традиционно, это, например, от повышения эффективности реагентной (преимущественно, коагуляционной) обработки воды до конструкций и устройств, предназначенных для повышения качества очистки вод и надежности работы инженерных систем водопроводно-канализационных сооружений.

В сборнике трудов «ТЕХНОВОД-2016» представлены работы ученых из более 20 организаций 12 городов РФ, 4 участника из зарубежных стран – Сирии, Вьетнама, Грузии, Кот-д'Ивуара.

Опубликованные в сборнике «ТЕХНОВОД-2016» материалы носят аналитический, научно-исследовательский, опытно-производственный и реферативный характер и могут представлять интерес для специалистов, работающих в области водоснабжения, водоотведения, а также для инженерно-технических работников предприятий, выпускающих установки, аппараты и химреагенты, используемые в водном комплексе.

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

В период работы Международной научно-практической конференции «ТЕХНОВОД-2016» ее участники смогут не только узнать о новейших методах, инновационных технологиях, новых 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-2016» благодарит всех докладчиков и гостей за участие в конференции, желает интересной творческой и полезной работы, крепкого здоровья и благополучия.

ОРГКОМИТЕТ

УДК 628.11 (470.6)

ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ И СОСТОЯНИЕ ВОДОСНАБЖЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИЯХ ЮФО

И.В. Михеева
Управление Роспотребнадзора по Ростовской области,
г. Ростов-на-Дону, Россия

Питьевая вода является существенным фактором формирования здоровья населения и качества жизни. Проблема сохранения качества воды, как фактора, существенно влияющего не только на инфекционную, но и общую заболеваемость населения, является одной из самых приоритетных задач в деятельности госсанэпидслужбы.

Водные ресурсы и водное хозяйство в ЮФО играют важнейшую роль в обеспечении устойчивого функционирования экономики и решении социальных проблем. Состояние здоровья населения, развитие экономики ЮФО в значительной степени зависят от водообеспечения в достаточном количестве и требуемого качества на основе комплексного рационального использования и охраны водных ресурсов, улучшения и восстановления состояния водных объектов.

В современных условиях обеспечение населения ЮФО доброкачественной питьевой водой является актуальной гигиенической, научно-технической и социальной проблемой из-за интенсивного химического и бактериального загрязнения источников питьевого водоснабжения, применения устаревших схем обработки исходной воды, низкого уровня внедрения прогрессивных технологий водоподготовки, нарастающего ухудшения состояния водопроводных сетей.

В основе гигиенических требований к качеству воды для питьевых и бытовых нужд лежит принцип, ставящий в центр внимания те ее качества, от которых зависит здоровье человека. Проблема сохранения качества воды, как фактора, существенно влияющего не только на инфекционную, но и общую заболеваемость населения, является одной из самых приоритетных задач в деятельности госсанэпидслужбы.

Практически все источники, как поверхностные, так и подземные, во всех субъектах ЮФО подвергаются антропогенному и техногенному воздействию с различной степенью интенсивности.

Высокий уровень загрязнения поверхностных источников водоснабжения (водоёмы I категории водопользования) химическими веществами в 2015 году имел место в Ростовской области и республике Калмыкия. Наибольший уровень бактериального загрязнения продолжает регистрироваться в Ростовской области, Краснодарском крае и республике Калмыкия (таблица 1).

Ухудшение качества воды поверхностных водных объектов в Ростовской и Астраханской областях связано с резким маловодием, наблюдавшимся в прошедшем году. В республике Калмыкия ухудшение качества воды по химическим показателям в водоемах 1 категории связано со смывом грунта с береговой полосы в водоем в сезон осадков, отсутствием мероприятий по очистке и борьбе с цветением, зарастанием каналов, гидроаккумуляторов и мест водозаборов из водохранилищ, на фоне испарений водного зеркала в летнее время. Кроме того, в республике Калмыкия отмечается высокое паразитарное загрязнение поверхностных водных объектов. Так, в 2015 году паразитарное загрязнение было выявлено в местах водозаборов в 14,3 % проб воды (2014 – 0,0), в зонах рекреаций – в 10,9 % проб воды (2014 – 6,9 %).

Таблица 1. **Качество воды водоёмов I категории водопользования за 2011 – 2015 гг.**
(% проб воды, не отвечающих гигиеническим нормативам)

№ п/п	Территория	По санитарно-химическим показателям					По микробиологическим показателям				
		2011	2012	2013	2014	**2015**	2011	2012	2013	2014	**2015**
1.	Астраханская область	5,1	6,1	2,5	3,3	**3,9**	3,8	3,8	4,1	0,5	**5,2**
2.	Адыгея	33,3	0,0	0,0	0,0	**5,0**	0,0	0,0	0,0	11,7	**0,0**
3.	Волгоградская область	1,5	1,9	2,8	3,0	**2,7**	5,1	3,4	6,5	4,7	**4,7**
4.	Калмыкия	28,2	37,5	17,9	37,5	**25,0**	10,1	25,6	13,3	25,6	**12,2**
5.	Краснодарский край	1,7	8,4	1,7	6,0	**2,7**	32,2	34,0	35,0	32,5	**19,5**
6.	Ростовская область	34,6	28,9	24,1	34,8	**40,3**	29,5	30,5	29,5	34,6	**35,5**

Основными причинами загрязнения воды водных объектов является сброс недостаточно очищенных и неочищенных сточных вод, ливневых вод, дренажных вод с оросительных систем в водные объекты, и их объемы. Кроме того, такое явление как маловодие, отмечаемое в Ростовской и Астраханской областях на протяжении ряда лет, влияет на качество воды поверхностных водных объектов.

Загрязнителями поверхностных водных объектов остаются предприятия жилищно-коммунального хозяйства, промышленности (особенно топливно-энергетического комплекса), сельского хозяйства, оросительные системы, ливневые и талые воды, судоходство и т.д.

Практически на всей территории ЮФО очистные сооружения канализации, канализационные коллектора различных объектов и населенных мест, требуют проведения реконструкции, капитального ремонта, технического перевооружения. Мероприятия по улучшению санитарно-технического состояния очистных сооружений канализации в

субъектах ЮФО проводятся крайне медленными темпами и ситуация на них осталась на уровне прошлых лет. Находятся в неудовлетворительном техническом состоянии 75,0 % очистных сооружений канализации в республике Калмыкия, 34,8 % – в республике Адыгея, 34,0 % – в Астраханской области, 35,0 % – в Волгоградской области, 43,8 % – в Ростовской области, 27,8 % – в Краснодарском крае.

В республике Калмыкия осуществляется сброс сточных вод без очистки и обеззараживания из-за отсутствия очистных сооружений канализации в балки, на рельеф местности, в водные объекты (г. Лагани, с. Малые Дербеты Малодербетовского района, с. Троицкое Целинного района и г. Городовиковск). В Волгоградской области практически все очистные сооружения канализации находятся в неудовлетворительном санитарно-техническом состоянии или разрушены совсем, не обеспечивают нормативной очистки сточных вод и требуют проведения их реконструкции и строительства сооружений с обеспечением доочистки сточных вод. В Ростовской области, Краснодарском крае и др. многие очистные сооружения канализации требуют также реконструкции и строительства новых сооружений.

На ряде очистных сооружений канализации населённых мест субъектов Южного федерального округа отсутствует обеззараживание сточных вод. Так, в республике Калмыкия обеззараживание осуществляется только на 25,0 % сооружений канализации, Краснодарском крае – на 26,8 %, Волгоградской области – на 44,4 %, Адыгея – на 61,4 %, Ростовской области – на 65,8 %, Астраханской области – на 75,7 % сооружений.

Неудовлетворительная работа очистных сооружений канализации, наряду с отставанием развития канализационных сетей, отсутствие обеззараживания сточных вод приводят к загрязнению подземных вод и рек, а также подтоплению населённых пунктов грунтовыми водами.

Неудовлетворительное санитарно-техническое состояние канализационных сетей и сооружений приводит к возникновению на них аварийных ситуаций, которые приводят к сбросу сточных вод без очистки и обеззараживания, как на рельеф местности, так и в водные объекты, загрязняя их. Ежегодно на канализационных сетях и сооружениях населённых мест территорий ЮФО регистрируется значительное количество аварийных ситуаций.

Кроме того, во всех субъектах ЮФО в большинстве сельских населённых пунктов и в городах, имеющих индивидуальную малоэтажную застройку, отвод сточных вод осуществляется в выгребные ямы, которые практически везде превращены в поглощающие, и являются источниками загрязнения почвы и подземных вод.

В большинстве субъектов ЮФО имеет место высокий уровень загрязнения неочищенными, недостаточно очищенными сточными водами

водоёмов II категории водопользования, используемых в рекреационных целях (реки, моря).

Преобладающими химическими веществами, загрязняющими водоёмы, являются: нефтепродукты, фенолы, тяжёлые металлы (цинк, кадмий, молибден), ПАВ, хлориды, сульфаты, железо, марганец, легко окисляемые органические вещества и другие (Волгоградская, Ростовская, Астраханская области, Краснодарский край) (таблица 2).

Таблица 2. **Качество воды водоёмов 2 категории водопользования за 2011 – 2015 гг.**
(% проб воды, не отвечающих гигиеническим нормативам)

№ п/п	Территория	По санитарно-химическим показателям					По микробиологическим показателям				
		2011	2012	2013	2014	**2015**	2011	2012	2013	2014	**2015**
1.	Астраханская область	7,1	4,7	4,9	2,8	**1,9**	12,2	17,6	3,2	1,2	**16,1**
2.	Адыгея	5,6	0,0	1,2	5,7	**10,0**	11,0	4,7	2,7	10,6	**1,4**
3.	Волгоградская область	20,7	26,6	14,8	9,0	**8,7**	17,0	29,0	15,5	21,1	**14,0**
4.	Калмыкия	28,7	46,3	24,1	37,0	**61,6**	23,3	39,6	29,7	32,9	**33,1**
5.	Краснодарский край	34,3	27,3	27,5	34,4	**22,1**	16,3	17,3	16,4	14,2	**19,1**
6.	Ростовская область	45,6	47,3	35,4	50,4	**41,4**	47,7	42,7	41,2	47,3	**50,1**

В отчетном году высокие показатели химического загрязнения воды в зонах рекреаций и черте населённых мест регистрировались в республике Калмыкия, Ростовской области, Краснодарском крае. Отмечается ухудшение качества воды по химическим показателям в зонах рекреаций республиках Адыгея и Калмыкия. По микробиологическим показателям регистрируется высокое загрязнение в Ростовской области, республике Калмыкия и Краснодарском крае. Ухудшилось состояние поверхностных водных объектов по микробному загрязнению во всех субъектах ЮФО, за исключением республики Адыгея, где зарегистрировано улучшение качества воды.

По-прежнему основными источниками загрязнения морской среды остаются неочищенные и недостаточно очищенные сточные воды, сбрасываемые по глубоководным выпускам, находящимся в неудовлетворительном санитарно-техническом состоянии (Краснодарский край), с неэффективно работающих очистных сооружений канализации. Кроме того, значительные загрязнения в моря привносят неочищенные ливневые воды с урбанизированных территорий, неочищенные сточные воды с судов и береговых объектов при технических поломках и аварийных ситуациях, а также наличие неканализованных населенных пунктов и оздоровительных учреждений, расположенных на побережье Черного и Азовского морей (таблица 3).

Таблица 3. **Качество морской воды в зонах рекреации за 2011 – 2015 гг. (% проб воды, не отвечающих гигиеническим нормативам)**

№ п/п	Территория	По санитарно-химическим показателям					По микробиологическим показателям				
		2011	2012	2013	2014	2015	2011	2012	2013	2014	2015
1.	Ростовская область, Таганрогский залив Азовского моря	93,3	83,2	64,8	89,6	98,5	93,6	86,1	80,6	56,7	37,7
2.	Краснодарский край - Чёрное море г. Новороссийск - Азовское море	0,2 1,4 0,4	0,4 1,1 4,2	0,2 0,0 0,5	0,07 0,0 1,5	0,01 0,0 2,7	1,8 0,0 14,4	2,7 0,4 8,9	2,5 0,0 7,6	5,2 0,0 3,4	5,0 1,3 3,6

Наиболее высокий уровень химического и микробного загрязнения морской воды ежегодно регистрируется в Ростовской области (в Таганрогском заливе превышение по микробиологическим показателям за счёт незначительной глубины прибрежной части залива и интенсивного прогрева воды в летний период), в Краснодарском крае в прошедшем году наиболее высокое микробное загрязнение выявлено в Азовском море в г. Приморско-Ахтарск (2015 – 3,6 %, 2014 – 7,7 %, 2013 – 2,1 %) и г. Темрюк (2015 – 5,2 %, 2014 – 3,1 %, 2013 – 16,0 %). По результатам лабораторных исследований качества морской воды в курортном сезоне 2015 года выявлены превышения гигиенических нормативов по санитарно-микробиологическим показателям на пяти пляжах города-курорта Сочи (2015 – 11,5 %, 2014 – 13,0 %, 2013 – 5,5 %).

Одним из факторов риска для здоровья населения является питьевая вода, загрязненная химическими, биологическими и иными агентами. В качестве источников водоснабжения на территории ЮФО используются поверхностные и подземные воды. Так, в Ростовской области основными источниками водоснабжения населения являются – р. Дон, р. Северский Донец, р. Миус, р. Кундрючья, оросительные каналы, в республике Калмыкия – р. Волга, водохранилище Чограй, оросительные каналы, Астраханской области – реки Волга и Ахтуба, в Краснодарском крае – ручей Кепша, р. Кубань, р. Казачий Ерик и р. Уруп.

В большей степени для водоснабжения населённых мест используются подземные воды в Краснодарском крае, Волгоградской области и республике Адыгея.

Всего на территории ЮФО эксплуатируется около 3 690 водопроводов, 80,3 % (2014 – 80,1 %, 2013 – 79,5 %) которых находятся во 2 и 3 группе санитарно-эпидемиологического благополучия, т.е. имеют неудовлетворительное санитарно-техническое состояние, не обеспечивают подачу населению доброкачественной питьевой воды, не имеют зон санитарной охраны и др. Отсутствуют очистные сооружения водопровода и не осуществляется обеззараживание на водопроводах Ленинского,

Котельниковского, Новоаннинского, Старополтавского, Светлоярского и Иловлинского районов Волгоградской области.

Приоритетными загрязнителями питьевой воды из систем централизованного водоснабжения на территории ЮФО являются: общая жесткость, сухой остаток, хлориды, сульфаты, магний, натрий, железо, марганец, сероводород (природного происхождения) и нитраты (антропогенное загрязнение) и др..

Население практически во всех субъектах ЮФО испытывает дефицит в доброкачественной питьевой воде в связи с недостаточной мощностью водопроводных сооружений, неудовлетворительным санитарно-техническим состоянием систем транспортировки питьевой воды, нерациональным использованием питьевой воды на полив приусадебных участков в летнее время, отсутствием доброкачественных источников водоснабжения.

Особенно остро дефицит в доброкачественной питьевой воде ощущается в республике Калмыкия из-за отсутствия доброкачественных источников водоснабжения, из-за крайне изношенных водопроводных сетей (70 – 100 %), малой мощности водопроводов и др., где питьевая вода подаётся по жёсткому графику. Аналогичная ситуация отмечается в ряде населённых пунктов Ростовской области, а также других территориях округа.

Обеспечивается привозной водой население республики Калмыкия – 8,0 %, Ростовской области – 2,0 %, Краснодарского края – 0,5 %, Волгоградской – 0,4 % и Астраханской областей – 1,6 %.

Неудовлетворительное санитарно-техническое состояние водопроводных сетей приводит к частым аварийным ситуациям на них. В населённых пунктах ЮФО необходимо заменить от 30 до 90,0 % водопроводных сетей от общей их протяжённости в связи с высокой степенью износа. Замена вышедших из строя водопроводных сетей во всех территориях проводится крайне медленными темпами. Ежегодно меняется в населённых пунктах ЮФО всего от 1,1 до 4,5 % водопроводных сетей, подлежащих немедленной замене.

Неудовлетворительное санитарно-техническое состояние водопроводных сооружений и сетей, отсутствие необходимого набора очистных сооружений, высокая степень изношенности (60 – 100 %) водопроводных сетей и низкая их санитарная надежность, медленная замена вышедших из строя сетей, частые аварийные ситуации на них, перебои в подаче питьевой воды или подача её по графикам и др. приводят к вторичному загрязнению питьевой воды по микробиологическим показателям (таблицы 4).

Наиболее высокие значения показателя бактериального загрязнения питьевой воды в водопроводной сети регистрируется в республике

Калмыкия, Волгоградской, Ростовской областях; химического загрязнения – в республике Калмыкия и Ростовской области.

Таблица 4. **Качество питьевой воды в водопроводной сети централизованных систем водоснабжения за 2011-2015 гг.**
(% проб воды, не отвечающих гигиеническим нормативам)

Территория	По санитарно-химическим показателям					По микробиологическим показателям				
	2011	2012	2013	2014	2015	2011	2012	2013	2014	2015
Астраханская область	2,4	2,6	1,0	0,7	1,0	4,4	6,0	5,5	1,1	0,9
Адыгея	1,0	0,8	0,6	0,5	0,6	0,5	0,4	0,4	0,2	0,2
Волгоградская область	5,0	4,0	7,9	4,5	3,8	4,7	5,5	5,0	3,9	3,3
Калмыкия	27,5	28,5	25,7	43,3	36,8	12,1	10,7	4,1	6,2	6,5
Краснодарский край	4,4	5,3	3,9	3,9	4,4	0,8	1,1	0,4	0,6	0,6
Ростовская область	39,5	41,4	33,5	32,0	30,7	4,9	4,3	3,3	2,8	2,9
Средний показатель по РФ	**16,9**	**16,7**	**16,4**	**15,5**	**–**	**4,6**	**4,5**	**4,2**	**3,7**	**–**

Качество подземных вод, используемых для нецентрализованного водоснабжения, в силу природных гидрогеологических условий не отвечает гигиеническим нормативам по химическим показателям, в основном по показателям минерализации, нитратам и др., а также в связи с антропогенным загрязнением – по микробиологическим показателям (таблица 5).

Таблица 5. **Состояние нецентрализованного водоснабжения населённых мест территорий ЮФО за 2015 г.**

№ п/п	Территории	Количество колодцев общественного пользования	Из них		% проб воды, не отвечающий гигиеническим. нормам по химическим. показателям			% проб воды, не отвечающий гигиеническим нормам по микробиол. показателям		
			находятся в неуд. сан.-тех. состоянии	%	2013	2014	2015	2013	2014	2015
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1.	Республика Адыгея	119	10	8,4	23,6	3,7	4,4	4,5	2,0	2,8
2.	Астраханская область	–	–	–	45,8	12,5	55,6	12,5	0,0	0,0
3.	Волгоградская область	455	54	11,9	36,6	16,4	57,7	27,0	33,3	12,3
4.	Республика Калмыкия	137	53	38,7	30,5	50,6	46,6	24,2	31,1	19,4
5.	Краснодарский край	147	2	1,4	8,9	10,9	11,2	12,3	13,1	18,0

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
6.	Ростовская область	805	50	6,2	57,5	54,9	54,4	25,0	21,3	21,9
	Средний показатель по РФ	**1663**	**169**	**10,1**	**26,7**	**26,9**	**–**	**18,7**	**17,5**	**–**

В целях улучшения состояния водоснабжения и водоотведения населённых пунктов и обеспечения эпидемиологического благополучия населения субъектов ЮФО необходимо:

– реализовать требования Федерального закона от 07.12.2011 №416-ФЗ «О водоснабжении и водоотведении» в полном объеме в части обеспечения населения доброкачественной питьевой водой, организации производственного лабораторного контроля и др.;

– обеспечить выполнение региональных программ и планов мероприятий, направленных на улучшение состояния водоснабжения и водоотведения населенных пунктов, качества питьевой воды и сточных вод,

– закончить начатые строительством и реконструкцией объекты водоснабжения и водоотведения населённых мест, а также решить вопрос о приоритетном направлении финансовых средств на реконструкцию, развитие и восстановление водопроводных и канализационных сетей населённых мест;

– организовать производственный лабораторный контроль качества питьевой и сточных вод на всех объектах водопроводно-канализационного хозяйства в полном объёме в соответствии с требованиями документов санитарного законодательства;

– решать вопросы строительства и реконструкции очистных сооружений водопровода, канализации и разводящих сетей в населённых пунктах субъектов ЮФО;

– внедрять современные технологии, эффективные реагенты по очистке и обеззараживанию питьевых и сточных вод;

– обеспечить эффективное обеззараживание питьевой и сточных вод на водопроводных и канализационных сооружениях, где не обеспечивается их эпидемиологическая безопасность и регистрируется высокое микробное загрязнение (республика Калмыкия, Ростовская, Волгоградская и Астраханская области);

– обеспечить организацию зон санитарной охраны 1 пояса источников водоснабжения и водопроводных сооружений в соответствие с требованиями документов санитарного законодательства;

– решить вопросы по замене жидкого хлора в хлораторных, не имеющих нормативной санитарно-защитной зоны на объектах водопроводно-канализационного хозяйства, на безопасные хлорсодержащие реагенты или по переходу на другие альтернативные методы обеззараживания воды и др.

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

УДК 627

БЕЗОПАСНОСТЬ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА РОССИИ В УСЛОВИЯХ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

В.А. Волосухин
НОУ «Институт безопасности гидротехнических сооружений»,
г. Новочеркасск, Россия

В работе отмечена необходимость предупреждения аварий гидротехнических сооружений в условиях комплексного использования водных ресурсов.

Общий объем забора воды из природных источников на все нужды в России снизилось с 85,9 млрд. м^3 (2000 г.) до 70,8 млрд. м^3 (2014 г.). Водопользование в РФ осуществляется в подавляющей степени за счет забора пресной воды. В 2010 г. из водоемов России изъято 72,7 млрд. м^3, в 2011 г. – 68,7 млрд. м^3, в 2012 – 66,3 млрд. м^3, в 2013 г. – 65,1 млрд. м^3, в 2014 г. – 64,8 млрд. м^3.

В десятку лидеров по водозабору в РФ входит пять субъектов юга России – Краснодарский край (2014 г.) – 6,4 млрд. м^3, Республика Дагестан – 4,0 млрд. м^3, Ростовская область – 3,6 млрд. м^3, Ставропольский край – 2,4 млрд. м^3, КЧР – 2,3 млрд. м^3.

Водопользование в бассейне *р. Волга* составляет 25,9 млрд. м^3 (2000 г.); 19,8 млрд. м^3 (2014 г.), в бассейне *р. Кубань* – 10,2 млрд. м^3 (2000 г.); 9,4 млрд. м^3 (2014 г.), в бассейне *р. Дон* – 7,2 млрд. м^3 (2000 г.); 4,9 млрд. м^3 (2014 г.).

Дефицит водных ресурсов имеет место в бассейне Дона, Кубани, Кумы, Терека и других рек юга России.

Гидротехнические сооружения (ГТС), предназначенные для использования и охраны водных ресурсов, предотвращения вредного воздействия вод: плотины, каналы, дамбы, судоходные шлюзы, гидротехнические туннели, как напорные, так и безнапорные составляют значительную часть водохозяйственного комплекса Российской Федерации и насчитывают более 65 тыс. единиц. В их числе 37 крупных водохозяйственных систем, используемых для межбассейнового перераспределения стока рек из районов с избытком речного стока в районы с их дефицитом. Суммарная протяженность каналов переброски более 3 тыс. км, объем перебрасываемого стока около 17 млрд. $м^3$.

Для регулирования речного стока построено в. России около 30 тыс. водохранилищ и прудов общей вместимостью более 800 млрд. $м^3$, в том числе 2650 водохранилищ с объемом свыше 1 млн. $м^3$ каждое, из них 110 – крупнейших с объемом свыше 100 млн. $м^3$ каждое. Для защиты поселений, объектов экономики и сельскохозяйственных угодий построено свыше 10 тыс. км защитных водоограditельных дамб и валов.

Общее количество поднадзорных Ростехнадзору ГТС (комплексов ГТС) энергетики, промышленности и водохозяйственного комплекса составляет 29 964, в том числе:

- 568 комплексов ГТС топливно-энергетического комплекса;
- 844 комплексов ГТС жидких промышленных отходов;
- 28 552 ГТС водохозяйственного комплекса, из них 3 496 бесхозяйных ГТС.

ГТС в соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации от 2 ноября 2013 г. № 986 «О классификации гидротехнических сооружений» и СП 58.13330.2012 «Гидротехнические сооружения. Основные положения» классифицируются на четыре класса в зависимости от их высоты и типа грунтов основания. Распределения ГТС по классам представлено на рисунке 1.

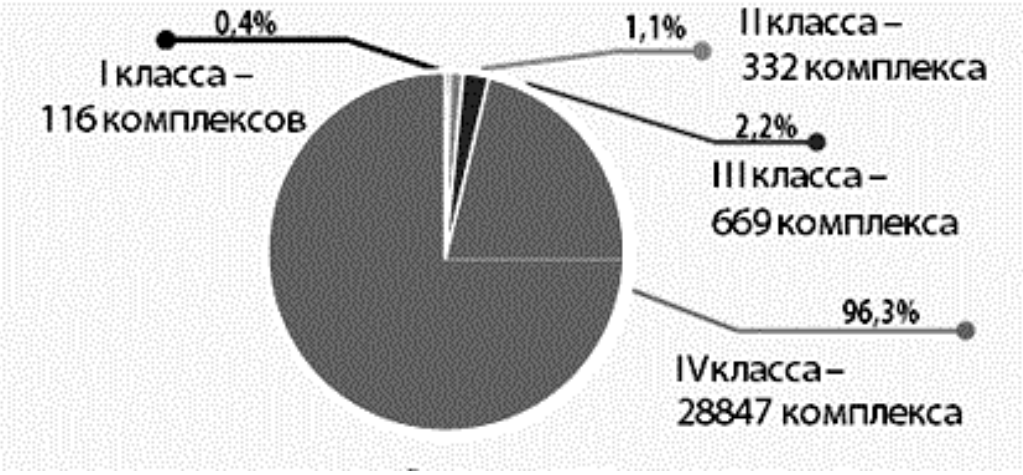


Рисунок 1. **Распределение ГТС по классам, %**

Количество потенциально опасных ГТС в девяти федеральных округах России на 100 км^2 территории по данным Ростехнадзора приведено на рисунке 2. В среднем по России на 100 км^2 территории расположено 17 потенциально опасных ГТС поднадзорных Ростехнадзору.

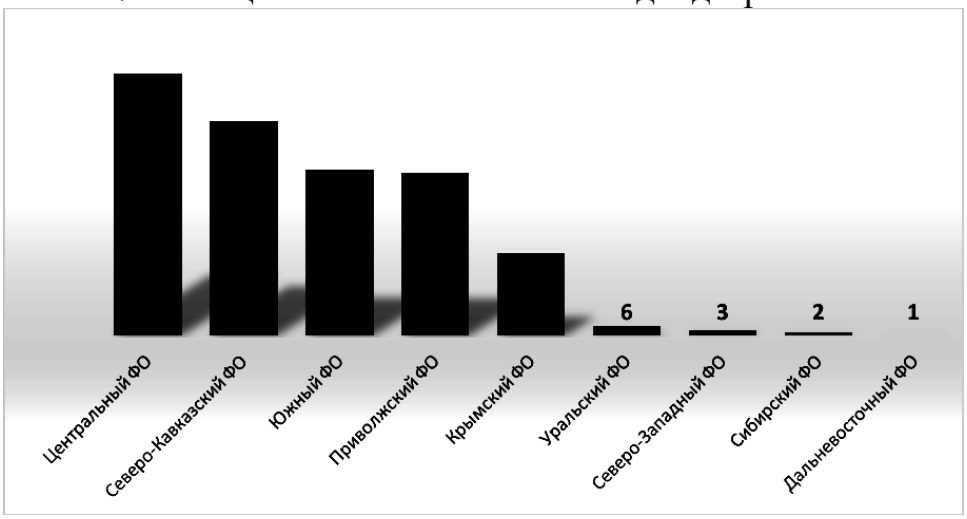


Рисунок 2. **Количество потенциально опасных ГТС в 9-ти федеральных округах России на 100 км^2 территории по данным Ростехнадзора**

В государственной собственности находится немногим более 3 % водохранилищ емкостью менее 1 млн. м^3, около 8 % водохранилищ объемом более 1 млн. м^3 и свыше 25 % накопителей жидких отходов [1–3].

Наибольшую потенциальную опасность для объектов экономики и населения представляют плотины гидроэлектростанций с напорами более 15 м (большие плотины по определению Международной комиссии по большим плотинам ICOLD), большая часть которых введена в эксплуатацию свыше 35 лет назад. Подавляющее большинство водоподпорных ГТС представлено плотинами малых и средних водохранилищ, многие из которых эксплуатируются без реконструкции и ремонта и являются объектами повышенной опасности.

Распределение ГТС по уровню безопасности в соответствии с Административным регламентом исполнения Росводресурсами, Ростехнадзором и Ространснадзором государственной функции по государственной регистрации гидротехнических сооружений приведено на рисунке 3.



Рисунок 3. **Уровень безопасности поднадзорных ГТС, %**

Распределение различного вида ГТС приведено на рисунке 4.



Рисунок 4. **Распределение ГТС по видам в Российской Федерации, в % к итогу**

В ведении *Минсельхоза России* в состав мелиоративно-водохозяйственного комплекса федеральной собственности входит более 60 тыс. различных гидротехнических сооружений, в том числе – 232 водохранилища, 2,2 тыс. регулирующих гидроузлов, 1,8 тыс. подающих и откачивающих воду стационарных насосных станций, более 50 тыс. км водопроводящих и сбросных каналов, 5,3 тыс. км трубопроводов, 3,3 тыс. км защитных валов и дамб, объекты производственных баз с общей балансовой стоимостью 87,0 млрд. руб. (в ценах 2005 г.).

Наибольшего внимания требует осуществление мер по предупреждению аварий сооружений на водохранилищах, из которых 44 являются крупными (емкостью более 10 млн. $м^3$) и 155 средними (от 1 до 10 млн. $м^3$). Значительная часть этих сооружений была построена в 60 – 70 годы минувшего столетия. Так, до 1970 г. было построено 24 гидросооружения, образующих водохранилища с объемом более 10 млн. $м^3$ (54 % от наличия), с 1970 по 1980 г. – 7, и после 1980 г. –

13 гидросооружений. Из 155 гидросооружений, образующих средние водохранилища, до 1970 г. введено в эксплуатацию 14 сооружений (9,0 %), с 1970 по 1980 г. – 45 (29,0 %), с 1981 по 1990 г. – 93 (60,1 %), и после 1990 г. – 3 сооружения (1,9 %).

Из 232 потенциально опасных гидротехнических сооружений Минсельхоза России, подлежащих декларированию, к первому классу капитальности относится 1, ко второму – 18, к третьему – 44, к четвертому – 169 ГТС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сборник нормативно-методических документов, применяемых при декларировании безопасности гидротехнических сооружений. В 4-х томах / Под общей редакцией В.А. Волосухина. / Академия безопасности ГТС. Новочеркасск, Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т (НПИ) имени М.И. Платова, 2015, Т. I – 607 с, Т. II – 715 с, Т. III – 529 с, Т. IV – 502 с.
2. О безопасности гидротехнических сооружений: Федеральный закон от 21.07.1997 N 117-ФЗ (ред. от 13.07.2015) // СЗ РФ. 1997. Вып. № 30. – Ст. 3589.
3. Фролов Д.И. Совершенствование российского законодательства по безопасности гидротехнических сооружений / Д.И. Фролов, В.А. Волосухин // Использование и охрана природных ресурсов в России. 2012. № 6. С. 17–21.

УДК 502/504:626.823

СОВРЕМЕННЫЕ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ НА НИЖНЕМ ДОНУ

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

Рассматриваются наиболее острые проблемы использования водных ресурсов в бассейне р. Дон в нижнем течении, которые возникли в связи с обмелением Цимлянского водохранилища.

Согласно Водной Стратегии Российской Федерации до 2020 г. выделяются следующие важные проблемы:

- наличие в отдельных регионах локальных дефицитов водных ресурсов;
- нерациональное использование водных ресурсов.

Несмотря на высокий уровень водообеспеченности водными ресурсами на 1 человека в целом по России – 30,2 тыс. м^3 в год, в ряде крупных речных бассейнов Юга Европейской территории (реки Дон,

Кубань, Терек) водоосбеспеченность не превышает или меньше 3,0 тыс. м^3/чел. в год.

Поэтому здесь периодически наблюдаются локальные дефициты водных ресурсов. Так, например, сейчас стала острой проблема нехватки воды в Цимлянском водохранилище и на участке Нижнего Дона.

В связи с тем, что с 2009 г. начался цикл маловодных лет, уровень воды в Цимлянском водохранилище (рис. 1) снизился почти до критической отметки наинизшего уровня навигационной сработки – 31,0 м. По мнению некоторых специалистов-гидрологов наблюдаемый сейчас маловодный период может затянуться до 2030 года, что еще больше ухудшит ситуацию с водными ресурсами на Дону.

Проблема обмеления водохранилища усугубляется устойчивым снижением притока воды в Цимлянское водохранилище: при норме притока 21,3 км^3 фактический приток составил в 2007 году – 17,3 км^3, 2009 году – 12,5 км^3, 2011 году – 9,3 км^3, 2015 году – 8,8 км^3. Однако, в 2016 г. – расход притока из-за прошедших дождей увеличился по сравнению с 2015 г. и составил 564 м^3/с.

Из-за нехватки воды в Цимлянском водохранилище возникли ощутимые трудности с обеспечением водой почти половины жителей Ростовской области и подачей необходимого количества воды на Новочеркасскую ГРЭС. В 2015 году на 40 % пришлось сократить объемы воды, забираемой из водохранилища для орошения сельхозкультур. Кроме того маловодность водохранилища, которое является естественным нерестилищем большинства ценных видов рыб Азово-Донского бассейна, создает угрозу для развития рыбоводства.



Рисунок 1. **Оголение берегов Цимлянского водохранилища**

Другая не менее серьезная проблема – развитие в водохранилище в летний период сине-зеленых водорослей. В результате обмеления вода в водохранилище прогревается гораздо быстрее, чем несколько десятилетий назад, что приводит к интенсивному размножению водорослей. И

поскольку в районе городского водозабора Волгодонска преобладают восточные ветры, то они сгоняют водоросли к сооружениям, забивают водоприемные окна и серьезно ухудшают работу насосных станций.

Так, в 2009 году в Волгодонске уже были перебои с обеспечением города водой вследствие зарастания водозаборного сооружения водорослями. Тогда город на несколько дней оказался без воды.

В последнее время все чаще поднимается вопрос о значительном снижении рыбного поголовья. В 1960 – 1980 годы Цимлянское водохранилище давало до 17-ти тыс. т рыбы в год, а сейчас – не более 3,5.

По мнению ихтиологов, значительное снижение рыбопродуктивности водохранилища происходит по нескольким причинам: во-первых, вследствие нерационального промысла, во-вторых, сокращаются популяции рыбы из-за бесконтрольного ее вылова браконьерами и, в-третьих, уменьшается количество нерестилищ ввиду их пересыхания, заиливания и заболачивания.

Вокруг водохранилища сохранилось несколько действующих рыбацких артелей, но все они убыточны. Доходы от продажи рыбы у многих не покрывают даже стоимость лицензии на вылов. В Цимле исчезла стерлядь, практически нет рыбца, даже щука и судак уже редко встречаются.

Скажется обмеление и на Цимлянской ГЭС. Сейчас она имеет среднегодовую выработку электроэнергии 620 – 630 млн. кВт·ч, но по расчетам энергетиков, этот показатель будет снижаться.

Также на протяжении уже многих лет в водохранилище серьезной проблемой является обрушение берегов, что приводит к активному заилению и отторжению мелких заливов (рис. 2).



Рисунок 2. **Обрушение берегов Цимлянского водохранилища**

С проблемой обмеления Цимлянского водохранилища непосредственно связано предполагаемое строительство Багаевского гидроузла (рис. 3).

Гидроузел должен решить проблему с обмелением реки Дон в районе станицы Багаевской, где глубина снизилась с 3,6 м до 2,8 м.

Председатель Правительства РФ Дмитрий Медведев 29 февраля 2016 года подписал распоряжение о включении проекта строительства Багаевского гидроузла в Стратегию развития внутреннего водного транспорта РФ до 2030 года с объемом финансирования 22 млрд. рублей.

Гидроузел включает (рис. 3): низконапорную плотину, рыбоходный канал для беспрепятственного прохода рыбы на нерест длиной 7,6 км, два судоходных шлюза, инженерные сооружения для защиты от подтопления территории. Ввод в эксплуатацию Багаевского гидроузла в условиях наступившего маловодья должен обеспечить безопасные условия судоходства и максимальное использование провозной способности транспортного флота, а также стабильное водоснабжение региона.



Рисунок 3. **Модель Багаевского гидроузла**

Благодаря гидроузлу глубина реки увеличится до 4 м, что обеспечит необходимый уровень воды для безопасного судоходства. Подпор уровня воды на участке р. Дон от хутора Арпачин до станицы Кочетовской составит около 2,5 м и, по сути, Дон вернется на свой прежний уровень, который был до маловодья.

С вводом в эксплуатацию Багаевского гидроузла улучшатся условия для рыбного хозяйства Ростовской области. Наполнится река Маныч и озера, а это создаст больше возможностей для нереста рыб. Возведение рыбоходного канала в пойме Дона позволит рыбе идти на нерест, минуя гидроузел.

Кроме того, строительство Багаевского гидроузла позволит уменьшить воднотранспортные попуски в реку Дон из Цимлянского

водохранилища, достигающее для маловодных лет при обеспеченности 95 % более 6,0 км^3/год [1].

Наряду с наличием в отдельные периоды локальных дефицитов водных ресурсов на их нехватку на Нижнем Дону, в частности, Цимлянском водохранилище и реке Дон, оказывают проблемы нерационального использования воды для целей орошения.

Так, например, из Цимлянского водохранилища донская воды подается по крупнейшему на юге страны Донскому магистральному каналу (ДМК) (рис. 4) на оросительные системы площадью более 200 тыс. га [1]. Из ДМК вода распределяется далее на оросительные системы по четырем магистральным каналам (Нижне-Донской, Багаевский, Верхне-Сальский и Пролетарский). Головной расчетный расход ДМК составляет 200 м^3/с, однако фактически пропускается до 160 – 200 м^3/с.



Рисунок 4. **Головной участок Донского магистрального канала**

Поскольку на всем протяжении канал проложен в земляном русле, то вследствие значительной фильтрации из него КПД составляет 0,90 и происходит подъем уровня грунтовых вод в приканальной зоне. Поперечное сечение канала по проекту было принято полигональным, как наиболее устойчивое против размывов, с шириной по урезу воды 75 м и максимальной глубиной 7,0 м.



Рисунок 5. **Оплывание откосов Донского магистрального канала**

Однако на практике наблюдаются локальные участки с оползанием откосов и их оплыванием, после остановки канала за счет притока грунтовых вод в канал (рис. 5). В связи с этим в настоящее время проходит реконструкция ДМК на отдельных участках с устройством противофильтрационного экрана из бентоматов с защитным покрытием из каменной наброски (рис. 6).



Рисунок 6. **Реконструкция второго участка ДМК с устройством противофильтрационного экрана из бентомата с защитным покрытием из каменной наброски**

В таблице представлены характеристики ДМК и его наиболее крупных распределительных магистральных каналов.

Таблица. **Характеристики магистральных оросительных каналов Ростовской области в зоне действия ДМК**

Канал	Расход, $м^3/с$	Длина, км	Глубина, м	Глубина залегания УГВ, м	КПД
Донской МК	160–200	112,0	5,0–6,0	0,5–2	0,90
Нижне-Донской МК	25,6	85,0	2,0–3,0	до 3,0	0,76

Пролетарский МК	54,0	83,0	4,5	0,5–5	0,85
Верхне-Сальский МК	30,0	99,0	1,8–2,3	> 2,5	0,70
Багаевский МК	30,0	36,5	3,0–4,5	1,5–3	0,75
Азовский МК	20,0	85,0	2,0–3,8	0,5–5	0,78

Как свидетельствуют данные по фактическому КПД распределительных магистральных оросительных каналов по сведениям «Ростовмелиоводхоза», представленные в таблице, КПД их составляет от 0,70 до 0,85, а следовательно потери воды в них наблюдаются от 30 до 15 %. Такие значения КПД на 23,7 % ниже норм, предусмотренных в СНиП 2.06.03-85 [2]. Низкие значения КПД объясняются тем, что эти каналы проложены в земляном русле. При этом вследствие большой фильтрации из земляных русел происходит подъем грунтовых вод для большинства каналов с глубиной залегания УГВ от 0,5 до 3,0 м, что характерно при подтоплении прилегающих территорий.

Более высокое КПД имеет ДМК, достигающее 0,90, что соответствует требованиям СНиП [2]. Однако, это обусловлено не малой водопроницаемостью грунта русла канала, в наличием подпора грунтовых вод в приканальной зоне, при котором потери на фильтрацию значительно снижаются по сравнению со свободной фильтрацией без подпора.

ВЫВОДЫ

Обобщая вышеизложенные проблемы по нехватке водных ресурсов на Нижнем Дону, приведем некоторые пути их решения.

1. Для решения проблемы с обмелением Цимлянского водохранилища должен быть использован научный подход, включающий тщательное изучение и пересмотр приходной и расходной частей водохозяйственного баланса водохранилища на период маловодных лет. С этой целью должны быть предусмотрены мероприятия на водосбросной площади реки Дон выше створа г. Калач-на-Дону, расчистка русел рек впадающих в р. Дон, а также в его притоки, в том числе: Хопер, Медведица, Сев. Донец, Сал и другие.
2. Одновременно предусмотреть мероприятия по снижению потерь воды, особенно для тех водопотребителей, которые забирают воду из Цимлянского водохранилища и реки Дон. В частности, если для всех оросительных каналов в земляном русле в зоне действия ДМК предусмотреть устройство высоконадежных облицовок из геосинтетических и геокомпозитных материалов [3, 4], то можно достичь в них КПД 0,95 – 0,97, и суммарного снижения потерь воды в зоне действия ДМК до 0,5 км^3 в год.
3. Важным объектом в программе оздоровления обстановки в связи с нехваткой водных ресурсов на Нижнем Дону должен стать Багаевский гидроузел, ввод в эксплуатацию которого может дополнительно обеспечить экономию водных ресурсов за счет снижения судоходных попусков из Цимлянского водохранилища.

4. Для решения проблемы обмеления Цимлянского водохранилища нужно вернуться к реализации проекта Волга-Дон-II, который в 90-е годы прошлого столетия уже начали строить [1]. Он был рассчитан на расход 250 $м^3$/с и объем переброски стока 5,5 $км^3$/год. Канал Волго-Дон-II как раз был предназначен для покрытия дефицита водных ресурсов в маловодные годы на Нижнем Дону в объеме 4,0 $км^3$/год.

ЛИТЕРАТУРА

1. Косиченко Ю.М. Каналы переброски стока России. Новочеркасск: НГМА, 2004 470 с.
2. СНиП 2.06.03-85. Мелиоративные системы и сооружения/Госстрой СССР. М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. 60 с.
3. Косиченко Ю.М., Баев О.А. Высоконадежные конструкции противофильтрационных покрытий каналов и водоемов. Критерии их эффективности и надежности // Гидротехническое строительство, 2014, № 8, С. 18–25.
4. Косиченко Ю.М., Баев О.А. Противофильтрационные покрытия из геосинтетических материалов. Новочеркасск: РосНИИПМ, 2014. 239 с.

УДК 556.18.001.12/.18

СОЦИАЛЬНАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СООРУЖЕНИЙ ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА

Т.В. Иванкова
НОУ «Академия безопасности гидротехнических сооружений»,
г. Новочеркасск, Россия

В современных условиях все больше внимания уделяется теории и практике экологической и социальной безопасности, разработке направлений и механизмов государственной политики по ее повышению. В статье уделяется внимание наиболее важным явлениям современного общества: противоречивому развитию биосферы и антропосферы, экологическим проблемам водных ресурсов, роли образовательных учреждений в обеспечении экологической и социальной грамотности.

В ст. 1 Федерального закона от 10.01.2002 N 7-ФЗ (ред. от 24.11.2014, с изм. от 29.12.2014) «Об охране окружающей среды» (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2015) сказано, что «экологическая безопасность – состояние защищенности природной среды и жизненно важных интересов человека от возможного негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, их последствий» [7].

Биосфера и ее составные части имеют пределы саморегуляции, самовосстановления, выше которых они могут деградировать необратимо.

Вследствие этого дальнейшее устойчивое развитие человечества не может происходить вне сохранения биосферы [4].

Россия обладает одним из самых высоких в мире водных потенциалов: на каждого жителя страны приходится более 30 000 м^3 воды в год. Однако в настоящее время из-за загрязнения около 70 % рек и озер России утратили качество источников питьевого водоснабжения, и в результате около половины населения потребляет загрязненную недоброкачественную воду. При недостаточной барьерной роли водоочистных инженерных сооружений резко обострилась проблема обеспечения питьевой водой многих регионов страны, увеличивается опасность для здоровья населения, повышается уровень заболеваемости кишечными инфекциями и гепатитом.

В Российской Федерации насчитывается 2,5 млн. малых рек и ручьев [3]. К этой категории водных источников относятся водотоки с площадью водосбора до 2 тыс. км^2 и средним многолетним расходом воды до 5 м^3/сут. за период низкого стока. Заметим, что на долю малых рек приходится значительная часть среднего объема речного стока: от 10 до 85 % в разных регионах, или около 50 % в среднем по стране. Малые реки принимают с водой различные наносы и растворенные вещества, поступающие с водосборов. В свою очередь малые реки формируют средние и большие реки, предопределяя их экологическую чистоту. На берегах малых рек проживает значительная часть населения России.

Поверхностные водные ресурсы распределены по территории Российской Федерации неравномерно, и объемы воды в них колеблются не только по годам, но и по сезонам. В связи с этим для их хозяйственного использования требуется сознательное вмешательство человека в естественные условия режима рек, что требует в большинстве случаев постройки ряда искусственных сооружений. Огромное значение в последние годы приобрели вопросы охраны водных ресурсов от загрязнения отходами промышленности, нерационального использования и пр. [4].

В ходе проводимых в конце двадцатого века реформ и в связи с реорганизацией государственных служб, нарушилась система учета, контроля и технической эксплуатации гидротехнических сооружений. Приватизация предприятий, изменение их формы и собственности привело к потере специалистов, которые занимались эксплуатацией ГТС. Финансовое состояние собственников ГТС не позволяло, не только реставрировать и ремонтировать подобные сооружения, но и поддерживать их в нормальном работоспособном состоянии. Основой для принятия обоснованных долгосрочных водохозяйственных программ и, одновременно, оперативных управленческих решений являются сведения, полученные в ходе инвентаризации гидротехнических сооружений, анализа и систематизации полученных данных.

Пристальное внимание к проблеме принятия оперативных управленческих решений по обеспечению безопасности гидротехнических сооружений, повышению их устойчивого функционирования было привлечено после трагических событий, которые произошли летом 2002 года на юге России и в Западной Европе. Ущерб, нанесенный экономике России в результате аварий на гидротехнических сооружениях, оказался несопоставим с затратами необходимыми на приведение их в надежное эксплуатационное состояние.

В настоящее время нет единого комплексного подхода к решению задачи оптимизации процесса управления безопасностью гидротехнических сооружений, не существует алгоритма, который бы позволил оперативно принимать решения по обеспечению безопасности гидротехнических решений.

Решения принимаются на основе вариантного прогнозирования возможных аварий и оценки ущерба, которые требуют сложных расчетов с разработкой прогнозных математических моделей.

Для построения гармоничных отношений природы и человечества ему необходимо предварительно решить три важнейшие задачи:

- первая задача состоит в формировании нового типа социального и экологического мышления, которое должно базироваться на новых моральных критериях общественного развития, исключающих чисто утилитарный подход к природе;
- вторая задача состоит в обеспечении широкой гласности и освещении социально-экологических проблем, сопровождающих развитие человеческой цивилизации. Скрывая от людей информацию об условиях их существования, например, о степени загрязнения среды обитания, органы власти не смогут рассчитывать на общественность при необходимости решения крупных вопросов;
- третьей задачей является построение такого хозяйственного механизма природопользования, который обеспечивал бы наиболее полное согласование индивидуальных, коллективных и государственных интересов в деле охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов.

В Российской Федерации эксплуатируется 29,9 тыс. напорных гидротехнических сооружений, решающих задачи гидроэнергетики, водного транспорта, сельского и рыбного хозяйств, проблемы водообеспечения и регулирования стока, а также защиты населенных пунктов и объектов экономики. Из общего количества напорных ГТС, около 400 сооружений относятся к числу крупных, обеспечивающих, как правило, создание каскадных водохранилищ емкостью более 10 млн. $м^3$. Братское водохранилище, например, имеет объем 169,3 куб. км, Красноярское водохранилище – 73,3 куб. км, Куйбышевское – 57,3 куб. км [2].

По величине напора самыми крупными являются Саяно-Шушенская ГЭС, обеспечивающая расчетный напор 194 м, Красноярская ГЭС – 93 м, Братская ГЭС – 100 м, Усть-Илимская – 85,5 м.

Самыми крупными по мощности являются Саяно-Шушенская ГЭС (6721 МВт), Красноярская ГЭС (6000 МВТ), Братская ГЭС (4500 МВт).

Все крупные гидротехнические сооружения являются потенциально опасными и уникальными гидротехническими сооружениями. В случае разрушения таких сооружений в зоне затопления могут оказаться миллионы человек, тысячи объектов экономики и миллионы гектаров сельскохозяйственных земель. Одноразовый ущерб при этом может составить до 300 млрд. рублей.

Сегодня аварийность на российских ГТС превышает среднемировой показатель в 2,5 раза. Ежегодно на гидротехнических сооружениях происходит до 60 аварий, которые уносят человеческие жизни и наносят ущерб до 10 млрд. рублей.

По данным проведенной инвентаризации водохозяйственных объектов в АПК в настоящее время подлежат реконструкции и восстановлению сооружения: 72 водохранилища, 240 регулирующих гидроузлов и 1,2 тыс. км защитных дамб и валов, имеющих износ основных фондов более 50 %.

В связи с продолжительной эксплуатацией и недостаточными объемами проводимых ремонтно-восстановительных работ происходит разрушение основных конструкций сооружений, заиление водохранилищ, и создается высокая вероятность чрезвычайных ситуаций, особенно при прохождении весенних половодий и паводков.

В зонах риска только крупных водохранилищ (емкостью более 10 млн. $м^3$), расположенных около 370 населенных пунктов с численностью населения до 1 млн. чел., а также находятся многочисленные объекты экономики.

Непредсказуемые социально-экономические последствия могут повлечь аварийные ситуации и на других гидросооружениях. Так, аварии на сооружениях Большого Ставропольского канала приведут к прекращению хозяйственно-питьевого и промышленного водоснабжения пяти районов Ставропольского края, городов Усть-Джегута, Черкесск, городов-курортов Кавказских Минеральных вод, Невинномысского промышленно-энергетического комплекса, Буденовского завода пластмасс.

Существенные недостатки в обеспечении безопасности имеют место для гидротехнических сооружений в сфере природопользования. Специфическими особенностями этих сооружений являются:

– их многочисленность (более 35 тыс., часть из которых бесхозяйные – 19,4 % от общего числа), из которых несколько тысяч должны еще только пройти процедуру декларирования безопасности;

– значительная часть ГТС принадлежала бывшим колхозам, совхозам и т.п., большинство которых в настоящее время являются банкротами;

– вопросы передачи в собственность, например, бесхозяйных гидроузлов, требуют значительных затрат времени (до 1,5 – 2 лет) и не прописаны достаточно четко в законодательстве, а при передаче их муниципальным образованиям в бюджете последних отсутствует обычно необходимое финансирование;

– около 22 % всех гидротехнических сооружений на водохозяйственных объектах требуют капитального ремонта;

– на более чем 90 % объектов отсутствует проектная документация и расчетное обоснование конструкций;

– старая документация на объектах (за 30 – 50 лет изменились нормативы);

– отсутствуют службы эксплуатации и специалисты, имеющие необходимую квалификацию.

Для решения этих проблем нужна принципиально новая, экономически оправданная и эффективная система управления ГТС, в рамках которой должно быть обеспечено единство функций хозяйственного управления водными объектами, безопасность на водных объектах и гидротехнических сооружениях, а также концентрация средств для реализации крупных водохозяйственных проектов. Строительство и реконструкция ГТС, водохранилищ и других искусственных водоемов должна осуществляться только в рамках этой системы. Иными словами, в рамках водохозяйственного комплекса необходимо провести глубокую централизацию управления государственным имуществом, находящимся в настоящее время в ведении различных министерств и ведомств, а также субъектов Российской Федерации. Нужна также государственная политика в области организации прикладной и фундаментальной науки [5]. Нужна более четкая и более активная политика в области образования. Нужны новые кадры, специалисты, со знанием проблем и способностями их решать.

Особое положение воды как ресурса, задействованного практически во всех хозяйственных отраслях, предопределяет актуальность такого экономического инструмента, как сертификация. Однако в настоящее время как экологическая сертификация, так и сертификация водного хозяйства в связи с нехваткой высококвалифицированных специалистов и по другим причинам не находят должного распространения. Это обусловлено слабостью законодательной базы и экономической незаинтересованностью хозяйствующих субъектов в проведении сертификации.

Действенным элементом экономического механизма в водном хозяйстве должно стать страхование, направленное на повышение гарантий защиты интересов государства, юридических и физических лиц в

процессе пользования водными объектами путем предупреждения убытков в результате неблагоприятного воздействия водной стихии, а также компенсации их последствий.

Конструктивный выход из сложившейся негативной ситуации состоит в пересмотре приоритетов в комплексном использовании водных ресурсов России на основе формирования отношения к рекам, в первую очередь как к среде обитания живых организмов и источнику питьевого водоснабжения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Безопасность гидротехнических сооружений: нормативно-методические документы / Под общ. ред. проф. В.А. Волосухина / Академия безопасности ГТС. Новочеркасск, Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ), 2015 г., Т. I – 605 с., Т. II – 715 с., Т. III – 517 с., Т. IV – 502 с.
2. Беллендир Е.Н., Опыт применения федерального закона «О безопасности гидротехнических сооружений» [Текст] / Е.Н. Беллендир, Е.А. Филиппова // Гидротехника. 2009. № 2 (15). С. 35.
3. Государственный доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2012 году». М.: НИА-Природа, 2013. 370 с.
4. Денисов В.В. Экология [Текст] / В.В. Денисов, В.В. Гутенев, И.А. Луганская. М.: Вузовская книга, 2002. 728 с.
5. Кривошей В.А., О проблемах безопасности на водных объектах России [Текст] /В.А. Кривошей // Гидротехника. 2012. № 4 (29). С. 4.
6. Нестеров М.В., Гидротехнические сооружения: учеб. пособие [Текст] М.: Новое знание, 2006. 616 с.
7. Федеральный закон от 10.01.2002 N 7-ФЗ (ред. от 24.11.2014, с изм. от 29.12.2014) «Об охране окружающей среды» (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2015).
8. Федеральный закон от 21.07.1997 N 117-ФЗ (ред. от 28.12.2013) «О безопасности гидротехнических сооружений».
9. ФЦП «Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012–2020 годах», утверждена Постановлением Правительства РФ от 12 апреля 2012 г. № 350.

УДК 627.8

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В РЕСПУБЛИКЕ КРЫМ

Я.В. Волосухин, Д.Ю. Наволокин
ИКЦ «Безопасность гидротехнических сооружений», г. Новочеркасск, Россия

Дана характеристика водных объектов Республики Крым как источников централизованного водоснабжения.

В Крыму существует 23 водохранилища общим объемом 399,47 млн. м³, из них наливных 149,5 млн. м³, водохранилищ естественного стока 249,97 млн. м³. Всего по данным Ростехнадзора в Крымском федеральном округе насчитывается 1010 поднадзорных Ростехнадзору гидротехнических сооружений. В среднем на 100 км^2 территории Крымского ФО находится 49 потенциально опасных ГТС. Одним из таких сооружений является Северо-Крымский канал [1].

Северо-Крымский канал (рис. 1) введен в эксплуатацию в 1971 г., имеет комплексное назначение [2–3, 5]. Забор воды осуществлялся из Каховского водохранилища на р. Днепр. Параметры сооружения: длина 402,6 км, максимальная глубина 7 м, расход воды 380 м³/с. В 2013 г. по Северо-Крымскому каналу в Крым было поставлено 1 553,78 млн. м³ воды, при этом общие транспортные потери на испарение и фильтрацию в подземные водоносные горизонты за год составили 695,3 млн. м³. С 2014 года подача днепровской воды в Крым прекращена. В целях обеспечения маловодных восточных районов Республики Крым водой в с. Новоивановка был построен гидроузел, который позволил осуществлять транспортировку воды из Белогорского и Тайганского водохранилищ, через русло реки Биюк-Карасу в Северо-Крымский канал. С 2015 года русло канала также используется для транспортировки питьевой воды из Нежинского и Просторненского подземных водозаборов.

Принятые меры позволили частично компенсировать отсутствие днепровской воды, путем использования для наполнения наливных водохранилищ хозяйственно-питьевого назначения Керченского полуострова воды водохранилищ местного стока, а также воды из вновь созданных артезианских водозаборов. Хочется отметить, что при переброске воды питьевого качества по руслу Биюк-Карасу и Северо-Крымскому каналу потери составляют 18 – 28 %. Наибольшие потери происходят в земляном русле р. Биюк-Карасу.



Рисунок 1. **Северо-Крымский канал**

К «водохранилищам Северо-Крымского канала» относят восемь водохранилищ общим объёмом 146,35 млн. м^3, их список приведен в таблице 1 [2–5]. В указанном списке не представлено Старокрымское водохранилище, частичное наполнение которого осуществляется из канала с использованием каскада из пяти насосных станций.

В начале марта 2014 г. объем наполнения наливных водохранилищ составлял 98,681 млн. м^3 или 67,9 % от проектного объема. По состоянию на 18 мая 2015 года он сократился до 40,7 млн. м^3 или 28 %. В марте 2016 года объем наполнения составлял 33,0 млн. м^3.

На 20 июля 2016 г. наливные водохранилища Восточной части Крыма были заполнены на 33 %, их объем составлял 31,8 млн. м^3.

Таблица 1. **Водохранилища Северо-Крымского канала**

Название	Объем (млн. м³)	Год заполнения
Зеленоярское водохранилище	3,02	1975
Межгорное водохранилище	50,0	1989
Самарлинское водохранилище	8,09	1978
Керченское водохранилище (Станционное)	24,0	1975
Сокольское водохранилище	2,26	1972
Феодосийское водохранилище	15,37	1971
Фронтовое водохранилище	35,0	1978
Юзмакское водохранилище (Ленинское)	7,7	1948

С целью аккумуляции речного стока на полуострове Крым построено 15 водохранилищ естественного стока, суммарным объемом

253,12 млн. м^3, что составляет 27,5 % естественного поверхностного стока Крыма (табл. 2).

Таблица 2. **Водохранилища Республики Крым на реках**

Название	Объем, млн. м^3	Дата образования	Река
Альминское водохранилище	6,2	1934	Альма
Аянское водохранилище	3,9	1933	Аян
Балановское водохранилище	5,7	1974	Зуя
Бахчисарайское водохранилище	6,89	1935	Кача
Белогорское водохранилище	23,3	1972	Биюк-Карасу
Загорское водохранилище	27,85	1980	Кача
Изобильненское водохранилище	13,25	1979	Улу-Узень
Кутузовское водохранилище	2,2	1977	Демерджи
Льговское водохранилище	1,11	1986	Мокрый Индол
Партизанское водохранилище	34,4	1966	Альма
Симферопольское водохранилище	36,0	1956	Салгир
Старокрымское водохранилище	3,15	1957	Чурюк-Су
Счастливенское водохранилище	11,8	1964	Биюк-Узенбаш
Тайганское водохранилище	13,8	1938	Биюк-Карасу
Чернореченское водохранилище	64,2	1956	Чёрная

Учитывая большое количество гидротехнических сооружений, необходимых для обеспечения комплексной потребности Крымского полуострова в воде нельзя забывать и о мерах, которые должны приниматься для обеспечения их безопасности в рамках Федерального закона от 21.07.1997 г. N 117-ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружений» [1].



Рисунок 2. **Крупные водохранилища, расположенные на территории Республики Крым**

На протяжении двух последних лет собственниками и эксплуатирующими организациями, совместно с органами надзора был выполнен ряд обследований гидротехнических сооружений с целью последующего декларирования их безопасности. По состоянию на июль 2016 г. органами Ростехнадзора утверждено 13 деклараций безопасности.

В ходе декларирования было рассмотрено текущее состояние сооружений, состав служб эксплуатации, определены возможные сценарии аварий, риск их возникновения и возможные последствия. По результатам работы были обозначены мероприятия по повышению безопасности сооружений и сроки их выполнения, обязательные для исполнения собственниками и эксплуатирующими организациями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сборник нормативно-методических документов, применяемых при декларировании безопасности гидротехнических сооружений. В 4-х томах / Под общей редакцией В.А. Волосухина. / Академия безопасности ГТС. Новочеркасск, Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т (НПИ) имени М.И. Платова, 2015, Т. I–607 с., Т. II–715 с., Т. III–529 с., Т. IV–502 с.
2. Лисовский А.А., Новик В.А., Тимченко З.В., Губская У.А. Поверхностные водные объекты Крыма. Управление и использование водных ресурсов: справочник / Под ред. А.А. Лисовского. Симферополь: КРП «Изд-во «Крымучпедгиз», 2011. 242 с.

3. Тимченко З.В. Гидрография и гидрология рек Крыма: Монография Тимченко З.В. Симферополь: ИТ «Ариал», 2012. 290 с.
4. Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование шельфа. Сборник научных трудов. Вып. 20. Севастополь, 2009.
5. Устойчивый Крым. Водные ресурсы: Симферополь: «Таврида», 2003. 413 с.

УДК 631.62

МОНИТОРИНГ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ НА ЮГЕ РОССИИ В УСЛОВИЯХ РОСТА ТЕХНОГЕННЫХ НАГРУЗОК И КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

В.А. Волосухин
НОУ «Институт безопасности гидротехнических сооружений»,
г. Новочеркасск, Россия
М.А. Бандурин
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
им. М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия

В работе представлена необходимость реализации новых систем постоянного мониторинга применительно к длительно эксплуатируемым водопроводящим сооружениям. В настоящее время более 80 % гидротехнических сооружений на юге России отработали большую часть нормативного срока эксплуатации. Одновременно отмечается возрастание нагрузок на стареющие гидротехнические сооружения, что при отсутствии необходимых квалифицированных кадров и технической ремонтной базы неизбежно приведёт к росту числа аварий.

Российская Федерация стабильно входит в группу стран мира, наиболее обеспеченных водными ресурсами. На наиболее освоенные районы европейской части РФ, где сосредоточено до 80 % населения и производственного потенциала, приходится не более 10 – 15 % водных ресурсов. По величине местных и приходящих водных ресурсов Федеральные округа (ФО) РФ различаются во много раз, так например Северо-Кавказский и Южный ФО являются самыми менее обеспеченными [1–2].

Согласно данным Водного кадастра РФ за 2014 г. (Ресурсы поверхностных и подземных вод, их использование и качество) [3–4] происходит снижение общих водных ресурсов на юге РФ.

Основой водных ресурсов РФ является речной сток, формирующийся в пределах страны и только около 5 % поступающий с территорий сопредельных государств. В Каспийско-Азовском регионе, на который приходится лишь примерно 8 % территории [5–6], проживает порядка 80 % населения РФ и сосредоточена основная часть

хозяйственной инфраструктуры. На освоенных территориях России сток рек составляет около 800 км^3/год (среднемноголетние водные ресурсы России 4 260 км^3/год), в том числе в наиболее заселённых и экономически развитых районах европейской части РФ – лишь 360 км^3/год.

По Южному ФО отклонение водных ресурсов от среднего многолетнего значения составило – 6.5 % в 2014 г. против – 11.6 % в 2013 г. Резкое падение стока р. Волги изменило характер водности приволжских областей (Астраханской и Волгоградской) и понизило их водность до значений ниже нормы, соответственно, на 5,8 % и 8,4 %. Резкий рост стока левых притоков р. Кубани, приблизивший сток самой р. Кубани к норме, и столь же резкое снижение стока рек Черноморского побережья привели к тому, что водность Краснодарского края претерпела весьма малое изменение, превысив среднее многолетнее значение на 8,7 % против 9,6 % в 2013 г. Водные ресурсы Крыма были значительно меньше среднего многолетнего значения, в отличие от 2013 г., когда они превышали его на 50 %. Местный сток рек Республики Крым (в 2014 г.) при этом не изменился и остался на довольно низком уровне (38,1 % от нормы). Уменьшение водных ресурсов произошло по причине беспрецедентного сокращения поступления воды на полуостров по Северо-Крымскому каналу [7–9].

Северо-Кавказский ФО имеет тенденцию к некоторому снижению водности рек от значения, превышавшего норму на 12,1 % в 2013 г., до значения, близкого к норме (4,3 %). В субъектах округа характер изменения водность значительно различался. Снижение водности до значений, существенно меньших нормы, было отмечено в двух республиках – Дагестане и Ингушетии. Картина водности рек Северного Кавказа была противоположной картине 2014 г., она характеризовалась тем, что сток рек северного склона Главного Кавказского хребта постепенно снижался в направлении с запада на восток от повышенных значений до значений намного ниже нормы [7–8]. Как и прежде, естественная картина распределения водных ресурсов в немалой степени нарушалась масштабной межбассейновой и внутрибассейновой переброской стока.

В настоящее время более 80 % ГТС на юге РФ отработали значительно свой нормативный срок эксплуатации. Происходит повсеместное сокращение площади мелиоративных земель на юге РФ [9], что обусловлено как проблемой нехватки водных ресурсов, так и стареющих ГТС, что при отсутствии необходимых квалифицированных кадров и технической ремонтной базы неизбежно приведёт к росту числа аварий.

В связи с этим возникла потребность в поиске новых современных методов определения количественных оценок надёжности и остаточного ресурса длительно эксплуатируемых ГТС [5–8] для получения

возможности выполнения их заблаговременного ремонта и предотвращения дальнейшего разрушения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волосухин В.А., Бондаренко В.Л. Факторы, определяющие безопасность гидротехнических сооружений водохозяйственного назначения // Наука и безопасность. 2014. № 3 (12). С. 7–8.
2. Бандурин М.А., Волосухин В.А. Мониторинг сооружений водного хозяйства // Инновационные пути развития агропромышленного комплекса: задачи и перспективы Правительство Ростовской области, Министерство сельского хозяйства и продовольствия; ФГБОУ ВПО АЧГАА. 2012. С. 98–101.
3. Волосухин Я.В., Бандурин М.А. Проведение эксплуатационного мониторинга с применением неразрушающих методов контроля и автоматизация моделирования технического состояния гидротехнических сооружений // Мониторинг. Наука и безопасность. 2011. № 3. С. 88–93.
4. Волосухин Я.В., Бандурин М.А. Применение неразрушающих методов при проведении эксплуатационного мониторинга технического состояния каналов обводнительно-оросительных систем // Мониторинг. Наука и безопасность. 2012. № 2. С. 102–106.
5. Пат. 2458204 РФ, МПК E02B 13/00. Устройство для проведения эксплуатационного мониторинга водопроводящих каналов / М.А. Бандурин, В.А. Волосухин, В.А. Бандурин, Я.В. Волосухин. № 2010111995/13 ; заявл. 29.03.2010 ; опубл. 10.08.2012, Бюл. № 22.
6. Пат. 2368730 РФ, МПК E02B 13/00. Способ проведения эксплуатационного мониторинга технического состояния каналов оросительных систем / М.А. Бандурин, В.А. Волосухин. № 2008100926/03 ; заявл. 09.01.2008 ; опубл. 27.09.2009, Бюл. № 27.
7. Волосухин В.А., Бандурин М.А. Программно-технический комплекс для проведения мониторинга и определения остаточного ресурса длительно эксплуатируемых водопроводящих сооружений // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2013. № 1. С. 57–68.
8. Волосухин В.А., Бандурин М.А. Мониторинг, диагностика и остаточный ресурс несущих конструкций сборных водоподъемных низконапорных щитовых плотин// Вестник Донского государственного аграрного университета. 2015. № 4–1 (18). С. 61–71.
9. Волосухин В.А., Бандурин М.А., Волосухин Я.В., Горобчук Е.Н., Воропаев В.И., Белогай С.Г. Мониторинг безопасности гидротехнических сооружений низконапорных гидроузлов и обводнительно-оросительных систем // Под общей редакцией В.А. Волосухина. Новочеркасск, 2010.

УДК 627.8:621.224.8

МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ПОБЕРЕЖЬЯ В Г. ХОЙАН, ПРОВИНЦИИ КУАНГНАМ, РЕСПУБЛИКА ВЬЕТНАМ

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

Статья посвящена берегозащитным мероприятиям побережья г. Хойан. Проведен анализ существующих мероприятий по берегозащите и проведены численное и физическое моделирование по определению устойчивости конструкций из грунтоармированных оболочек.

Город Хойан находится в центральной части Вьетнама, на территории провинции Куангнама. Он является популярным туристическим местом Вьетнама и объектом всемирного наследия ЮНЕСКО. Климатические характеристики включают 2 сезона: сухой и влажный. Ежегодно формируется в течение 30 – 58 дней/год штормовое воздействие на побережье, что обусловлено действием ветра, скорость которого достигает 42 м/с.

В этой провинции происходит размыв 18 прибрежных участков. Воздействие эрозии влияет на устойчивость инфроструктуры объектов курорта и является серьезной проблемой для г. Хойан. Причины, вызывающие эрозию включают: повышение уровня моря (0,5 м/год – 5 %); увеличение штормовых воздействий (2,5 м/год – 5 – 25 %); разработка песчаных карьеров (5 м/год – 40 – 80 %); возведение дамб без проектного обоснования (0,5 м/год – 5 %); природно-климатические изменения (10 – 50 %).

Согласно данным ASEC уровень моря поднимается со скоростью 5 мм/год и после 2020 г. четверть площади г. Хойан периодически будет подтапливаться [1]. Увеличится также количество штормов и тайфунов (DiGregorio, 2015 г.), что приведет к катастрофическим водновым воздействиям и развитию эрозионно-ползневых процессов [2].

С прошлого десятилетия под действием этих процессов перестал существовать участок пляжной зоны Куадай, южная часть которого существенно изменяется, а северная часть размывается со скоростью 12 м/год [3].

Для защиты побережья в г. Хойане применяются различные мероприятия, в том числе возведена каменно-набросная дамба в форме буквы L (рис. 1), при этом диаметр камней в наброске дамбы варьируется с 500 до 1250 мм, а масса – 250 ÷ 3750 кг. Данное сооружение предотвращает транспорт наносов вдоль берега, а также защищает от эрозии прибрежную зону. Несмотря на большую надежность и

устойчивость по сравнению с другими конструкциями, они более дорогостоящие и не могут решать проблему эрозии приа большом ее развитии и распространении.



Рисунок 1. **Каменно-насыпная дамба**

Другим мероприятием является облицовка откосов морского побережья бетонным покрытием (рис. 2). Преимущество такого способа – более высокая надежность, однако для него требуются большие капиталовложения, нарушается ландшафт морского побережья, тем самым он становится не привлекательным для рекреационного использования. Построенные на некоторых участках противонагонные дамбы имеют низкую устойчивость и также создают нарушение ландшафта морского побережья (рис. 3).



Рисунок 2. **Бетонное покрытие откосов морского побережья**



Рисунок 3. **Разрушенная противонагонная дамба**

Еще одним мероприятием является лесомелиорация песчаных дюн, которая снижает ветровую и водную эрозию побережья (рис. 4). Для этого производится высадка определенных видов растений с периодическим внесением удобрений. Наиболее экономичным методом является использование мешков с песком (рис. 5). Для защиты побережья на опытном участке были установлены 12 мешков с песком размером 2×2×3 м. Однако при волновом воздействии в период шторма они потеряли устойчивость и сместились под действием волн.



Рисунок 4. **Лесомелиоративные мероприятия**



Рисунок 5. **Защита побережья мешками с песком**

В настоящее время более распространены геотекстильные мешки с песком производство Нидерландов, стоимость которых составляет 140 €/шт (рис. 6). К их недостаткам относятся: необходимость использования специальной техники для монтажа, квалифицированных рабочих, малая устойчивость к абразивному воздействию солнечной радиации.



Рисунок 6. **Геотекстильные мешкиешки с песками**



Рисунок 7.. **Волноломы из геотубов** *из*

Применяются также волноломы из геотубов, материалом которых является GT550MC (рис. 7). К их достоинствам относятся низкая стоимость и простота монтажа. Однако под действием циклических нагрузок происходит их просадка и опрокидывание. Устранить эти недостатки можно покрытием гравийным слоем, но в г. Хойан он не применим.

Критерием обеспечения устойчивости геотубов при волновом воздействии является следующее условие:

$$H_s / (\Delta D_e) \le 2,75 / \xi^{0,5},$$

где $D_e = W_t \sin\alpha$; $\Delta = (\rho_t - \rho_w)/\rho_w$; H_s – высота волны в зоне прибоя; W_t –ширина оболочки; α – наклон края оболочки; ρ_t – плотность скачиваемого песка; ρ_w – плотность воды; ξ – зона прибоя; $\xi = \tan\alpha / (H_s / L_0)^{0,5}$; L_0 – длина волны.

На практике, после эксплуатации наблюдались следующие

нарушения работы оболочки из геотекстиля, такие как: зарастание мхом, локальные повреждения оболочки (рис. 8).



Рисунок 8. **Повреждение оболочки из геотекстиля**

В процессе проектирования не проводилось численного и физического моделирования для оценки влияния сооружений на морское побережье. В связи с этим компоновка и трасса геотубов была установлена только по опыту проектировщиков. Нет теоретических обоснований эрозионных процессов в прибрежной зоне г. Хойан. Требуется проведение исследований для разработки комплекса мероприятий, обеспечивающих устойчивое развитие и экологическую безопасность города.

ЛИТЕРАТУРА

1. ASEC Consultants. Climate change may wipe out Hoi An:http://asec.com.vn/en/news/climate-change-and-environment-31 /Climate-change-may-wipe-out-Hoi-An-184.html. December 30, 2014.
2. DiGregorio M.R. Vietnam Thenand Now: http://asiafoundation.org/in-asia/2015/08/26/vietnam-then-and-now/. August 26, 2015.
3. Viet N.T., Tanaka. Possible mechanism of severe erosion on Cua Dai Beach. Vietnam-Japan Workshop on Estuaries, Coasts and Rivers. Hoi An City: Central Region College of Technology-Economics and Water Resources. P. 28, 2015.

УДК 626.843.92.

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АВТОНОМНЫХ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ ПОСТОВ НА ОБЪЕКТАХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

В.В. Горчаков, В.Ю. Кабыляцкий, В.А Савин
ООО НПП «ИНТОР», г. Новочеркасск, Россия

Более 12 лет специалисты НПП «ИНТОР» разрабатывают средства дистанционного контроля различных параметров гидротехнических сооружений (ГТС). Совокупность сенсоров, логирующих устройств (контроллеров) и модемов работающих

в GSM, GPRS, или радиочастотных диапазонах передачи данных позволяют измерять и передавать на центральный пост ряд параметров. Например, такие как уровни бьефов открытых водоемов и уровни грунтовых вод, величины раскрытия щелей бетонных элементов гидротехнических сооружений, ряд климатических параметров (скорость ветра, температура, интенсивность осадков, волнение). Наибольшее применение такие системы находят на транспортных ГТС и объектах водоканалов.

Общей особенностью всех ГТС транспортного, энергетического или ЖКХ является большая их протяженность и малая пригодность для эксплуатации проводных средств измерения/контроля. В связи с этим предусмотренные регламентами измерения проводятся эпизодически и, как правило, ручными методами. Трудоемкость и не оперативность таких измерений снижает ценность получаемых результатов. Контроль различных технологических параметров проводными средствами приводит к высоким затратам как на протяженное кабельное хозяйство так и низкую надежность системы подверженной влиянию грозовых наводок.

Развитие электроники позволило создать комплекс телеметрических средств, отличающихся компактностью, относительной дешевизной, *низким энергопотреблением*. Разработанные НПП «ИНТОР» алгоритмы позволили работать таким автономным телеметрическим системам в ряде случаев *многие годы* без смены элементов питания.

Нам представляется важным донести до специалистов, занимающихся проектированием, эксплуатацией ГТС различного назначения, новые возможности в области дистанционного контроля различных параметров их объектов.

Основу системы телеметрии составляют *контроллеры сенсоров*, обеспечивающие передачу данных посредством модемов GSM, GPRS, или радиочастотных стандартов и оборудование диспетчерского пункта.

Контролеры сенсоров наряду со стандартными функциями (оцифровка, хранение данных, передача в соответствии с некоторым протоколом на центральный модем диспетчера) обеспечивает реализацию режима *глубокой экономии* энергии источника. Последнее обеспечивает автономность работы контроллеров в отдельных случаях до 10 лет.

Функциональная схема системы приведена на рисунке 1.

Блок дистанционного контроля и мониторинга (БДКМ-868, БДКМ-GSM, GPRS) обеспечивает сбор данных, подачу сигналов управления и связь с сервером. Роль сервера в системе исполняет ПК с установленным программным обеспечением «Софт-роутер». «Софт-роутер» – серверная часть системы, обеспечивающая сбор, обработку, хранение данных, поступающих от внешних устройств. К «Софт-роутеру» подключается клиентская часть, функциональность и интерфейс которой согласуется с заказчиком. Связь на стороне сервера обеспечивается модемным терминалом роутером (GSM/GPRS с статическим IP).

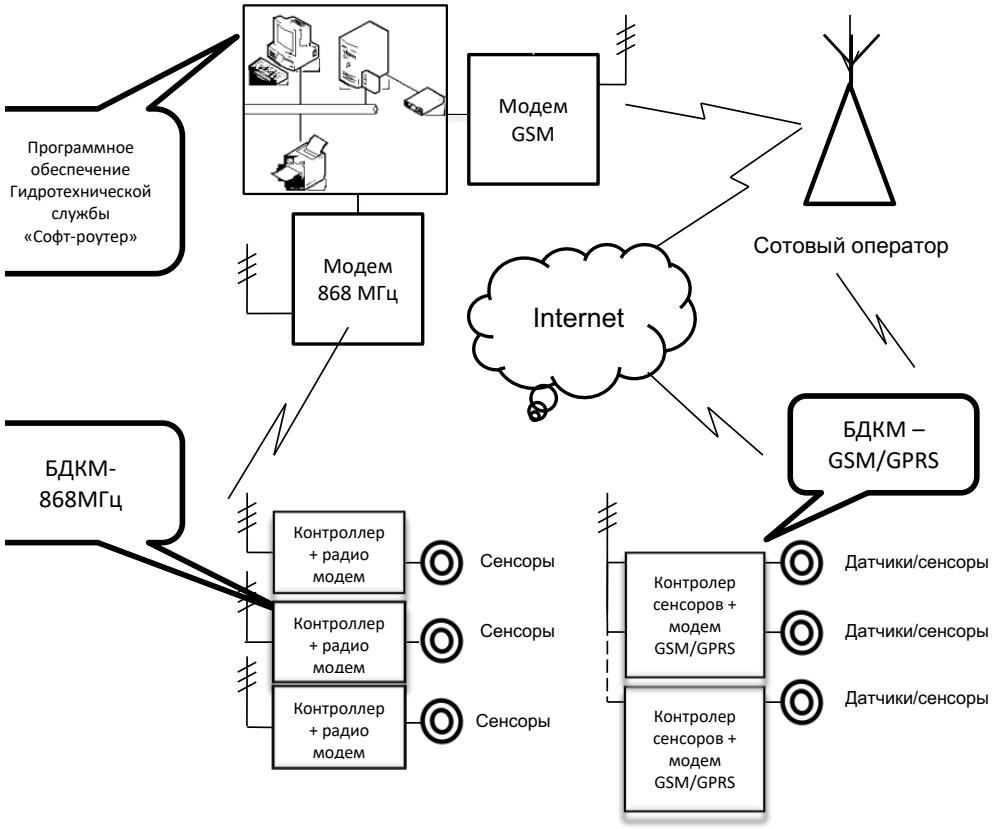


Рисунок 1. **Функциональная схема системы дистанционного контроля и мониторинга объектов ГТС**

Важным для потребителя свойством контроллера БДКМ является его способность контролировать остаточный ресурс источника питания, фиксировать и сообщать о несанкционированном проникновении в устройство. Возможны исполнения в полностью герметичном корпусе и для температур эксплуатации ниже 40 °С.

Задачи мониторинга параметров на объектах ГТС значительно разнятся в зависимости от отрасли. Но для большинства ГТС общими являются задачи контроля уровней бьефов открытых водоемов, грунтовых вод и технологических емкостей. На рисунке 2 приведены некоторые варианты компоновочных решений для контроля уровней бьефов открытых водоемов, устанавливаемые непосредственно в грунт. Вариант с фотоэлементами обеспечивает высокую частоту замеров и интенсивность обмена данными с диспетчерским пунктом. Вариант справа, обеспечивает большую

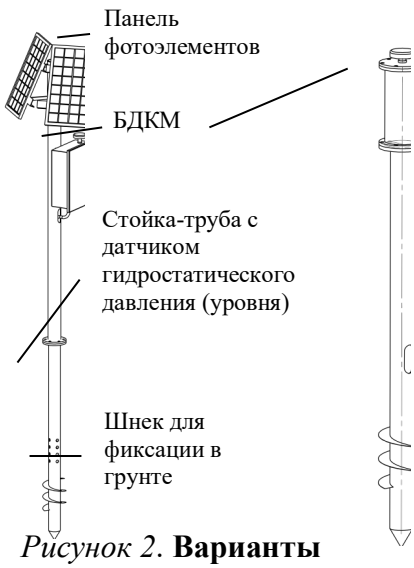


Рисунок 2. **Варианты уровнеметрических постов**

вандалоустойчивость. Серийно выпускаются средства контроля уровней пизометрических скважин.

На рисунке 3 показан вариант монтажа «к стенке». Комплекс, получивший название автономный гидрографический пост (АГП). АГП-1GPRS предназначен для автоматического замера уровня воды в реках и судоходных каналах, передачи данных заинтересованным службам, архивирования и статистической обработки данных. АГП-1GPRS является информационной основой организации сквозного мониторинга уровней судоходных бьефов по всему водному бассейну России.

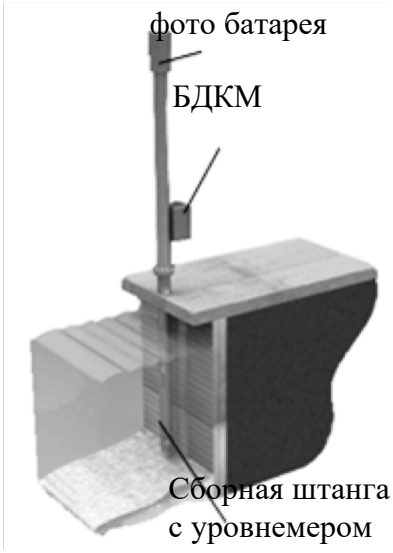


Рисунок 3. **АГП пристенного исполнения**

Являясь *автономным* средством измерения, *не требующим* постоянного *обслуживания,* с не ограниченной дальностью передачи информации АГП-1GPRS обеспечивает рекордное по отношению к конкурирующим решениям соотношение «цена обладания» / объем информации. Эксплуатируем по принципу *«смонтировали-забыли-получаем информацию».*

При установке в АГП-1GPRS дополнительного оборудования (датчиков скорости / направления ветра, влажности воздуха и т.п.), он может выполнять функцию *автономного метеорологического* комплекса (АГП-1Р\М).

Данные с АГП-1GPRS могут поступать *нескольким службам* одновременно, при этом программное обеспечение каждого пользователя ведет обработку информации независимо. Программное обеспечение практически *не требует обучения персонала* и опирается на базовые навыки *пользователя стандартного офисного пакета.*

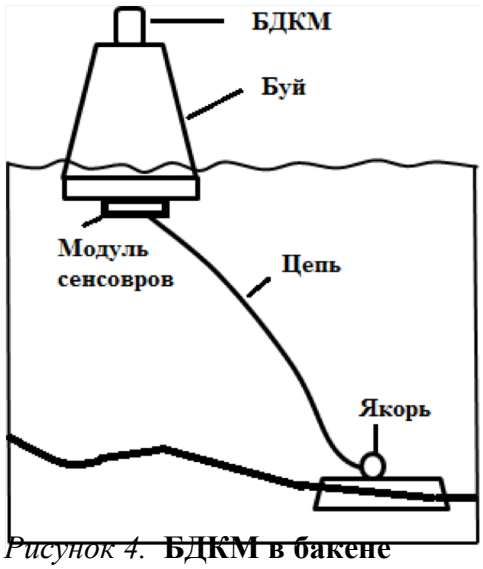


Рисунок 4. **БДКМ в бакене**

Конструкция БДКМ отличается компактностью и живучестью в специфических условиях эксплуатации на ГТС, что позволяет создавать порой необычные средства мониторинга водных объектов. Например, на рисунке 4 приведена схема системы дистанционного контроля уровня воды, ее температуры и мутности. Оборудование смонтировано в корпусе

стандартного бакена, имеет автономное питание, блок сенсоров и GSM/GPRS модем с антенной для связи с диспетчером.

ВЫВОДЫ

Современные средства мониторинга объектов ГТС позволяют экономически оправданным способом осуществлять контроль над многочисленными параметрами, характеризующими как безопасность объекта, так и эффективность его функционирования. Открытая архитектура предлагаемой системы производства НПП «ИНТОР» позволяет оперативно расширить круг решаемых задач по требованию заказчика.

ЛИТЕРАТУРА

1. www.intor.ru

УДК 628.161:627.221.2(282.247.36)

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО БОРЬБЕ С НАНОСАМИ В КОВШЕВОМ ВОДОЗАБОРЕ НА АЛЕКСАНДРОВСКИХ ВОДОПРОВОДНЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ Г. РОСТОВА НА ДОНУ

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.П. Костюков, Т.Е. Хецуриани
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия

В статье представлены задачи регулирования русла, связанные с обеспечением запланированного водозабора, защитой участков берегов от размыва, борьбой с наносами, льдом, шугой, с созданием благоприятного режима движения потока у водозабора. Проведённые авторами гидролого-морфологические исследования р. Дон и анализ объемного наносового состава Александровского ковшевого водозабора, позволили порекомендовать удлинение струенаправляющей шпоры дамбы, что позволит увлечь основное количество плавающих примесей по руслу от водозабора. Выполнен расчёт ширины устойчивого русла на прямолинейном участке, обеспечивающий протекание речного потока заданной конфигурации без деления на рукава.

Обобщение опыта эксплуатации водозаборных сооружений на водоемах с одновременной постановкой поисковых лабораторных исследований показывает, что условия забора воды из водотоков и водоемов принципиально различны. В отличие от водотоков в прибрежной

зоне водоемов одновременно с волнением появляются сосредоточенные вдольбереговые, инерционные, градиентные, плотностные и другие разновидности течений. Вследствие взаимодействия с сопутствующими факторами и процессами эти течения обычно транспортируют массы воды с чрезмерно повышенным содержанием наносов, водорослей, мусора, а в предледоставные периоды еще и переохлажденные, что и явилось причиной упомянутых последствий.

При эксплуатации бесплотинных водозаборных сооружений часто возникают задачи регулирования русла, связанные с обеспечением запланированного водозабора, защитой участков берегов от размыва, борьбой с наносами, льдом, шугой, с созданием благоприятного режима движения потока у водозабора [1–5]. Гидролого-морфологические исследования р. Дон и анализ объемного наносового состава Александровского ковшевого водозабора, позволили рекомендовать удлинение струенаправляющей шпоры, что позволит увлечь основное количество плавающих примесей по руслу от водозабора. Основной параметр трассы регулирования – ширина устойчивого русла на прямолинейном участке (B_y), обеспечивающая протекание речного потока заданной конфигурации без деления на рукава. Ширину устойчивого прямолинейного русла для всех участков рек определяли по формуле [5]:

$$B_y = \sqrt{\frac{Q_p g H}{[\upsilon_p]^3}}\,. \qquad (1)$$

где Q_p – руслоформирующий расход, м^3/с; H – средняя глубина в русле при этом расходе воды, м; υ_p – критическая неразмывающая скорость для руслоформирующих фракций речных отложений, м/с.

При уклоне дна $I < 0{,}01$ допускается применение формул С.Т. Алтунина [3]:

$$B_y = A\frac{Q_p^{0,5}}{i^{0,2}} \qquad (2)$$

или

$$B_0 = \left(kH_0\right)^{1/m} \qquad (3)$$

где A = 0,7 – 1,1; k, m – параметры, зависящие от состава грунтов донных отложений в русле.

По [6]:

$$B_y = \frac{2{,}6}{i^{0,2}}\left(\frac{Q_p}{\sqrt{g}}\right)^{0,4}\,. \qquad (4)$$

Для участков русел с криволинейной динамической осью потока допускается сужение русла до $(0{,}6 – 0{,}8)\,B_y$. Этим и определяется допустимая длина выдвижения шпор в основное русло. На судоходных

участках рек также должно выполняться условие недопущения сужения судового хода.

Для установления границы выдвижения струенаправляющих шпор необходимо иметь следующие материалы: план участка русла реки выше и ниже по течению от створа водозабора (не менее 1 км); поперечные профили русла как выше, так и ниже створа водозабора с характерными уровнями воды; характеристики грунтов русла (включая гранулометрический состав); сведения о расходах воды и уклонах потока на проектируемом участке.

На данной стадии оценки возможности удлинения струенаправляющей шпоры у водозабора на р. Дон при отсутствии необходимых материалов изысканий выполнен предварительный расчет по определению устойчивой ширины русла.

При средней глубине воды в русле H_0 = 3,0 м и характеристике грунтов русла, как мелкозернистые пески с $d < 1$ мм, из формулы

$$H_0 = 0{,}533(Q_p/v_1)^{0{,}286}$$

можно вычислить руслоформирующий расход: Q_p = 210 м^3/с.

На основании представленных расчётных формул ширина устойчивого русла будет равна:

– по формуле (1) B_y = 112,0 м.

– по формуле (2) B_y = 112,2 м; 0,7 B_y = 78,5 м;

– допустимое выдвижение шпоры от уреза воды при руслоформирующем расходе составит 112,2 – 78,5 = 33,7 м;

– по формуле (3) B_y = 81,0 м; при 0,7 B_y = 56,7 м;

– допустимое выдвижение шпоры от уреза воды при руслоформирующем расходе составит 81,0 – 56,7 = 24,3 м;

– по формуле (4) при уклоне i = 0,000036 (средний уклон для устьевого участка р. Дон от ст. Старочеркасская) B_y = 108,2 м; 0,7 B_y = 75,7 м; допустимое выдвижение шпоры от уреза воды при руслоформирующем расходе составит 108,2 – 75,7 = 32,5 м.

Таким образом, при уже существующей длине шпоры 20 м возможно удлинение ее максимум на 14 м. Эта величина может быть уточнена при получении материалов изысканий на участке водозабора. Здесь большую роль имеет правильное установление значения руслоформирующего расхода воды. Шпору на данном участке лучше устраивать незатопляемую при рабочих уровнях воды в реке. Наиболее уязвимые части шпоры – это ее корень и голова. Рабочий откос шпоры обязательно требует крепления в зоне активного воздействия потока. Ширину гребня шпоры можно увеличить до 4-х метров. Крепление нерабочего откоса и гребня шпоры возможно при наличии недорогих строительных материалов (по желанию заказчика). Основной расчет при проектировании шпор – нахождение глубины ямы размыва у головы шпоры, которая определяет объем материала отсыпки – рваного камня. Так как подошва отсыпки

располагается на поверхности дна, сформированной потоком в результате размыва, то в таких случаях целесообразно укрепить голову «фартуком» из крупного камня или в сочетании его с другими материалами (камень в габионах, каменно-хворостяная кладка и др.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Михеев П.А., Шкура В.Н., Хецуриани Е.Д. Рыбозащитные сооружения водозаборов систем водоснабжения: учебное пособие. Новочеркасск: НГМА, 2005. 111 с.
2. Тимофеева В.В. Условия формирования русла Нижнего Дона // Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 15. М.. 2005. С. 207–218.
3. Чалов Р.С. Русловедение: теория, география, практика. Т. 1: Русловые процессы: факторы, механизмы, формы проявления и условия формирования речных русел. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 608 с.
4. Хецуриани Е.Д., Кашарин Д.В., Герман Г.М. Применение подпорно-регулирующих гидроэнергетических сооружений в водохозяйственном строительстве и чрезвычайных ситуациях. Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. 2005. Прил. к № 3. С. 33–45.
5. Гидротехнические сооружения: Справочник проектировщика / Под ред. В.П. Недриги. М.: Стройиздат, 1983.
6. ВСН-II-14-76.

УДК 556.5.1:628.1

КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ НИЖНЕГО ДОНА С УЧЁТОМ СТРОИТЕЛЬСТВА БАГАЕВСКОГО ГИДРОУЗЛА

В.А. Волосухин, М.М. Мордвинцев
Институт безопасности гидротехнических сооружений, г. Новочеркасск, Россия

В период маловодья ниже Цимлянского гидроузла существует проблема пропуска судов при полной загрузке из-за недостаточности глубин. Кратко излагается характеристика использования водных ресурсов Нижнего Дона, история его шлюзования, предлагается решение использовать гибкие водоподъемные плотины, которые в межень способствуют подъему уровня воды в судоходных реках, а в период паводка укладываются в флютбет русловой части.

Водохозяйственная ситуация на Нижнем Дону в большой степени определяется возможностями многолетнего регулирования Цимлянского водохранилища ($W_{полн.}$ = 23 680 млн. м^3, $W_{пол.}$ = 11 540 млн. м^3, $F_{зеркала}$ = 2 702 км^2). Объем годовой полезной водоотдачи W = 12 471 млн. м^3. Водохранилище имеет комплексное назначение (судоходство, водоснабжение, орошение и обводнение, рыборазведение). Ведущим

водопользователем является судоходство. Объёмы грузоперевозок по Нижнему Дону за последние десятилетия снизились с 13,1 млн. т до 8 – 10 млн. т [1].

Безвозвратное водопотребление в бассейне Нижнего Дона, по оценкам СевКавНИИВХ, составляет 3,37 км^3 [2]. С учётом потерь на испарение с поверхности Цимлянского водохранилища (в среднем за многолетие 1,5 км^3/год) величина безвозвратного водопотребления увеличится до 4,87 км^3. Навигационные попуски в нижний бьеф Цимлянского гидроузла при нормативных условиях эксплуатации (410 м^3/с) и сложившейся к настоящему времени продолжительности навигации (240 суток) потребуют объёма воды в размере 8,5 км^3. Осуществление санитарного попуска в межнавигационный период нормативным расходом 230 м^3/с составит ещё 2,48 км^3 воды. Даже принимая во внимание, что приток от Цимлянского гидроузла до устья реки равен примерно 5 км^3, можно видеть, насколько напряжён водохозяйственный баланс водохранилища: 10,85 км^3 против 11,54 км^3 полезного объёма. Учитывая то обстоятельство, что в последние годы Цимлянское водохранилище всё реже наполняется до НПУ, можно констатировать, что этот баланс будет дефицитным.

Достичь гарантированных глубин судоходного пути на нижнем Дону (3,8 – 4,0 м) возможно только подпором уровней (шлюзованием). Известные в гидротехнике другие различные способы увеличения минимальных глубин в реке: углубление дна землечерпанием, удаление порогов на отдельных участках русла, выправление русла с помощью регуляционных сооружений, попуски из вышерасположенных водохранилищ, для условий нижнего Дона – малоэффективны.

История шлюзования Нижнего Дона начинается с проектов Н.П. Пузыревского, составленных на основании изысканий под его руководством в 1906…1909 гг. [3]. Строительство Донской шлюзованной системы было начато в 1913 г.. В первую очередь сооружался Кочетовский гидроузел (*по схеме Н.П. Пузыревского – это № 3*). Он был крайне необходим для нормального функционирования Северо-Донецкой водной системы и в этой системе он был № 1. История его строительства и этапы реконструкции подробно описаны в книге, выпущенной издательством журнала «Вестник транспорта» в 2009 г., которая так и называется: «Сооружение № 1 на Дону. Новая жизнь Кочетовского гидроузла» [4].

В 1974 г. рядом со станицей Николаевской был построен гидроузел со шлюзом. Необходимость его строительства была связана с обеспечением судоходных глубин на участке от выхода из нижнего подходного канала шлюза № 15 Цимлянского гидроузла до створа Николаевского гидроузла. Действующий напор составляет 3,8 – 4,0 м. У Кочетовского и Николаеского гидроузлов разборные плотины (фермы

Поаре) позволяют регулировать величину подпора и обеспечивать пропуск половодья без подпора уровня воды в Дону.

Константиновский гидроузел (недостроенный в 1910-х годах узел по схеме Н.П. Пузыресвкого) был введён в эксплуатацию в 1982 г. и стал обеспечивать судоходство на участке протяжённостью 43 км от Николаевского гидроузла до створа Константиновского гидроузла.

Особенностью этого гидроузла (в сравнении с Кочетовским и Николаевским) является создание круглогодичного (постоянного) подпора. Мелиораторы Южгипроводхоза (ныне – «ЮЖВОДПРОЕКТ») на примере Кагальницкого участка поймы строительством дренажной системы на площади 30 тыс. га показали ***невозможность*** воспрепятствовать грунтовому потоку от верхнего бьефа Константиновского гидроузла засолению и заболачиванию поймы; продуктивнейшая земля была затоплена убыточными рыбоводными прудами. То же ожидает и земли в зоне влияния будущего Багаевского гидроузла, если подпор уровня не будет сниматься, хотя бы в период осенне-зимней межени.

Участок Нижнего Дона от Кочетовского гидроузла до устья по существу является рекой в свободном состоянии с измененным гидрологическим режимом. На участке длиной 164 км расположено 45 перекатов, разделенных короткими плесовыми лощинами. Несмотря на большой объем дноуглубительных работ, часть перекатов сохранила типичные для них русловые образования – побочни, гребни. В связи с ограниченной шириной судового хода и крутыми поворотами русла этот участок затруднителен для судоходства. Схематический профиль шлюзованного русла Нижнего Дона приведен на рисунке 1 (заимствован из статьи В.А. Кривошея [1]).

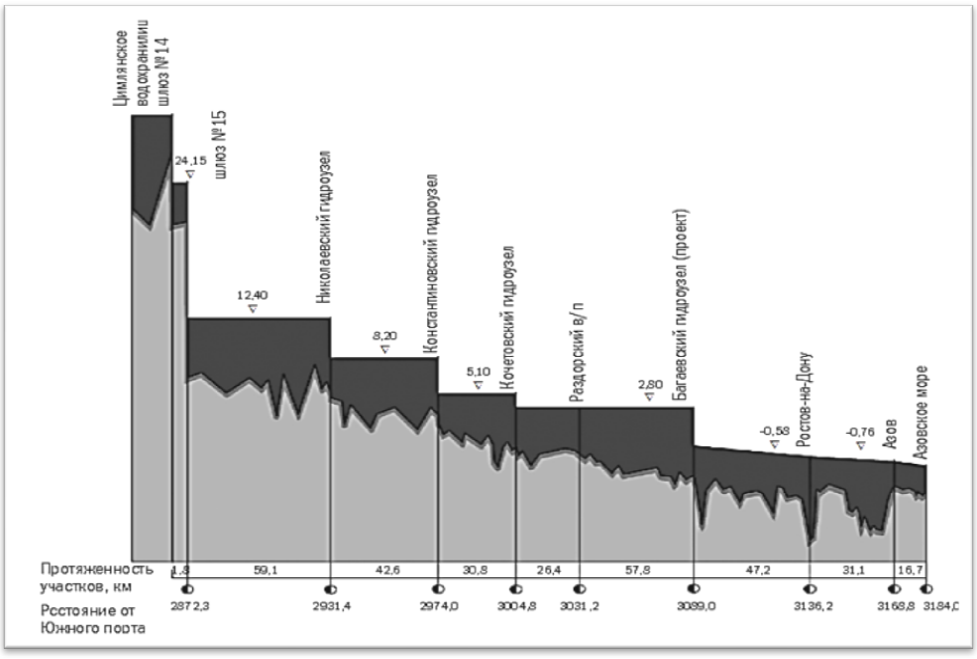


Рисунок 1. **Схема шлюзования Нижнего Дона**

Проектирование и строительство объекта «Разработка и реализация комплексного проекта реконструкции Азово-Донского бассейна, III этап (Багаевский гидроузел)» проводится в соответствии с Распоряжением правительства РФ от 29 февраля 2016 г. № 327-р Стратегия развития внутреннего водного транспорта Российской Федерации на период до 2030 года. Багаевский гидроузел будет располагаться на 3089 км судового хода, вблизи хутора Арпачин (рис. 2) (*по схеме Н.П. Пузыревского – это створ № 2*, расположение которого несколько выше проектируемого ОПК «ТрансГидроПроект»).

Без сомнения, что будущее судоходных компаний, портов, речного транспорта России как отрасли в целом будет определяться в первую очередь состоянием внутренних водных путей. Дальнейшее выживание и развитие отрасли связывается со строительством новых мелкосидящих судов (вице-президентом АПСРТ А.Д. Редькиным представлен «Взгляд Ассоциации портов и судовладельцев речного транспорта» на состояние и перспективы речного транспорта через призму внутренних водных путей, 2008 г.).

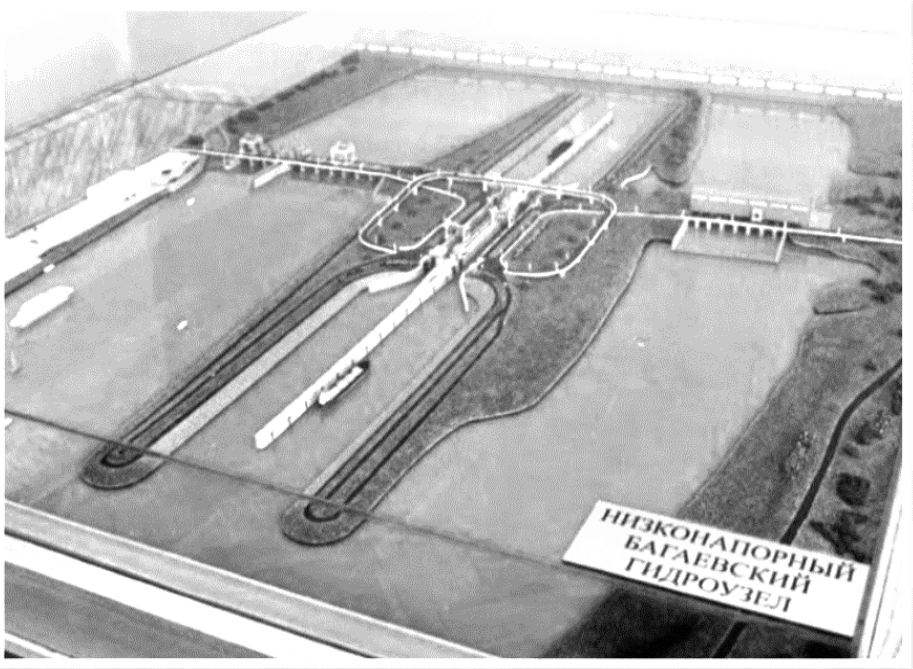


Рисунок 2. **Макет низконапорного Багаевского гидроузла**

Багаевский гидроузел, по определению, является воднотранспортным объектом, предназначенным для обеспечения гарантированных судоходных глубин в период навигации. В конструктивном отношении и по составу сооружений Багаевский гидроузел в значительной своей части повторяет эксплуатирующийся на р. Дон с 1982 г. Константиновский гидроузел. Максимальный расчётный

напор на гидроузле (разность между НПУ и минимальным УНБ с Р = 99 %) – 3,8 м, в среднем величина подпора уровня не превышает 2,0 м (рис. 3).

По мнению проектировщиков, на предварительной стадии проектирования, Багаевский гидроузел в варианте створа у х. Арпачин полностью решает вопрос обеспечения глубин на нижнем Дону, т.к. ниже этого створа расположены всего четыре переката, требующие минимальных работ по эксплуатационному землечерпанию. Недостатком данного створа является подтопление прибрежных земель, т.к. берега р. Дон выше него до ст. Багаевская имеют низкие естественные отметки (3,5 – 4,5 м БС). Но этот вопрос, как они считают, решается мероприятиями по инженерной защите земель и не является критичным.

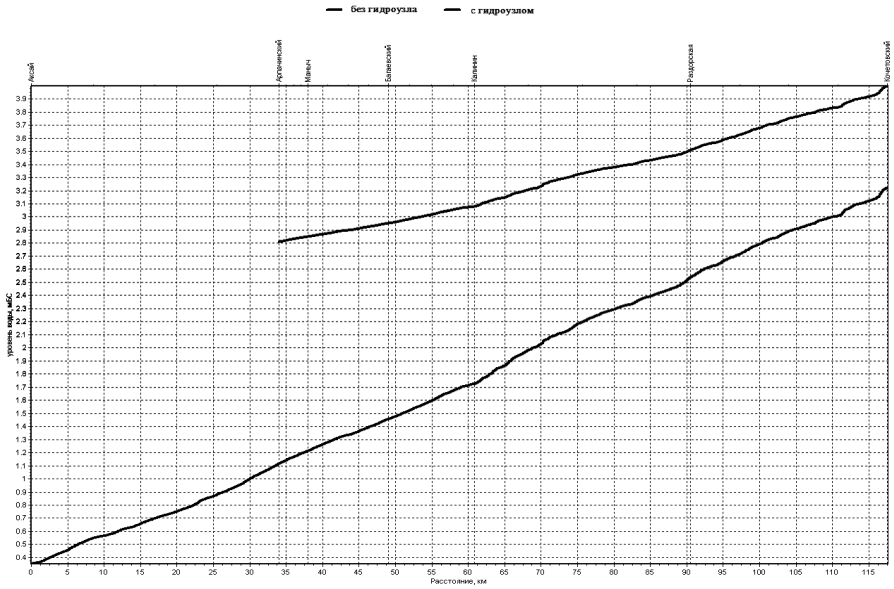


Рисунок 3. **Уровни воды р. Дон на гидроузле Арпачинский:**
ВБ = 2,8 мБС; расход 626 м^3/с

В предварительном проекте отмечено, что в межнавигационный (зимний) период напор на гидроузле не поддерживается, все водосбросные отверстия находятся в открытом положении, затворы на водосбросе-регуляторе подняты, затворы водосливной плотины вынуты из пазов и находятся в хранилище затворов. Пропуск расходов осуществляется при свободном истечении через водослив. Отметка порога водосбросных сооружений гарантирует их нормальную работу при любых расходах в зимний период при толщине льда до 70 см. Такое решение также можно отнести к положительным сторонам проекта.

По вопросу строительства Багаевского гидроузла существуют разные мнения – нужен ли он вообще, или есть возможность избежать отрицательных последствий его строительства.

Президент национального центра водных проблем В.А. Кривошей считает, что, если исходить из мировых и отечественных тенденций в области речных перевозок, никаких оснований для строительства

Багаевского гидроузла нет. По его мнению, прежде всего, следует заниматься не строительством новых гидроузлов, а судами, приспосабливая их к водным путям и обеспечивая их привлекательность для грузоотправителей. Резервы для этого огромные, причем, не только для Дона, но и в целом для внутренних водных путей [1, 5–7].

Однако, нельзя согласиться с тем, что регулированием режимов работы Цимлянского водохранилища можно увеличить глубину ниже Кочетовского гидроузла, так как возможности водохранилища и без того ограничены затянувшимся маловодьем Дона, хотя правила использования его водных ресурсов всё равно придётся корректировать в связи со строительством Багаевского гидроузла. Обеспечить глубины до 4-х м и увеличение продолжительности навигации до 240 сут. (*запросы Минречфлота*) попуски из Цимлянского водохранилища никак ***не смогут***.

Мы считаем ошибочным и мнение, что «при строительстве Багаевского гидроузла для нужд водного транспорта не потребуются постоянные судоходные попуски; высвобождаемый объем может быть использован для потребностей других отраслей экономики Ростовской области». Попуски будут необходимы для поддержания судоходных глубин ниже Багаевского гидроузла, причём в существующем размере, так как состояние русла на этом участке и глубины сформировались уже с учётом проводимых из Цимлянского водохранилища судоходных попусков. Строительство Багаевского гидроузла позволяет создать подпор уровня, но никак не регулирует количество водных ресурсов в Нижнем Дону.

ВЫВОДЫ

1. Реально гарантировать габариты судоходного пути возможно только подпором воды.
2. В межнавигационный период напор на гидроузле не поддерживается, все водосбросные отверстия находятся в открытом положении.
3. В период половодья сооружения должны пропускать расходы воды при минимальном перепаде уровней в бьефах, таким образом, затворы плотины должны быть разборными, либо укладывающимися на флютбет.
4. Не следует отвергать возможность использования гибких элементов сооружений для создания подпора уровня, как средства снижения стоимости сооружений гидроузла [7].

ЛИТЕРАТУРА

1. Кривошей В.А. Зачем нужен Багаевский гидроузел? // Право и инвестиции, 2013. № 1–2. www.dpr.ru.
2. Косолапов А.Е. Современная водохозяйственная политика и анализ стратегий использования водных ресурсов в бассейне р. Дон /

А.Е. Косолапов, Е.А. Скачедуб, Е.В. Шпота // Стратегические проблемы водопользования России: сборник научных трудов. Новочеркасск: НОК, 2008, С. 118–125.
3. Материалы для описания русских рек и истории улучшения их судоходных условий. Вып. XXV. Изыскания реки Дона 1906–1909 гг. и проекты шлюзования рр. Дона и Сосны от города Ростова до города Ельца / инж. Н.П. Пузыревский. Издание Управления внутренних водных путей и шоссейных дорог. С-Петербург, 1910. http://193.233.14.24/bookscd/ODP_82_2/.
4. Сооружение № 1 на Дону. Новая жизнь Кочетовского гидроузла / Под ред. Н.Г. Смирнова / авт.-сост.: Лендов В.Г. М.: Вестник транспорта, 2009. 216 с.
5. Волосухин В.А. Азово-Каспийский водный путь: история, проблемы, перспективы / В.А. Волосухин, В.В. Мельников. Ростов-н/Д: Изд-во ЮФУ, 2008. 242 с.
6. Волго-Дон. Общее описание сооружений. Том I / Под ред. М.М. Гришина. М.: Госэнергоиздат, 1957. 319 с.
7. Волосухин В.А. Эффективные пути решения проблемы лимитирующих глубин на судоходных реках европейской территории России / В.А. Волосухин, С.Г. Новиков // Вестник Донского государственного аграрного университета. 2016. № 1-1(19). С. 66–74.

УДК 627.81

ЭЛИСТИНСКОЕ ВОДОХРАНИЛИЩЕ – ИСТОЧНИК ВОДОСНАБЖЕНИЯ ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ КАЛМЫКИИ

В.А. Онкаев, А.В. Арашаев, А.В. Онкаев
Калмыцкий государственный университет имени Б.Б. Городовикова,
г. Элиста, Россия

Показано, что строительство Элистинского водохранилища позволит решить главную проблему Республики Калмыкия – обеспечение ее питьевой водой.

Строительство Элистинского водохранилища [1] предназначено для обеспечения потребности населения и объектов экономики г. Элисты и центральных районов республики в водных ресурсах. Объект был включен в перечень строек и объектов для федеральных государственных нужд на 2007 г. по отрасли «Водное хозяйство и охрана окружающей среды», по разделу «Национальная экономика», подразделу «Водные ресурсы»[2].

Республика Калмыкия с населением свыше 290 тыс. человек расположена на юге Российской Федерации в зоне резко-континентального климата. Данный регион является одним из засушливых в Российской Федерации. Высокий дефицит водных ресурсов наблюдается практически

на всей территории республики.

Таким образом, основной целью создания водного объекта – Элистинского водохранилища – является обеспечение потребности населения и объектов экономики г. Элисты и центральных районов республики в водных ресурсах [3].

Чаша водохранилища занимает пойму и склоновые участки балки Гашун-Сала. Длина водохранилища составляет 6,5 км, ширина от 0,5 до 1,2 км. Водохранилище имеет площадь при НПУ – 591,5 га, объем при НПУ – 36,2 млн. м^3, полезный объем – 35,0 млн. м^3, расчетная высота плотины составляет 18,60 м. Элистинское водохранилище расположено на территории Целинного района Республики Калмыкия, створ плотины предусмотрен в 14 км восточнее г. Элиста. Южнее объектов водохранилища (плотины, водозабора, водоподающего тракта) на расстояниях от 1 до 4 км проходит трасса федеральной автодороги «Ставрополь-Элиста-Астрахань».

Строительство Элистинского водохранилища позволит:

– обеспечить потребность г. Элиста в водных ресурсах в полном объеме;

– обводнить пригородные села с численностью населения 20,0 тыс. человек;

– обеспечить развитие орошения плодоовощных культур площадью 500 га;

– обеспечить развитие зоны отдыха для населения центральной части республики;

– оказать благотворное влияние на климатические условия в результате повышения влажности воздуха за счет испарения с водной поверхности объекта;

– зарегулировать до 20 % стока р. Яшкуль, практически весь сток балки Гашун-Сала в объеме 6,85 млн. м^3 при 1 % обеспеченности весеннего половодья и 2,68 млн. м^3 при 10 % обеспеченности. Тем самым, будет значительно снижен ущерб от затопления территории в бассейне р. Яшкуль, что также является одной из задач, решаемых при строительстве водного объекта.

Анализ практики проектирования, строительства и эксплуатации водохозяйственных объектов показывает, что их отрицательные последствия в какой-то степени можно предотвратить, ослабить или компенсировать, если своевременно провести природоохранные мероприятия и грамотно эксплуатировать природоохранные объекты. Но полного предотвращения или компенсации многих отрицательных последствий строительства и эксплуатации водохозяйственных объектов даже путем самых совершенных систем природоохранных мероприятий добиться в ряде случаев нельзя. В целях предотвращения, ослабления, ликвидации отрицательных последствий сооружения и эксплуатации

водохозяйственных объектов проводят комплексы мероприятий. Многие из них имеют природоохранную направленность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Распоряжение Правительства РФ от 8 февраля 2007 г. №146-р (с изменениями от 19 апреля, 11, 29 июня, 17 июля, 28 августа, 20 октября, 12 ноября, 4, 20 декабря 2007 г.)
2. Приказ Федерального агентства водных ресурсов № 43 от 05.03.2007 г. О мерах по реализации Федерального закона от 19.12.2006 г. № 283 «О федеральном бюджете на 2007 год» по финансированию строек и объектов для федеральных государственных нужд за счет государственных капитальных вложений».
3. Распоряжение Главы Республики Калмыкия «О строительстве Элистинского водохранилища в балке Гашун-Сала» от 6 июля 2007 г. № 72-рг.

УДК 626.823

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ И ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ КРУПНЫХ КАНАЛОВ КОМПЛЕКСНОГО НАЗНАЧЕНИЯ ЮГА РОССИИ

Ю.М. Косиченко, Е.Г. Угроватова
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия

Представлены эмпирические формулы для определения основных характеристик работы каналов. Приведены исследования по определению фильтрационных потерь из каналов при использовании различных видов облицовок.

Для комплексного использования водных ресурсов большое значение имеют крупные магистральные каналы, которые используются для целого ряда отраслей: водоснабжение, орошение, гидроэнергетика и др. К наиболее значимым каналам Юга России относятся: Большой Ставропольский канал (БСК), Донской магистральный канал (ДМК), Терско-Кумский канал (ТКК), Невинномысский канал (НК) [1].

Однако эксплуатация магистральных каналов сопровождается негативными факторами, связанными с фильтрацией, подтоплением территорий, зарастанием русла канала. Вследствие чего, ухудшается техническое состояние канала, снижается его пропускная способность.

В данной работе проведена по имеющимся данным оценка современного состояния пропускной способности 9 основных каналов Юга России: Донской магистральный канал, Пролетарский магистральный

канал, Терско-Кумский, Невинномысский, Баксан-Малка, БСК-1 (1 – 7 км), БСК-1 (7 – 16 км), БСК-1 (16 – 27 км), БСК-1 (1 – 27 км).

На рисунке 1 приведен полигон частот распределения коэффициентов шероховатости крупных каналов полигонального сечения.

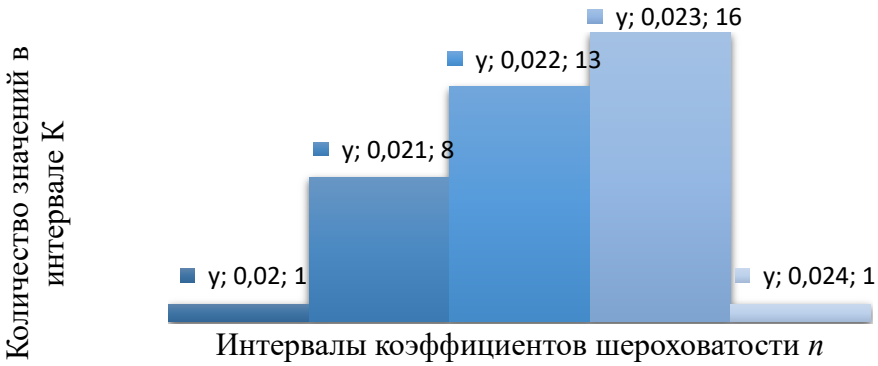


Рисунок 1. **Полигон частот натурных данных распределения коэффициентов шероховатости крупных каналов полигонального сечения**

Анализ этих данных свидетельствует о том, что для крупных магистральных каналов Юга России в земляном русле характерно распределение коэффициента n по логарифмически нормальному закону. При этом наибольшее количество натурных данных n (74 %) находится в интервалах от 0,022 до 0,023, что подтверждает полученное среднее значение коэффициента шероховатости $n_{ср}$ = 0,0227 и ранее установленный достоверный интервал изменения n.

По совокупности натурных данных также были найдены эмпирические зависимости, отражающие связь $\lambda = f(Re)$, $n = f(Q)$, $\lambda = f(Q)$.

Математическая обработка натурных данных проводилась на персональном компьютере с помощью пакета программ Microsoft Excel.

На рисунках 2 – 4 представлены графики, позволяющие определить эмпирические зависимости.

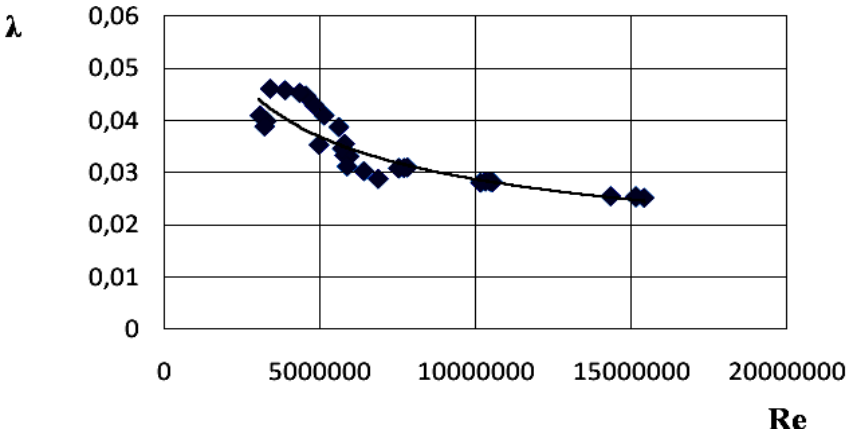


Рисунок 2. **График зависимости $\lambda = f$(Re)**

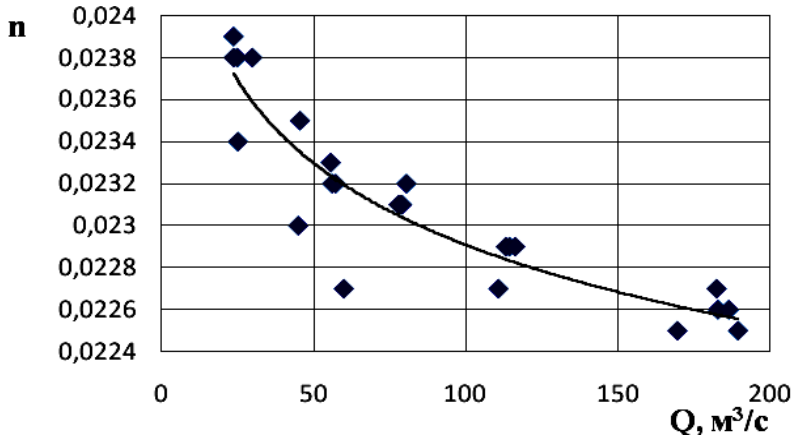


Рисунок 3. **График зависимости *n* = *f*(*Q*)**

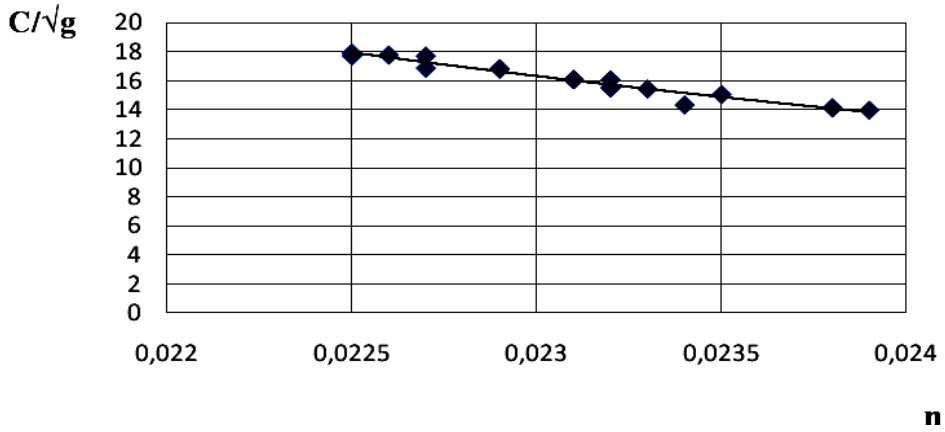


Рисунок 4. **График зависимости** $\frac{C}{\sqrt{g}} = f(n)$

$$n = 0{,}0256Q^{-0{,}024}\left(R^2 = 0{,}839\right) \quad (1)$$

$$\frac{C}{\sqrt{q}} = 1\cdot 10^{-6} n^{-4{,}307}\left(R^2 = 0{,}9513\right) \quad (2)$$

$$\lambda = 9{,}375\,\mathrm{Re}^{-0{,}359}\left(R^2 = 0{,}828\right) \quad (3)$$

Полученные зависимости (1 – 3) позволяют непосредственно рассчитывать основные гидравлические характеристики русел каналов полигонального сечения: $(n, \frac{c}{\sqrt{q}}, \lambda)$; по одной заданной характеристике – *Q*, *n* или Re.

Фильтрация из каналов оказывает большое влияние на режим грунтовых вод, приводит к подъёму уровня грунтовых вод в приканальной зоне, вызывая подтопление, заболачивание и засоление прилегающих к каналам территорий. Потери на фильтрацию из крупных каналов в земляном русле зависят, прежде всего, от водопроницаемости (коэффициента фильтрации грунтов), а каналов в облицовке – от типа облицовки и характеристики её водонепроницаемости.

Для предотвращения фильтрации используются различные виды облицовочных материалов. Приведём сравнение результатов расчёта при использовании различных типов облицовок.

При фильтрационных расчётах дренажа, каналов и других сооружений широко применяется метод фильтрационных сопротивлений, позволяющий во многих случаях без особого снижения точности инженерных расчётов схематизировать сложные течения потоков и представлять их в виде, удобном для приложений [2].

Основные принципы метода фильтрационных сопротивлений заключаются в следующем: влияние зон резкой деформации фильтрационных потоков, характеризуемое падением уровня (напора) в них, может быть учтено фильтрационными сопротивлениями путём замены несовершенных границ совершенными, эквивалентными по фильтрационному расходу и картине фильтрации на некотором удалении от рассматриваемой границы. При такой замене зоны резко изменяющейся фильтрации исключаются из рассмотрения, а на расстоянии мощности слоя грунта основания образуется плановый поток с распределением напоров, соответствующих совершенным границам, доведённым до водоупора. Это существенно облегчает разработку методов фильтрационных расчётов дренажа, каналов, водоёмов, противофильтрационных завес и гидротехнических сооружений. В таблице приводятся результаты расчёта потерь на фильтрацию при наличии и отсутствии приканального дренажа и различных типов облицовки. При расчёте использовались формулы, полученные А.Я. Олейником [1], а также формулы авторов статьи [3].

Таблица. **Потери на фильтрацию при различных условиях работы канала**

Канал	Потери на фильтрацию на 1 м^2, $Q_{ф\ 1м^2}$, л/сут·м^2 / Коэффициент эффективности $K_{эф}$							
	Земляное русло	Земляное русло с приканальным дренажём	в противофильтрационной облицовке			в противофильтрационной облицовке и с приканальным дренажём		
			Бетонно-плёночная	геосинтетическая	геосинтетическая (Европ.)	бетонно-плёночная	геосинтетическая	геосинтетическая (Европ.)
БСК-1	26,42	32,21 / 0,82	25,18 / 1,05	3,14 / 8,4	0,039 / 675	30,30 / 0,87	3,34 / 7,9	0,04 / 651
ДМК	16,53	28,43 / 0,58	16,14 / 1,02	3,5 / 4,72	0,049 / 340	28,14 / 0,59	8,5 / 1,94	0,129 / 128

Анализ полученных результатов в таблице показывает, что коэффициент эффективности облицовки $K_{эф}$ для традиционной бетоноплёночной облицовки из полиэтиленовой плёнки толщиной 0,2 – 0,4 мм приближается к единице как для БСК-1, так и для ДМК, что объясняется отсутствием эффекта от применения этого типа облицовки при подпёртой фильтрации. В то же время, за счёт применения геосинтетической облицовки из геомембраны толщиной 1,0 – 1,5 мм обеспечивается значительный эффект, достигающий по российским нормам $(k_{обл} = 10^{-8} см/с)$ для БСК-1 $K_{эф} = 8{,}4$ и особенно большой эффект достигает по европейским нормам $(k_{обл} = 10^{-10} см/с)$ $K_{эф} = 675$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Косиченко Ю.М. Каналы переброски стока России. Новочеркасск: НГМА, 2004. 470 с.
2. Олейник А.Я. Геогидродинамика дренажа. Киев: Наукова думка, 1981. 283 с.
3. Косиченко Ю.М., Угроватова Е.Г., Баев О.А. Обоснование расчётных зависимостей фильтрационных сопротивлений конструкций облицовок // Известия ВНИИГиМ им. Б.Е. Веденеева, Т. 278. 2015. С. 35–46.

УДК 628.823

ОПТИМИЗАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МОБИЛЬНЫХ МИКРОГЭС И СООРУЖЕНИЙ ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЫ ИЗ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ УСЛОВИЙ МАЛЫХ ГОРНЫХ РЕК

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

Статья посвящена вопросам проектирования нетиповых оболочечных конструкций мобильных микроГЭС и сооружений инженерной защиты с применение оптимизационных математических моделей. В качестве основного метода оптимизации приводятся априорные методы сканирования с переменным шагом и случайных направлений.

В настоящее время около 70 % территории РФ не охвачено централизованным водо- и энергоснабжением. В особенности это относится к объектам малой энергоемкости, 90 % которых находится на территории водосбора малых рек. Наиболее перспективным является обеспечение водо- и энергоснабжения за счет гидропотенциала малых горных рек Северного Кавказа, степень использования которого не

превышает 0,1 % в настоящее время. Однако, строительство в горных условиях деривационных микро гидроэлектростанций сопряжено со значительными трудностями, связанными с опасными геологическими и метеорологическими явлениями, отсутствием дорожной инфраструктуры в створах строительства водозаборных сооружений и по трассе водовода. Для условий малых горных рек автором разработано новое техническое решение мобильной микроГЭС (ММкГЭС) сезонного действия и сооружений инженерной защиты из композитных материалов. К его преимуществам перед постоянными деривационными ГЭС относятся: возведение без применения тяжелой строительной техники и использованием местных строительных материалов; снижение стоимости конструкции и повышение её надёжности за счёт применения оболочечных конструкций из композитных материалов; многократность использования; уменьшение негативного воздействия на окружающую среду [1–2].

Одной из наиболее сложных задач является расчет нетиповых элементов ММкГЭС и сооружений по ее инженерной защите. К нетиповым элементам относятся: водоподпорные сооружения для головного гидроузла (ГГУ) ММкГЭС (мембранно-вантовые и грунтоармированные плотины); гибкий участок деривационного водовода (ДВ) с закреплением вантовой системой; сооружения инженерной защиты (грунтоармированные подпорные стены; замкнутые и незамкнутые грунтонаполняемые конструкции) [1–2].

Основными нетиповыми элементами ММкГЭС являются замкнутые и незамкнутые безмоментные оболочки (мембраны) из композитных материалов, а также вантовые системы [3].

Мембранно-вантовая плотина применяется при напорах до 5 м при отсутствии местного строительного материала и включает три основных элемента: незамкнутую водоподпорную оболочку; основание; вантовую ферму. Имитационное моделирование (ИМ) мембранно-вантовой плотины возможно методом итерационных приближений, аналитическим расчётом и численным моделированием мембранно-вантовой плотины [1].

Для тяжёлых условий эксплуатации и при необходимости создания напора от 5 до 10 м и наличии насыпного грунта, применяют грунтоармированную плотину, для которой характерна большая устойчивость и надёжностью по сравнению с мембранно-вантовыми плотинами.

Одним из основных нетиповых элементов ММкГЭС является составной деривационный водовод (ДВ). Его применение в условиях сложного рельефа местности обеспечивает больший, по сравнению с рукавными микроГЭС, диапазон напоров от 10 до 500 м и мощность от 5 до 100 кВт. Верхний участок ДВ при напорах до 50…60 м изготавливается из гибких безмоментных оболочек на водонаполняемом или грунтонаполняемом основании. Для изготовления нижнего участка

используют стандартные резинотканевые рукава и трубы из полимерных материалов [2].

На верховых участках трассы (деривационного водовода) ДВ при напорах до 50…60 м составной ДВ включает гибкие безмоментные водонаполняемые оболочки (далее водонаполняемые оболочки) из композитных материалов, в том числе на водонаполняемом или грунтонаполняемом основании.

Главным отличием гибких водонаполняемых оболочек ДВ от жёстких является взаимосвязь их формы с внутренними и внешними нагрузками, и граничными условиями. Поэтому расчёт замкнутых водоподпорных оболочек производится с учётом изменения их формы в зависимости от: гидродинамического воздействия потока на водонаполняемую оболочку ДВ; условий крепления и характеристик основания оболочки. Для уменьшения эффекта закручивания гибкого ДВ однооболочковой конструкции под действием поперечных циркуляций и обеспечения достаточной устойчивости, и надёжности работы, могут применяться многооболочковые конструкции. Закрепление гибкого участка ДВ вантовой системой предусматривается при прокладке ДВ по оползневым участкам, а также при уклонах более 45° по трассе деривационного водовода. Вантовые системы обеспечивают закрепление водовода на участках мощных аллювиальных отложений и оползневых явлений [2–3].

Проектирование ММкГЭС коллективом с недостаточно высокой квалификацией с учетом сложности расчета нетиповых элементов в области больших перемещений для условий горного рельефа и опасных геологических и метеорологических явлений может привести к критическим ошибкам.

При этом лицо принимающее решение (ЛПР) должно выбрать из множества альтернативных вариантов оптимальный с учетом критериев пригодности, оптимальности и адаптивности. В результате принятие ЛПР решения на основе неформального метода на основе недостаточных знаний и опыта может привести к выбору неоптимального и нецелесообразного варианта ММкГЭС [1–2].

В связи с этим необходимо разработать систему принятия решения на основе многокритериальной математической модели оптимизации ММкГЭС и интеллектуальной системы экспертной оценки.

Создаваемая математическая модель (ММ) предназначена для обеспечения при проектировании оптимальной компоновки и параметров элементов ММкГЭС, обеспечивающих наилучшие технико-экономические показателями и надёжность функционирования.

При создании ММкГЭС используем ММ с системным подходом. Системный подход позволит объединить результаты имитационного моделирования (ИМ) нетиповых элементов ММкГЭС численными

методами, пропорционально их значимости, в единую оптимизационную модель [2]. При данном подходе нетиповые элементы МДМкГЭС составляют из отдельных подсистем, а затем интегрируют их в общее сооружение с учётом выбора типовых элементов. Например, водоподпорное сооружение является элементом ГГУ ММкГЭС и включает в себя подсистему элементов: оболочку, вантовую систему, основание (понур), рисберму и т.д. Каждая из подсистем имеет свои целевые функции, критерии выбора и диапазон параметров. Такой подход означает, что каждая система является интегрированным целым даже тогда, когда она состоит из отдельных разобщенных подсистем.

Обобщённая структура оптимизационной ММ ММкГЭС представлена на рисунке.

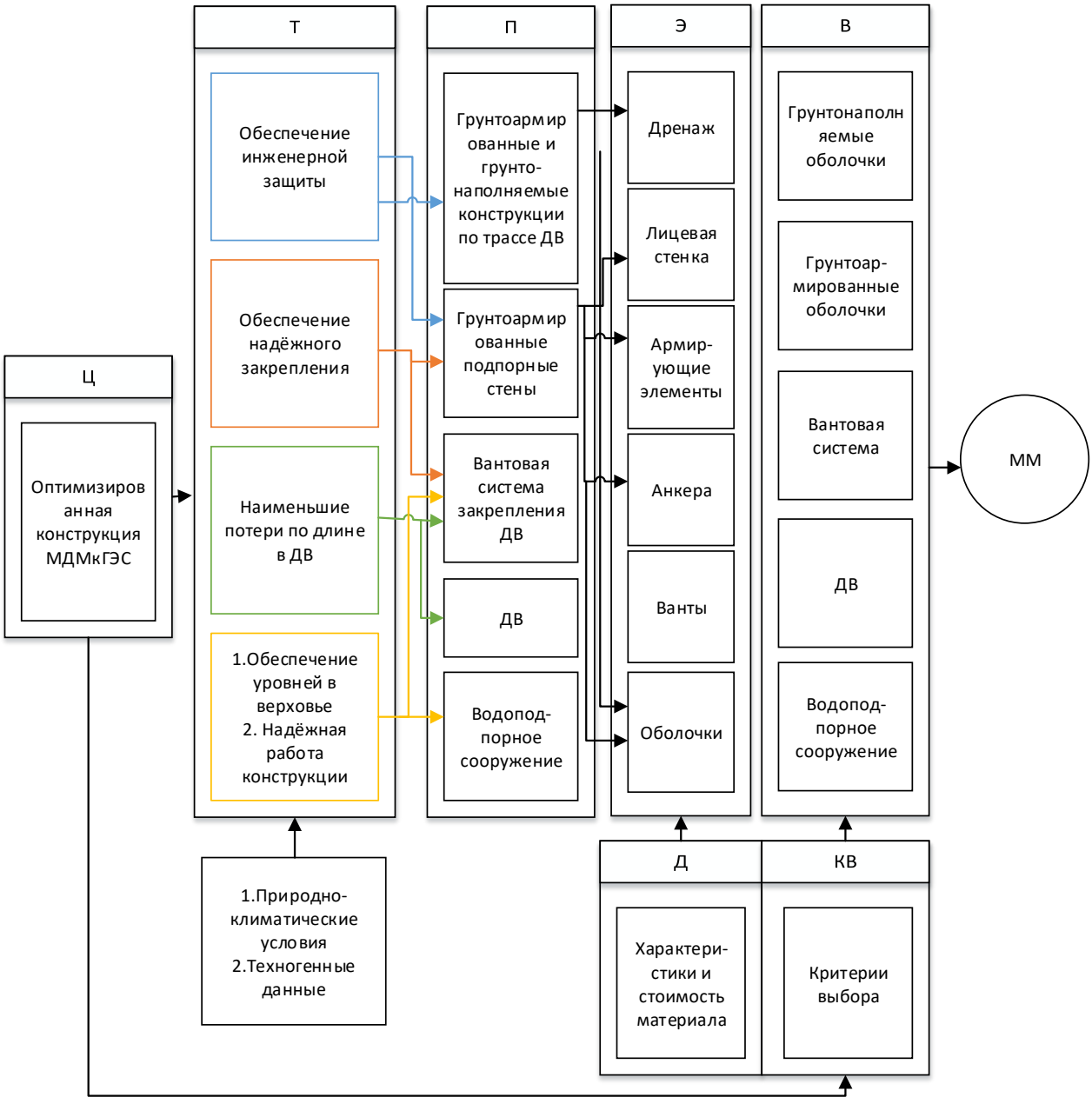


Рисунок. **Обобщенная структура оптимизационной ММ ММкГЭС**

Основанная на системном подходе структура оптимизационной ММ МДМкГЭС (рис.) предполагает, что создание ММ имеет общую цель – Ц, которая формирует ряд исходных требований – Т и критериев выбора – КВ. На основании исходных требований создают отдельные подсистемы – П, из которых затем формируют группу элементов – Э. Конечная ММ представляет собой набор взаимосвязанных элементов, полученных на основании выбора – В по заранее сформированным критериям. Исходные данные – Д определяют на стадии формирования исходных требований и дополнительно модели, таким образом, создание модели осуществляется от общего к частному.

Для создания многокритериальной оптимизации (МКО) ММ ММкГЭС осуществляем выбор метода МКО.

При выборе метода многокритериальной оптимизации параметров МДМкГЭС был проведен анализ существующих методов, которые можно представить в зависимости от использования дополнительной информации о предпочтениях лица, принимающего решения (ЛПР): зондирования пространства параметров; не учитывающие предпочтения ЛПР; априорные методы; апостериорные методы; интерактивные (адаптивные) методы [3].

Принято решение использовать априорные методы, такие как сканирования с переменным шагом и случайных направлений. Так как ЛПР при известном диапазоне параметров не всегда может предварительно определить свои предпочтения по техническому решению ММкГЭС в дальнейшем планируется дистанционное использование интеллектуальной экспертной системы. Оптимизация данными методами наименее требовательна к ресурсам ПК. Используем в качестве основы модификацию метода скалярной свёртки, называемую методом взвешенных сумм. Суть метода заключается в том, что многокритериальная задача оптимизации сводится к однокритериальной с помощью замены векторного критерия оптимальности, состоящего из нескольких частных критериев, на один обобщённый критерий, называемый целевой функцией. В этом случае если есть несколько частных целевых функций, представленных в виде:

$$\mathrm{CF}_1 \to \min;\ \mathrm{CF}_2 \to \min \ldots\ \mathrm{CF}_n \to \min, \qquad (1)$$

то они сводятся к нахождению минимума обобщённой скалярной целевой функции в общем виде:

$$\mathrm{CF}_{\text{общ}} = \alpha_1 \frac{\mathrm{CF}_1}{\mathrm{CF}_{1.\text{эт}}} + \alpha_2 \frac{\mathrm{CF}_2}{\mathrm{CF}_{2.\text{эт}}} + \ldots + \alpha_n \frac{\mathrm{CF}_n}{\mathrm{CF}_{n.\text{эт}}} + \mathrm{Shtraf} \to \min. \qquad (2)$$

где $\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_n$ – весовые коэффициенты при частных целевых функциях; $\mathrm{CF}_{1.\text{эт}}$, $\mathrm{CF}_{2.\text{эт}}$ … $\mathrm{CF}_{n.\text{эт}}$ – значения частных целевых функций для эталонного состояния МДМкГЭС (эти значения нужны, чтобы использовать скалярную свёртку безразмерных величин); Shtraf – штрафная функция, которая принимает большие значения при невыполнении каких-либо

ограничений на параметры МДМкГЭС и равна нулю при выполнении всех ограничений:

$$\text{Shtraf} = \begin{cases} 10^{10} \text{ при невыполнении ограничений;} \\ 0 \text{ при выполнении ограничений.} \end{cases}$$

Например, в инвариантной форме ММ мембранно-вантовой плотины в виде системы уравнений целевых функций согласно уравнения (1) выражается в следующем виде:

$$\begin{cases} \mathrm{h}_{\text{вб}} / L = f\left(\varphi_{\text{гр}}; \varphi_{\text{кр}}\right) \to \min; \\ C_{\text{р}} = f\left(N; L; B; R\right) \to \min; \\ N_{\text{Т}} / B = f\left(R_{\text{а}}; f; N_{\text{Т}}\right) \to \min. \end{cases} \quad (3)$$

где $h_{\text{вб}}/L$ – относительная глубина в верхнем бьефе к периметру оболочки L; $N_{\text{Т}}/B$ – отношение погонного натяжения к перекрываемому пролету; $C_{\text{р}}$ – относительная стоимость мембранно-вантовой плотины по отношению к железобетонной плотине; $R_{\text{а}}$ – радиус вантовой системы мембранно-вантовой плотины; $\varphi_{\text{гр}}$, $\varphi_{\text{кр}}$ – углы крепления гребня и основания незамкнутой оболочки мембранно-вантовой плотины.

Для грунтоармированной плотины получена следующая инвариантная ММ:

$$\text{ММ: } \begin{cases} 1 - \left[H_{\text{гр}} / \left(\sum l_{\text{ар}} + L_{\text{ст}} \right) \right] = f\left(h_{\text{в.б}}; B; C_{\text{уд}}\right) \to \min; \\ C_{\text{р}} = f\left(N; \sum l_{\text{ар}} + L_{\text{ст}}\right) \to \min; \\ N / N_{\text{ст}} = f\left(l_{\text{зд}}; H_{\text{гр}}\right) \to \min, \end{cases} \quad (4)$$

где $H_{\text{гр}}$ – высота грунтоармированной насыпи водоподпорного сооружения; $l_{\text{ар}}$ – длина армоленты; $L_{\text{ст}}$ – длина лицевой стенки; $l_{\text{зд}}$ – длина заделки армоленты в первом приближении.

В соответствии с инвариантными формами (3, 4), составляем последовательность расчёта оптимизационной модели водоподпорной оболочки мембранно-вантовой плотины и её оптимальных параметров.

ВЫВОДЫ

Обоснована необходимость применения многокритериальной оптимизации ММкГЭС в процессе принятия решения и создана обобщённая структура оптимизационной ММ.

На основе критического анализа методов многокритериальной выбраны априорные методы сканирования с переменным шагом и случайных направлений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кашарин Д.В. Защитные инженерные сооружения из композитных материалов в водохозяйственном строительстве. Южный (NPI). 2012. С. 51–119.
2. Kasharin D.V. Intelligent decision support systems in the design of mobile micro hydropower plants and their engineering protection / Advances in Intelligent Systems and Computing. № 451, P. 239–248.
3. Бритков В.Б., Геловани В.А. Системный анализ большого числа моделей управления безопасностью сложных систем/ В сборнике: Проблемы управления безопасностью сложных систем труды XIX Международной конференции, под редакцией Н.И. Архиповой, В.В. Кульбы. 2011. С. 44–47.

УДК 552.578.2+159.922.24+551.311.21

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В КОРИДОРЕ НЕФТЕТРУБОПРОВОДА БАКУ-ТБИЛИСИ-СУПСА И МЕТОДОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ НОВЫХ ПРОТИВОЭРОЗИОННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

Г.В. Гавардашвили
Грузинский технический университет, г. Тбилиси, Грузия

На основании натурных исследований проведенных в 2000 – 2014 г. на трассе нефтетрубопровода Баку-Тбилиси-Супса были изучены эрозионные процессы горных склонов. На основе вышеизложенного предложены новые противоэрозионные сооружения, которые дадут возможность довести до минимума экологические нарушения горных ландшафтов.

Трасса трубопропровода Баку-Тбилиси-Супса, входит на территорию Грузии в Гардабанском регионе на высоте 250 м над уровнем моря (H_0). Трасса проходит через Картлийский, Внутре-Картлийский, Лихийский и Месхетский хребты, высота которых изменяется от 250 до 1500 м (над H_0), нефть попадает в терминал Супса в акватории Черного моря на высоте 3 м. (над H_0).

С целью изучения эрозионных процессов в коридоре нефтепровода Баку-Тбилиси-Супса в пределах Грузии в 2002 – 2014 гг. были проведены научные полевые исследования территорий, которые охватывали 273 км

длины нефтепровода. Нефтетрубопровод имеет следующие характеристики: диаметр – 530 мм, толщина стальных труб 7,5…9,0 мм, пропускная способность – 115 000 баррелей в сутки (9762 м^3/с).

С целью изучения эрозионного процесса на трассе нефтетрубопровода Баку-Тбилиси-Супса в первую очередь обращено внимание на *растительный покров* в коридоре трубопровода шириной 20…30 м. Состояние растительного покрова по сравнению с ландшафтом примыкающих территорий было оценено как неудовлетворительное.

Экспедиционно-полевые исследования проводились на трассе трубопровода где угол откоса горного склона изменяется в пределах $\alpha = 5 \div 37°$, а в некоторых случаях достигает и больших значений.

Отношение глубины (Н) и ширины (В) промоин, возникающих на этих склонах при воздействии водного потока, Н/В = 0,14…1,95.

Полевые исследования на трассе нефтетрубопровода Баку-Тбилиси-Супса показали, что на конечных участках промоин в большинстве случаев, где увеличивается уклон склона, имеет место возникновение оврагов, которые повышают риск возникновения аварийных ситуаций.

Была проведена оценка потери почвы (А) с помощью применения универсального уравнения эрозионных процессов (уравнение Вишмайера, Смита). Расчетное уравнение имеет следующий вид [1]:

$$A = R \times K \times L \times C \times P \text{ (т / га, год)} \qquad (1)$$

где R – эрозионный фактор атмосферных осадков, K – фактор эрозионности грунта, L – фактор длины откоса (м), C – влияние растительного покрова, P – защитный фактор. $P = 0{,}5$ в случае применения водоотводных валов, а в случае отсутствия каких-либо мер защиты – $P = 1{,}0$. При помощи использования вышеупомянутой методологии проведена оценка прогноза эрозии, где оценка класса эрозии проведена согласно шкалы английского профессора Р. Моргана.

Основы прогнозирования эрозионных процессов и разработки методологии для проектирования противоэрозионных мероприятий в бывшем Советском Союзе, в том числе, и в Грузии, заложил академик Ц.Е. Мирцхулава [3]. Особо следует отметить разработку «Государственной целевой программы защиты почв Грузии от эрозии» под его руководством и при его непосредственном участии в Институте водного хозяйства независимой Грузии, которая утверждена соответствующим постановлением Президента Грузии.

В Институте водного хозяйства разработан ряд противоэрозионных ресурсосберегающих новых конструкций по борьбе с водной эрозией почв, приоритет научно-технической новизны которых подтвержден грузинскими и зарубежными патентными свидетельствами.

Противоэрозионные валы, которые состоят из мешков с землей, расположены на горных склонах различными конфигурациями, что обеспечивает гашение кинетической энергии поверхностных потоков

воды, возникающих в результате интенсивных дождей. Расстояние между земляными валами и обновление растительного покрова осуществляется по соответствующей методологии, рассмотренной ниже (рис. 1, *а, б, в*).

Сооружение по борьбе с эрозией почв на горных склонах, которое составлено секциями из укрепленных по всей ширине горного склона амортизированных автомобильных покрышек рядами (рис. 1 *г, д*). Использованные покрышки расположены боковыми поверхностями вплотную к друг другу, уложены в грунтовую канаву и плотно связаны между собой металлическим канатом, пропущенному в предварительно сделанные в покрышках отверстия и привязанному к П-образному металлическому элементу прикрепленному к одному концу секции и концы жестко закреплены на П-образном элементе, установленном в другом конце секции, гайкой и болтом; при этом в нижнем бьефе сооружения устроены водоотводящие каналы для отвода с сооружения водного потока [2].

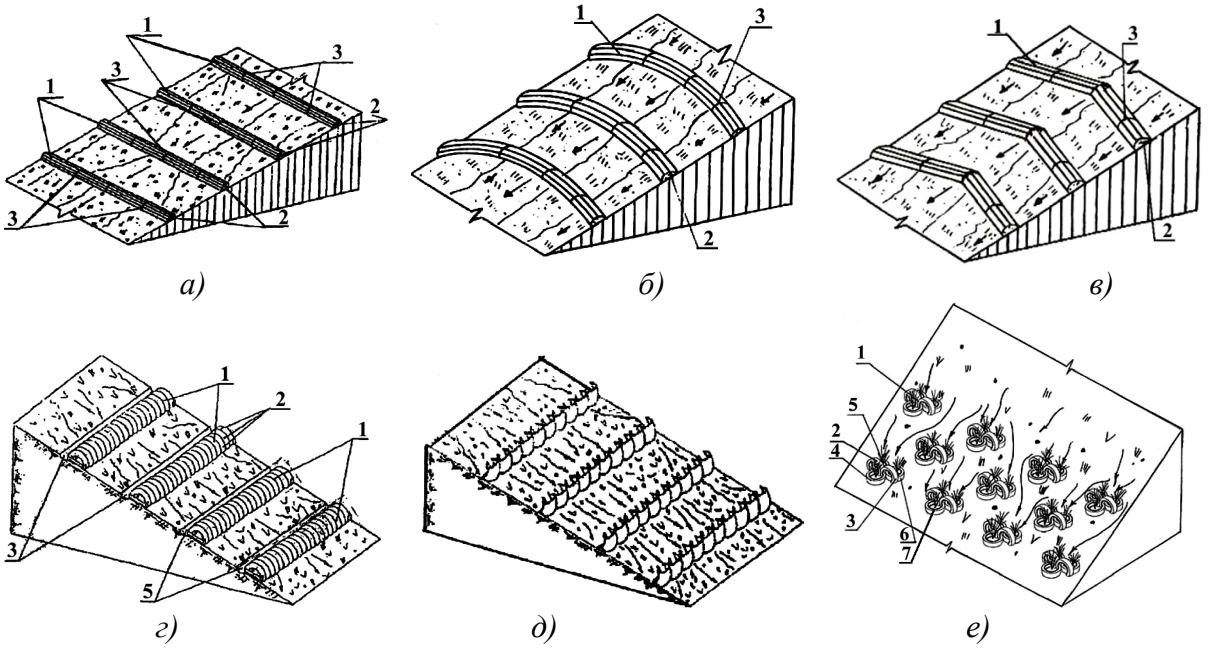


Рисунок 1. **Новые противоэрозионные конструкции**

Сооружение по борьбе с эрозией почв на горных склонах (рис. 1, *е*), состоящее из амортизированных автомобильных покрышек, расположенных в шахматном порядке составленных секциями [9], из которых две закреплены приблизительно 1/3 частью длины диаметра и вплотную друг к другу, рабочими поверхностями связаны так, чтобы их диагональ была перпендикулярна к поверхности склона, а третья помещается на поверхности почвы и введена в полость укрепленных в почве покрышек, а остальные покрышки – на поверхности почвы вплотную друг к другу боковыми поверхностями так, что их рабочие поверхности помещены в почву во внутреннюю часть вмонтированных

покрышек. Для усиления устойчивости расположенных на поверхности горного склона в покрышках секций посажены растения.

С учетом топографических, геологических, почвенных, климатических, гидрологических и гидравлических параметров потока поверхностных вод, формирующихся на горном склоне, применяя методологию акад. Ц.Е. Мирцхулава, в Институте водного хозяйства было установлено то критическое взаимоудаление (расстояние) между противоэрозионными валами, которое обеспечивает защиту почвы от водной эрозии [3]:

$$X_0 = \frac{V_{\Delta 0}^{5,4}\left(BH_0\right)^{2,7} n^{4,4}\sqrt{\alpha^2+\beta^2}}{2{,}25\ln^2\left(1-R\right)\cdot d\cdot t\cdot g^{0,8}\theta q} \text{ (м)} \qquad (1)$$

где $V_{\Delta 0}$ – предельная (неразмывающая) донная скорость почвы (м/с); B – ширина склона, которая рассчитывается по следующей формуле:

$$B = \frac{156250}{w\cdot d\cdot t}, \text{(м)} \qquad (2)$$

где w – среднее значение частоты пульсации потока; d – размер оторвавшейся частицы почвы (d = 0,0004 м); t – продолжительность данной интенсивности дождя, с; H_0 – допустимая высота размыва дна потока, м; n – коэффициент шероховатости склона; α, β – коэффициенты, характеризующие неровность поверхности склона (для вспаханной почвы α = 13,4; β = 17,6); R –надежность склона с точки зрения эрозии; θ – угол наклона склона (градус); q – сток склона (м/с).

Используя значения неразмывающей донной скорости, рекомендованной акад. Ц.Е. Мирцхулава – для супесей – 0,11 м/с, суглинков – 0,115 м/с, глин – 0,12 м/с, мы получаем рассчитанные по зависимости оптимальные значения расстояния между противоэрозионными валами, которые приведены в таблице.

Таблица. **Значения расстояний между противоэрозионными валами**

Уклон склона (градус)	Супесь		Суглинок		Глина	
	$V_{\Delta 0} = 0{,}11$ м/с		$V_{\Delta 0} = 0{,}115$ м/с		$V_{\Delta 0} = 0{,}12$ м/с	
	R = 0,95	R = 0,99	R = 0,95	R = 0,99	R = 0,95	R = 0,99
5	39,1	16,6	49,7	21,1	62,6	26,6
10	22,5	9,5	28,6	12,1	35,9	15,3
15	16,2	6,9	20,6	8,8	26,0	11,0
20	12,9	5,5	16,4	7,0	20,6	8,8
30	9,3	4,0	11,9	5,0	14,9	6,3
40	7,4	3,1	9,4	4,0	11,9	5,0
50	6,2	2,6	7,9	3,3	9,9	4,2
60	5,4	2,3	6,8	2,9	8,6	3,6
70	4,7	2,0	6,0	2,6	7,6	3,2

Полученные данные были сопоставлены с данными известных в мире ученых Р. Моргана, Р. Маршала [1] и USLE для условий супесчаного склона без растительного покрова. В результате анализа было установлено, что методология акад. Ц.Е. Мирцхулава [3] более приемлема, так как кроме основных параметров, определяющих эрозию, в расчете учитывается вероятностный характер эрозионных процессов.

Что касается строительно-монтажной стоимости противоэрозионных сооружений, то по предварительным расчетам для устройства 1 погонного метра она не превышает 5 – 10 доллар США.

Предложенные методы расчета и конструкции новых противоэрозионных сооружений дадут возможность довести до минимума экологические нарушения горных ландшафтов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Morgan R.P.C. Topics in Application Geography. Soil Erosion. Longmont, London, 1979, 114 p.
2. Гавардашвили Г.В. Оценка эрозионных процессов горных ландшафтов в «коридоре» нефтегазопроводов //Инженерная экология, М., № 6, 2003, С. 51–57.
3. Мирцхулава Ц.Е. Противоэрозионные гидротехнические сооружения. Тбилиси, изд-во «Мецниереба», 2005. 270 с.

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

УДК 628.166

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ПРОЕКТНЫЕ РЕШЕНИЯ РЕКОНСТРУКЦИИ СООРУЖЕНИЙ ОЧИСТКИ ВОДЫ НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ Р. ДОН

(на примере ВОС х. Хапры Мясниковского района Ростовской области**)**

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

Сделано обоснование и разработаны технологические решения по реконструкции водоочистных сооружений х. Хапры с водозабором из нижнего течения р. Дон. Предложена и экспериментально подтверждена целесообразность и эффективность снижения жесткости донской воды до нормативов СанПиН 2.1.4.1074-01 методом едко-натрового умягчения.

В соответствии с требованиями ГОСТ 2761-84 «Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Гигиенические, технические требования и правила выбора» показатели качества р. Дон соответствуют второму классу, для которого ГОСТ 2761-84 (прилож. 1) рекомендует проводить очистку воды до требований ГОСТ 2874 «Вода питьевая» (в настоящее время СанПиН 2.1.4.1074-01) с применением коагулирования, отстаивания, фильтрования, обеззараживания; при наличии фитопланктона – микрофильтрования.

Следуя представленным данным многолетних наблюдений за качественным составом р. Дон (водозабор в районе х. Дугино, 1 подъем очистных сооружений г. Шахты и х. Хапры) за период с 2011 по 2015 гг. максимальное превышение норматива по общей жесткости составило 11,8 град. (в среднем, не более 7,5 – 8,5 град. в ноябре-марте и не превышающий норматив в апреле-октябре); максимум по общей минерализации за анализируемый период наблюдался трижды: 1098, 1002 и 1268 мг/л при средних значениях 750 – 800 мг/л. Превышение ПДК по концентрациям хлоридов (в среднем 250 – 300 мг/л, редко до 350 мг/л) обнаружено не было. Одним из наиболее трудноудаляемых ингредиентов, присутствующих в течение длительного теплого периода года в воде р. Дон, является фитопланктон. Содержание сине-зеленых и диатомовых водорослей в летние периоды года может достигать $100 \cdot 10^6$ кл/л воды. Наличие в воде в небольших количествах азота аммонийного (0,12 – ,4 мг/л) дает основание предполагать, что в случае предварительной обработки воды хлорсодержащими реагентами в районе водозабора в периоды ее интенсивного цветения, а, следовательно, присутствия в ней большого количества органических веществ, есть реальная опасность образования значительного количества летучих хлорорганических соединений, в частности, хлороформа.

Сравнение результатов химического и бактериологического анализов воды из р. Дон в районах водозаборов городов Ростов-на-Дону, Таганрог, Азов, Новочеркасск и с учетом информации служб эксплуатации Александровской ВОС г. Ростова-на-Дону свидетельствуют о том, что мутность воды в районе водозабора в рукаве р. Дон – Б. Каланча х. Дугино может достигать до 70 мг/л, цветность – 35 – 50 град., жесткость общая – до 12 град. жесткости, сухой остаток – 1100 – 1150 мг/л, окисляемость – до 7,5 – 8,0 мгO_2/л. Также фиксируется высокая бактериальная загрязненность по общим термотолерантным и колиформным бактериям (до 20000 бактерий в 100 мл пробы) и колифагам (80 – 150 БОЕ/100 мл).

По предложению Министерства ЖКХ Ростовской области коллективу специалистов ЮРГПУ(НПИ) им. М.И. Платова и ООО НПП «ЭКОФЕС» было поручено проработать обоснование и дать предложения по реконструкции ВОС х. Хапры производительностью 12,5 тыс. м^3/сут. с водозабором из р. Дон в районе х. Дугино с целью доведения качества воды до требований СанПиН 2.1.4.1074-01 по общей жесткости, а также дать технологические решения по повторному использованию промывных вод фильтров и утилизации образующихся при водоочистке осадков.

При корректировке действующей сегодня технологии очистки донской воды на ВОС х. Хапры Мясниковского района следует придерживаться следующих основных положений:

1. Реконструируемая технология должна максимально использовать существующие сооружения с повышением эффективности их работы за счет некоторого изменения их конструктивных особенностей и устройства в них дополнительных элементов (блоков), повышающих надежность и качество очистки воды по всей технологии в целом.

2. В результате модернизации существующей технологии, реконструируемые водоочистные сооружения должны гарантированно обеспечивать качество воды требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01, прежде всего по таким показателям как: мутность, цветность, общая жесткость, суммарное солесодержание, хлорорганические соединения, микробиологические и паразитологические показатели.

3. Общая технологическая схема очистки воды должна полностью исключать образование каких-либо жидких отходов водоочистки, подлежащих сбросу в производственную (или ливневую) канализацию, в естественные водоемы или на рельеф. Все образующиеся в процессе водоочистки промывные воды, сбросы и т.п. после соответствующей обработки должны быть возвращены обратно в технологическую схему, а осадки – обезвожены и подготовлены к захоронению или утилизации.

Существующая технология очистки воды представлена двумя вертикальными вихревыми смесителями, четырьмя осветлителями со слоем взвешенного осадка коридорного типа и четырьмя скорыми фильтрами с центральным каналом. Из реагентов на станции применяют катионный флокулянт ВПК-402 (полидиметилдиаллиламмоний хлорид или ПолиДАДМАХ), для обеззараживания воды – газообразный хлор. От использования на станции флокулянта ВПК-402 принято решение отказаться по следующим причинам: во-первых, реагент крайне токсичен, его ПДК в воде рыбохозяйственных водоемов составляет 0,00001 мг/л, что в сотни и тысячи раз превышает ПДК других катионактивных флокулянтов; во-вторых, срок хранения рабочих (дозируемых) растворов ВПК не более 1 суток; в-третьих, сложность анализа определения действительных концентраций ВПК-402 в воде (применяемые в ряде водоканалов экспресс-методики с красителем ксантогенового ряда – эозином сводятся к визуальной оценке степени окрашивания образующегося комплекса, что никак не гарантирует в отличие от хроматографического метода определения достоверности получаемых результатов); в-четвертых, дозирование реагента и приготовление рабочих растворов ВПК должно быть предельно точным и осуществляться не на станции, а в трубопровод сырой воды (как правило, во всасывающий патрубок НС-1 для максимально возможного перемешивания реагента с водой) на расстоянии не менее 3 – 4 км от очистных сооружений с тем, чтобы выдержать необходимое время контакта ВПК с водой не менее 30 – 40 мин, необходимых для полимеризации реагента. Наконец, несоблюдение условий тщательного перемешивания, времени

полимеризации и дозирования реагента со временем приводит к кольматации участков фильтрующей загрузки с образованием вакуума в зернистом слое и нарушением нормального гидравлического режима в трубопроводе, отводящем фильтрованную воду.

Ввиду крайней токсичности жидкого хлора (2 класс опасности) и связанных с этим производственной безопасностью эксплуатации хлораторных, повышению экологической и антитеррористической устойчивости объекта необходима замена хлор-газа на менее опасный реагент – электролизный гипохлорит натрия (4 класс опасности), получаемый на месте потребления из раствора поваренной соли с концентрацией активного хлора в получаемом продукте 7 – 8 г/дм^3.

Наиболее сложной и, прежде всего, экономически затратной задачей является снижение общей жесткости (и редко – общей минерализации) воды, что может быть достигнуто методами ионного обмена, мембранным разделением (нанофильтрация или обратный осмос), или методом осаждения.

Ионообменная технология (Na-катионирование), как дающая до 30 % вторичных загрязнений от общего количества умягчаемой воды (отработанные концентрированные регенерационные растворы, отмывочные и взрыхляющие воды) изначально не экологична. Вторичные загрязнения представляют собой хорошо растворимые хлоридно-кальциево-магниевые рассолы с концентрацией солей до 80 – 100 г/л, для захоронения которых нет надежных средств. Даже при умягчении (или обессоливании по схеме Н-ОН ионирование) 30 % подаваемой воды (с последующим смешением исходной и обессоленной вод) объем вторичных загрязнений для ВОС х. Хапры составит около 1,5 – 2,0 тыс. м^3 в сутки. В итоге, при умягчении (обессоливании) воды ионным обменом значительная часть себестоимости воды будет приходиться именно на обработку (утилизацию) отходов водоочистки на выпарных и кристаллизационных установках, что по стоимости будет значительно превосходить собственно само ионообменное умягчение.

Технология обратного осмоса должна включать в себя предварительную очистку воды от цветности и мутности, после чего часть от общего расхода осветленной и фильтрованной воды (около 25 % или ~ 3000 м^3/сут.) направляется на двухкаскадную установку обратного осмоса с последующим концентрированием отходящего от осмоса рассола на нанофильтрационном аппарате. Последнее позволит снизить объем отходящего концентрата до 5 – 8 % от общего расхода воды, поступающей на осмос (≈ 180 – 200 м^3/сут.). При этом общая жесткость такого концентрата, как показали предварительные расчеты, составит около 100 мг-экв/л при его суммарном солесодержании около 13 г/л. После осаждения, например, в вихревом реакторе солей жесткости методами известково-содового или содо-едконатрового умягчения освобожденный

от катионов кальция и магния хлоридно-натриевый рассол может быть использован в качестве сырья для производства электролизного гипохлорита натрия для обеззараживания воды. Однако, стоимость только обратноосмотических модулей за каждый 1 $м^3$/ч установленного оборудования составит 250 – 300 тыс. руб., или для 3 млн. $м^3$/сут. очищаемой воды цена осмоса составит 3000 · 300000 / 24 = 37,5 млн. руб. И это без стоимости здания, второй ступени нанофильтрации (около 10 млн. руб.), сооружений реагентного умягчения рассола, установок дозирования кислотной промывки мембран, дозирования растворов ингибитора (антискаланта) и биоцида, коагулянта и щелочных реагентов в схему осаждения и др. Следуя изложенному, для умягчения (опреснения) донской воды метод обратного осмоса может быть рекомендован только при условии соответствующего технико-экономического обоснования и с обязательной разработкой природоохранных мероприятий по деминерализации отходов водоочистки и последующему захоронению выделяемых при этом солей.

Преимущества метода осаждения (реагентного умягчения) при данном качественном составе воды в сравнении с рассмотренными методами заключаются в следующем:

1. Процесс реагентного умягчения, возможно, проводить в существующих сооружениях – осветлителях со слоем взвешенного осадка, эффективность и надежность работы которых может быть значительно повышена путем установки в них (в защитной зоне над слоем взвешенного осадка) тонкослойных модулей. Тонкослойные элементы или блоки могут быть выполнены из мягких или полужестких полимерных пленок, соединенных в сотовую конструкцию, или из жестких листовых материалов в виде отдельных полок. Тонкослойный осветлитель работает следующим образом: исходная вода, обработанная реагентами, поступает в зону предварительного хлопьеобразования (взвешенного осадка) и далее через распределительную зону и зону сползающего осадка поступает в тонкослойные элементы. Осветленная вода, пройдя тонкослойные элементы, поступает в сборные устройства и отводится из осветлителя. Осадок из зоны его накопления через осадкоприемные окна поступает в средний коридор-накопитель осадка, откуда он периодически удаляется через перфорированные трубы, уложенные на дне, в сооружения механического обезвоживания осадка.

2. При реагентном умягчении воды в осветлителе происходит также ее обезжелезивание, осветление и обесцвечивание.

3. Удаление из воды ионов кальция, магния и карбоната осуществляется переводом этих ионов в нерастворимую фазу (карбонат кальция и гидроксид магния), наиболее удобную после соответствующего обезвоживания к утилизации или вывозу на ПТБО.

4. Метод относительно прост, не требует сложного и дорогостоящего оборудования, значительно менее энергоемкий, позволяет достичь нормативных показателей по общей жесткости и солесодержанию.

Для воды данного химического состава доведение ее качества до нормативов СанПиН 2.1.4.1074-01 методами осаждения возможно с применением извести, извести и соды, едкого натра (с известью или содой, либо без них). При известковом методе умягчения воды удаляется только карбонатная жесткость, т.е. 3,5 – 4,0 мг-экв/л. Однако, из-за неполноты выпадения солей и без дополнительного подогрева воды остаточная жесткость будет превышать теоретическое значение на 0,5 – 1,0 мг-экв/л и, возможно, не снизится до нормативных значений. Известково-содовый метод пригоден для умягчения воды любого ионного состава, однако дозы реагентов при этом резко возрастают (на величину некарбонатной жесткости). В частности, доза соды (и извести) при некарбонатной жесткости воды около 5,5 – 6,0 мг-экв/л будет равной не менее $Ж_н \cdot 53$ = 318 мг/л.

В отдельных случаях при соответствующем соотношении в воде CO_2, HCO_3^- и Ca^{2+} вместо извести может быть применен едкий натр. Едко-натровая обработка, в отличие от известкования, не пылит, не требует громоздкой аппаратуры для гашения извести и подготовки ее к дозированию. Умягчение едким натром возможно, если качество исходной воды отвечает условию $2HCO_3^- + CO_2 > Ca^{2+}$, что и отвечает карбонатно-кальциевому составу донской воды. Доза едкого натра при этом, мг-экв/л, будет равной:

$$Д_{NaOH} = CO_2 + HCO_3^- + Mg^{2+} + Д_к + И_{NaOH},$$

где $Д_к$ – доза коагулянта, мг-экв/л; $И_{NaOH}$ – избыток едкого натра, ≈ 0,5 мг-экв/л.

Для окончательного заключения о возможности едко-натрового умягчения донской воды в лаборатории ООО НПП «ЭКОФЕС» в конце марта – начале апреля 2016 г. был поставлен эксперимент по едко-натровой обработке водопроводной воды г. Новочеркасска, которая на момент исследований имела общую жесткость в пределах 8 – 10 мг-экв/л при температуре воды t = 6,5 – 8,5 °С. Умягчение проводили 1,0 н раствором едкого натра в цилиндрах объемом 500 мл с добавлением коагулянта – оксихлорида алюминия и флокулянта Praestol 650TR. После 30-минутного осаждения взвеси воду отфильтровывали через бумажный фильтр и в фильтрате определяли качественный состав воды по изучаемым показателям. Результаты исследований представлены в таблице.

Как следует из таблицы едко-натровым умягчением возможно добиться глубокого умягчения донской воды, при этом для улучшения процесса осаждения в качестве коагулянта может быть использован и оксихлорид алюминия (обычно применяют закисное сернокислое железо),

что упрощает общую технологическую схему реагентной обработки в целом. В целях экономии реагентов подвергать едко-натровому умягчению целесообразно 50 % обрабатываемой воды на двух из четырех работающих коридорных осветлителях, чего будет более чем достаточно для доведения общего потока подаваемой в сеть воды до нормативных показателей по общей жесткости.

Таблица. **Результаты исследований едко-натрового умягчения водопроводной воды г. Новочеркасска в марте-апреле 2016 г.**

Дата	Наименование проб	Дозы реагентов, мг/л			pH	Концентрации, мг-экв/л					
		NaOH	$Al_2(OH)_5Cl$	Praestol		$Ж_o$	Ca^{2+}	Mg^{2+}	HCO_3^-	CO_3^{2-}	OH^-
28.03. 16 г.	Исходная вода	0	0	0	7,96	10,1	6,0	4,1	4,5	0	0
	После умягчения	364	0	0	10,80	1,6	0,6	1,0	0	4,0	1,6
		364	30,0	0	10,51	2,2	1,4	0,8	0	3,2	0,4
		364	30,0	5,0	10,40	1,0	0,6	0,4	0	3,9	0
29.03. 16 г.	После умягчения	364	30,0	5,0	10,55	1,0	0,36	0,64	0	3,3	0
		364	30,0	5,0	10,45	0,7	0,58	0,12	0,4	3,3	0
31.03. 16 г.	Исходная вода	0	0	0	8,01	9,5	6,1	3,4	4,35	0	0
	После умягчения	296	30,0	2,0	10,20	1,3	0,94	0,36	0,4	3,1	0
07.04. 16 г.	Исходная вода	0	0	0	8,3	8,0	4,9	3,1	4,0	0	0
	После умягчения	368	30,0	2,0	10,75	0,65	0,5	0,15	0	4,4	0,2
		368	30,0	2,0	10,91	0,91	0,56	0,35	0	5,2	0,6

После осветления в слое взвешенного осадка вода из верхней части коридоров осветления отводится в общий боковой карман, из которого четырьмя отдельными трубопроводами направляется на скорые фильтры. Поскольку два из четырех осветлителей периодически (в зимнее время года) работают в режиме реагентного осаждения солей жесткости, то целесообразно общий сборный карман разделить перегородкой на две части, в одной из которых проводить подкисление воды до нейтральных значений pH перед ее подачей на скорые фильтры. Поскольку высотная схема движения воды по основным сооружениям осветлители-скорые фильтры выполнена неверно (перепад отметок по зеркалу воды между ними должен быть в пределах 0,3 – 0,5 м вместо существующих по факту

1,2 – 1,5 м), то для исключения аварийных переливов воды из фильтров в помещение фильтровального зала необходимо нарастить высоту фильтровальных сооружений на указанные 1,2 – 1,5 м и на трубопроводах отвода фильтрата установить регуляторы скорости фильтрования. Во всех случаях высота слоя воды над фильтрующей загрузкой должна быть не менее 2,0 м.

Сезонное развитие микроводорослей в донском водоисточнике может существенно осложнить работу водоочистных сооружений х. Хапры. Жизнедеятельность микроводорослей приводит к появлению у воды различных неприятных и трудноудаляемых привкусов и запахов, в борьбе с которыми требуется применение современных дорогостоящих технологий – порошкового углевания и озоносорбции. Вместе с этим затрудняется стадия осветления: необходимы повышенные дозы реагентов, более частый сброс водопроводного осадка и уменьшение длительности фильтроцикла, что приводит к дополнительным затратам.

Перспективным методом удаления микроводорослей является механическая ситовая фильтрация, которая устанавливается, как правило, в самом начале технологического процесса и предназначена для удаления крупных взвешенных частиц, фито- и зоопланктона. Современные микрофильтры характеризуются простотой конструкции, автоматической работой, высокой производительностью, компактными размерами и низким расходом промывной воды. Результаты исследований, проведенных инженерно-технологическим центром ОАО «Мосводоканал», подтвердили, что микрофильтрация на дисковых фильтрах DynaDisc полиэфирной сеткой 10 мкм с предварительной обработкой флокулянтом может быть перспективным и недорогим методом удаления фитопланктона из маломутных эвтрофированных вод. Микрофильтр DynaDisc представляет собой ряд дисков, закрепленных на роторе. Диски состоят из легкосъемных кассет с фильтровальной мембраной, погруженной на 60 % в воду. Исходная коагулированная вода поступает на фильтр во входное отверстие в оболочке и фильтруется изнутри наружу. Удаляемые взвешенные вещества отделяются и накапливаются с внутренней поверхности дисков. В ходе фильтрации уровень воды в роторе увеличивается до определенного уровня, по достижении которого ротор начинает вращаться и запускается промывка фильтровальной мембраны. В процессе промывки вода поступает с внешней стороны мембраны под давлением 7,5 бар из форсунок, которые расположены над водой вертикально между дисками, и смывает загрязнения. Смытые загрязнения стекают вниз и попадают в желоб, расположенный внутри полого вала. Далее сток самотеком выводится из установки на сооружение повторного использования промывной воды, откуда он после очистки используется повторно для промывки фильтрующих мембран. Добавление флокулянта дозой 0,15 – 0,3 мг/л увеличивает эффективность удаления

диатомовых, зеленых и сине-зеленых микроводорослей до 85 – 90 %. При этом расход промывной воды сравнительно невелик (до 1,5 %) и нет проблемы с остаточным алюминием при применении только одного флокулянта (рекомендуется Praestol 650 TR).

Для исключения образования в воде хлорорганических соединений, а также появления хлорфенольных запахов необходимо в технологическую схему водоочистки включить преаммонизацию воды путем дозирования сульфата аммония перед вводом гипохлорита натрия на первичное хлорирование.

Для улучшения процесса хлопьеобразования и формирования в осветителях устойчивой зоны слоя взвешенного осадка перед осветителями в воду дозируется коагулянт – оксихлорид алюминия (торговая марка «АКВА-АУРАТ™30») дозой 20 – 25 мг/л по Al_2O_3 (доза корректируется при пуско-наладочных работах) и катионный флокулянт Praestol 650 TR дозой 0,5 – 1,0 мг/л по активному продукту.

Все реагентные хозяйства, в том числе аммонизаторное, коагулянтное, флокулянтное, едко-натровое, кислотное размещаются в помещении водоочистной станции в виде компактных растворно-расходных емкостей с устройствами перемешивания и дозирования реагентов. Электролизная установка по получению низкоконцентрированного гипохлорита натрия размещается в отдельно стоящем новом здании.

Вода после промывки скорых фильтров отводится в два существующих резервуара-усреднителя, в которых необходимо организовать перемешивание объема воды (гидравлическое или путем подачи воздуха через распределительную систему, уложенную на дне усреднителя с интенсивностью 5 – 8 л/с·м^2). Из усреднителей промывная вода постоянным расходом направляется в голову сооружений (в существующие вертикальные вихревые смесители) и далее – в осветлители со слоем взвешенного осадка.

По мере заполнения осадкоуплотнителя (средний коридор осветлителя) скоагулированной взвесью или солями жесткости ($CaCO_3$ и $Mg(OH)_2$) осадок самотеком перепускается в приемные емкости осадка с последующей его подачей на шнековый сгуститель, где он обезвоживается до влажности 75 – 80 % и подлежит вывозу на ТБО. Перед подачей на сгуститель в осадок дозируется флокулянт дозой 8 – 10 мг/л. Отделяемая на сгустителе надосадочная жидкость направляется обратно в резервуары-усреднители промывных вод фильтров.

Общая технологическая схема очистки воды, обработки осадка и повторного использования промывных вод представлена на рисунке.

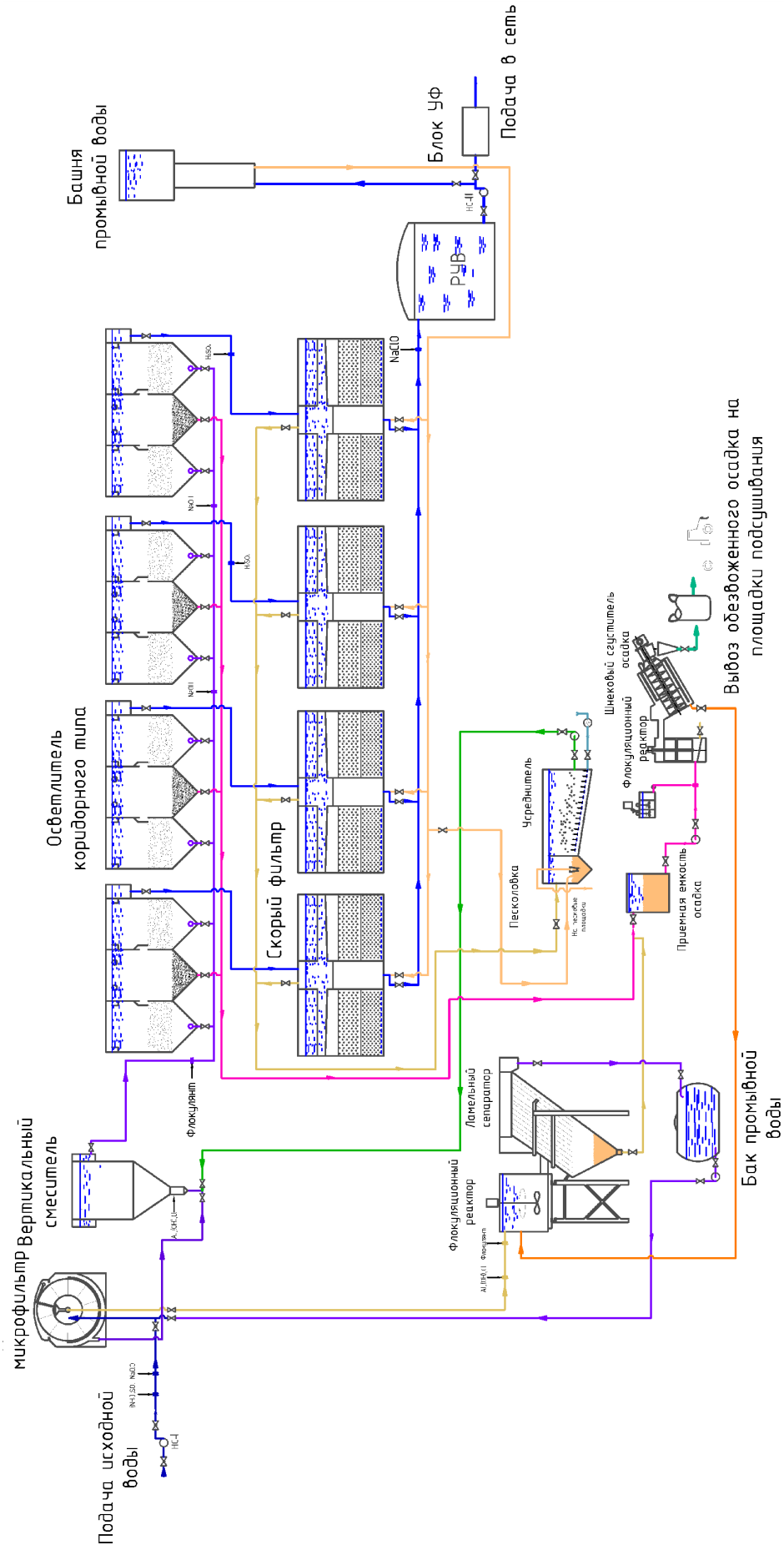


Рисунок. **Технологическая схема реконструкции водопроводных очистных сооружений п. Хапры Мясниковского района Ростовской области**

ВЫВОДЫ

1. Результаты исследований подтвердили возможность и эффективность едко-натрового умягчения донской воды до величины остаточной жесткости 0,7 – 1,0 мг·экв/л.
2. В процессе осаждения солей жесткости в качестве коагулянта может быть использован оксихлорид алюминия, при этом концентрация остаточного алюминия в умягченной воде не превышает норматива СанПиН 2.1.4.1074-01.

УДК 628.166

ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОАГУЛЯНТА ОКСИХЛОРИДА АЛЮМИНИЯ В ТЕХНОЛОГИИ ЕДКО-НАТРОВОГО УМЯГЧЕНИЯ ДОНСКОЙ ВОДЫ ДЛЯ ХОЗЯЙСТВЕННО-ПИТЬЕВЫХ ЦЕЛЕЙ

Л.Н. Фесенко, Р.В. Федотов, Н.И. Чепкасова
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия
С.И. Игнатенко
ООО НПП «ЭКОФЕС», г. Новочеркасск, Россия
С.В. Гетманцев
ОАО «АУРАТ», г. Москва, Россия

Рассмотрена возможность применения в качестве коагулянта оксихлорида алюминия торговой марки «АКВА-АУРАТ™30» в технологии едко-натрового умягчения донской воды для целей хоз-питьевого водоснабжения. Представлены результаты технологических испытаний опытно-производственной пилотной установки реагентного умягчения, определены оптимальные дозы реагентов и химический состав воды после умягчения.

На водопроводных очистных сооружениях (ВОС) Ростовской области с забором воды из Нижнего Дона качество получаемой на ВОС питьевой воды по такому показателю как общая жесткость в зимне-весенний период года превышает требования СанПиН 2.1.4.1074-01, установленные не более 7,0°Ж (7 мг-экв/л). Так, в водопроводной воде г. Новочеркасска общая жесткость в 2016 г. составляла: в январе 12 – 13 град.; феврале-марте 10 – 12 град.; апреле-мае 7,0 – 8,5 град. Аналогичная ситуация на водопроводах городов Ростов-на-Дону, Азов, Таганрог, Шахты, станиц Багаевская, Бессергеневская, Мелеховская и др.

Для устранения превышений ПДК по жесткости возможно применение нескольких технологий водоподготовки. Существующие методы опреснения и обессоливания воды (соответственно и снижение концентраций Ca^{2+} и Mg^{2+}) подразделяют на две основные группы: с изменением и без изменения агрегатного состояния воды. К первой группе

относят: дистилляцию, нагрев воды до сверхкритичной температуры (350 °С), замораживание, газогидратный метод; ко второй – ионный обмен, электродиализ, обратный осмос, экстракцию и др. Опреснение воды дистилляцией (выпариванием) или замораживанием экономически оправдано по сравнению с другими методами при содержании солей в исходной воде более 10 г/л и поэтому нами не рассматривается. В качестве конкурирующих методов следует считать методы ионного обмена, электродиализа и обратного осмоса. Однако, при выборе метода необходимо иметь ввиду, что исходная вода слабоминерализована, суммарное солесодержание в ней составляет от 450 до 800 мг/л (по сезонам года), причем 30 – 40 % солей приходится на ионы кальция, магния и гидрокарбоната, которые могут быть легко удалены из воды методами осаждения, что и решает основную задачу, т.е. умягчение воды. Кроме того, утилизация отходов водоочистки после реагентного умягчения (легко обезвоживаемые осадки, содержащие карбонат кальция и гидроксид магния) значительно проще и намного дешевле, чем деминерализация хорошо растворимых рассолов с концентрацией солей от 4 – 5 г/л (обратный осмос) до 10 – 25 г/л (электродиализ) и 80 – 100 г/л (отработанные регенерационные растворы от ионитных установок), утилизация и захоронение которых крайне проблематично, а в ряде случаев попросту невозможны.

Химический состав воды Новочеркасского водопровода по основным показателям на март 2016 г. представлен на рисунке 1 в виде диаграммы гипотетического состава солей.

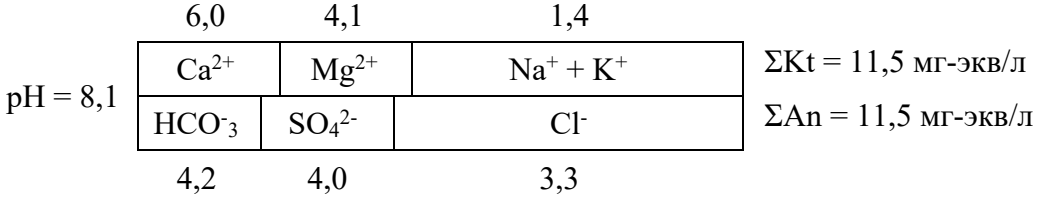


Рисунок 1. **Диаграмма гипотетического состава солей р. Дон**
(Новочеркасский водопровод, март 2016 г.)

Для воды данного химического состава доведение ее качества до требований СанПиН 2.1.4.1074-01 методами осаждения возможно с применением извести, извести и соды, едкого натра (с известью или содой, либо без них).

При известковом методе умягчения воды удаляется только карбонатная жесткость, т.е. в нашем случае теоретически остаточная жесткость после известкования будет равной не менее чем 5,9 мг-экв/л. Однако, из-за неполноты выпадения солей и без дополнительного подогрева воды остаточная жесткость будет превышать теоретическое значение на 0,6 – 1,0 мг-экв/л и, возможно, не снизится до требований

СанПиН (7,0 мг-экв/л), особенно в периоды повышенной жесткости (до 12 – 13 град.) Нижнего Дона в декабре-феврале.

Известково-содовый метод пригоден для умягчения воды с любым ионным составом. При введении в воду, умягченной известковым методом, дополнительной дозы извести в количестве, равном некарбонатной жесткости и такой же дозы соды, достигается удаление оставшейся некарбонатной жесткости. Однако, дозы реагентов при этом резко возрастут. Так, для воды состава, представленного на рисунке 1, доза 100 %-ной извести будет равной:

$$Д_и = 28(CO_2 + HCO^-_3 + Д_к + Mg^{2+} + 0,5),$$

или $$Д_и = 28(0 + 4,2 + 1,0 + 4,1 + 0,5) = 288,4 \text{ мг/л}$$

где $Д_к$ = 1,0 мг-экв/л ориентировочная доза коагулянта $FeSO_4$.

Доза соды по 100 %-ному продукту:

$$Д_с = 53(Ca^{2+} + Mg^{2+} - HCO^-_3 + Д_к + 1,0),$$

или $$Д_с = 53(6,0 + 4,1 - 4,2 + 1,0 + 1,0) = 418,7 \text{ мг/л},$$

где последние слагаемые – избытки извести и соды.

Таблица 1. **Результаты исследований едко-натрового умягчения водопроводной воды г. Новочеркасска с применением ОХА и $FeSO_4$**

Наименование проб	Дозы реагентов, мг/л/мл				pH	Концентрации, мг-экв/л					
	NaOH 1н	$FeSO_4$ 1%	ОХА 1н	Praestol 611/650		Ca^{2+}	Mg^{2+}	HCO_3^-	CO_3^{2-}	OH^-	Al^{3+}
Исходная вода	0	–	0	0	8,03	4,1	3,1	3,6	-	-	-
После умягчения	328/8,2	–	30/3	–	10,63	0,4	0,6	0	2,4	0,4	0,35
	328/8,2	–	30/3	2/2 (611)	10,75	0,4	0,1	0	2,6	0,4	0,17
Исходная вода	0	0	0	0	8,19	3,7	3,3	4,4	–	–	–
После умягчения без аэрации	340/8,5	20/2	–	2/2 (650)	11,17	0,6	0,6	0	5,0	0,6	–
После умягчения с аэрацией	340/8,5	20/2	–	2/2 (650)	11,2	0,7	0,6	0	4,4	1,5	–
После умягчения без аэрации	320/8,0	30/3	–	2/2 (650)	11,07	0,8	1,2	0	4,8	0,6	–
После умягчения с аэрацией	320/8,0	20/2	–	2/2 (650)	11,12	0,6	0,6	0	5,0	0,2	–

В отдельных случаях при соответствующем составе исходной воды (соотношении CO_2, HCO^-_3 и Ca^{2+}) вместо извести может быть применен едкий натр. Если $Ca^{2+} + 0,5 > 2HCO^-_3 + CO_2$, то необходимо, кроме едкого натра, добавлять к воде также соду. Если же вода характеризуется соотношением $Ca^{2+} < HCO^-_3$, то умягчение воды осуществляется дополнительным добавлением к едкому натру извести. Однако возможно и

умягчение воды одним только едким натром, если качество исходной воды отвечает условию $2HCO^-_3 + CO_2 > Ca^{2+}$, т.е. именно это условие и соблюдается для донской воды: $2 \cdot 4{,}2 = 8{,}4 > 6{,}0$ (мг-экв/л). Доза едкого натра при этом, мг-экв/л, будет равной:

$$Д_{NaOH} = CO_2 + HCO^-_3 + Mg^{2+} + Д_к + И_{NaOH}, \quad (1)$$

где $И_{NaOH} \approx 0{,}5$ мг-экв/л – избыток едкого натра.

В нашем случае: $Д_{NaOH} = 40\ (4{,}2 + 4{,}1 + 1{,}0 + 0{,}5) = 392$ мг/л, что значительно меньше, чем при содо-известковании. Таким образом, доведение воды до нормативов ПДК по жесткости возможно, теоретически, с применением только одного едкого натра.

Для окончательного заключения о возможности едко-натрового умягчения донской воды в конце марта-начале апреля 2016 г. был поставлен эксперимент по едко-натровому умягчению водопроводной воды г. Новочеркасска, которая на момент исследований имела состав, представленный на рисунке 1, и температуру t = 6,5 – 8,0 °С. Умягчение проводили 1,0 н раствором едкого натра в 500 мл цилиндре с добавлением коагулянта – оксихлорида алюминия дозой 30 мг/л по Al_2O_3 и флокулянта «PRAESTOl 650TR» дозой 2 мг/л. После осаждения взвеси воду отфильтровывали через бумажный фильтр и в фильтрате определяли концентрацию кальция, магния, гидрокарбоната, карбоната, гидроксильного иона. Дозу щелочи рассчитывали по формуле (1).

Таблица 2. **Влияние температуры исходной воды на глубину умягчения. Коагулянт – оксихлорид алюминия**

Наименование проб	°С	Дозы реагентов, мг/л/мл			pH	Концентрации, мг-экв/л					
		$FeSO_4$ 1%	ОХА 1н	Praestol 0,1% (650)		Ca^{2+}	Mg^{2+}	HCO_3^-	CO_3^{2-}	OH^-	Al^{3+}
Исходная вода	24,9	0	0	0	8,08	3,3	3,4	3,5	0	0	-
№ 1. После умягчения	4,0	336/8,4	30/3	2/2	10,86	1,0	0,4	0	5,6	0	0,43
№ 1. После умягчения и подкисления					7,84	0,7	0,3	3,2	0	0	0,34
№ 2. После умягчения	10,0	336/8,4	30/3	2/2	10,82	0,8	0,3	0	4,4	0,5	0,58
№ 2. После умягчения и подкисления					7,7	0,6	0,3	2,6	0	0	0,29
№ 3. После умягчения	12,5	336/8,4	30/3	2/2	10,88	0,8	0,2	0	4,0	1,2	0,68
№ 3. После умягчения и подкисления					7,65	0,39	0,01	2,8	0	0	0,38
№ 4. После умягчения	16,0	336/8,4	30/3	2/2	10,79	0,6	0,1	0	4,8	0	0,48
№ 4. После умягчения и подкисления					7,66	0,4	0,2	2,6	0	0	0,26

Результаты эксперимента показали, что при pH = 10,5 – 10,6 остаточные концентрации составили (мг-экв/л): Ca^{2+} = 0,5 – 0,55; Mg^{2+} = 0,15 – 0,35; HCO^{-}_3 = 0,0 – 0,4; CO^{2}_3 = 3,3 – 4,4; OH^- = 0,0 – 0,5, что убедительно подтвердило реальную возможность применения только одного едкого натра в схеме реагентного умягчения донской воды.

Как известно, для более быстрого укрупнения хлопьев солей жесткости применяют коагулянты $FeCl_3$, $FeSO_4$ или $Fe_2(SO_4)_3$. Сернокислый алюминий $Al_2(SO_4)_3$ (СА) в процессах умягчения обычно не применяют, так как считают, что образующиеся при гидролизе хлопья $Al(OH)_3$ обладают амфотерными свойствами и растворяются в щелочной среде с образованием ионов:

$$Al(OH)_3 + OH^- \rightarrow Al(OH)^-_4. \quad (2)$$

Таблица 3. **Влияние температуры исходной воды на глубину умягчения. Коагулянт – сернокислое закисное железо**

Наименование проб	t°C исходная	Дозы реагентов, мг/л/мл			pH	Концентрации, мг-экв/л				
		NaOH 1н	$FeSO_4$ 1%	Praestol 0,1% (650)		Ca^{2+}	Mg^{2+}	HCO_3^-	CO_3^{2-}	OH^-
Исходная вода	22,9	0	0	0	8,2	4,0	2,6	3,5	0	0
После умягчения	2,0	276/6,9	20/2	2/2	11,09	1,4	1,2	0	4,7	0,7
После умягчения	8,0	276/6,9	20/2	2/2	11,14	0,9	1,3	0	4,4	1,0
После умягчения	11,0	276/6,9	20/2	2/2	11,12	0,8	1,2	0	3,9	1,0
После умягчения	14,5	276/6,9	20/2	2/2	11,16	0,85	1,05	0	3,2	1,8

В литературе, однако, имеются указания, что в английской практике в процессах умягчения в качестве коагулянта широко применяется алюминат натрия $NaAlO_2$ [1]. По-видимому, при гидролизе алюмината натрия $NaAlO_2 + 2H_2O \rightarrow Al(OH)_3 + NaOH$ в воде, в щелочной среде образуются хлопья двойных гидроокисей, кристаллы которых состоят из чередующихся слоев $Al(OH)_3$ и $Mg(OH)_2$ [2]. На очистных сооружениях донских водопроводов в качестве коагулянта, как правило, применяют оксихлорид алюминия $Al_2(OH)_5Cl$ (ОХА), который весьма заманчиво было бы использовать и в схемах едко-натрового водоумягчения при условии соответствия остаточного алюминия ПДК в умягченной воде (не более 0,5 мг/л по СанПиН 2.1.4.1074-01). С другой стороны, известно, что содержание остаточного алюминия в очищенной воде при использовании ОХА снижается в несколько раз по сравнению с СА. Оптимальная область pH, в которой ОХА достаточно эффективен значительно шире, чем для СА, как в щелочной, так и в кислой среде [3]. Возможность использования

ОХА при более низких температурах, также положительно отличает его от $Al_2(SO_4)_3$, $FeSO_4$ или $FeCl_3$.

Для установления возможности применения ОХА в технологии едко-натровой обработки воды в июле 2016 г. были проведены исследования с применением в качестве коагулянта $Al_2(OH)_5Cl$ и $FeSO_4$, результаты которых представлены в таблице 1. Следуя данным таблицы 1, возможно сделать следующие выводы: при использовании ОХА остаточный алюминий не превышает ПДК, а применение катионного флокулянта повышает эффект умягчения; в сравнении с $FeSO_4$ более глубокое умягчение наблюдалось с применением ОХА. Результаты исследований влияния температуры исходной воды на глубину умягчения с коагулянтом ОХА представлены в таблице 2, с сернокислым железом в таблице 3, из которых следует, что ОХА более устойчив в диапазоне низких температур, чем $FeSO_4$, эффект умягчения с ОХА также выше, чем с сернокислым железом. Из таблицы 2 следует также, что подкисление умягченной воды до нейтральных значений pH = 7,7 –7,8 снижает остаточную концентрацию алюминия, что объясняется, по-видимому, обратимостью реакции (2)

$Al(OH)^-_4 + H^+ = Al(OH)_3\downarrow + H_2O$.



Рисунок 2. **Опытно-производственная пилотная установка реагентного умягчения воды**

Для подтверждения полученных результатов лабораторных экспериментов по едко-натровому умягчению донской воды были проведены технологические исследования на опытно-производственной пилотной установке реагентного умягчения (рис. 2), в состав которой входили: смеситель-аэратор для максимально полного смешения реагентов (щелочи, коагулянта, флокулянта) с водой; вихревой реактор типа «Гиразер», в средней части которого формировался и накапливался слой взвешенного осадка из солей жесткости; скорый фильтр с зернистой загрузкой из сорбционно-фильтрующего материала ОДМ-2Ф (опока дробленная модифицированная с диаметром гранул 0,8 – 1,5 мм). Технологическая схема установки представлена на рисунке 3.

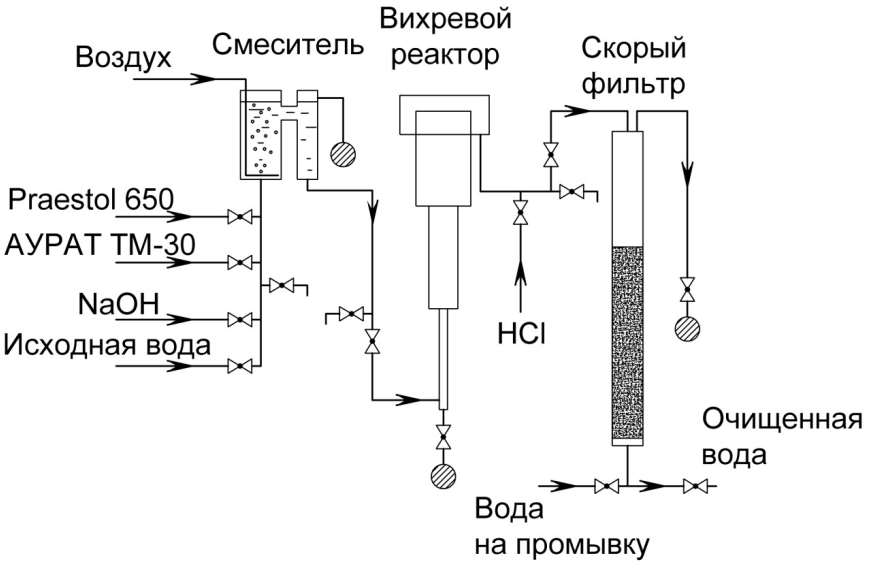


Рисунок 3. **Технологическая схема установки умягчения воды**

В трубопровод, подающий умягченную воду на фильтрование, дозировали соляную кислоту с доведением водородного показателя до нейтральных значений pH = 7,5 – 8,0. Вихревой реактор, или осадитель типа «Гиразер» [4] состоит из 3-х поставленных друг на друга цилиндров увеличивающегося диаметра (50, 110 и 150 мм), соединенных между собой усеченными конусами. Скорости восходящего снизу вверх потока воды принимаются такими, чтобы в нижней части не происходило осаждения взвеси (V > 2,0 – 2,5 мм/с), а в верхней – отсутствовал вынос осадка в осветленную воду (V < 0,2 – 0,3 мм/с). Скорость потока в средней части (V = 0,8 – 1,0 мм/с) обеспечивает гидродинамическое равновесие слоя взвешенного осадка, который по мере его накопления (концентрирования) периодически выводится из реактора. Установка также укомплектована тремя перистальтическими дозаторами ETATRON DS-ROME тип B-VTRATACQUE с расходом до 2 л/ч (дозирование щелочи, коагулянта и флокулянта) и одним мембранным дозатором марки ETATRON DS – ROME тип DLX с расходом до 5 л/ч для подачи кислоты. Производительность пилотной установки 30 л/ч или 0,5 л/мин. После каждого сооружения установки имеется пробоотборник. Для работы с установкой были приготовлены растворы: 0,95 % NaOH; 0,1 % $Al_2(OH)_5Cl$; 0,01 % PRAESTOL 650 TR; 0,15 % HCl. После недельной наладки и выводе установки в рабочий режим, умягченная и отфильтрованная вода характеризовалась следующими основными показателями: pH = 7,8 – 8,0; общая жесткость 0,35 – 0,55 мг-экв/л (в том числе кальциевая 0,4 – 0,05 мг-экв/л); остаточный алюминий Al^{3+} = 0,0 – 0,15 мг/л; щелочность HCO_3^- = 2,6 – 2,8 мг-экв/л; мутность М = 0,0 – 0,05 мг/л; цветность Ц = 5 – 6 град; перманганатная окисляемость ПО = 1,5 – 2,0 мг/л. В дальнейшем, при сезонном повышении жесткости донской воды по просьбе МП «Азовводоканал» опытно-производственная пилотная установка будет

испытана с установлением оптимального технологического режима на площадке водоочистных сооружений г. Азова на реальной сырой воде.

ВЫВОДЫ

1. Экспериментально подтверждена возможность и эффективность использования оксихлорида алюминия торговой марки «АКВА-АУРАТ™30» в сравнении с закисным сернокислым железом в схеме едко-натрового умягчения донской воды при ее подготовке для питьевых целей.
2. Применение ОХА в технологии реагентного умягчения не дает превышения ПДК по остаточному алюминию и более эффективно по глубине умягчения в сравнении с традиционным $FeSO_4$.
3. Технологические испытания опытно-производственной пилотной установки на воде Новочеркасского водопровода подтверждают реальную возможность и высокую эффективность едко-натрового умягчения донской воды с применением оксихлорида алюминия в качестве осадителя солей жесткости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гаммер П., Джексон Д., Серстон М. Очистка воды для промышленных предприятий. Пер. с англ. М., 1968.
2. Реми Г. Курс неорганической химии. М., 1963.
3. Драгинский В.Л., Алексеева Л.П., Гетманцев С.В. Коагуляция в технологии очистки природных вод: Науч. изд. М., 2005. 576 с.
4. Технические записки по проблемам воды: Пер. с англ. В 2-х т. Т. 1 / К. Барак, Ж. Бебен, Ж. Бернар и др. Под ред. Т.А. Карюхиной, И.Н. Чурбановой. М.: Стройиздат, 1983. С. 158–159.

УДК 628.16, 004.942, 007.51

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ ПОДДЕРЖКА ФОРМИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ОЧИСТКИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

Л.В. Боронина, О.М. Шикульская
Астраханский государственный архитектурно-строительный университет».
г. Астрахань, Россия

В работе обоснована необходимость информационно-аналитической поддержки специалистов при принятии технических и управленческих решений по оптимальному выбору технологических схем очистки питьевой воды, представлен выбор и обоснование среды разработки, предложены проектные решения по созданию базы данных и пользовательского интерфейса для решения поставленной задачи.

Экологическое состояние водных ресурсов большинства регионов Российской Федерации близко к критическому или критическое. Охрана окружающей среды, рациональное использование и воспроизводство природных ресурсов, сохранение их биологического разнообразия является одной из актуальнейших задач современного общества. Проблема чистой воды занимает одно из важнейших мест в решении данной задачи, поскольку поверхностные воды являются наиболее чувствительным звеном природной среды. Основными факторами, оказывающими негативное влияние на уровень рациональности использования водных ресурсов, являются применение устаревших водоемких производственных технологий, недостаточная степень оснащенности водозаборных сооружений системами приборного учета и пр. Проблемой, требующей особого внимания, является сохраняющийся высокий уровень негативного антропогенного воздействия на водные объекты.

В условиях, не снижающихся антропогенных нагрузок на водоисточники, недостаточного финансирования на ввод в эксплуатацию новых мощностей водопроводов, повышения требований к качеству питьевой воды особую актуальность приобретает проблема выбора методов обработки воды при проектировании новых и реконструкции существующих станций подготовки воды.

В качестве инструмента объективной оценки возможностей тех или иных технологических схем очистки воды сотрудниками Комплексного научно-исследовательского и конструкторско-технологического института водоснабжения, канализации, гидротехнических сооружений и инженерной гидрогеологии г. Москва (Журба Н.Г., Нечаев А.П., Ивлева Г.А. и др.) разработаны классификаторы технологической очистки природных вод в зависимости от предложенных классов водоисточников, факторов антропогенного воздействия на них и фазо-дисперсного состояния примесей в очищаемых водах [1].

Однако, использование бумажной технологии снижает оперативность и точность принятия инженерных и управленческих решений. Информационные технологии эффективно применяются в биотехносфере [2]. В связи с этим, обеспечение компьютерной поддержки процесса выбора технологических схем и технических устройств очистки природных вод является актуальной проблемой.

Целью работы является создание инструментария компьютерной поддержки формирования и оптимального выбора технологических схем очистки питьевой воды.

Проектирование базы данных классификации технологий очистки природных вод. В процессе проектирования базы данных выделяют 3 этапа: концептуальное проектирование (создается концептуальная модель БД), логическое проектирование (создается логическая модель БД

для выбранной СУБД) и физическое проектирование (создаются файлы БД на машинном носителе).

Концептуальная модель представляет объекты и их взаимосвязи без указания способов их физического хранения. Она является, по существу, моделью предметной области. На этапе концептуального проектирования базы данных информация классификатора технологической очистки природных вод была формализована и структурирована. База данных приведена к третьей нормальной форме, обеспечивающей отсутствие дублирования данных. Схема данных приведена на рисунке 1.

База данных разработана в среде Microsoft Access 2010. Выбор СУБД обусловлен рядом ее достоинств: очень простой графический интерфейс, хранение всех данные в одном файле, большое количество предлагаемых Мастеров, распространенность, постоянное обновление производителем, полная совместимость с операционной системой Windows, ориентированность на пользователя с разной профессиональной подготовкой, широкие возможности по импорту/экспорту данных в различные форматы. Кроме того, использование Microsoft Access для пользователя является мало затратным вследствие отсутствия необходимости ее приобретения, т.к. она входит в состав MS Office.

База данных спроектирована с учетом предъявляемых требований по быстродействию, простоте обновления, независимость данных, совместного использования данных многими пользователями, безопасности данных [3].

Разработка электронного классификатора технологий очистки природных вод. Для использования базы данных был разработан пользовательский интерфейс, отвечающий современным требованиям по внешнему виду и по доступу к внутренней функциональности системы.

Программа предназначена для компьютерной поддержки исследований и инженерного проектирования сооружений водоочистки поверхностных природных вод.

Использование системы начинается с формирования справочников: временного фактора присутствия примесей, групп методов, подклассов поверхностных водоисточников по характеру их антропогенного загрязнения, структурных систем, условных обозначений. После завершения формирования справочников с использованием соответствующих интерфейсов вводится информация о технологических методах и технологических схемах. Затем заполняются классификаторы: поверхностных водоисточников хозяйственно-питьевого водоснабжения, классификатор по Кульскому, классификатор поверхностных водоисточников по характеру их антропогенного загрязнения, классификатор технологий водоочистки по группе примесей (рис. 2), классификатор технологий водоочистки с учетом антропогенного воздействия.

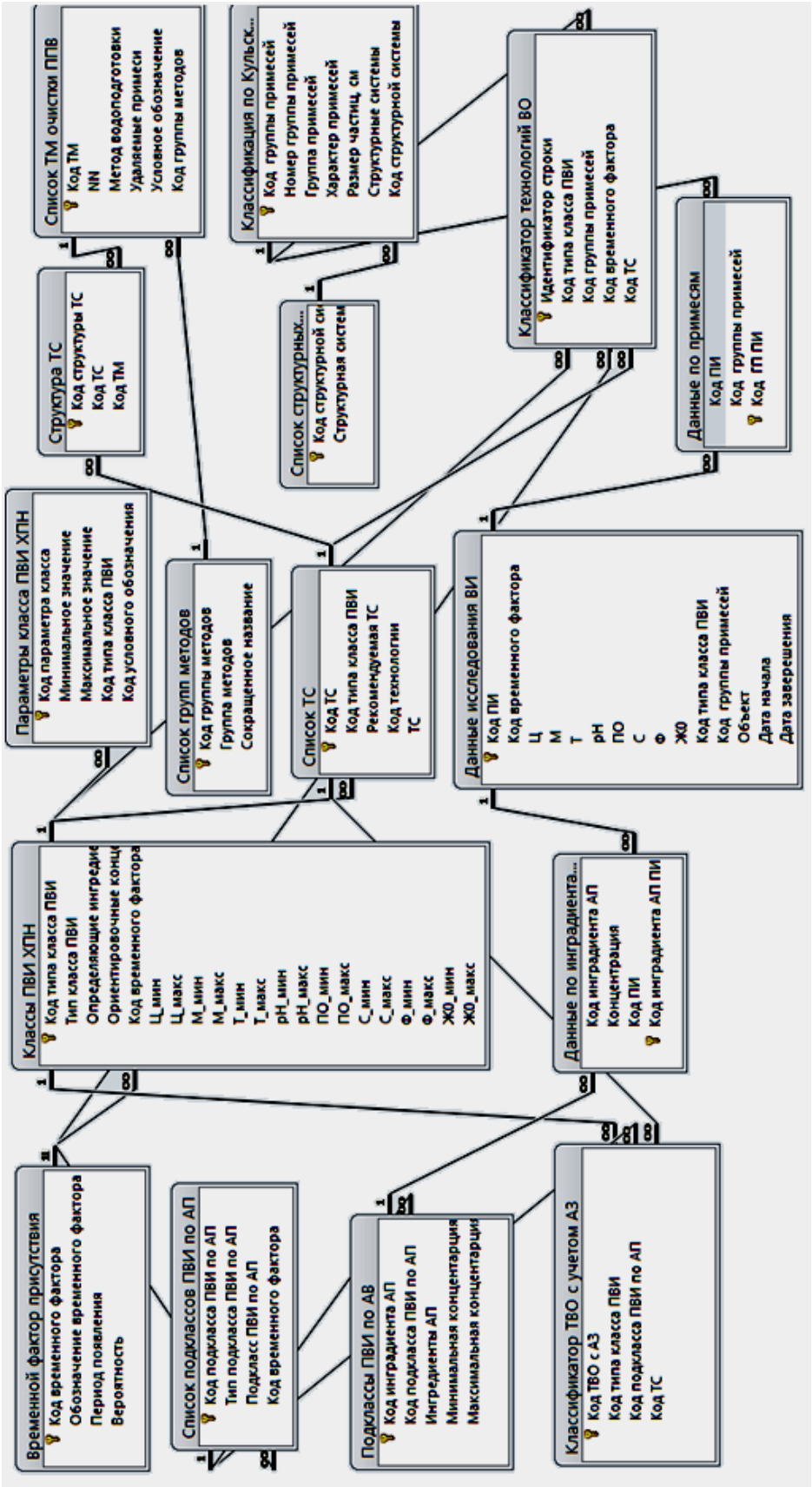


Рисунок 1. **Схема данных**

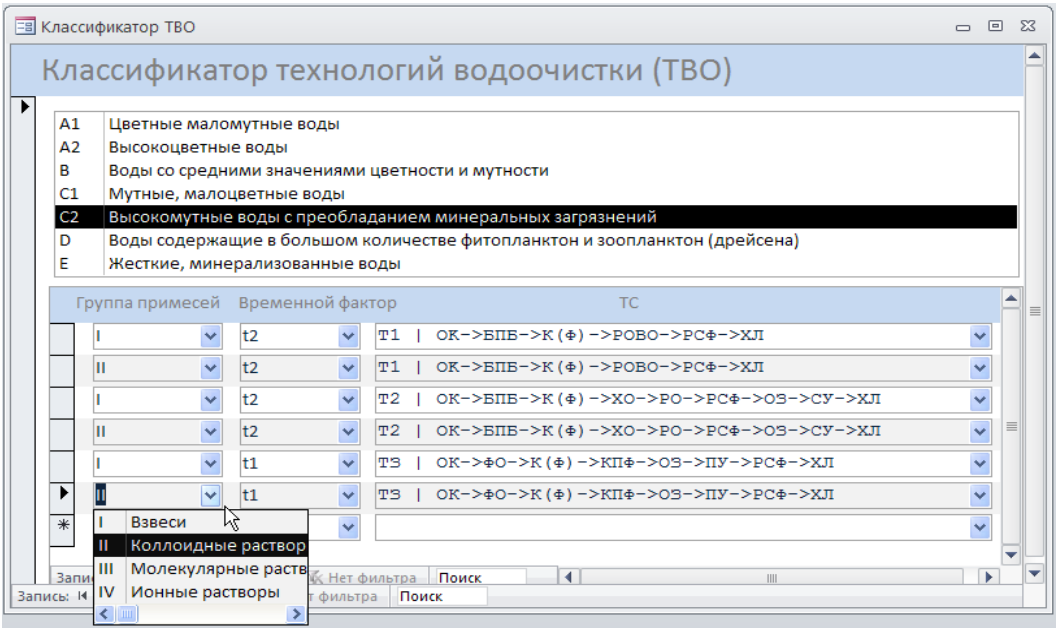


Рисунок 2. **Классификатор технологий водоочистки по группе примесей**

После завершения ввода полной информации система готова для использования по поддержке принятия решения по выбору оптимальной технологической схемы для каждого конкретного случая проектирования. Для этой цели также разработан специальный интерфейс (рис. 3).

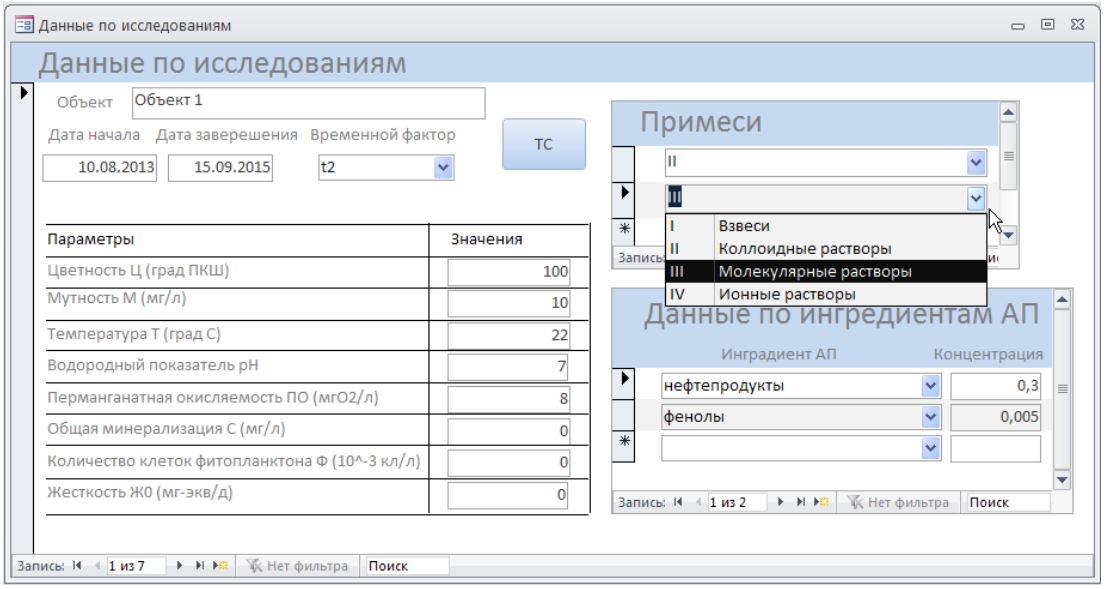


Рисунок 3. **Форма ввода информации по проекту**

Вводится вся необходимая информация о водоисточнике: временной фактор воздействия вредных примесей (до трех месяцев в году, в течение всего года), параметры воды (цветность, мутность, температура, водородный показатель pH, перманганатная окисляемость, общая минерализация, количество клеток фитопланктона, жесткость). Виды примесей и информация об ингредиентах антропогенного загрязнения

выбираются из соответствующих списков. Затем по запросу пользователя система представляет возможные варианты технологических схем очистки водоема. Окончательный выбор остается за проектировщиком.

Программа также может быть использована в учебном процессе подготовки инженеров строительного профиля.

ВЫВОДЫ

Разработанная система успешно прошла апробацию. Ее использование позволяет повысить эффективность проектирования новых и реконструкции существующих станций подготовки воды за счет сокращения времени на выбор технологических схем, свести к минимуму вероятность ошибки выбора. Она обеспечивает оптимальное соотношение цены и качества проекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Журба Н.Г., Нечаев А.П., Ивлева Г.А. и др. Классификаторы технологий очистки природных вод. М., 2000. 118 с.
2. Юречко М.А., Шикульская О.М. Разработка математического и информационно-программного обеспечения для исследования влияния тяжелых металлов на состояние водной экосистемы / Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2012. № 2. С. 85–93.
3. База данных «Классификация технологий очистки природных вод»: свид. о гос. рег. № 2016620654 от 23.05.2016 / Л.В. Боронина, О.М. Шикульская.

УДК 628. 162.

ПРИМЕНЕНИЕ ОЗОНА ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДЫ ИЗ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДОИСТОЧНИКОВ

Л.П. Алексеева
ОАО «Научно-исследовательский институт коммунального водоснабжения и очистки воды (НИИ КВОВ). г. Москва, Россия
С.Е. Алексеев
Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

Показана высокая эффективность очистки воды озоном по двум технологическим схемам: озонирование и сорбция на угольных фильтрах и коагулирование с последующим озонированием и сорбцией.

В настоящее время все большее применение находят станции-установки небольшой производительности для очистки воды поверхностных источников водоснабжения. Как правило, эти станции

включают различные блочно-модульные системы очистки воды, состав и количество которых зависит от качества воды водоисточника. Очистка поверхностных вод помимо обязательного обеззараживания воды, зачастую требует использование таких методов, как осветление воды коагулированием, озонирование, сорбция, ультра-фильтрование и другие. Основной и универсальный метод очистки поверхностных вод – коагулирование, однако его применение связано с использованием сложного громоздкого оборудования (реагентное хозяйство, смесители, контактные камеры хлопьеобразования, отстойники, фильтры или контактные осветлители), что не всегда приемлемо и обременительно на объектах малой производительности. Кроме того, из-за сложности процесса очистки (не только технологического, но из-за постоянного изменения качества исходной воды) станции трудно полностью автоматизировать, и требуется ежедневное обслуживание специально подготовленным работником.

Безреагентные методы также имеют свои преимущества и недостатки.

В данном материале, на примере оценки работы станции очистки воды р. Волга для нужд питьевого водоснабжения санатория «Станко» (г. Кинешма), определены основные трудности, возникающие при эксплуатации небольших локальных сооружений.

Станция, производительностью 35 $м^3$/ч, для очистки волжской воды состоит из следующих сооружений: водозабора с насосной станцией 1-го подъема воды, 12-ти напорных фильтров (7 из которых загружены песком марки «Гора хрустальная», 5 других фильтров загружены активированным углем марки АГ-3), блока озонирования с генератором кислорода, электролизной установки для получения гипохлорита натрия и контактной емкости. Вода из реки насосом 1-го подъема подается на установку, где в трубопровод подачи воды на песчаные фильтры вводится коагулянт, а затем вода фильтруется через песчаные фильтры, после фильтров воду озонируют (доза озона около 2 мг/л) и фильтруют через угольную загрузку на сорбционных фильтрах. Обеззараживание воды осуществляется гипохлоритом натрия, полученным электролизом поваренной соли, непосредственно на станции.

Качество воды р. Волга достаточно стабильное в течение года, однако следует отметить, что при очистке воды коагулированием трудно удаляются органические вещества, необходимо применять повышенные дозы коагулянта, поэтому в данном случае были использованы сорбционные фильтры. С помощью озонирования предполагалось уменьшить цветность воды и концентрацию органических веществ, сократить расход коагулянта.

В период проведения исследований речная вода характеризовалась небольшими значениями мутности – 3,9 мг/л, средней цветностью –

55 ÷ 65 град., перманганатная окисляемость составляла 12,64 мгO_2/л. Обработка воды коагулянтом на установке в данный период не проводилась, на песчаных фильтрах задерживалось небольшое количество взвешенных веществ, обусловливающих мутность речной воды. При озонировании частично уменьшался показатель цветности воды, за счет окисления и деструкции высокомолекулярных органических веществ, обуславливающих цветность воды.

В результате цветность воды после озонирования составляла – 35 град., после угольного фильтра – 25 ÷ 30 град. Перманганатная окисляемость снижалась до 7,3 мгO_2/л.

Для улучшения работы водоочистной установки были проведены исследования по определению возможности и условий обработки воды реагентами и их минимально необходимых доз.

Предварительные исследования были проведены в полевых условиях непосредственно на объекте. Контроль качества воды осуществлялся по показателю цветности и мутности. Кроме того, при проведении исследований контролировали дозы коагулянта, озона и хлора. Результаты исследований, представленные в таблице 1, показали:

– минимально необходимая доза коагулянта для очистки речной воды на данной установке в период исследований составляла 8 мг/л по окиси алюминия.

– причем, оксихлорид алюминия (ОХА) является более эффективным коагулянтом при очистке воды р. Волга, чем сульфат алюминия (СА).

При определении эффективности различных вариантов очистки воды с применением коагулянта и озона было установлено, что предварительное озонировании воды (доза озона 2 – 4 мг/л) с последующим ее коагулированием (доза коагулянта 3 – 4 мг/л), позволяет уменьшить цветность воды с 55 – 56 град. до 10 – 20 град. (табл. 1, п. 3).

Аналогичные результаты получены при обработке воды коагулянтом (дозой 6 мг/л) и последующим озонировании (табл. 1, п. 4).

Таблица 1. **Результаты очистки воды коагулированием и озонированием**

№№ проб	1	2	3	4	5
1. Пробное коагулирование					
Доза ОХА, мг/л	0	2	4	6	8
Цветность, град.	55	44	30	20	15
Доза СА, мг/л	0	2	4	6	8
Цветность, град.	55	45	40	27	18
2. Озонирование					
Доза озона, мг/л	0	2	4	6	> 12
Продолжительность озонирования, мин		5	10	15	30
Цветность, град.	55	28	20	15	12

3 . Озонирование и коагулирование					
Доза озона, мг/л	0	0	3	4–5	
Доза коагулянта, мг/л	0	4	4	4	
Цветность, град.	55	28	15	10	
Доза озона, мг/л	0	0	2	4	
Продолжительность озонирования, мин			5	10	
Цветность, град.	56	56	30	25	
Доза коагулянта, мг/л	0	3	3	3	
Цветность, град.	56	40	20	15	
4. Коагулирование и озонирование					
Доза коагулянта, мг/л	0	6	6	6	
Продолжительность озонирования, мин			5	10	
Доза озона, мг/л	0	0	2	4	
Цветность, град.	55	25	10	< 10	

Необходимым и важным моментом при оценке работы данных сооружений было определение эффективности метода озонирования и условий его проведения. В процессе исследований изменяли концентрацию озона в озоно-воздушной смеси, дозу озона и продолжительность озонирования

Помимо, цветности в данных исследованиях важными были такие показатели, как мутность, остаточный алюминий и перманганатная окисляемость, их контролировали в фильтрованной и нефильтрованной речной воде. Результаты исследований представлены в таблице 2.

Таблица 2. **Результаты исследований эффективности применения метода озонирования для очистки речной воды**

концентрация озона в озоно-воздушной смеси 1,1 мг/мин

№№ проб	Исходная вода	1	2	3	4
Продолжительность озонирования, мин	0	2	4	6	10
Доза озона, мг/л	0	1,5	3,0	4,0	5,6
Перманганатная окисляемость, мгO_2/л (не фильтрованная вода)	12,64	9,44	7,36	6,88	6,88
Перманганатная окисляемость, мгO_2/л (фильтрованная вода)	9,44	8,08	7,2	7,04	6,24
Цветность, град.	58,5	35	29	27	19
Мутность, мг/л	3,9	5,1	3,0	5,9	3,7

концентрация озона в озоно-воздушной смеси 2,88 мг/мин

№№ проб	1	2	3
Продолжительность озонирования, мин	1	3	6
Доза озона, мг/л	1,5	4,5	6,0
Перманганатная окисляемость, мгO_2/л (фильтрованная вода)	7,28	6,0	6,48
Цветность, град.	37	25	25

Как видно из полученных данных эффективность озонирования зависит, прежде всего, от дозы озона. Чем больше доза озона, тем меньше величина показателей цветности воды и перманганатной окисляемости (таблицы 1 и 2), тем глубже проходит окисление органических веществ, присутствующих в речной воде. Так, при дозе озона около 6 мг/л цветность воды после фильтрования уменьшается до 15 – 25 град. в зависимости от условий озонирования, а показатель перманганатной окисляемости уменьшается до 6,0 – 7,0 мгO_2/л.

При озонировании речной воды дозой озона 2 мг/л (которая применяется на установке) показатель цветности воды по результатам исследований уменьшался до 28 град. (табл. 1, п. 2) и до 38 град. (табл. 2, при дозе озона 1,5 мг/л), при этом значения показателя перманганатной окисляемости составляли 7,3 и 8,0 мгO_2/л соответственно.

Таким образом, показано, что при очистке воды р. Волга методом озонирования, можно уменьшить цветность воды до требований СанПиН, но при этом достичь ПДК для питьевой воды по показателю перманганатной окисляемости без дополнительных этапов очистки воды невозможно.

Станция очистки воды помимо озонирования позволяет проводить на сооружениях коагуляционную очистку на песчаных фильтрах и сорбционную на угольных фильтрах. Результаты исследований различных вариантов обработки воды на водоочистной станции представлены в таблице 3.

После очистки воды на установке с одним озонированием (доза озона 1,8 – 2,0 мг/л) и фильтрованием на песчаных и угольных фильтрах цветность очищенной воды составляла 23 – 25 град. (табл. 3, п. 1).

Безреагентное (без коагулянта и озона) фильтрование воды на установке через песчаные и угольные фильтры позволяет уменьшить цветность воды до 28 – 29 град. (табл. 3,п. 2).

Так как провести процесс коагулирования на установке в необходимых для этого условиях было сложно, дозу коагулянта при обработке воды увеличивали постепенно от 2 до 8 мг/л (табл. 3,п.п.3, 4). При этом цветность очищенной воды после угольных фильтров уменьшалась с 35 до 15 град.

При дозе коагулянта 8 мг/л и дозе озона 2 мг/л на установке достигалось необходимое качество по цветности и перманганатной окисляемости, однако, показатель мутности и концентрация остаточного алюминия не удовлетворяли требованиям стандарта. Так, мутность фильтрата составляла после этапа озонирования 2,5 мг/л, после угольного фильтра – 1,8 мг/л, а концентрация остаточного алюминия – 0,64 и 0,36 мг/л соответственно (табл. 3, опыт № 7).

Таблица 3. **Изменение качества воды на водоочистной станции по этапам ее обработки в различных условиях**

№ опыта	Режим работы	Речная вода	После коагулирования и озонирования	После угольного фильтра	После хлорирования
1. Очистка без коагулянта					
1	Доза коагулянта, мг/л	0	0	0	0
	Доза озона, мг/л	0	1,8–2	1,8–2	
	Цветность, град.	55	35	25	24
2	Доза коагулянта, мг/л	0	0	0	0
	Доза озона, мг/л	0	2	1,8–2	
	Цветность, град.	56	38	23–25	23
2. Очистка без коагулянта и озона					
3	Доза коагулянта, мг/л	0	0	0	0
	Доза озона, мг/л	0	0	0	0
	Цветность, град.	56		32	29
3. Очистка без озона					
4	Доза коагулянта, мг/л	0	2	2	2
	Доза озона, мг/л	0	0	0	0
	Цветность, град.	56	48	39	38
5	Доза коагулянта, мг/л	0	4	4	4
	Доза озона, мг/л	0	0	0	0
	Цветность, град.	55	39	36	36
4. **Очистка с коагулянтом и озоном**					
6	Доза коагулянта, мг/л	0	4	4	4
	Доза озона, мг/л	0	2	2	2
	Цветность, град.	55	35	30	29
7	Доза коагулянта, мг/л	0	8	8	8
	Доза озона, мг/л	0	2	2	2
	Цветность, град.	55	22	15	15
Расширенный анализ качества воды опыта № 7					
7	Цветность, град.	66	21,8	14,5	
	Мутность, мг/л	3,32	2,5	1,8	
	Перманганатная окисляемость, мгO_2/л (не фильтрованная вода)	12,06	6,72	4,8	
	Перманганатная окисляемость, мгO_2/л (фильтрованная вода)	9,44	4,92	3,6	
	Остаточный алюминий, мг/л	0	0,64	0,36	

Кроме того, было отмечено, что эффективность озонирования зависит от условий обработки воды озоном. При проведении процесса озонирования воды на экспериментальной контактной колонне, показатель цветности воды при дозе озона 2 мг/л уменьшался до 28 – 30 град. (табл. 1, п. 2), а при озонировании воды на установке – только до 35 – 38 град. (табл. 3 п. 1). Очевидно, коэффициент использования озона при обработке

речной воды на установке ниже, чем при озонировании воды в контактной колонне.

ВЫВОДЫ

1. Обследование работы станции и проведенные технологические изыскания показали, что очистить воду на данной установке можно по двум технологическим схемам:
   - озонирование и сорбция на угольных фильтрах (1);
   - коагулирование, озонирование и сорбция (2).
2. Для того, чтобы получить питьевую воду требуемого качества, на станции необходимо выполнить ряд технологических мероприятий, которые позволят обеспечить необходимую дозу озона и коагулянта, эффективное смешение реагентов с водой, кроме того, следует заменить загрузку фильтров и насос для подачи промывной воды и т.п.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кожинов И.В., Драгинский В.Л., Алексеева Л.П. Особенности применения озона на водопроводных станциях России // Водоснабжение и санитарная техника 1997. № 10.
2. Технические указания по совершенствованию технологии коагуляционной обработки воды с целью снижения концентрации остаточного алюминия. М., ОНТИ АКХ, 1988.
3. Драгинский В.Л., Алексеева Л.П., Самойлович В.Г. Озонирование в процессах очистки воды. М., 2007.

УДК 628.166.085.3

ПОВЫШЕНИЕ БАКТЕРИЦИДНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОБИЛЬНЫХ УСТАНОВОК ПОЛЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

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

Показано, что одновременное воздействие УФ-лучей и ионов меди на микроорганизмы E.coli позволяет существенно увеличить глубину обеззараживания.

В рамках поиска эффективных способов дезинфекции природных вод, подготавливаемых для питьевых целей, особенное внимание привлекают безреагентные методы. Значимость последних возрастает на территориях, пострадавших в результате стихийных бедствий и техногенных катастроф.

В ряде мобильных и контейнерных установок, используемых для полевого водоснабжения воинских подразделений таких, например, как ВФС-25 и СКО предусмотрено обеззараживание воды УФ-лучами [1]. Широко применяются указанные установки и в практике подразделений МЧС для оперативного обеспечения питьевой водой населения, территорий, где ощущается нехватка доброкачественной воды.

Однако метод УФ-обеззараживания имеет и ряд недостатков: повышенный расход электроэнергии и отсутствие бактерицидного последействия. Последнее означает, что после прекращения облучения вода вновь подвергается бактерицидному загрязнению. Чтобы избежать этого, в воду, получаемую при помощи вышеуказанного метода, вводят хлорсодержащий дезинфектант, обладающий пролонгированным (на 1 – 2 суток) бактерицидным последействием. В полевых, а тем более в условиях ЧС трудно выдерживать необходимую дозу дезинфектанта (это, как правило, порошок нейтрального гипохлорита кальция), часто имеют место передозировки, ухудшающие вкус воды, а также образуются отходы. Сам дезинфектант представляет опасность для обслуживающего персонала. В то же время известно, что ионы меди (II) обладают выраженными бактерицидными и альгицидными свойствами [2].

Исходя из анализа литературных источников [3] и собственных исследований, изучена возможность увеличения бактерицидной активности УФ-лучей посредством различного сочетания его с ионами меди (II), полученными растворением соответствующей навески медного купороса $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ в воде.

Вода, в которую непосредственно после УФ-облучения (20 мДж/см^2) были введены ионы меди в расчете 0,5 мг/л (ПДК составляет 1 мг/л [4]), успешно противостояла повторному внешнему загрязнению кишечной палочкой E.coli. Даже после искусственного инфицирования (из расчета 10^2 клеток/л) через двое суток вода вновь стала санитарно-безопасной.

В дальнейшем было обнаружено, что последовательное применение УФ-облучения (первым) и ионов меди позволяет существенно увеличить глубину обеззараживания, при этом, что важно, появляется возможность снижать и дозу облучения. Так, снижение исходного числа бактерий E.coli на 3 порядка достигается при воздействии только УФ-лучей дозой 16 мДж/см^2. Аналогичный эффект наблюдается при меньшей дозе УФ-облучения (7 мДж/см^2), если в облученную воду ввести ионы меди с последующей выдержкой 2 часа.

Одновременное воздействие УФ-лучей и ионов меди на микроорганизмы E.coli позволяет существенно увеличить конечную глубину обеззараживания. Результаты последующей математической обработки указывают на синергическое взаимоусиление физического (УФ-облучения) и химического (ионы меди) факторов обеззараживания воды.

Полученные результаты позволяют рекомендовать обеззараживание воды комбинированным действием УФ-лучей и ионов меди (в количествах меньше ПДК) для повышения эффективности мобильных установок для полевого водоснабжения.

На территориях, пострадавших в результате, например, стихийного бедствия, важным является создание крупных запасов бактериально безопасной воды с перспективой длительного использования. Согласно полученным результатам, при сочетанном использовании УФ-лучей, ионов меди (≤ ПДК) и гипохлорита натрия NaClO (0,5 – 1,0 мг/л) вода становится устойчивой к внешнему бактериальному загрязнению в течение 8 – 10 суток.

ЛИТЕРАТУРА

1. Руководство по полевому водоснабжению войск. М.: МО СССР, 1984. 104 с.
2. Использование ионов меди в системах водоснабжения / В.В. Гутенев, А.И. Ажгиревич, И.А. Денисова [и др.] // Водоснабжение и санитарная техника. 2002. № 1. С. 14–16.
3. Гутенев В.В. Бактерицидные технологии повышения экологической безопасности систем питьевого водоснабжения / В.В. Гутенев: дисс…д-ра техн. наук. Н. Новгород, 2005. 447 с.
4. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2002. 103 с.

УДК 628.16:547.56

К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НОВЫХ АДСОРБЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ФЕНОЛА ИЗ ПРИРОДНЫХ ВОД

Т.А. Краснова, Н.В. Гора, Н.С. Голубева, В.А. Петрова
Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (Университет), г. Кемерово, Россия

Проведено исследование возможности и эффективности использования полукоксов для адсорбции фенола. Установлены закономерности и особенности адсорбции фенола на различных активных углях. Рассчитаны адсорбционные параметры с использованием уравнений БЭТ и Дубинина-Радушкевича. Показано, что механизм адсорбции фенола имеет физическую природу.

В настоящее время проблема загрязнения водных объектов является наиболее актуальной. Сброс загрязненных стоков в водоемы приводит к

ухудшению качества природных вод. Фенол представляет собой высокотоксичное вещество и является одним из наиболее распространенных загрязнителей. Фенол содержится в сточных водах производств химических, нефтехимических, лесохимических, коксохимических, фармацевтических, металлургических, лакокрасочных, пластмасс, пестицидов и др. [1].

Одним из наиболее эффективных и экологически приемлемых методов очистки сточных вод от фенола является адсорбционная очистка с использованием активных углей. В связи с этим возникает потребность в фильтрующих материалах, обладающих не только хорошей сорбционной способностью, но и низкой стоимостью. Полукоксы, являются дешевыми и доступными сорбентами, обладающими хорошими фильтрующими свойствами, прочностью и устойчивостью к истиранию.

Целью работы является исследование возможности применения полукоксов для очистки воды от фенола.

Объектами исследования являлись водные растворы фенола, полукоксы: АБГ (ПО «Карбоника Ф», г. Красноярск), «Пуролат-Стандарт» (ОАО «Синтез», г. Ростов-на-Дону) и новый материал полукокс производимый в Кузбассе (п/кокс). Для сравнения эффективности очистки использовали широко применяемый в практике водоснабжения гранулированный активный угль марки АГ-ОВ-1 (ОАО «Сорбент», г. Пермь).

Адсорбция фенола изучалась на модельных растворах в статических условиях в интервале концентраций от ПДК до 15 ммоль/дм^3 при соотношении адсорбент : водный раствор фенола, равном 1:100.

По результатам исследования были построены изотермы адсорбции (рисунок 1).

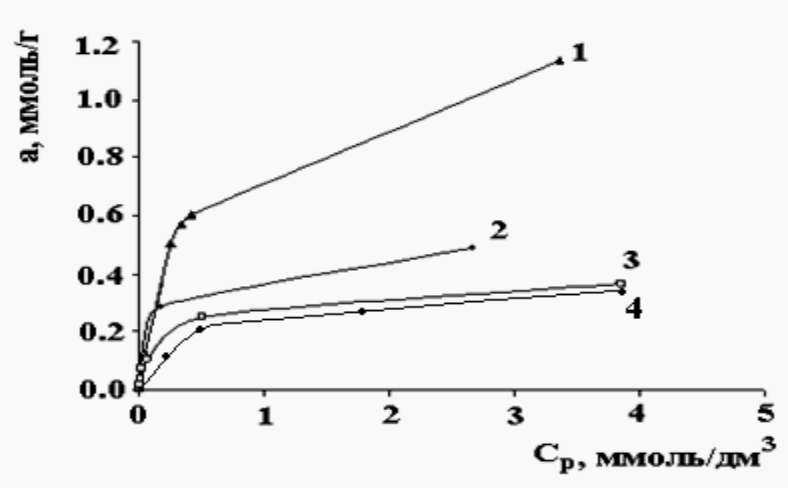


Рисунок 1. **Изотерма адсорбции фенола на активных углях марок: АГ-ОВ-1 (1), АБГ (2), «Пуролат-Стандарт» (3) и п/кокс (4) из водного раствора**

Формы изотерм адсорбции фенола из водного раствора имеют классический вид и относятся к изотермам L типа, по классификации Гильса, что свидетельствует о физическом характере адсорбции.

Для уточнения механизма адсорбции и получения значений величин адсорбции, необходимых для расчетов оптимальных параметров и режимов непрерывной работы практической установки по уравнениям БЭТ и Дубинина-Радушкевича определены основные адсорбционные параметры:

Таблица 1. **Адсорбционные характеристики активных углей**

Марка активного угля	E, кДж/моль	-Q, кДж/моль	a_0, ммоль/г
АГ-ОВ-1	14,75	19,76	2,57
АБГ	16,16	23,48	0,80
«Пуролат-Стандарт»	13,90	21,74	0,77
п/кокс	9,69	21,82	0,75

Значения характеристической энергии (табл. 1) свидетельствуют о том, что сорбция фенола идет в основном в микро- и мезопорах адсорбентов. Величины теплоты адсорбции (-Q) (19,76 ÷ 23,48 кДж/моль) сопоставимы с энергией водородной связи (8 – 40 кДж/моль), что предполагает специфическую физическую адсорбцию [3]. При этом у активного угля марки АГ-ОВ-1 адсорбция протекает в порах, а также на поверхности за счет взаимодействия ОН группы фенола с функциональными группами углеродного сорбента. Структура полукоксов включающая мезо- и макро- поры обеспечивает адсорбцию фенола за счет водородной связи.

Совокупность полученных результатов показывает, что адсорбция фенола на полукоксах протекает за счет специфического взаимодействия физической адсорбции. Исследования показали, что максимальная адсорбция фенола из индивидуальных растворов активными углями изменяется в следующей последовательности: АГ-ОВ-1 > АБГ > «Пуролат-Стандарт» > п/кокс.

Проведенная работа показала возможность использования полукоксов для извлечения фенола из природных вод. Учитывая адсорбционную емкость и низкие себестоимость и расходы на транспортировку для Кузбасса целесообразно применение местного полукокса для извлечения фенола из природных вод.

ЛИТЕРАТУРА

1. Грушко Я.М. Вредные органические соединения в промышленных сточных водах: Справочник. Л.: Химия, 1982. 216 с.

2. Фазылова Г.Ф. Сорбционные параметры производных фенолов на различных углеродных материалах / Г.Ф. Фазылова, Э.Р. Валинурова, Р.М. Хатмуллина, Ф.Х. Кудашева//Сорбционные и хроматографические процессы. 2013. Т. 13. Вып. 5. С. 728–735.
3. Адсорбция из растворов на поверхности твердых тел: пер. с англ. / Под ред. Г. Парфита, К. Рочестера. М.: Мир, 1986. 488 с.

УДК 628.161.2

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ СОДЕРЖАНИЯ БРОМИДОВ В НИЖНЕМ ТЕЧЕНИИ РЕКИ ДОН

Л.Н. Фесенко, М.А. Дилина, М.А. Титова
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия

В работе представлены результаты экспериментальных исследований по определению содержания бромидов в реках Дон и Северский Донец.

В настоящее время особое внимание уделяется соединениям, образующимся в процессе водоподготовки, которые могут негативно влиять на здоровье человека. При обеззараживании природных вод хлорсодержащими реагентами образуются с участием брома летучие галогенорганические соединения (ЛГС), такие как дихлорбромметан (ПДК 0,03 мг/дм^3), хлордибромметан (ПДК 0,03 мг/дм^3), бромоформ (ПДК 0,1 мг/дм^3). Данные вещества обладают высокой токсичностью, канцерогенностью и мутагенностью. Содержание бромидов в питьевой воде нормируется СанПин 2.1.4.1074-01 и не должно превышать 0,2 мг/дм^3.

Целью работы стало определение содержания бромидов в воде Нижнего Дона от Цимлянского водохранилища до Азовского моря.

Благодаря сотрудничеству с «Ростовским центром гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды» (г. Ростов-на-Дону), а также «Донской устьевой станцией» (г. Азов), в октябре 2015 – мае 2016 гг. были отобраны пробы воды из рек Дон и Северский Донец в контрольных гидрологических створах. Результаты определения количества бромидов фотометрическим методом в пробах, взятых вблизи уреза воды и по глубине створа реки, приведены соответственно в таблицах 1 и 2.

История рассматриваемого в статье вопроса не нова. Еще в 50 – 60-е годы прошлого века вынос брома и других рассеянных элементов крупнейшими реками СССР описан в трудах Новочеркасского гидрохимического института.

Таблица 1. **Содержание бромидов в воде нижнего течения р. Дон**

Наименование водного объекта, пункта	Местоположение створа наблюдений	Дата отбора проб	Концентрация бромидов, мг/дм^3
р. Дон, г. Константиновск	2 км ниже города	15.10.2015 18.05.2016	0,200 0,075
р. Дон, г. Семикаракорск	1 км выше города	15.10.2015 18.05.2016	0,210 0,075
р. Дон, ст. Раздорская	0,2 км ниже станицы	15.10.2015 18.05.2016	0,260 0,090
р. Дон, р.п. Багаевский	15 км ниже поселка	15.10.2015 18.05.2016	0,210 0,105
р. Дон, г. Ростов-на-Дону	1 км выше впадения пр. Аксай; 0,5 км ниже устья р. Темерник	18.05.2016 18.05.2016	0,105 0,100
р. Дон, г. Азов	1 км выше города, у водозабора	12.11.2015 18.05.2016	0,270 0,092
рукав Дон, х. Колузаево		12.11.2015 18.05.2016	0,260 0,080
рукав Старый Дон, г. Азов	0,5 км ниже г. Азова, водосброс	08.12.2015	0,340
рукав Большая Каланча, х. Дугино		18.05.2016	0,100
р. Северский Донец, х. Хрящевский		01.11.2015	0,310
р. Северский Донец, х. Поповка		18.05.2016	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»	18.05.16	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	18.05.16	поверхность 0,1 0,5 0,9 дно	0,090 0,080 0,090 0,100 0,085

Было выяснено, что присутствие брома в донской воде является постоянным природным фактором и обусловлено высоким его содержанием в почвообразующих породах и почвенном покрове (до $n \cdot 10^{-3}$ %), благоприятными климатическими условиями. Преобладающим

источником поступления брома в воду р. Дона является поверхностный сток. Кроме того, в режиме рассматриваемого элемента в нижнем течении реки принимают большое участие подземные воды с минерализацией до 400 г/дм^3, содержание брома в которых составляет 500 – 600 мг/дм^3. В межень р. Северский Донец выносит около 80 % годового количества брома, р. Дон – меньше, чем в половодье, хотя количества также значительны и порой близки к максимальным.

ВЫВОДЫ

За период с октября 2015 г. по май 2016 г. содержание бромидов в воде Нижнего Дона изменялось в пределах 0,075 ÷ 0,340 мг/дм^3 (максимальное превышение ПДК в 1,7 раза).

Наблюдение и контроль за сезонным изменением содержания бромидов позволит своевременно решать задачу уменьшения количества бромсодержащих галогенорганических соединений в питьевой воде, тем самым положительно влияя на здоровье населения.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. Гюнтер Л.И., Алексеева Л.П., Петрановская М.Р., Паскуцкая Л.Н., Драгинский В.Л., Хромченко Я.Л. Летучие галогенорганические загрязнения питьевых вод, образующиеся при водоподготовке / Химия и технология воды ,1985. Т. 7, № 5. С. 59–64.
3. Колесникова Т.Х., Коновалов Г.С. Содержание брома и йода в воде главнейших рек советского союза / Гидрохимические материалы, Т. XLII, 1965, С. 70–83.

УДК 628.132

СПОСОБ РАЗМЕЩЕНИЯ ФИЛЬТРОВ-ПОГЛОТИТЕЛЕЙ В ХОЗЯЙСТВЕННО-ПИТЬЕВЫХ РЕЗЕРВУАРАХ

А.А. Шипилов, И.А. Скуднева, К.А. Усков
ООО «СпецСтройПроект», г. Санкт-Петербург, Россия

Даны конструкции и способы размещения фильтров-поглотителей резервуаров хозяйственно-питьевого водоснабжения. В качестве материала загрузки основного слоя используется гранулированный активированный кокосовый уголь.

Фильтры-поглотители предназначены для очистки воздуха поступающего в резервуары чистой воды от вредных газообразных веществ, пыли и микроорганизмов [1–2].

Типовое проектное решение предусматривает размещение фильтра и запорно-регулирующей арматуры в отдельном надземном или заглубленном помещении, которое строится в защитной санитарной зоне РЧВ. Помещения камер фильтров-поглотителей, как правило, располагаются в одной с резервуаром обваловке, рисунок 1 [3]. Расстояние между камерами фильтров-поглотителей и резервуаром должно быть не менее 5 м.

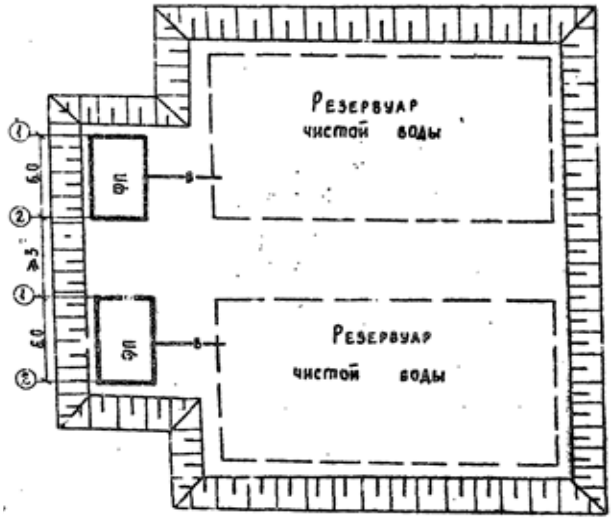


Рисунок 1. **План совместного размещения камер фильтров-поглотителей с резервуарами чистой воды**

Типовые конструкции фильтров-поглотителей для резервуаров чистой воды разработаны для следующих вариантов: круглые из сборных железобетонных колец; круглые из стальных труб; прямоугольные из кирпича; прямоугольные из монолитного бетона [3].

Возможно и другое типовое расположение камеры фильтров-поглотителей, непосредственно над резервуаром. Такое размещение предусмотрено для сейсмических районов и приведено на рисунке 2 [4].

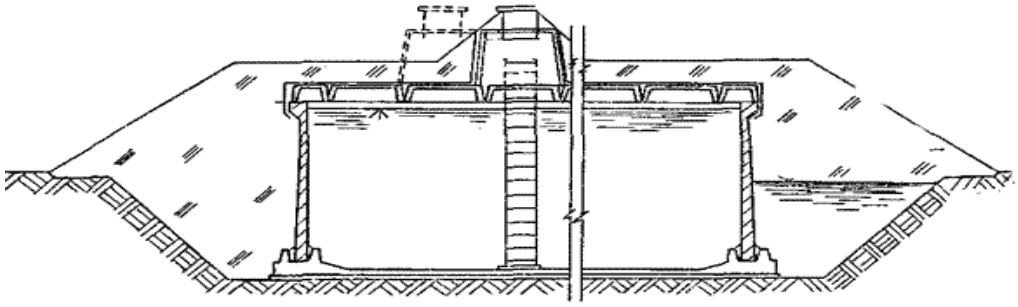


Рисунок 2. **Размещение камеры фильтров-поглотителей совмещенной с резервуарами чистой воды**

На основании типового проекта ТП 0901-9-15.1.87 «Фильтры-поглотители для резервуаров чистой воды, емкостью от 50 м^3 до 300 м^3», разработана схема размещения фильтров-поглотителей в «сухом» отделении хозяйственно-питьевого резервуара, корпус которого выполнен из стеклопластика. На рисунке 3 представлен вариант размещения фильтров-поглотителей и схема их обвязки внутри корпуса резервуара, в «сухом» отделении.

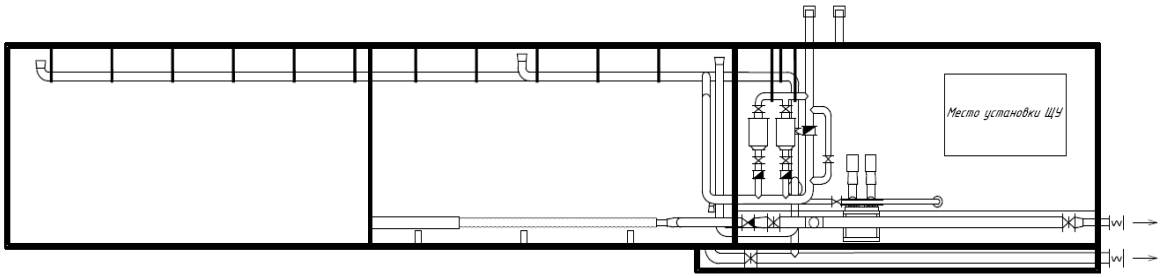


Рисунок 3. **Размещение фильтров-поглотителей в «сухом» отделении резервуаров чистой воды**

Для обеспечения работы фильтров-поглотителей резервуары запаса воды должны быть герметичными. В «сухом» отделении хозяйственно-питьевого резервуара в холодный период должна поддерживаться температура воздуха не ниже + 5 °С, проектом предусматривается установка электрокалориферов.

Направление потоков воздуха при опорожнении и наполнении резервуара регулируется установкой клапанов избыточного давления.

Расход воздуха через фильтры-поглотители согласно типовому проекту ТП 0901-9-15.1.87 должен соответствовать расходу воды, отбираемой из резервуара. Удельный расход воздуха согласно типового проекта ТП 0901-9-15.1.87 на 1 см^2 площади фильтра-поглотителя принимается равным 0,3 л/мин [3]. Основные узлы и детали фильтра-поглотителя выполняются из нержавеющих материалов. Конструкция фильтра-поглотителя приведена на рисунке 4.

Основным элементом, влияющим на чистоту и бактериологические показатели поступающего в резервуар чистой воды воздуха, является загрузка фильтра-поглотителя.

Согласно типовым проектам на фильтры-поглотители существует четыре основных варианта загрузки, которые приведены на рисунке 5 [3].

Рассмотрев представленные варианты по типовому проекту ТП 0901-9-15.1.87, принимаем за основу загрузку фильтра-поглотителя по 2-му варианту.

В качестве материала загрузки поддерживающего слоя используется гравий кварцевый отмытый и прокаленный, крупностью 15 – 20 мм и толщиной слоя в 50 мм, а также гравий кварцевый отмытый и

прокаленный, крупностью 5 – 10 мм и толщиной слоя в 50 мм.

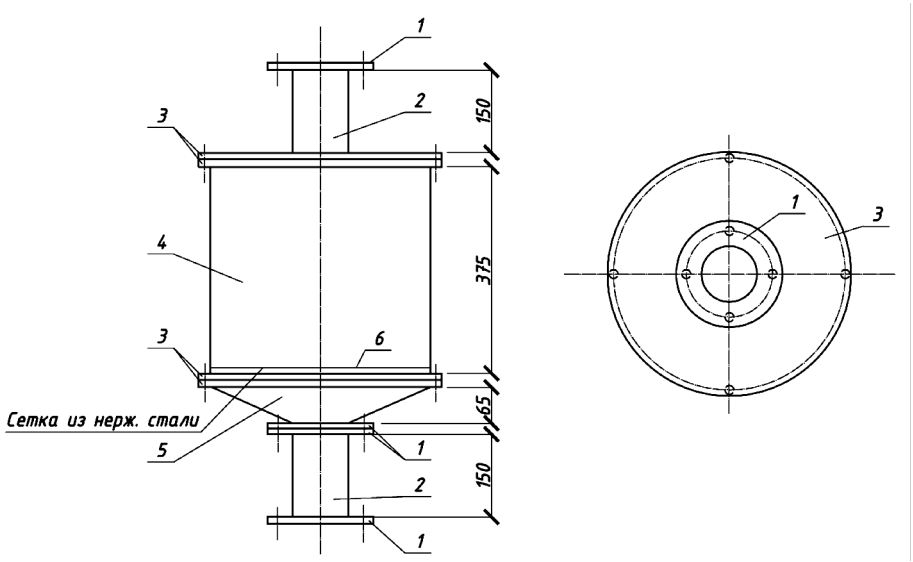


Рисунок 4. **Конструкция фильтра-поглотителя**
1 – фланец отводящего или подводящего трубопровода; 2 – труба нержавеющая бесшовная из коррозионно-стойкой стали; 3 – фланец стальной плоский приварной корпуса; 4 – корпус фильтра-поглотителя из нержавеющей бесшовной трубы; 5 – переход конический стальной из коррозионно-стойкой стали; 6 – поддерживающая сетка из нержавеющей стали с ячейкой не более 5 мм

В качестве материала загрузки основного слоя используется гранулированный активированный кокосовый уголь марки NWC типа 12*30 (0,6 – 1,7 мм), фирмы «NWC Carbon». Толщина слоя загрузки принимается равной 250 мм. [5].

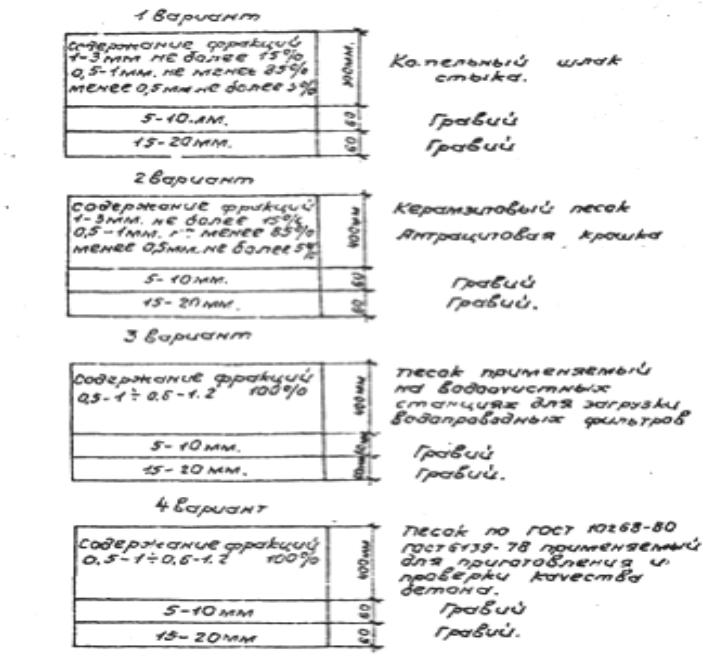


Рисунок 5. **Основные варианты загрузки фильтра-поглотителя**

Активированные угли «NWC Carbon» из скорлупы кокосового ореха обладают высокой прочностью, износостойкостью и сорбционной активностью, что обеспечивает более длительный срок их использования по сравнению с традиционными углями, изготавливаемыми из древесины.

Фильтры-поглотители данной конструкции были разработаны ООО «СпецСтройПроект» и применены в резервуарах хозяйственно-питьевого водоснабжения для горно-климатического курорта «Альпика-Сервис» в г. Сочи (рис. 6).

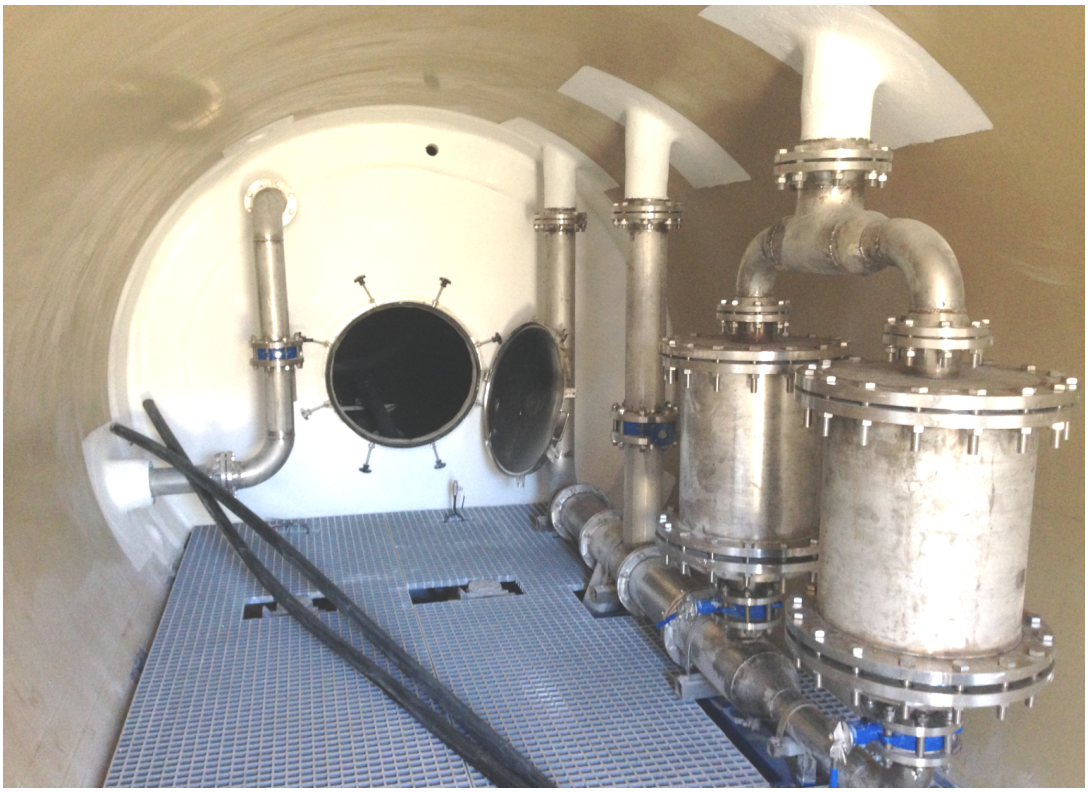


Рисунок 6. **Общий вид фильтров-поглотителей в резервуаре**

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьмин Ю.М., Кошелев Г.Н. Водоснабжение. Ч. 1. Водоснабжение объектов общевойскового строительства. ЛВВИСКУ, 1981.
2. СНиП 2.04.02-84*. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения.
3. Типовой проект 0901-9-15.1.87. Фильтры-поглотители для резервуаров чистой воды емкостью от 50 до 300 м^3. Вариант с клапанами, с водяным отоплением.
4. Типовой проект 901-4-95 С.86. Резервуар для воды прямоугольный железобетонный сборный емкостью 100…250 м^3 (с применением изделий промзданий) сейсмичность 9 баллов.
5. Паспорт качества на активированный уголь марки NWC. ООО «ЭнВиСи КАРБОН».

УДК 628.16.087

ОЧИСТКА ВОДЫ ДЛЯ ПИТЬЕВЫХ ЦЕЛЕЙ В ПЕРИОД ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ: ПРОИЗВОДСТВО АКТИВНОГО ХЛОРА ЭЛЕКТРОЛИЗОМ ПРИРОДНОЙ ВОДЫ

С.А. Бреус
ГУП РО «Управление развития систем водоснабжения»,
г. Ростов-на-Дону, Россия
А.Ю. Скрябин
АО «Ростовводоканал», г. Ростов-на-Дону, Россия
Л.Н. Фесенко
ООО НПП «ЭКОФЕС», г. Новочеркасск, Россия

Рассмотрена возможность получения активного хлора из пресных, природных вод путем её прямого электролиза. Исследования показали, что значимыми параметрами, влияющими на электролиз пресной воды в электролизной ячейке являются: продолжительность анодного полупериода тока; количество хлоридов в воде; плотность электрического тока.

В период чрезвычайных ситуаций (ЧС) качественное водоснабжение может стать одним из основных, а иногда и самым главным жизненно важным фактором для каждого жителя Российской федерации [1].

Оперативным способом для обеспечения подачи доброкачественной воды населению в период ЧС, а также отдалённых вахтовых поселков и деревень являются водоочистные мобильные станции (МВС) различной производительности, осуществляющие очистку из поверхностных и подземных водоисточников.

Известные технологии и конструкции, эксплуатируемых МВС для очистки природных вод представлены в работах [2, 3]. Наилучшая из них предложена В.А. Онкаевым [3] и предназначена для децентрализованного водоснабжения малых населенных мест. Водоочистка включает ряд унифицированных блоков: предварительная очистка на металлокомплексных каталитических фильтрах; реагентный узел и напорное фильтрование через двухслойную каталитически активированную загрузку; глубокую доочистку воды на фильтрах с активным углем, катализатором и при необходимости на обратноосмотической установке и обеззараживание воды с использованием УФ или консервантов («БИНГСТИ» и ССД-200).

Основной недостаток предлагаемой технологии – применение реагентов, имеющих определенный срок хранения. Кроме того эксплуатация данной водоочистной системы нуждается в постоянном присутствии квалифицированных технологов.

С целью упрощения эксплуатации МВС и её оперативного управления нами были сформулированы два критерия: отказ от

традиционного реагентного хозяйства и быстрая замена технологических узлов водоочистной станции.

На основании вышеизложенного предлагается технологическая схема водоподготовки на период ЧС, представленная на рисунке.

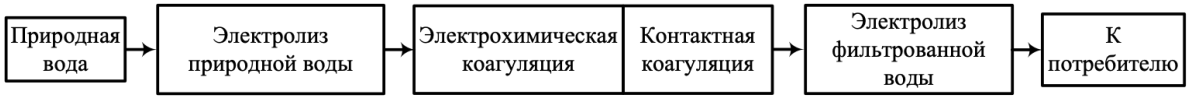


Рисунок. **Технологическая схема водоподготовки в период ЧС**

Схема включает два основных метода водоочистки: обеззараживание электролизом природной воды и электрохимическое коагулирование в условиях кантатного фильтрования [4].

Следует особенно подчеркнуть, что обеззараживание является самым важным в водоочистке на период ЧС, так как оно отвечает за эпидемиологическое благополучие воды, а использование электролиза воды может позволить еще и пролонгированную консервацию питьевой воды за счет получения активного хлора [5].

Обеззараживание воды путем её электролиза является разновидностью прямого электрохимического окисления и протекает в два этапа – электрохимическое получение окислителей и смешивание их с обрабатываемой природной водой.

Основные закономерности образования окислителей в воде за счет её прямой электролитической обработки должны соответствовать двум основным требованиям: наличие в воде хлоридов и использованию эффективных малоизнашивающихся электродов.

Известно, что электролитический гипохлорит натрия по своей бактерицидной эффективности не только не уступает газообразному хлору, а в отдельных случаях, при высоком бактериальном загрязнении воды, даже превосходит его. Полное обеззараживание наступает при дозе по активному хлору 0,8 мг/дм^3, в то время как при той же дозе в случае обычного хлорирования бактерицидный эффект составляет лишь 97 – 98 % [5].

Объяснение этому Л.А. Кульский [6] видит в том, что во многих природных водах имеются соединения, например, йода, брома и другие, которые в процессе электролиза образуют сильные окислители (вплоть до пероксидов), ускоряющие процесс обеззараживания.

Вопросу энергозатрат на производство активного хлора из природных вод было дано в работе Д.Л. Басина и Г.Л. Медриша [7]. Ими установлено, что при обработке природных вод с содержанием хлоридов 20 – 350 мг/дм^3 выход хлора на электродах из ОРТА составляет 4 – 30 % при затратах электроэнергии 20 – 200 кВт·ч на 1 кг активного хлора. На основании проведенных исследований, рекомендовано проведение

обеззараживания прямым электролизом природных вод с содержанием хлоридов более 20 мг/дм^3 [10]. При этом также происходит электроокисление примесей воды, насыщение кислородом, умягчение и ряд других сопутствующих процессов.

На основании данных, представленных лабораториями МУП Горводоканала» г. Новочеркасска и ОАО «Аксайского ПМК РСВС» было установлено, что среднее количество хлоридов в донской воде – 109,4 мг/дм^3, а в подземной воде с.п. Грушевское – 392,5 мг/дм^3.Это дает возможность (количество хлоридов более 20 мг/дм^3) получать активный хлор в обрабатываемой подземной и поверхностной воде.

Для эффективной работы прямого электролитического обеззараживания воды требуется обоснованный выбор материала электродов и оптимальные электрические параметры.

Недостаточность исследований электролиза хлоридсодержащих природных вод определило необходимость настоящих экспериментов.

Исследования электрохимического обеззараживания воды путем её электролиза вели по трем направлениям:

– оценивали влияние плотности постоянного анодного тока на концентрацию активного хлора;

– изучали роль частоты реверса тока на концентрацию активного хлора, напряжение электролизной ячейки, характеристику образования катодных отложений и времени «жизни» электродов;

– определяли влияние природы металлооксидных покрытий на время «жизни» электродов и концентрацию активного хлора.

Под словом «жизнь» подразумевается объективная возможность использовать электрод в качестве анода при электрохимическом получении активного хлора из хлоридов воды.

Опыты проводили на лабораторной установке. В исследованиях использовали донскую воду. Количество хлоридов в ней было 100 – 117 мг/дм^3, а температура изменялась от 10 до 17 °С. Расход воды через электролизер составлял 1 дм^3/ч.

Исследования показали [5], что значимыми параметрами, влияющими на электролиз пресной воды в электролизной ячейке являются: продолжительность анодного полупериода тока (τ); количество хлоридов (Cl^-) в воде; плотность электрического тока (i). Эти параметры были приняты для проведения полного факторного эксперимента. Статистическая обработка результатов эксперимента позволила получить значения коэффициентов переменных электролиза донской воды. Ниже приведено уравнение регрессии концентрации активного хлора (C_{AX}):

$$C_{AX} = –28,34 + 0,7138\cdot\tau + 0,8844\cdot Cl^- – 2,8718\cdot i, \text{ мг/дм}^3.$$

В заключение можно констатировать, что полученные лабораторные данные прямого электролиза в проточном режиме донской воды

позволили, во-первых, дополнить знания в области обеззараживания природных вод путем её электролитической обработки и, во-вторых, подтвердить целесообразное использование электролизера в технологической схеме указанной на рисунке.

ВЫВОДЫ

1. Полученные результаты исследований доказывают возможность обеззараживания природной, хлоридсодержащей воды путем её прямого электролиза. Исследования показали, что значимыми параметрами, влияющими на электролиз пресной воды в электролизной ячейке являются: продолжительность анодного полупериода тока (τ); количество хлоридов в воде (Cl^-); плотность электрического тока (i).
2. Изменение времени анодного полупериода тока (τ^- – 1 ч, τ^+ – 300 с) при его плотности 100 мА/см^2 положительно влияет на рост концентрации активного хлора (38,2 %) в сравнении с постоянным электрическим током, устраняет отложения на поверхности электродов (вес отложений уменьшился в 90 раз) и продлевает остаточную «жизнь» электродам.
3. Использование иридия для покрытия электродов напрямую влияет на изменение концентрации активного хлора. Прирост C_{AX} в воде с увеличением доли Ir от 0 до 80 % составил 20,5 %. Также наличие иридия значительно влияет на время «жизни» электродов. Доказано, что присутствие в оксидном слое Ir в массовом соотношении к Ru (20 : 80) увеличивает время эксплуатации анода в 10,6 раз.

ЛИТЕРАТУРА

1. Безопасность жизнедеятельности. Защита населения и территорий при чрезвычайных ситуациях / Под ред. В.В. Денисова. Ростов-на-Дону: Издательский центр «МарТ», 2007. 720 с.
2. Зайцев С.В. Совершенствование водоочистных установок малой производительности с использованием электрообработки: автореф. дис. ... канд. тех. наук. СПб., 1995. 23 с.
3. Онкаев В.А. Разработка и исследование процессов водоподготовки в мобильно-картриджных системах децентрализованного водоснабжения малых населенных мест: дис. ... канд. тех. наук. Ростов-на-Дону, 2010. 170 с.
4. Линевич С.Н., Бреус С.А., Гетманцев С.В. Модернизация коагуляционного метода водообработки // Водоснабжение и водоотведение мегаполиса «Шестые Яковлевские чтения»// Мат. II–й Межд. науч.-практ. конф., посвященной памяти академика РАН и РААСН С.В.Яковлева. М.: 2011. С. 214–220.
5. Бреус С.А., Скрябин А.Ю., Фесенко Л.Н. Разработка технологии очистки природной воды для питьевых целей на период чрезвычайных ситуаций: производство активного хлора электролизом воды //

Инженерный вестник Дона, 2016. № 2 URL: http: //www. ivdon.ru /ru /magazine/archive/n2y2016/3655.
6. Кульский Л.А. Теоретические основы и технология кондиционирования воды / Киев: Наукова думка, 1980. 558 с.
7. Медриш Г.Л., Тайшева А.А., Басин Д.Л., Обеззараживание природных и сточных вод с использованием электролиза / М.: Стройиздат, 1982. 81 с.

УДК 628.132

ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЕЗЕРВУАРОВ ЗАПАСА ВОДЫ ДЛЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЙОНОВ

А.А. Шипилов, И.А. Скуднева
ООО «СпецСтройПроект», г. Санкт-Петербург, Россия

Предложены конструкции и варианты установки резервуаров запаса воды для сейсмических и горных районов.

Резервуары предназначены для аккумулирования запаса воды в различных системах водоснабжения, использование запасных и регулирующих емкостей повышает надежность и технико-экономические показатели систем водоснабжения [1–2].

В настоящее время разработаны и применяются в системах водоснабжения различные емкости запаса воды, отличающиеся друг от друга по назначению, по конструкции, по применяемым материалам [3].

Выбор типа резервуара, его конструктивные особенности и расположение на местности основывается на расчетах совместной работы насосных станций и сети с учетом местных условий и технологических требований [1].

Основной особенностью проектирования резервуаров запаса воды в сейсмических или горных районах является либо отсутствие места для размещения основных и вспомогательных сооружений, либо сложный рельеф местности для размещения оборудования.

При проектировании хозяйственно-питьевых и противопожарных резервуаров на объекте «Горно-климатический курорт «Альпика-Сервис» разработана новая конфигурация резервуаров с использованием стеклопластиковых труб фирмы «Hobas» диаметром 3,0 м. Особенностью конфигурации резервуаров является наличие внутренней непроницаемой перегородки, делящей корпус емкости на 2 отсека: «мокрый» отсек и «сухой» отсек. Такое разделение на отсеки позволило совместить все основные и вспомогательные сооружения, которые ранее выполнялись отдельно-стоящими сооружениями, в одном резервуаре, что позволило значительно сократить размеры резервуарного парка и общие затраты на его строительство.

«Мокрый» неэксплуатируемый отсек предназначен для аккумулирования требуемого объема воды необходимого качества. Объем «мокрого» отсека противопожарного резервуара определялся из расчета подачи воды на нужды системы пожаротушения объекта, а хозяйственно-питьевого резервуара – по сумме расхода воды на хозяйственно-питьевые нужды и аварийного расхода.

В «сухом» эксплуатируемом отсеке резервуаров размещены: запорно-регулирующая арматура, насосные установки, фильтры-поглотители (для хозяйственно-питьевых резервуаров), щиты управления и автоматизации, контрольно-измерительные приборы. Насосные установки могут располагаться как в «сухом» эксплуатируемом отсеке, так и непосредственно в «мокром» неэксплуатируемом отсеке. На рисунках 1 и 2 приведены конструкции соответственно противопожарного и хозяйственно-питьевого резервуаров.

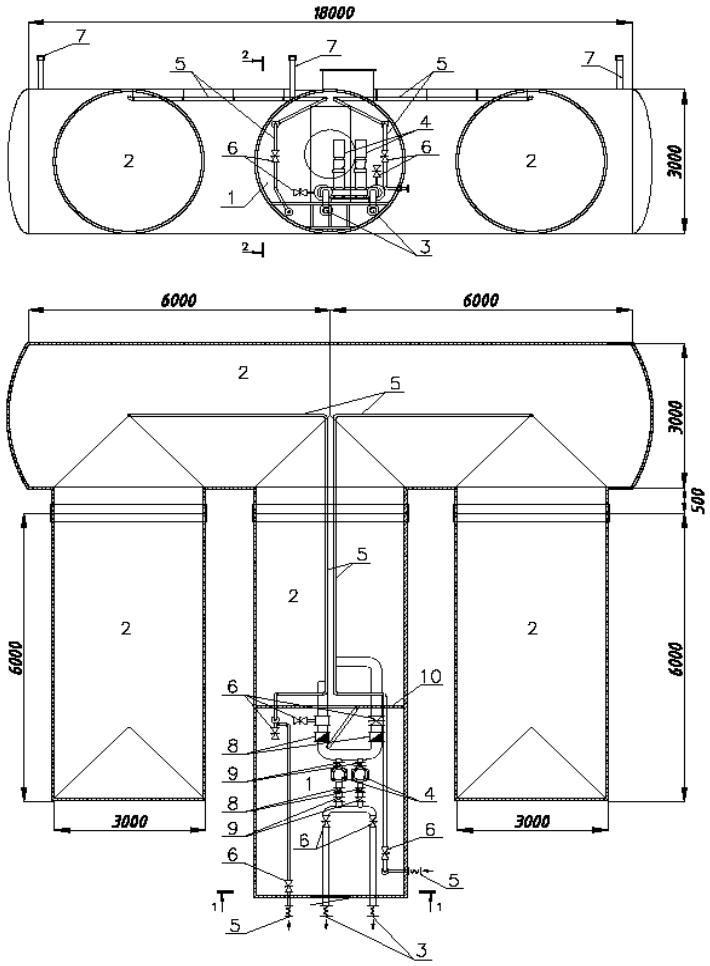


Рисунок 1. **Конструкция противопожарного резервуара:**
1 – «сухой» отсек; 2 – «мокрый» отсек; 3 – трубопровод подачи воды в систему пожаротушения; 4 – насосная установка; 5 – трубопровод заполнения резервуара; 6 – задвижка с электроприводом; 7 – трубопровод вентиляции резервуара; 8 – обратный клапан; 9 – задвижка обвязки насосного оборудования; 10 – непроницаемая перегородка, отделяющая «мокрый» отсек от «сухого»

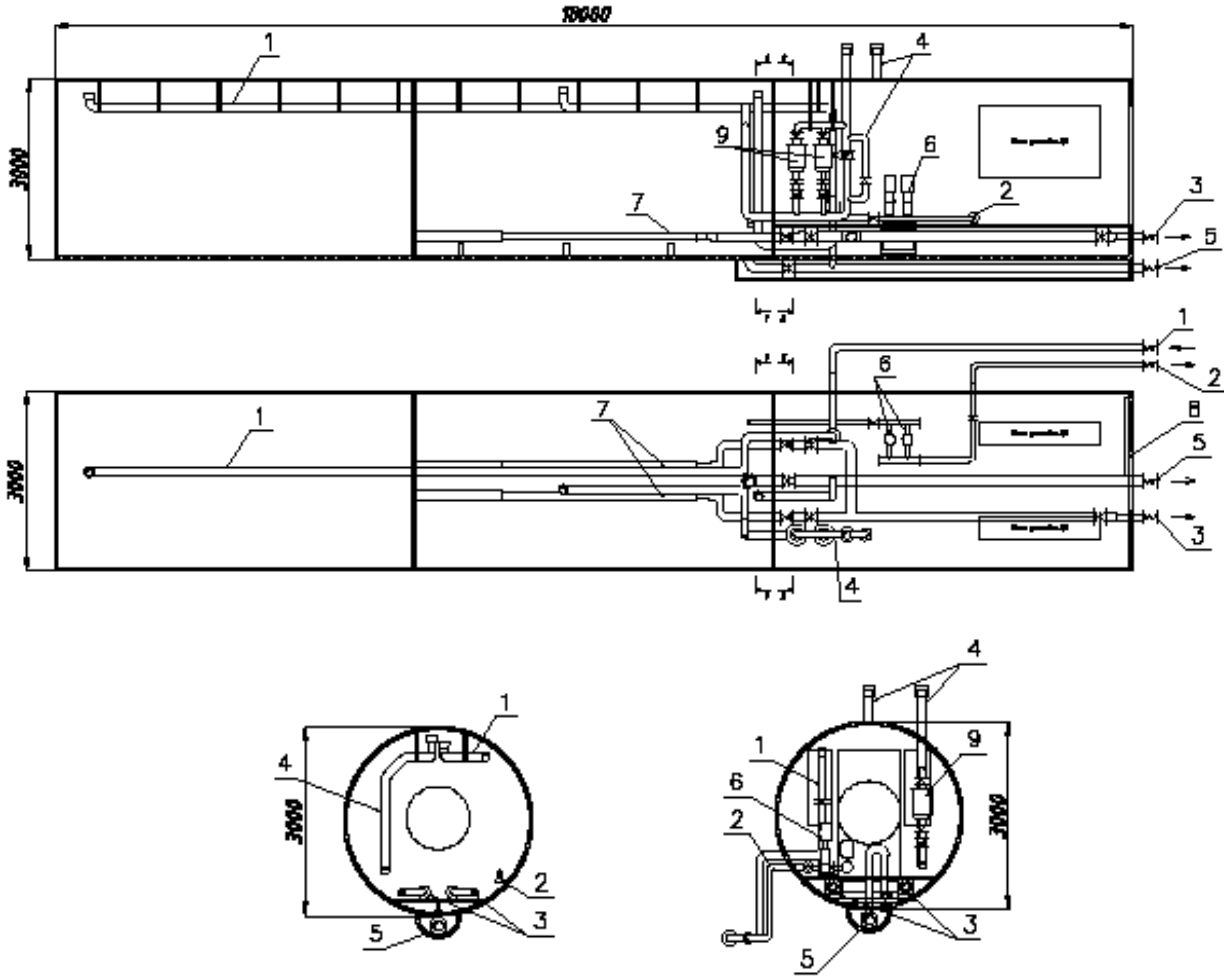


Рисунок 2. **Конструкция хозяйственно-питьевого резервуара:**
1 – трубопровод заполнения резервуара; 2 – трубопровод подачи воды на площадку; 3 – трубопровод подачи воды на вышерасположенную площадку; 4 – трубопровод вентиляции резервуара; 5 – трубопровод опорожнения резервуара; 6 – насосная установка в систему водопровода на площадке; 7 – скважинные насосы на вышерасположенную площадку; 8 – электрокалорифер; 9 – фильтры-поглотители

Резервуары могут быть заглублены в грунт полностью или на часть высоты с обваловкой грунтом, обеспечивающим теплоизоляцию. На рисунке 3 приведен вариант установки противопожарного резервуара частичного заглубления с обваловкой грунтом.

Проектом предусматриваются следующие мероприятия, обеспечивающие необходимое качество питьевой воды: герметичность ограждающих конструкций; герметичные люки-лазы; устройство системы дыхания резервуара через фильтр-поглотитель.

Резервуары оборудуются: подводящим (подающим) трубопроводом; отводящим трубопроводом; переливным устройством; спускным (грязевым) трубопроводом; устройствами для выпуска и впуска воздуха при наполнении и опорожнении резервуара; устройствами для автоматического измерения и сигнализации уровня воды в резервуаре; люками-лазами; лестницами.

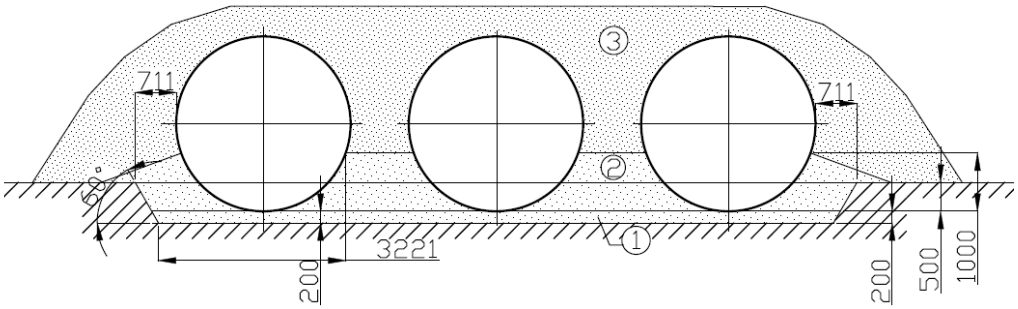


Рисунок 3. **Обваловка резервуара:**

1 – основание из щебня фракции 20 – 40 мм; 2 – зона засыпки емкости щебнем фракции 20 – 40 мм; 3 – зона обсыпки емкости песком

Резервуары запаса воды, выполняемые с использованием стеклопластиковых труб фирмы «Hobas», имеют санитарно-гигиенический сертификат на хранение воды питьевого качества. Использование данной технологии по возведению резервуаров позволяет существенно сократить сроки монтажа, экономичны и легко досягаемы для текущего обслуживания и ремонта.

Резервуары данной конструкции были разработаны ООО «СпецСтройПроект» (г. Санкт-Петербург) и впервые применены для хозяйственно-питьевого и противопожарного водоснабжения горно-климатического курорта «Альпика-Сервис» в г. Сочи (рисунки 4, 5).



Рисунки 4. **Общий вид резервуара**



Рисунок 5. **Конструктивные элементы резервуара**

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьмин Ю.М., Кошелев Г.Н. Водоснабжение. Ч. 1. Водоснабжение объектов общевойскового строительства. ЛВВИСКУ, 1981.
2. СНиП 2.04.02-84*. «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения».
3. Типовой проект 901-4-95 Резервуар для воды прямоугольный железобетонный сборный емкостью 100…250 м^3 (с применением изделий промзданий) сейсмичность 9 баллов. С. 86.

УДК 621: 51-74

ОБЪЕМНО-ПАТРОННЫЕ ФИЛЬТРЫ

Е.М. Булыжев, Л.В. Худобин, Э.Е. Булыжев
Ульяновский государственный технический университет,
г. Ульяновск, Россия

Показано, что объемно-патронные фильтры являются более производительными средствами глубокой очистки воды по сравнению с объемными скорыми и намывными фильтрами.

Как известно, водные технологические жидкости (ВТЖ) являются неотъемлемым элементом многих технологических процессов машиностроительных, металлургических и других производств. При этом объемы потребления ВТЖ неуклонно возрастают из года в год, а требования к их чистоте ужесточаются [1–3]. В связи с этим интенсифицируется поиск

новых высокопроизводительных технологий и техники очистки ВТЖ от механических и иных примесей. Одним из эффективных решений этой проблемы является очистка ВТЖ в тонком фильтрующем слое, намытом на ламели фильтра [3]. Эта технология позволяет многократно увеличить площадь фильтрующей поверхности без увеличения габаритных размеров фильтра и соответственно увеличить его производительность.

Однако возможности дальнейшего совершенствования намывных ламельных фильтров (НЛФ) ограничены несколькими органически присущими им факторами: уровень показателей чистоты ВТЖ ограничен небольшой толщиной намывного фильтрующего слоя (1 – 3 мм); эта же причина ограничивает шламоемкость намывного слоя, которая определяет длительность фильтрования до очередной регенерации фильтра, т.е. длительность его рабочего цикла; повышенная склонность тонкого намывного слоя к уплотнению при попытке интенсификации процесса фильтрования путем увеличения перепада давления на входе и выходе фильтра.

К тому же следует учитывать, что конструкция намывных ламельных фильтров значительно сложнее конструкции объемных скорых фильтров (ОСФ).

Увеличение толщины намывного фильтрующего слоя технически сложно осуществимо и чревато его спонтанным обрушением, а следовательно, и не планируемым прекращением фильтрования.

Возможно принципиально иное техническое решение: можно разместить перфорированные и покрытые сеткой патроны непосредственно в слое фильтрующей загрузки (например, микропеска). В этом случае расстояние между патронами, а значит и толщину фильтрующего слоя, можно увеличить до десятков миллиметров и снять тем самым указанные ограничения. Этот фильтр назван авторами объемно-патронным (ОПФ).

Предлагаемое решение позволит одновременно существенно упростить конструкцию, повысить надежность фильтра и его удельную производительность, а также чистоту фильтрата (очищенной ВТЖ) даже по сравнению с НЛФ.

Эффективность предлагаемых объемно-патронных фильтров выявили путем сопоставления значений их технических характеристик со значениями соответствующих показателей ОСФ и НЛФ. При этом использовали пополненный комплект репрезентативных технических характеристик различных фильтров [1]:

- площадь горизонтальной проекции рабочего пространства фильтра $S_г$, м^2:

$$S_г = \pi \cdot D_ф^2 / 4, \quad (1)$$

где $D_ф$ – расчетный диаметр фильтра, м;

- удельная фильтровальная площадь $S_{ф\,уд}$, м^2/м^2:

$$S_{ф\,уд} = S_{ф\,ед} \cdot S_г^{-1}, \quad (2)$$

где $S_{ф\,ед}$ – фильтровальная площадь единичного аппарата, м^2;

- объем фильтрующей загрузки $\upsilon_з$, м^3:

$$\upsilon_з = S_з \cdot H_з, \quad (3)$$

где $H_з$ – высота слоя фильтрующей загрузки, м; $S_з$ – площадь горизонтальной проекции объема фильтрующей загрузки, м^2:

для ОСФ

$$S_{з\,ОСФ} = S_г;$$

для НЛФ

$$S_{з\,НЛФ} = (b_л + h_л) \cdot N_л \cdot h_з,$$

где $b_л$, $h_л$ – ширина и толщина фильтровальной ламели, м; $h_з$ – толщина намывного фильтрующего слоя, м;

- количество ламелей $N_л$, шт.:

$$N = \frac{L_n}{t_b} \cdot \frac{B_n}{t_h},$$

где $L_п$, $B_п$ – длина и ширина пакета горизонтальной проекции фильтрующих ламелей (при $S_г$ = 1 м^2, $L_п$ = 1 м и $B_п$ = 1 м), м; t_b и t_h – соответственно шаг ламелей по координатам горизонтального сечения фильтра, м;

для ОПФ

$$S_{з\,ОПФ} = S_г - S_{пс} = S_r - \frac{3\pi}{4} N_n \left(d_{nn}^2 + d_{on}^2 + \frac{1}{3} d_{pc}^2 \right),$$

где N – количество патронов одного вида, шт.; $d_{пп}$, $d_{оп}$, $d_{рс}$ – диаметр подводящих и отводящих патронов и размывных сопел, м;

- масса фильтрующей загрузки $G_з$, кг:

$$G_з = \upsilon_з \cdot \rho_з \quad (4)$$

где $\rho_з$= 1170 – насыпная плотность загрузки, кг/м^3;

- объем фильтрата за цикл фильтрования $\upsilon_ф$, м^3:

для ОСФ

$$\upsilon_{фОСФ} = q_п \cdot t_п, \quad (5)$$

где $q_ц$ – удельная производительность, (м^3/ч)/м^2 [4–7]; $t_ц$ – длительность цикла фильтрования, ч;

для НЛФ и ОПФ $\upsilon_{фНЛФ}$ =168 м^3; $\upsilon_{фОПФ}$ = 397,5 м^3.

- суммарная шламоемкость фильтра за время цикла фильтрования $G_{шц}$, кг:

$$G_{шц} = \upsilon_ф \cdot C_и \cdot \bar{\varepsilon}, \quad (6)$$

где $\bar{\varepsilon}$ – средняя степень очистки ($\bar{\varepsilon}_{ОСФ}$= 0,7; $\bar{\varepsilon}_{НЛФ} \geq 0{,}8$; $\bar{\varepsilon}_{ОПФ}$= 1,0);

$C_и$ – концентрация механических примесей в исходной ВТЖ, мг/дм^3;

- удельная шламоемкость $g_{шц}$ за цикл, г/кг:

$$g_{шц} = G_{шц} / G_з; \quad (7)$$

- производительность фильтра Q, м^3/ч:

$$Q = G_{шц} / t_ц \cdot C_и \cdot \bar{\varepsilon}; \quad (8)$$

- коэффициент потерь ВТЖ на размывку $k_{\text{п}}$:

$$k_{\text{п}} = \frac{\left(Q_{\text{ф}} + Q_{\text{пр}}\right) \cdot t_{\text{пр}}}{Q_{\text{ф}}\left(t_{\text{ц}} + t_{\text{пр}}\right)}, \qquad (9)$$

где $Q_{\text{пр}}$ – расход ВТЖ на размывку, м^3/ч; $t_{\text{пр}}$ – длительность размывки, ч.

При расчетах численных значений технических характеристик фильтров следует учитывать, что при фильтровании ВТЖ в объемных скорых фильтрах в работе участвует в основном слой, толщина которого не превышает, как правило, 0,1 толщины слоя загрузки. Именно этот слой определяет производительность фильтрования, чистоту фильтрата и длительность фильтрования до начала регенерации фильтра. Нижележащий слой загрузки (подложка) предотвращает прорыв загрязненной жидкости в фильтрат и обеспечивает тем самым надежность фильтра.

В ОПФ необходимости в подложке нет, поэтому весь слой загрузки принимает активное участие в процессе фильтрования.

Исходные условия соответствуют типовым условиям очистки ВТЖ от механических примесей в промышленности.

Сопоставление технических характеристик трех фильтров привело к следующим выводам: из загрязненной жидкости в ОПФ происходит полное удаление механических примесей; удельная производительность фильтрования в ОПФ значительно превышает значения этой характеристики у НЛФ и ОСФ; удельная шламоемкость ОПФ многократно превышает этот показатель других фильтров, благодаря чему соответственно увеличивается продолжительность цикла фильтрования ВТЖ между двумя регенерациями фильтра.

На основе приведенных данных в ЗАО «Системы водоочистки» (г. Ульяновск) спроектирован, изготовлен и испытан модельный небольшой объемно-патронный фильтр ОПФ-0,45. Испытания фильтра ОПФ-0,45 проводили при температуре 20 °С. Очищали оборотную воду, концентрация механических примесей в которой составляла 10 мг/дм^3.

Результаты длительных испытаний фильтра ОПФ-0,45 выявили следующие факты и зависимости: чистота фильтрата соответствует чистоте дистиллированной воды; средняя за время рабочего цикла удельная производительность фильтрования воды в ОПФ-0,45 $q_{\text{ц}}$ в 2,5 раза меньше; удельная шламоемкость загрузок сравниваемых фильтров одинакова и равна 0,4 г/кг; потери напора на входе и выходе фильтра не превышают 0,8 бара; длительность операции регенерации фильтра – до 15 минут.

Показано, что с увеличением длины патронов $L_{\text{п}}$ прямо пропорционально возрастает удельная производительность фильтрования $q_{\text{ц}}$ (рис. 1), которая в гиперболической зависимости уменьшается с увеличением цикла фильтрования $t_{\text{ц}}$ (рис. 2), при этом уменьшаются

потери воды на размывку загрязненного верхнего слоя загрузки (рис. 3).

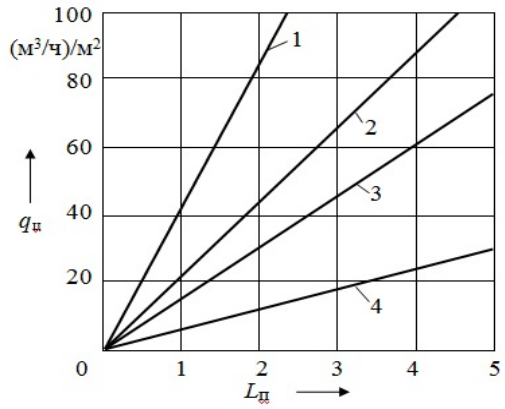


Рисунок 1. **Зависимость удельной производительности фильтрования $q_ц$ в ОПФ от длины патронов $L_п$:**
1; 2; *3*; *4* – соответс

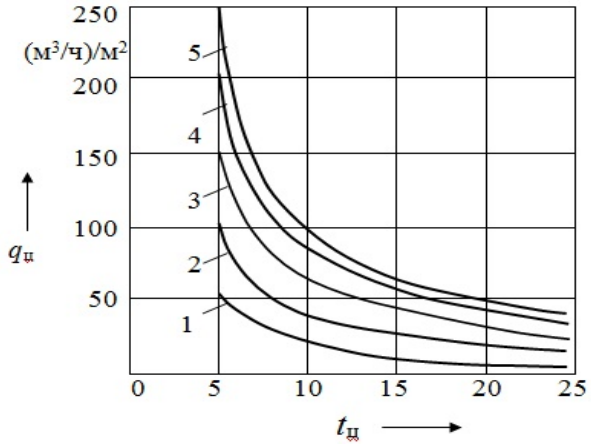


Рисунок 2. **Зависимость удельной производительности фильтрования $q_ц$ от длительности цикла $t_ц$:**
1; 2; *3*; *4*; *5* – соответственно длина патронов $L_п$ = 1, 2, 3, 4, 5 м

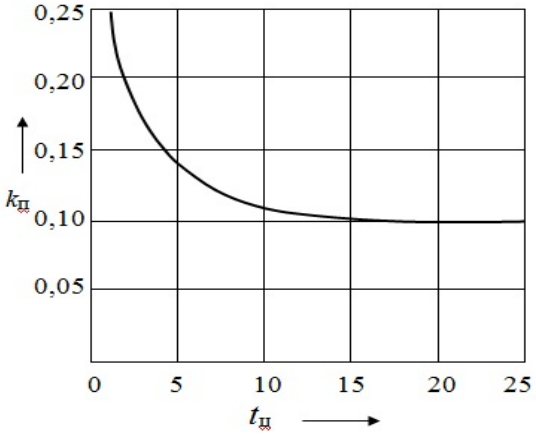


Рисунок 3. **Зависимость коэффициента потерь ВТЖ $k_п$ от длительности $t_ц$**

ВЫВОДЫ

На основании вышеизложенного можно утверждать, что объемно-патронные фильтры являются новым, во много раз более

производительным средством глубокой очистки жидкостей по сравнению с объемными скорыми и намывными ламельными фильтрами и рекомендуемым к использованию в качестве фильтров второй ступени в многоступенчатых системах очистки больших объемов воды и водных жидкостей.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. Худобин Л.В. Технологии и техника применения смазочно-охлаждающих жидкостей при механической обработке / Л.В. Худобин, Е.М. Булыжев. Старый Оскол: ТНТ, 2016. 228 с.
3. Булыжев Е.М. Высокопроизводительные напорные фильтры / Е.М. Булыжев, Л.В. Худобин // Наукоемкие технологии в машиностроении. 2016. № 7. С. 14–23.
4. Actiflo совершенный осветлитель / http://technomaps.veoliawatertechnologies.com/vwst-russia/ressources/documents/1/14280,ACTIFLO_RUS.pdf.
5. Применение технологии фильтрации OFSY в промышленности. http://aqualux.com.ua/sistemy-ochistki-vody-culligan/20-frontpage/378-ofsy-culligan. html.
6. Фильтрация на многослойных зернистых фильтрах/http:// www. filtechs.ru /TECH_Multimed_filt.html.
7. Очистные сооружения с двухступенчатой фильтрацией Culligan OFSY/http: // www.vodgeo-lab.ru / oborudovanie /voda/ofsy/index.html.

УДК 628.33

КОНЦЕПЦИЯ МЕТОДА СВЕРХСКОРОСТНОГО ФИЛЬТРОВАНИЯ В ВОДОЧИСТНОЙ УСТАНОВКЕ С ОБЪЕМНЫМИ ФИЛЬТРУЮЩИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

А.Н. Ким
ООО «Эковод», г. Санкт-Петербург, Россия
А.В. Утин, А.Ю. Романова
ООО «ТВЕЛЛ», г. Санкт-Петербург, Россия
О.А. Продоус
ООО «ОПСВ-Инжиниринг», г. Санкт-Петербург, Россия

Разработана автоматизированная установка с объемными фильтрующими патронами для тонкой механической очистки воды, в которой реализован принцип сверхскоростного фильтрования.

Метод сверхскоростного фильтрования разработан в тридцатых годах прошлого столетия на кафедре «Водоснабжение» Ленинградского инженерно-строительного института (ЛИСИ) Г.Н. Никифоровым. Основная модификация, применяемая в производственном водоснабжении, – сверхскоростная фильтровальная станция батарейного типа, которая представляет собой батарею (блок) из 6, 8, 10 серийных напорных фильтров, объединенных общим коллектором исходной воды и общим коллектором фильтрованной воды. Сущность работы сверхскоростной автоматизированной фильтровальной станции (САФС) батарейного типа заключается в автоматической поочередной обратной промывке фильтров блока из общего коллектора фильтрата. Для этого в системе автоматики отыскивается (назначается) очередной фильтр, который выводится на промывку [1].

Время работы (мин) каждого фильтра в блоке до выхода на промывку определяется по формуле:

$$T_{фц} = t_{пр}(N - 1) + t_{ин} N,$$

где $T_{фц}$ – продолжительность фильтроцикла; $t_{пр}$ – длительность всех операций по промывке фильтра; N – число фильтров в блоке, шт.; $t_{ин}$ – длительность интервала между промывками очередных фильтров.

Опыт проектирования и эксплуатации САФС показал, что оптимальное количество фильтров в блоке можно считать равным восьми. В этом случае минимальная продолжительность фильтроцикла при $t_{ин}$ = 1 мин и времени промывки одного фильтра 10 мин, составляет:

$$T_{фц} = 10 \cdot (8 - 1) + 1 \cdot 8 = 78 \text{ мин}.$$

Из изложенного выше становится понятно, что при всех достоинствах САФС с напорными фильтрами с зернистой загрузкой, при их эксплуатации требуется значительное количество воды, расходуемой на промывку фильтров – 10 % и более от полезной производительности станции.

В тоже время создание высокоэффективных, надежных, компактных и энергосберегающих сооружений и устройств по очистке природных и сточных вод является одной из ключевых задач в области водоснабжения, кроме того работа такого оборудования должна быть полностью автоматизирована. Этим требованиям в полной мере отвечает автоматизированная установка для механической очистки воды УМВ-8, предназначенная для удаления механических примесей, работающая в режиме сверхскоростного фильтрования.

Установка УМВ-8 представлена на рисунке 1 и состоит из следующих элементов: каркас с защитным подрамником; корпус установки; коллектор подачи загрязненной воды; восемь фильтрующих патронных элементов (ФПЭ); коллектор отвода промывной воды; коллектор отвода очищенной воды (фильтрата); шкаф управления установкой.

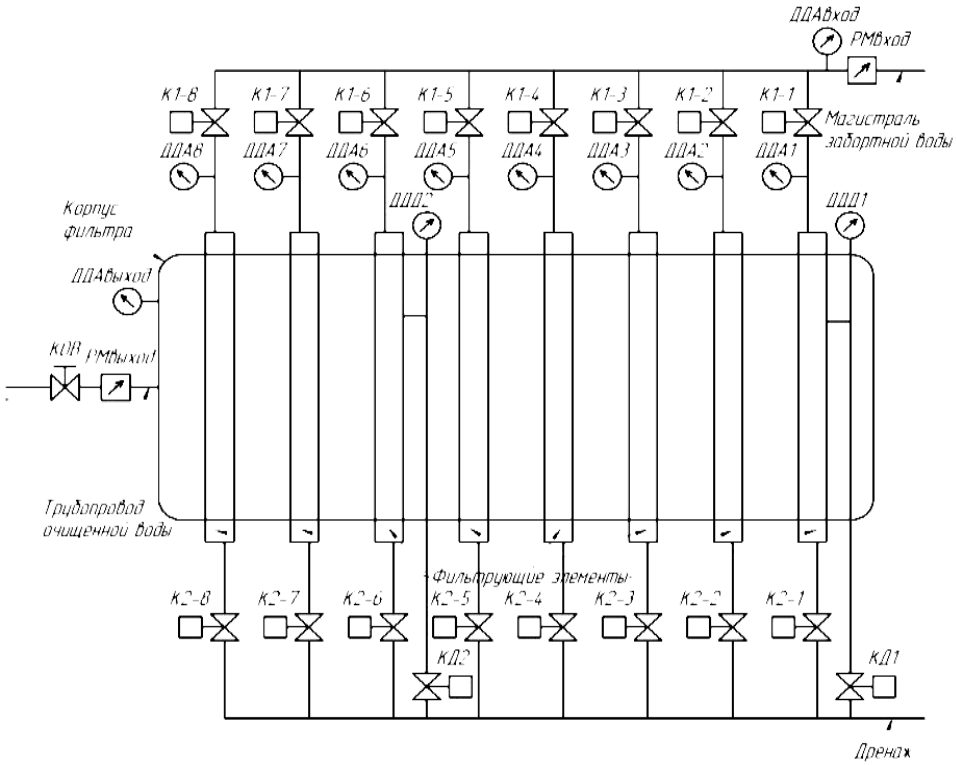


Рисунок 1. **Гидравлическая схема автоматизированной установки для механической очистки воды:**

$РМ_{вход}$ – расходомер на трубопроводе загрязненной воды; $РМ_{выход}$ – расходомер на трубопроводе очищенной воды; ДДА – датчик давления абсолютного; ДДД – датчик давления дифференциального; КД – клапан датчика давления дифференциального; $К_{1-1}$ ч $К_{1-8}$ – клапаны подачи воды на ФПЭ; $К_{2-1}$ч $К_{2-8}$ – клапаны промывки ФПЭ; КОВ – клапан на трубопроводе очищенной воды

Загрязнённая вода под давлением поступает к коллектору, который распределяет эту воду внутри ФПЭ. Загрязнённая вода движется сверху вниз и при прохождении через ФПЭ в направлении «изнутри-наружу» очищается от механических примесей. Очищенная вода собирается внутри корпуса фильтра, который одновременно служит ресивером для поддержания давления внутри фильтра, далее из корпуса по коллектору отвода очищенной воды осуществляется выдача фильтрата.

В УМВ-8 применена технологическая схема каскадного фильтрования для каждого ФПЭ в отдельности. В ней установлены восемь ФПЭ объёмного типа производства ООО «ТВЭЛЛ», которые расположены в корпусе двумя рядами (по четыре штуки в ряду) под углом 90 ° элементы одного ряда к элементам другого ряда.

ФПЭ изготавливается методом пневмоэкструзии из волокнисто-пористого полиэтилена путём напыления слоя. ФПЭ представляет собой цилиндр с внутренним диаметром 38 мм и наружным диаметром 60 + 2 мм [2].

По мере загрязнения ФПЭ задерживаемыми из воды нерастворёнными механическими примесями потеря напора в нём будет

возрастать, а скорость фильтрования при неизменном напоре – снижаться. Для восстановления удерживающей способности ФПЭ необходимо осуществить его промывку (регенерацию).

Принцип работы схемы регенерации основан на использовании энергии потока воды, возникающего за счёт падения давления до нуля при открытии сливного клапана во время промывки ФПЭ.

Для очистки ФПЭ применяются прямая и обратная промывки. Эффект прямой и обратной промывки возникает из-за создания зоны разряжения при открытии клапана промывки внутри ФПЭ (в нижней его части). Прямая промывка в купе с обратной промывкой существенно дополняет принцип сверхскоростного фильтрования, что наряду с повышением эффективности регенерации ФПЭ приводит к экономии очищенной воды для регенерации.

Прямая промывка фильтрующего элемента осуществляется потоком неочищенной воды, поступающим внутри ФПЭ из коллектора подвода загрязненной воды, осуществляется промывка внутренней фильтрующей поверхности. Очищенной водой, поступающей из корпуса установки, осуществляется обратная промывка ФПЭ по направлению «снаружи-внутрь». Сформировавшийся поток воды промывает весь объём ФПЭ и выносит шлам во внутренний поток с последующим сбросом его в систему канализации. Таким образом, ФПЭ промывается как неочищенной водой, так и фильтратом.

При таком режиме промывки падение производительности всей установки УМВ-8 незначительно, так как время промывки минимально (5 с) и определяется только техническими характеристиками применяемой арматуры, т.е. временем срабатывания сливного электромагнитного клапана.

После установления рабочего режима установки УМВ-8 был произведен отбор проб исходной суспензии (до УМВ-8), фильтрата (после УМВ-8) и промывной воды (смыв) от каждого ФПЭ, для каждой отобранной пробы были определены эффективность очистки воды от взвешенных веществ и тонкость фильтрации ФПЭ.

Для определения этих величин в исходную (водопроводную воду) добавили искусственный загрязнитель – смесь песка-кварца № 1 (размер частиц 0,2 ч 27,9 мкм) и песка-кварца № 2 (размер частиц от 54,3 ч 148 мкм). После выхода испытательного стенда на устойчивый режим работы был произведен отбор проб после УМВ-8. В отобранных пробах была определена концентрация механических примесей, содержащихся в воде.

Результаты лабораторных исследований исходной воды, фильтрата и промывной воды представлены в таблице 1.

Из таблицы 1 видно, что эффективность очистки воды от механических примесей варьируется от 30 до 65 % в зависимости от

исходной концентрации взвешенных веществ.

Таблица 1. **Результаты лабораторных исследований**

Показатель	Значение		
	исходная вода	фильтрат	промывная вода
Взвешенные вещества, мг/л	91,5	63,5	153,0
	36,0	13,5	–

В таблице 2 представлены основные характеристики автоматизированной установки для очистки от механических примесей воды УМВ-8.

Таблица 2. **Характеристики установки УМВ-8**

№ п/п	Наименование показателя	Размерность	Значение
1.	Производительность	$м^3/ч$	8,00
2.	Номинальное рабочее давление	МПа	0,15 – 0,6
3.	Тонкость фильтрации	мкм	свыше 20
4.	Габаритные размеры (длина, ширина, высота)	мм	975·630·715
5.	Вес	кг	не более 125

В результате испытаний установлено, что:

1. система управления и конструкция установки обеспечивают длительную, непрерывную и устойчивую работу установки в автономном режиме фильтрация-промывка;
2. для эффективной работы оптимальным расходом для установки является 8 $м^3/ч$;
3. схема регенерации ФПЭ «снаружи-внутрь» позволяет минимизировать время и улучшить качество промывки;
4. при производительности установки 8 $м^3/ч$, времени промывки 5 с, объем промывной воды с одного ФПЭ составляет 12 – 13 л, на промывку восьми ФПЭ потребуется 96 – 104 л воды, что составляет около 1 % от общей производительности УМВ-8.

В марте 2015 г. на вводе в подвальном помещении жилого дома в Приморском районе Санкт-Петербурга (по ул. Стародеревенской, дом 6, корпус 1) были установлены 2 УМВ-8, работающие по настоящее время стабильно и надежно. Промывка фильтров осуществляется в автоматическом режиме 2 раза в сутки. Содержание взвешенных веществ (главным образом соединений окислов железа) в исходной воде, поступающей в здание, составляло 0,73 – 8,5 мг/л, тогда как в воде после установок – 0,14 – 0,33 мг/л. Общий вид одной из установок представлен на рисунке 2.

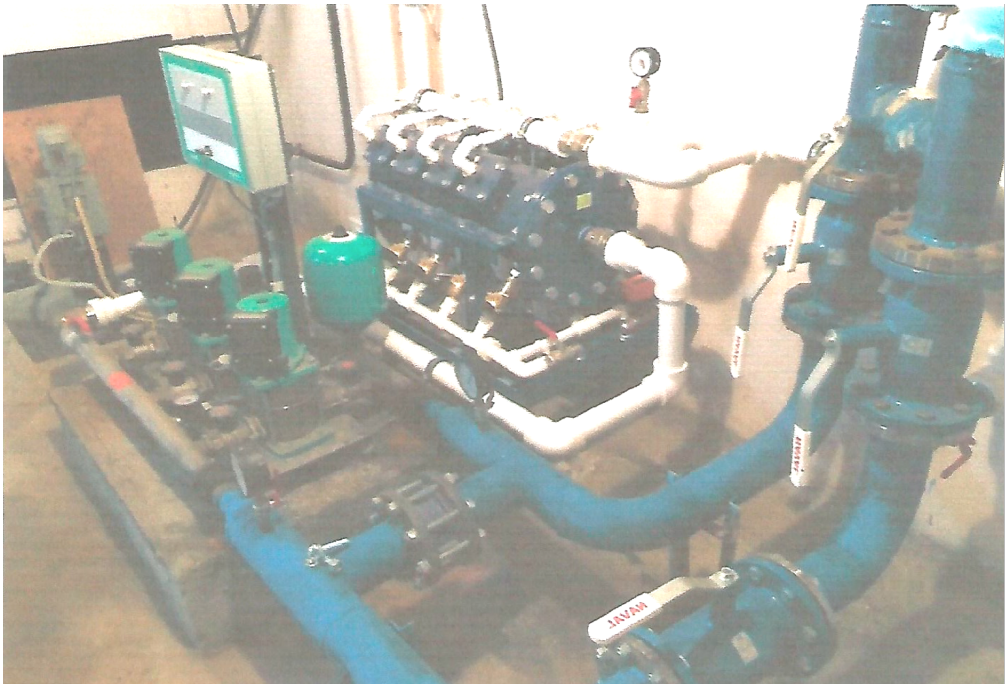


Рисунок 2. **Общий вид установки УМВ-8 в подвальном помещении на вводе водопроводной воды в жилое здание**

ЛИТЕРАТУРА

1. Ким А.Н. Сверхскоростные фильтровальные станции в системах водоподготовки. // Водоснабжение и санитарная техника.. 1996. № 9. С. 12–14.
2. Патент РФ на полезную модель № 137477 «Патронный фильтр» / А.В. Утин, В.Э. Петров // Подача заявки 27.03.2013. Опубликовано 20.02.2014, Бюл. № 5.
3. Жужиков В.А. Фильтрование. Теория и практика разделения суспензий. М.: Химия, 1971. 440 с.

УДК 628.166

АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ СОВРЕМЕННЫХ ЭЛЕКТРОЛИЗНЫХ УСТАНОВОК ПО ПРОИЗВОДСТВУ ХЛОРСОДЕРЖАЩИХ ПРОДУКТОВ НА МЕСТЕ ИХ ПОСЛЕДУЮЩЕГО ПРИМЕНЕНИЯ

Л.Н. Фесенко, С.И. Игнатенко, А.Ю. Черкесов, И.В. Пчельников, Р.В. Федотов, А.А. Бабаев
ООО НПП «ЭКОФЕС», г. Новочеркасск, Россия

Рассмотрены проблемы и дан анализ экологической и промышленной безопасности электрохимических технологий получения хлорсодержащих продуктов на месте их последующего потребления. Описан ряд проблем, возникающих при

эксплуатации современных отечественных и зарубежных мембранных и безмембранных электролизных аппаратов и пути их решения.

Обеззараживание является обязательной стадией на финишном этапе технологической схемы подготовки воды. Традиционно проблема санитарно-эпидемиологической безопасности питьевой воды решается хлорированием, которое продолжает оставаться самым распространенным в мире способом дезинфекции 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 селитебные территории и хранения 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 так же невозможность соблюдения Водоканалами ряда положений все более ужесточающихся Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности, в частности, «Правила безопасности производств хлора и хлорсодержащих сред», утвержденных Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору от 20 ноября 2013 г. № 554 (в дальнейшем – «Правила»), привели традиционную технологию обеззараживания воды в тупиковую ситуацию. Решением проблемы может быть либо перенос водоочистной станции в более безопасное место (по сути – строительство новой за городской чертой), либо отселение жителей за пределы опасной зоны (в соответствии с СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов» не менее 500 м от хранения контейнеров с хлором, п. 7.1.14), или перевод станции на менее опасный дезинфектант, сочетающий положительные качества хлорирования и отсутствие его недостатков.

С точки зрения эпидемиологической безопасности централизованного водоснабжения все хлорсодержащие реагенты (жидкий хлор, хлорная известь, гипохлориты и др.) одинаково надежны и эффективны. Как следствие, при выборе конкретного реагента его преимущества следует искать не в каком-то супербактерицидном эффекте дезинфектанта, а в безопасности его доставки и хранения, технологичности применения, образовании и количестве побочных отходов при производстве продукта на месте его последующего использования, сроках и условиях сохранения рабочих характеристик продукта, а также стоимости поставляемого с химзаводов хлорсодержащего реагента или аппаратов, производящих его непосредственно на площадке водоочистных сооружений из приобретаемого сырья.

Мировой опыт научного поиска альтернативных жидкому хлору дезинфектантов обозначил, а в дальнейшем и подтвердил на практике перспективность и экономическую привлекательность хлорсодержащих продуктов, получаемых на месте потребления при прохождении электрического тока через раствор поваренной (пищевой) соли. Технологически получение хлорсодержащих сред электролизом возможно двумя путями: с разделением межэлектродного пространства (катионообменной мембраной или проницаемой диафрагмой) и получением анодной (молекулярный хлор) и катодной (едконатровая щелочь и водород) фракций, или без разделения с выработкой в одном пространстве гипохлорита натрия и водорода [1–3].

Метод безмембранного электролитического получения раствора гипохлорита известен с конца XIX века, хорошо изучен и в силу ряда преимуществ по-прежнему остается перспективным и в последнее время находит все более широкое практическое применение, постоянно совершенствуясь и модернизируясь в направлении повышения эколого-экономических показателей технологического процесса.

В России самые мощные электролизные установки работают в городах: Ростов-на-Дону (водопроводные станции ОСВ-1 «Центрального водопровода» – 1 т и ОСВ «Александровские» – 7 т по эквиваленту хлора в сутки производства ООО НПП «ЭКОФЕС»; Санкт-Петербурге (Водопроводные станции «Северная» – 3,5 т и «Южная» – 4,5 т в сутки производства фирмы «NEWTEC») [4]; Иваново (две установки по 680 кг/сут., фирма «GRUNDFOS/ALLDOS»); Набережные Челны (два электролизера НСТ-1500 по 680 кг эквивалентного хлора в сутки производства Severn Trent De Nora); Уфе (Северный инфильтрационный водозабор, три установки по 113 кг/сут., фирма «Wolles & Tiernan»). С другой стороны, потребители иностранных технологий попадают в неизбежную зависимость от зарубежного сервиса и ремонта, а также от поставок импортных комплектующих и расходных материалов (прежде всего крайне дорогих окисно-иридиево-рутениевых титановых анодов с гарантийным сроком эксплуатации металлооксидного покрытия 2 –3 года), что вызывает серьезные финансовые проблемы и некоторую неуверенность у импортоприобретателей, особенно обострившуюся в сегодняшних условиях нарастающих санкций со стороны стран Евросоюза.

Именно с такой ситуацией пришлось столкнуться одному из крупнейших российских водоканалов, на водоочистных станциях которого в течение 3-х лет эксплуатируется 6 электролизных установок «GRUNDFOS/ALLDOS» производительностью 156 кг/сут. по эквиваленту хлора каждая. Выработка срока службы анодного покрытия ОРТА и связанное с этим резкое снижение концентрации вырабатываемого гипохлорита натрия потребовало срочной замены пакета электродных пластин особой конструкции, приобретение и монтаж которых в

электролизные аппараты фирма-производитель оценила в десятки миллионов рублей. В итоге монопольную ситуацию на рынке комплектующих материалов к импортным электролизерам пришлось исправлять отечественному производителю, среди которых далеко не каждый способен обеспечить адекватную замену. В частности для МУП «Водоканал» Муниципального образования «Город Архангельск» ООО НПП «ЭКОФЕС» (г. Новочеркасск) изготовило, смонтировало и в начале июля 2016 г. запустило в эксплуатацию четыре электролизных модуля собственного производства по 150 кг/сут. по активному хлору каждый взамен вышедшим из строя аппаратам «GRUNDFOS/ALLDOS» (рис. 1). Как показала эксплуатация, установленные электролизеры по основным технологическим показателям не уступают ранее действующим импортным аналогам. Кроме того, все иностранные компании, а вслед за ними и Российские фирмы («Невский Кристалл», «Юпитер», «РутТех», «Аквахим» и др.) при производстве гипохлорита используют глубокоумягченную воду и специальную соль (таблетированную или марки «Экстра», в крайнем случае, высшего сорта), не содержащую кальция и магния, что удорожает процесс на 30 – 40 %. И если воду не трудно умягчать на месте ее использования (как правило, электролизные станции зарубежного образца поставляются только в комплекте с Na-катионитовыми фильтрами), то соль марки «Экстра» в России не производится (ближайший поставщик – Белорусская «Мозырьсоль») и ее цена в 3 – 5 раз выше Астраханской, Илецкой и др.



Рисунок 1. **Четыре электролизера «Хлорэфс» взамен вышедшим из строя «GRUNDFOS/ALLDOS» производительностью 150 кг хлора в сутки каждый**

В результате для продвижения своей продукции на рынке некоторые отечественные производители широко заявляют о возможности использования на их установках поваренной соли любой сортности забывая при этом, что в глубоко умягченной Na-катионированной воде при растворении такой соли происходит вторичное насыщение воды ионами жесткости, присутствующими в низкосортной соли. В итоге в течение весьма короткого времени их электролизные аппараты практически полностью обрастают карбонатными отложениями с закупоркой межэлектродного пространства (рис. 2) и нарушением гидравлики протока.

Отсутствие автоматической кислотной промывки электролизеров, регулярность и периодичность которой не зависит от «человеческого» фактора, и неработающая при этом в нормальном режиме водоподготовка только усугубляют процесс.



Рисунок 2. **Пакет электродов спустя 5 месяцев эксплуатации на неподготовленной воде и отсутствии автоматической регулярной кислотной промывки**

Также отметим, что применяемая как в отечественных, так и в импортных установках «NEWTEC», «GRUNDFOS/ALLDOS», «OSEC» и др. система умягчения воды Na-катионированием требует дополнительного потребления воды и соли на регенерацию катионита и, что наиболее проблематично, этими установками не решается вопрос очистки (или утилизации) отработанных высококонцентрированных хлоридно-магниево-кальциевых регенерационных растворов, а также взрыхляющей и отмывочной воды. В технологических схемах такие сбросы производители электролизных установок именуют обтекаемым выражением «в дренаж», а по сути – в хоз-бытовую канализацию, что категорически неприемлемо и запрещено.

На электролизных установках производства ООО НПП «ЭКОФЕС» проблема использования низкокачественной (и дешевой) соли решается методом декарбонизации рабочего солевого раствора, приготовленного на неумягченной водопроводной воде. При этом реализуется наиболее простая, значительно менее затратная и безотходная (какие-либо сбросы отсутствуют) технология удаления осадкообразующего иона гидрокарбоната путем подкисления воды до pH = 4,0 – 4,2 с переводом HCO_3^- в свободную CO_2 и последующей отдувкой её в пленочном или барботажном дегазаторе.

Такая технология подготовки солевых растворов впервые была реализована ООО НПП «ЭКОФЕС» на электролизной станции ОСВ Центрального водопровода Ростова-на-Дону и в течение восьми лет эксплуатации демонстрирует свою высокую эффективность и надежность.

Наконец, имеется, еще один вид стоков, подлежащих переводу их в состояние, отвечающее требованиям, предъявляемым к приему в промканализацию ВОС, либо возврату в схему электролиза. Это стоки от промывки электролизеров раствором соляной кислоты. В технологии «Newtec» (Водопроводные станции г. Санкт-Петербурга «Северная» - 3,5 т и «Южная» – 4,5 т по эквиваленту хлора в сутки) по мере образования на катодных пластинах отложений карбоната кальция проводится периодическая промывка электролизеров в закрытом контуре 4 % раствором соляной кислоты. Промывку осуществляют подключением к очередному электролизеру передвижной мобильной установки с размещенной на ней емкостью с кислотой и циркуляционным насосом. В литературе нет информации о месте выпуска отработанной кислоты (так же, как и отработанных солевых регенерационных растворов от Na-катионирования). Очевидно, сброс осуществляется также по схеме «в дренаж».

На рынке экологических товаров и услуг появляется все большее количество усиленно рекламируемых устройств мембранного (или диафрагменного) типа, декларируемых как «безопасная и экономическая альтернатива известным технологическим процессам синтеза хлора», «новый процесс в технологии электрохимических производств» и т.п., а производимый этими аппаратами продукт именуется как «электрохимически активированный антимикробный раствор», «более современный в технологическом и функциональном плане аналог хлорной воды» и т.д. [4–6].

Получаемый в анодной камере диафрагменного (или мембранного) электролизера газ различные фирмы называют по-разному:

- «обычный хлор-газ» (компания ProMinent, Германия; компания Chlorimax, США);
- «оксидантный газ-хлорин», состоящий из хлор-газа, диоксида хлора, перекиси водорода, атомарного кислорода (фирма Oxico, США);
- «нестабильная влажная газообразная смесь оксидантов, представленная хлором (95 %), диоксидом хлора (3 %), озоном (1,5 %), гидропероксидными соединениями (перекись водорода, синглентный кислород, супероксидные радикалы)» (ЗАО «Институт электрохимических систем и технологий Витольда Бахира», Россия);
- «газообразный оксидант» (ООО НПО «Эко-технология», Россия).

В литературе и рекламных буклетах имеется обширная информация о том, что «раствор смеси оксидантов» за счет «аномальной реакционной способности растворов и газов» обладает более эффективным окислительным и бактерицидным действием по сравнению с гипохлоритом натрия, получаемом в бездиафрагменном электролизере [5–7]. Такое действие приписывают «комплексу окислителей», однако до настоящего времени нет опубликованных достоверных данных об

идентификации каких-либо окислителей помимо хлора в электрохимически полученных растворах. Хотя вероятно, что и другие разновидности окислителей генерируются при электролизе в микроколичествах, однако аналитическое определение их содержания на фоне высоких концентраций активного хлора в растворе проблематично.

При электролизе с разделенными электродными пространствами полученный в анодной камере газ смешивается с водой, и в результате получаем: «раствор смеси оксидантов», «анолит АНК», «аналог хлорной воды» и т.п. (название продукта в зависимости от производителя оборудования) и который фактически мало чем отличается от насыщенной газообразным хлором воды в обычном хлораторе. Результаты исследований, изложенные в докладе «Foundation for Water Research» (Великобритания) №832/1100 от 08.12.2003 г., показали, что генераторы «смеси оксидантов» не вырабатывают «электрохимически активированный анолит» (он же «раствор смеси оксидантов») с заявленными свойствами, как утверждается в рекламных проспектах и на сайтах фирм-производителей, а протестированное оборудование не вырабатывает продукт, отличный от хлора.

При сравнительной оценке технологий электрохимического получения хлорсодержащих продуктов (хлорной воды, «оксидантов», низко- или высококонцентрированного гипохлорита натрия) на месте их последующего применения конкурентоспособность и инвестиционная привлекательность электролизных аппаратов определяются (в основном):

– возможностью применения соли любой сортности;

– энергозатратами на единицу получаемого продукта (1 кг в эквиваленте активного хлора);

– затратами на подготовку воды, используемой в приготовлении солевых растворов (умягчение воды или декарбонизация);

– уровнем автоматизации как основных (электролиз), так и вспомогательных (растворение соли, водоподготовка, удаление карбонатных отложений, дозирование готового продукта и др.) технологических процессов;

– безотходностью и экологичностью технологического цикла, исключающих образование вторичных загрязнений, подлежащих последующей очистке или утилизации;

– безопасностью, надежностью и антитеррористической устойчивостью производства на месте потребления хлорсодержащих сред.

Рассматривая схему получения хлорсодержащего продукта методом электролиза хлоридных растворов с разделенным электродным пространством на аппаратах типа МБЭ (мембранный биполярный электролизер (рис. 3), производители ООО ГК «Спецмаш» г. Дзержинск, ООО «Эко-Технология» г. Санкт-Петербург, ООО «СибАкваТрейд» г. Омск) и сравнивая ее экологичность и промышленную безопасность с

позиций требований «Правил» и с некоторыми другими нормативными документами приходим к заключению, что заявляемые изготовителями МБЭ цели их деятельности, такие как, например, «обеспечение реализации технологического процесса во имя экологической и технологической безопасности объекта и населенного пункта» (www.et-sp.ru), или что промбезопасность объекта реализуется за счет того, что «хлор образуется только при наличии источника постоянного тока, нет необходимости хранения хлора, т.к. он непосредственно производится и уходит в трубы с водой» (www.specmash.ru) и др., не всегда отвечают действующим нормативным требованиям по безопасности объекта и его экологичности.

Необходимо отметить, что, например, входящая в состав ООО ГК «Спецмаш» ООО ЗХ «Заря» выпускает мощные диафрагменные электролизеры (типа ДМ и БГК, рис. 4), применяемые при производстве хлора (до 3 т/сут.) и каустической соды (до 3,5 т/сут.). Поскольку широкого спроса на такие высокопроизводительные аппараты, генерирующие хлор-газ, на сегодняшний день нет, то, очевидно, производителями промышленных электролизеров было принято решение из «больших» сделать «маленькие» типа МБЭ, производительностью до 150 кг хлора в сутки. А поскольку «маленькие» аппараты не оборудованы устройствами охлаждения, осушки и компримирования отходящего от электролиза хлор-газа в сжиженный продукт, то в технических заданиях на «повышение экологической эффективности систем обеззараживания воды» Заказчик пишет (цитата из «Техзадания» от Новокузнецкого Водоканала): «Продукты электролиза поваренной соли (видимо, неловко написать, что продукт – это хлор-газ 2-го класса опасности) из электролизера должны подаваться на потребление непосредственно, без промежуточного их хранения в специальных емкостях». Почему именно так? Да потому, что в качестве «специальных емкостей» могут выступать только баллоны или бочки с



Рисунок 3. **Станция обеззараживания в Каменск-Уральском ОАО «Водоканал» установками МБЭ производства ООО ГК «Спецмаш»**

хлором, т.е., чтобы не вернуться к тому (хлораторной), от чего якобы уходим. Однако пока еще никто не отменял СП 31.13330.2012 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.2-84*», в п. 9.121 в которых четко прописано, что вместимость расходного бака гипохлорита (а если это мембранный электролизер, то, соответственно, емкость с хлорной водой или же «специальная емкость» с хлор-газом) должна обеспечивать не менее суточной потребности станции в реагенте. Т.е. на случай планируемой или непредвиденной (авария) остановки электролизеров типа МБЭ не то, что 24-часового, а вообще какого-либо запаса хлорного продукта нет. И только производители МБЭ, не знакомые или игнорирующие СП, позволяют себе рекламировать такие технологии по своему разумению и под свое оборудование, очевидно, наперед зная, что до Госэкспертизы их проектная документация не дойдет, а, следовательно, и нет проблем.

Однако проблема есть, и эта проблема четко прописана в целом ряде положений Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности производств хлора и хлорсодержащих сред». В частности, при электролизе мембранным методом (п. 53 «Правил») «при отключении электролиза должна автоматически включаться продувка катодных и анодных пространств электролизера, хлорных и водородных коллекторов азотом» и еще целый ряд пунктов (п.п. 43–52 «Правил») по автоматическому регулированию и контролю за техпроцессом получения хлор-газа, обязательность выполнения которых производителями установок МБЭ попросту игнорируется. Совершенно очевидно, что согласно «Правилам» само получение, транспортирование по трубопроводу (пусть и на коротком участке) и эжектирование хлор-газа, вещества 2-го класса опасности, автоматически переводит такие «хлордозаторные» в опасные производственные объекты со всеми вытекающими последствиями, что бы там не писали изготовители МБЭ в своих рекламных буклетах.



Рисунок 4. **Промышленный диафрагменный электролизер типа БГК для генерации хлора и каустической соды производства ООО ЗХО «Заря» (Группа компаний «Спецмаш»)**

Наконец, следуя информации самих производителей электролизных установок с разделенным межэлектродным пространством, а также применяемой ими технологии получения хлора, их установки представляют собой «мини-хлоркаустиковые заводы», на которых в качестве готового продукта генерируются хлор-газ и едконатровая щелочь, и которые, в свою очередь, согласно ГОСТ 12.1.007, относятся к вредным веществам 2-го класса опасности. При мембранном электролизе на каждый кг генерируемого хлора попутно вырабатывается и 1,14 кг (теоретически, а на практике еще больше) едкого натра, или выход 15 %-ной щелочи (150 г/л NaOH в католите с pH = 13– 14 ед.) составит около 10 л на каждый кг получаемого хлора. Т.е. при суточной потребности, например, Омского Водоканала (одного из заказчиков МБЭ) около 2 000 кг ему предстоит куда-то определять (продавать, нейтрализовать, утилизировать или еще что-то делать) около 20 $м^3$ 15 %-ного (или 30 $м^3$ 10 %-ного) каустика ЕЖЕСУТОЧНО! Готов ли «ОмскВодоканал» к таким проблемам?

Выводимый из электролиза водный раствор гидроксида натрия, пусть он будет 15 % или 10 %, да хоть и 1 %-ной концентрации, носит название «едкий натр» (по ГОСТ 2263-79) и относится к вредным веществам 2-го класса опасности по ГОСТ 12.1.007 с особыми условиями его хранения, транспортирования, слива-налива и требований безопасности, чего в схемах с установками МБЭ никак не предусмотрено, что и будет выявлено первой же комиссией Ростехнадзора при проверке опасного производственного объекта.

Расходными материалами в электролизерах МБЭ являются ионообменные сульфакатионитные мембраны Флемион 811 фирмы АСАХИГЛАСС (Япония) или мембраны Nafion производства фирмы «Дюпон» (США), что ставит приобретателей мембранных аппаратов в неизбежную зависимость от иностранных поставок или от посредников, перепродающих такого рода импортную продукцию. Возникает вопрос: в реалиях сегодняшнего дня, направленных на максимально возможное импортозамещение, будут ли отвечать такие установки требованиям экономической ситуации, сложившейся в РФ на фоне все возрастающих санкций со стороны индустриально развитых стран: США и стран Евросоюза?

С целью минимизации карбонатно-сульфатно-кальциевых отложений на мембранах (что и определяет срок их службы) в установках типа МБЭ должна применяться только химически чистая соль (в Российских условиях это таблетированная или пищевая поваренная соль не ниже марки «Экстра», ближайший поставщик которой Белорусская «Мозырьсоль») и глубоко умягченная вода с практически нулевой концентрацией кальция. Для этой цели в технологиях МБЭ применяют Na-катионирование воды, при этом технологию водоподготовки комплектуют импортной ионообменной установкой типа EMS MX с пятислойной

загрузкой Экософт Микс (хотя и отечественный КУ-2-8 не хуже импортного аналога). Возникает очередной вопрос: как утилизируются (или деминерализуются) отмывочные и отработанные 30 %-ные хлоридно-натриево-кальциево-магниевые отработанные регенерационные растворы от Na-катионирования, поскольку их сброс в хоз-бытовую канализацию недопустим ни при каких обстоятельствах? Ответ: в технологиях МБЭ никак.

Поскольку бактерицидное действие всех хлорсодержащих сред (вода, насыщенная хлор-газом или она же «хлорная вода», гипохлориты кальция и натрия, хлорная известь и другие хлорсодержащие водные растворы), за исключением диоксида хлора, в принципе одинаково, поскольку все они имеют один механизм гидролиза свободного хлора в водной среде, то возникает следующий вопрос: поскольку энтеровирусы, цисты лямблий и др. спорообразующие устойчивы к воздействию хлора (независимо от того, хлорная ли это вода, электрохимический гипохлорит натрия, «газообразная влажная смесь оксидантов» и т.д.), то каким образом установки МБЭ способны обеспечить 100 %-ную (как заявляется в рекламных проспектах изготовителями мембранных аппаратов) санитарно-эпидемиологическую безопасность питьевой воды, если нет финишного этапа ультрафиолетового обеззараживания?

Даже при использовании высококачественной соли и глубокоумягченной воды, тем не менее, не исключается постепенное отложение и накопление на поверхности мембраны так называемых «катодных отложений» – солей карбоната и сульфата кальция. Поскольку в технологической схеме МБЭ не предусмотрена кислотная промывка вообще, то, как тогда удаляются такие соли с поверхности мембраны, наличие которых постепенно приводит к «запиранию» мембраны и выходу её из строя?

Электролизные установки для получения низкоконцентрированного гипохлорита натрия без разделения электродных продуктов лишены недостатков, присущих мембранному или диафрагменному электролизу, в частности: отсутствие этапов выделения газообразного хлора и образования побочного продукта – едконатровой щелочи и, как следствие, проблем, связанных с обеспечением хлорбезопасности и утилизацией каустика. Вырабатываемый в объеме электролизера продукт – гипохлорит натрия, вещество 4-го класса опасности, которое может беспрепятственно храниться в накопительных емкостях в объеме, обеспечивающем требуемый СП 24-часовый запас реагента на случай плановой или аварийной остановки электролизной станции. Возможность использования в качестве сырья поваренной соли любой сортности и, соответственно, цены также выгодно отличает метод безмембранного электролиза от технологий с аппаратами МБЭ.

Обеззараживание – обязательный этап обработки питьевой воды, необходимый для обеспечения ее гарантированной санитарно-эпидемиологической безопасности, а низкоконцентрированный гипохлорит натрия – альтернативный высокотоксичному газообразному хлору дезинфектант, который в мировой практике уже давно признан как самый безопасный, технологически надежный, экологически чистый хлорсодержащий реагент, получаемый в бездиафрагменных электролизных установках на месте последующего его потребления.

Вопросы экологической безопасности были полностью решены ООО НПП «ЭКОФЕС» на самой мощной в России (и второй в мире) электролизной станции (7 т/сут по активному хлору с установкой 7 электролизных аппаратов по 1 т/сут каждый) на Александровских водопроводных очистных сооружениях г. Ростов-на-Дону, пущенной в работу в августе 2015 (рис. 5). В отличие от импортных станций производства ГХН новая станция Ростовского водоканала является экологически чистой и полностью безотходной со 100 % использованием или оборотом всех применяемых в технологии реагентов (воды, поваренной соли, кислоты) [8].

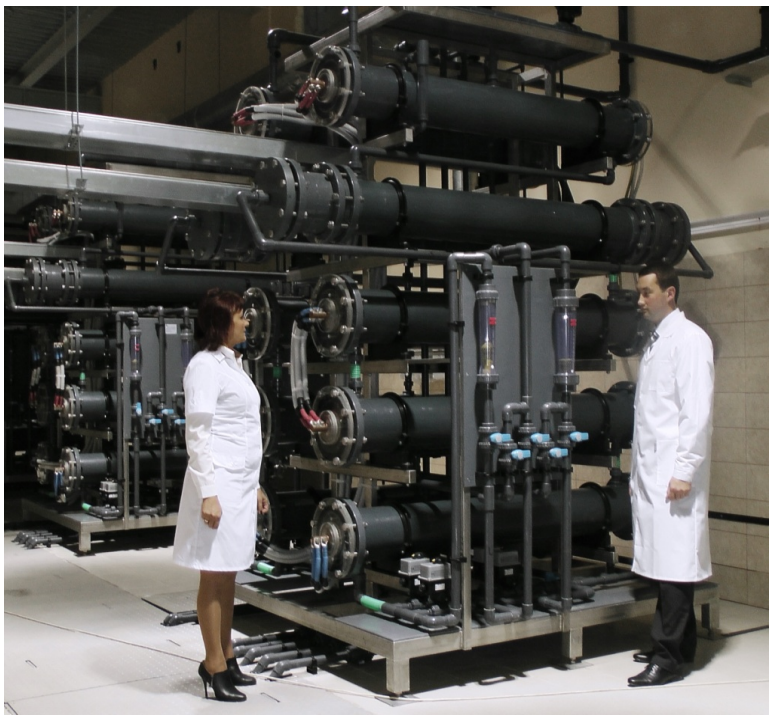


Рисунок 5. **Самая крупная в России (вторая в мире) электролизная станция на Александровских ОСВ производительностью 7 т/сут по эквиваленту хлора с безмембранными электролизерами производства ООО НПП «ЭКОФЕС»**

ВЫВОДЫ

1. Метод безмембранного электролизного получения ГХН остается перспективным и находит все более широкое практическое применение, постоянно совершенствуясь в направлении повышения эколого-технологических показателей.
2. Отсутствие у ряда отечественных производителей электролизных аппаратов автоматической кислотной промывки, регулярность которой не зависит от «человеческого» фактора вызывает неконтролируемый

рост карбонатных отложений с закупоркой межэлектродного пространства.

3. Применяемая в отечественных и зарубежных установках система умягчения воды Na-катионированием рассчитана на применение соли не ниже марки «экстра», при этом не решен вопрос очистки (или утилизации) отработанных сильноминерализованных регенерационных растворов. Более экологична и менее затратна технология удаления осадкообразующего иона гидрокарбоната путем подкисления воды с переводом HCO_3^- в CO_2 и её последующей отдувкой в дегазаторе.
4. Продуктом электролиза поваренной соли в мембранных аппаратах является хлор-газ 2-го класса опасности, транспортирование которого по трубопроводу к точке дозирования переводит мембранный электролиз в ранг опасного производственного объекта. Попутно с хлор-газом при мембранном электролизе генерируется и 10 – 15 % едконатровая щелочь, продукт также 2-го класса опасности с особыми условиями его хранения, транспортирования, слива-налива и требований безопасности в соответствии с приказом № 559 Ростехнадзора по производству неорганических кислот и щелочей.
5. Вопросы экологической и промышленной безопасности полностью решены в отечественных электролизных установках «Хлорэфс» производства ООО НПП «ЭКОФЕС» (г. Новочеркасск) со 100 % использованием или оборотом всех применяемых в технологии реагентов (воды, поваренной соли, кислоты).

ЛИТЕРАТУРА

1. Фесенко Л.Н., Денисов В.В., Скрябин А.Ю. Дезинфектант воды – гипохлорит натрия: производство и применение: монография / Л.Н. Фесенко, В.В. Денисов, А.Ю. Скрябин; под ред. проф. В.В. Денисова; ООО НПП «ЭКОФЕС», Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. Новочеркасск: Лик, 2012. 237 с.
2. Баранов С.В. Станции обеззараживания на основе мембранных электролизных установок // Мат. Всероссийского семинара «Техника и технология обеззараживания питьевых и сточных вод без использования элементарного хлора» / Москва, 2008 г.
3. Болдырев В.В. Обеззараживание воды методом мембранного электролиза // Водоснабжение и санитарная техника, 1999, № 11. С. 21–23.
4. Кинебас А.К., Нефедова Е.Д., Бекренев А.В. Обеззараживание воды низкоконцентрированным гипохлоритом натрия на водопроводных станциях Санкт-Петербурга // Водоснабжение и санитарная техника. 2010. № 3 С. 24–29.
5. Бахир В.М. Обеззараживание воды: проблемы и решения // Вода Magazine. 2008. № 5.

6. Бахир В.М. К проблеме поиска путей повышения промышленной и экологической безопасности объектов водоподготовки и водоотведения ЖКХ // Водоснабжение и канализация. 2009. № 1.
7. Бахир В.М. Дезинфекция питьевой воды: проблемы и решения. Питьевая вода. 2003. № 1.
8. Фесенко Л.Н., Игнатенко С.И., Пчельников И.В., Черкесов А.Ю., Федотов Р.В., Бессарабов С.Ю. Опыт эксплуатации современных электролизных установок производства низкоконцентрированного гипохлорита натрия // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2016. № 5. С. 54–60.

УДК 628.161.2

БИОСОРБЦИОННО-МЕМБРАННЫЙ РЕАКТОР С ПЛОСКОРАМНЫМИ МЕМБРАНАМИ ДЛЯ ОЧИСТКИ ДОНСКОЙ ВОДЫ

А.И. Вергунов, Л.Н. Фесенко, А.Л. Фесенко
ООО НПП «ЭКОФЕС», г. Новочеркасск, Россия
В.Н. Швецов
АО «НИИ ВОДГЕО», г. Москва, Россия
К.М. Морозова
г. Москва, Россия

Рассмотрены особенности биотехнологии очистки сточных вод с использованием свободноплавающего активного ила и микроорганизмов, прикрепленных на поверхности твердой насадки.

Развитие биосорбционных процессов с использованием микро- и ультрафильтрационных мембран является перспективным направлением совершенствования процессов очистки природных вод, в частности, для предотвращения образования хлор- и броморганических соединений при хлорировании воды [1–3].

В условиях антропогенного загрязнения водоисточников совмещение биосорбционной технологии с использованием порошкообразных активированных углей и мембранной фильтрации позволит решить проблему обеспечения населения качественной питьевой водой.

Первоначально экспериментальные исследования по оценке удаления органических загрязнений из природной донской воды проводились в биосорбционно-мембранном реакторе с использованием микрофильтрационных половолоконных мембран [1–3].

Результаты этих исследований показали, что развитие биосорбционных процессов с использованием микрофильтрационных

мембран является перспективным направлением в области очистки природных вод.

Наиболее высокий результат очистки сырой донской воды биосорбционно-мембранным методом был получен по ХПК, перманганатной окисляемости (ПО) и цветности. Так, эффективность очистки воды в БМР по ХПК достигала 56 – 67 %, цветности – 77 – 79 % и ПО – 58 – 59 % [2].

Предварительная биосорбционно-мембранная обработка воды р. Дон позволяет уменьшить при последующем хлорировании воды образование токсичных хлор- и броморганических соединений на 40 – 50 % за счет удаления в БМР трудноокисляемых органических загрязнений, в том числе, возможно, и метана [2].

Доочистка воды после предварительной физико-химической обработки в БМР уменьшает количество хлорорганических соединений, образовавшихся при первичном хлорировании. Эффективность снижения хлороформа составляла в среднем 45 %, дихлорбромметана – 82 % и хлордибромметана – 89 %, в то время как при фильтровании на скорых фильтрах хлороформ удалялся на 23 %, дихлорбромметан и хлордибромметан – на 33 % каждый [3].

На основании выполненных работ [2–3], было установлено, что основные преимущества БМР – полное удаление взвешенных частиц, высокое качество очистки, частичная дезинфекция воды, стабильная и надежная работа независимо от сезона года.

Применение БМР в технологических схемах водоподготовки может позволить существенно сократить количество реагентов за счет удаления природных загрязнений, отказаться от первичного хлорирования и использования ступени глубокой очистки для удаления специфических загрязнений антропогенного характера.

Появление на рынке плоскорамных мембран, одним из основных преимуществ которых является отсутствие промывки обратным током воды, что, в свою очередь, по данным фирм изготовителей приводит к снижению трудо- и энергозатрат на техническое обслуживание.

С целью исследования возможности использования плоскорамных мембран в БМР была изготовлена и смонтирована установка производительностью до 2,7 $м^3$/сут. на станции водоподготовки с забором воды из нижнего течения р. Дон. Вода подавалась в биосорбционно-мембранный реактор без предварительного хлорирования и физико-химической обработки.

Результаты работы биосорбционно-мембранного реактора в непрерывно-проточном режиме на донской воде за период исследований (ноябрь 2014 г. – март 2016 г.) представлены на рисунках 1–3.

ХПК сырой донской воды варьировала в пределах 17,5 – 41,2 мг/л, после БМР за весь период наблюдений в среднем составляла 16,7 мг/л

(рис. 1), эффективность – 41,2 %.

Концентрация органических загрязнений, оцениваемых по перманганатной окисляемости, в исходной воде изменялась от 3,8 мг/л до 7,3 мг/л, в пермеате от 1,3 мг/л до 6,4 мг/л. В среднем перманганатная окисляемость снижалась с 4,8 мг/л до 3,2 мг/л, эффективность очистки при этом составляла 33,3 %.

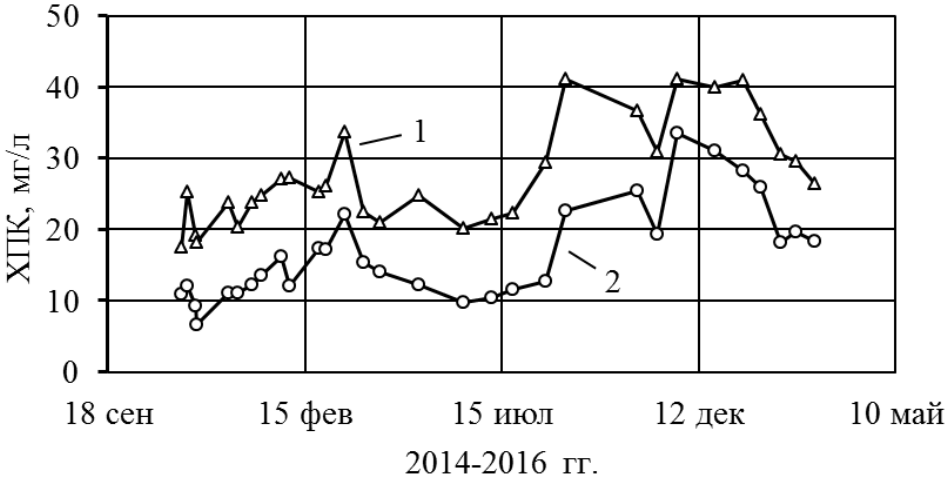


Рисунок 1. **Изменение концентрации ХПК за время экспериментов:**
1 – сырая вода; 2 – фильтрат после БМР

Цветность воды в биореакторе снижалась в среднем с 13,2 до 5,6 град. ПКШ. Эффективность очистки составляла 57,3 %. Взвешенные вещества в пермеате за весь период эксперимента отсутствовали.

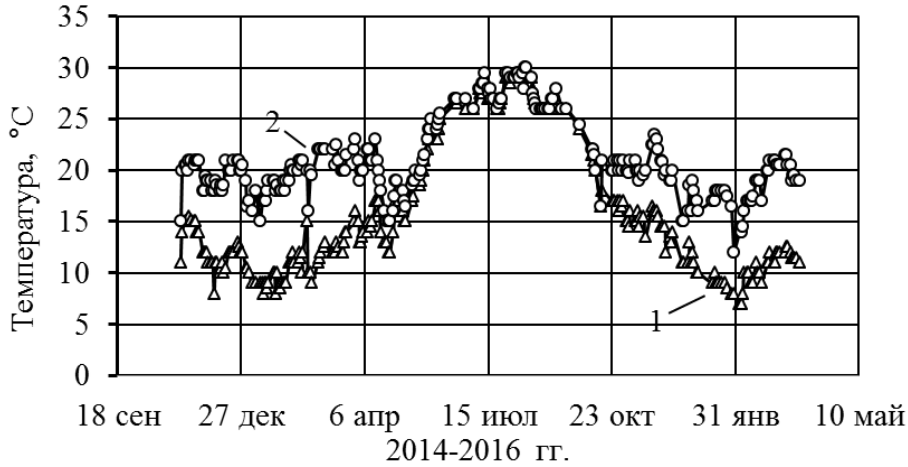


Рисунок 2. **Изменение показателя температуры за время экспериментов:**
1 – сырая вода; 2 – фильтрат после БМР

Концентрация аммония в исходной воде изменялась от 0,056 до 0,170 мг/л, а в фильтрате – от 0,014 до 0,077 мг/л. В среднем за весь период испытаний этот показатель снижался с 0,092 до 0,037 мг/л, эффективность – 59,9 %.

Проведение исследований в течение полутора лет позволило изучить влияние сезонных изменений температуры природной воды на процесс биохимического окисления органических загрязнений в БМР.

Температура донской воды колебалась в зависимости от сезона года в пределах от 7,0 до 12,0 °С в холодный период и от 20,0 до 30,0 °С – в теплый период года (рис. 2). Среднегодовое значение сырой воды в среднем составляло 15,7 °С.

На рисунке 3 показана зависимость между удельной скоростью окисления и температурой.

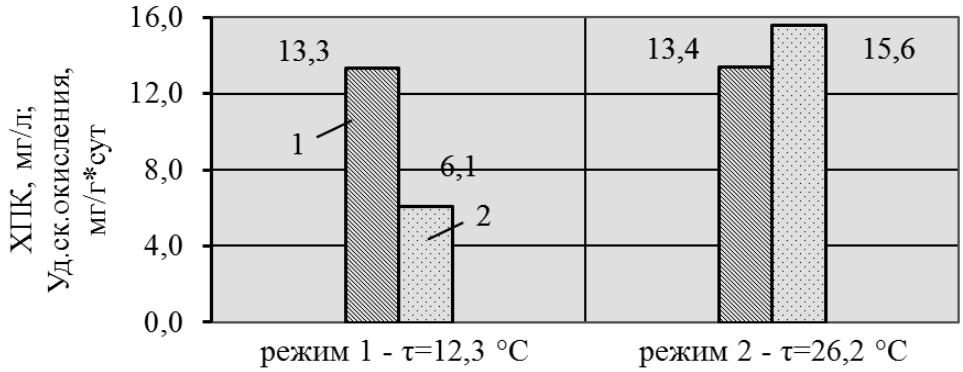


Рисунок 3. **Влияние температуры на удельную скорость окисления водыв БМР:**
1 – ХПК пермеата; 2 – удельная скорость окисления

Как видно из этого рисунка, повышение температуры с 12,3 °С до 26,2 °С приводит к увеличению удельной скорости окисления в 2,6 раза при одинаковой степени очистки.

Зависимость скорости ферментативной реакции от температуры графически выражается кривой с максимумом при оптимальной температуре [5].

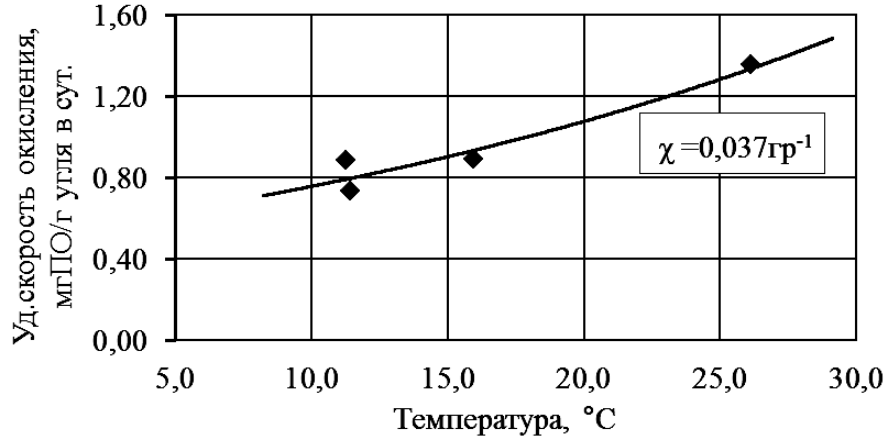


Рисунок 4. **Зависимость удельной скорости окисления по перманганатной окисляемости от температуры**

Зависимости удельной скорости окисления органических загрязнений от температуры обрабатываемой воды по показателям

перманганатная окисляемость и ХПК представлены на рисунках 4 и 5.

Как видно из рисунка 4 удельная скорость окисления при температуре исходной воды 20,0 – 22,0 °С составляла по усредненным данным 1,2 мг/г ПАУ·сут., концентрация ПО в это время снижалась до 2,5 – 3,0 мг/л. В период, когда температура р. Дон колебалась в пределах 10,0 – 11,0 °С, удельная скорость окисления составляла 0,7 мг/г ПАУ·сут., при концентрация органических загрязнений, оцениваемых по перманганатной окисляемости, также 2,5 – 3,0 мг/л.

На рисунке 5 представлена зависимость удельной скорости окисления органических загрязнений по ХПК в БМР от температуры при качестве очищенной воды в среднем 13 мгХПК/л.

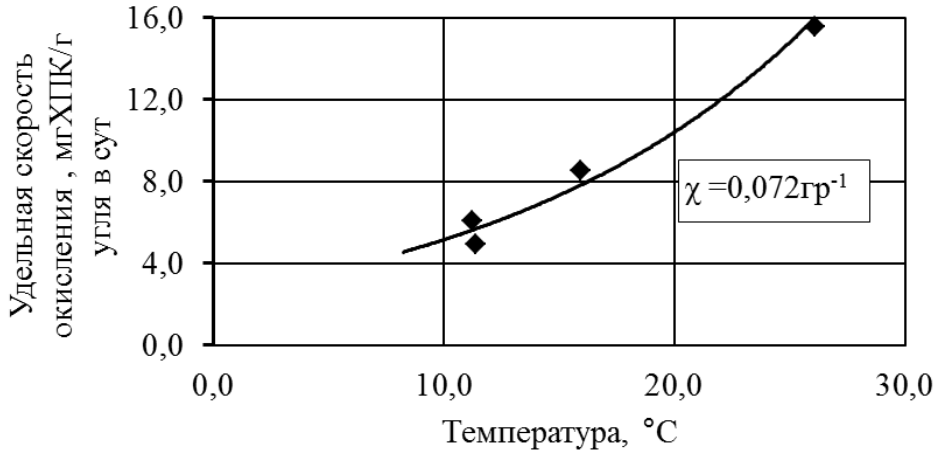


Рисунок 5. **Зависимость удельной скорости окисления по ХПК от температуры**

Зависимость удельной скорости окисления от температуры в области от 7,0 до 30,0 °С можно описать уравнением Вант-Гоффа [5]:

$$\rho_{(T)} = \rho_{(20^\circ C)} \cdot e^{\chi^{(T-20)}},$$

где: χ – температурная константа.

На основании выше представленных графиков получено, что температурная константа χ биосорбционного процесса при окислении органических соединений по ХПК составила 0,071 град$^{-1}$ и по перманганатной окисляемости – 0,037 град$^{-1}$. Согласно [5] температурная константа для гетеротрофной микрофлоры имеет значение 0,06 – 0,10 град$^{-1}$.

ВЫВОДЫ

В работе представлены результаты применения БМР для обработки воды нижнего течения р. Дон. Так установлено, что эффективность снижения концентрации по ХПК в реакторе с плоскорамными мембранами составляла в среднем 41,2 %, цветности – 57,3 %, ПО – 33,3 %. На протяжении всего эксперимента в пермеате отсутствовали взвешенные

вещества.

Результаты выполненных исследований по очистке донской воды с применением плоскорамных мембран в БМР еще раз подтвердили, что биосорбционно-мембранная технология является перспективным направлением совершенствования процессов очистки природных вод, в частности, удаления органических загрязнений для предотвращения образования хлор- и броморганических соединений при последующем хлорировании воды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Швецов В.Н., Морозова К.М., Смирнова И.И. Развитие биомембранных технологий очистки природных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2009. № 9. С. 64–70.
2. Швецов В.Н., Морозова К.М., Фесенко Л.Н., Скрябин А.Ю., Теремязева О.В. Биосорбционно-мембранная технология для предотвращения образования хлор- и броморганических соединений в воде р. Дон // Водоснабжение и санитарная техника. 2012. № 2.
3. Швецов В.Н., Морозова К.М., Фесенко Л.Н., Скрябин А.Ю., Вергунов А.И. Биосорбционно-мембранная технология для удаления из питьевой воды хлор- и броморганических соединений // Водоснабжение и санитарная техника. 2014. № 2.
4. Степанов С.В. Биологическая очистка и доочистка сточных вод нефтеперерабатывающих нефтехимических предприятий. Автореферат дис. … д-р техн. наук. Самара, 2014.
5. Хенце М. и др. Очистка сточных вод. Биологические и химические процессы. М.: Мир, 2004. 480 с.

УДК 628.168

НОВАЯ ТОВАРНАЯ ФОРМА ПОЛИОКСИХЛОРИДА АЛЮМИНИЯ – ГРАНУЛИРОВАННЫЙ КОАГУЛЯНТ «ГРАНЭКО»

О.М. Флисюк, О.Н. Круковский
ООО «ИНТЕХМОНТАЖ», г. Санкт-Петербург, Россия
С.В. Гетманцев, А.В. Сычев, Г.Б. Рашковский
ОАО «АУРАТ», г. Москва, Россия

Предлагается новая товарная форма полиоксихлорида алюминия в виде гранулированного коагулянта «ГранЭКО». Содержание Al_2O_3 в продукте не менее 30 %.

При необходимости перевозки товарных коагулянтов на дальние расстояния, а также в случае необходимости длительного хранения этой

продукции на складах водоочистных сооружений, существенные преимущества имеют твердые модификации коагулянтов. В частности, наилучшим образом зарекомендовал себя порошкообразный коагулянт «АКВА-АУРАТ™30», получаемый путем распылительной сушки полиоксихлорида алюминия «АКВА-АУРАТ™18».

Руководствуясь задачей дальнейшего улучшения потребительских свойств коагулянта, мы разработали новую товарную форму полиоксихлорида алюминия – гранулированный коагулянт «ГранЭКО». Продукт представляет собой гранулы желтого цвета диаметром 2 – 6 мм (средний диаметр 4,5 мм). Содержание Al_2O_3 в продукте не менее 30 %. Гранулы коагулянта имеют гигроскопичность в 2 – 3 раза ниже, чем у порошка. Они характеризуются высокой механической прочностью, не слипаются и не раздавливаются в таре, не разрушаются и не пылят при фасовке, хранении и погрузочно-разгрузочных работах. Продолжительность растворения гранул при перемешивании в воде при 20 °С – около 5 мин.

Сущность процесса получения коагулянта «ГранЭКО» основана на обезвоживании раствора «АКВА-АУРАТ™18», близкого к насыщению, в сушилке «кипящего слоя» при температуре 100 – 120 °С.

На псевдоожиженный слой, состоящий из твердых частиц коагулянта, напыляется через форсунки диспергированная жидкая фаза – раствор «АКВА-АУРАТ™18». При сушке твердая фаза кристаллизуется на частицах, а вода испаряется за счет физической теплоты ожижающего газа. Объем слоя поддерживается постоянным за счет непрерывной выгрузки готовых гранул и загрузки мелких гранул в виде рецикла.

Производство коагулянта «ГранЭко» включает в себя следующие стадии: приемка и хранение исходного раствора «АКВА-АУРАТ™18»; сжигание топлива с получением топочных газов; получение гранул в сушилке кипящего слоя; очистка отходящих дымовых газов с использованием исходного раствора «АКВА-АУРАТ™18»; фасовка гранул готового продукта; сбор промывных вод; аспирация пыли местных отсосов; складирование и хранение продукта.

Процесс получения коагулянта «ГранЭКО» отработан в полупромышленном масштабе. Определена промышленная площадка для размещения производства (г. Канаш, республика Чувашия), разработаны проектная документация и технологический регламент производства. Пуск производства в эксплуатацию намечен на 2017 год, проектная мощность производства 8 000 т в год.

УДК 628.16

ОЧИСТКА ПРОМЫВНЫХ ВОД СТАНЦИИ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ

Э.П. Доскина, А.А. Сахарова, А.В. Москвичева, М.В. Рыльцева, Д.В. Шишкина
Волгоградский государственный технический университет,
г. Волгоград, Россия

Сброс промывных вод станций обезжелезивания приводит к значительному увеличению диаметров коллекторов для приема залпового расхода и к неоправданному повышению нагрузки на сооружения биологической очистки сточных вод.

Для очистки и повторного использования промывных вод предложен метод сорбционного фильтрования с применением природного минерала.

Для хозяйственно-питьевого водоснабжения населения г. Урюпинска Волгоградской области используется вода подземных источников, в которой наблюдается повышенное содержание железа (до 4 мг/л), а также других соединений, ухудшающих ее показатели и свойства [1].

В рассматриваемых подземных водах железо присутствует не только в свободном ионном виде, но и в составе комплексных соединений, представленных двумя основными группами:

– соединения, в состав которых входят молекулы воды и анионы группы OH^-, («внутрикомплексные соединения» или хелатные комплексы). Хелатные комплексы железа отличаются повышенной устойчивостью и входят в состав биологически активных соединений [2];

– металлоорганические, точнее, элементоорганические соединения. В молекулах этих соединений ионы железа (II), (III), соединены с углеводородными группами гуминовых соединений.

В настоящее время очистка подземной воды в г. Урюпинске осуществляется фильтрованием через песчаную загрузку с предварительным озонированием. При регенерации фильтров, образующиеся промывные воды (2 – 10 % от объема обрабатываемой воды), содержащие соединения железа до 170 – 210 мг/л, сбрасываются в городскую канализационную сеть, а после сооружений биологической очистки в р. Хопер. Норматив допустимого сброса очищенных сточных вод по железу не достигается.

Результаты исследований отечественных и зарубежных ученых показали перспективность применения сорбционного метода для очистки воды от многих загрязнителей. Кроме того, на сегодняшний день существует значительное количество сорбентов отечественного и зарубежного производства, позволяющих применять сорбционную технологию для очистки воды от ионов железа. В последние годы получили распространение сорбенты из природных минералов. При всем

разнообразии существующих материалов, на сегодняшний день отсутствуют эффективные и дешевые сорбенты, способные обеспечить не только высокую степень извлечения ионов железа, в том числе железа в комплексах с гуминовыми веществами, но и позволяющие, использовать отработанный сорбент в качестве вторичного сырья [3–4].

Сырьем для получения предлагаемого сорбента служит опока – минерал, месторождение которого расположено возле села Каменный Яр на севере Астраханской области.

Исследуемый минерал имеют следующий основной состав: SiO_2 – 75 – 80 %, Al_2O_3 – 18 – 22 %, Fe_2O_3 – 0,5 – 1 %, H_2O – 0,2 – 0,5 %, $CaSO_4$ – 0,3 – 0,5 %, $CaCO_3$ – 0,12 – 0,8 % [5]. Он обладает высокой сорбционной способностью по отношению к ионам железа, что может обеспечить высокую степень очистки промывных вод станции обезжелезивания.

Исследования по применению опоки в качестве сорбционного материала были проведены в статических и динамических условиях на лабораторной установке.

В модельных растворах при исследовании использовались гидроксокомплексы соли щавелевой и фолиевой кислот. Концентрация железа в них составляла 150,0; 160,0; 170,0; 180,0 и 200,0 мг/л. Учитывая, что эффективность сорбционной очистки от железа максимальна при pH = 7,6 – 8,5, pH модельных вод поддерживали в указанном диапазоне.

В *статических условиях* изучалась кинетика сорбции и получена изотерма сорбции. Время контакта 60 мин. выявлено при изучении динамики изменения концентрации железа в пробе при сорбции опокой при различном времени контакта. Установлено, что сорбционное равновесие наступает через 45 – 50 мин. контакта модельного раствора с сорбентом (рис. 1).

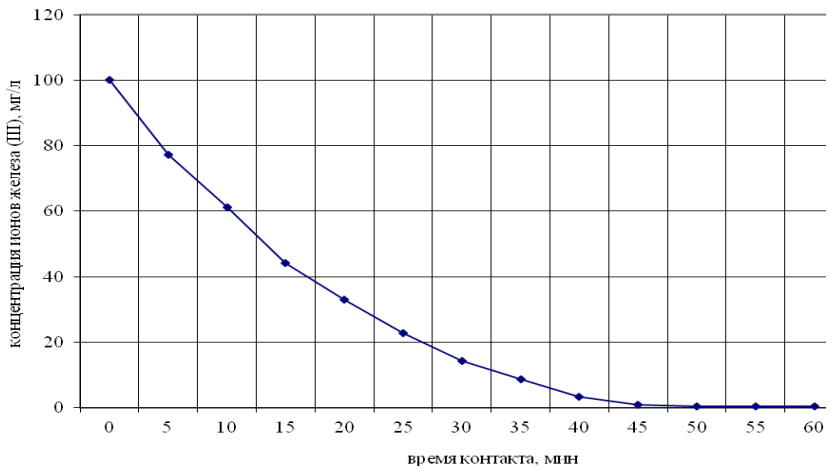


Рисунок 1. **Зависимость остаточной концентрации железа от времени контакта в модельных растворах после контакта с опокой**

Результаты, полученные при проведении исследований по изучению сорбционных характеристик опоки относительно железа представлены на рисунках 2 и 3.

Как видим, сорбционная емкость для железа составляет 2,1 мг/г при равновесных концентрациях, равных соответствующих допустимым.

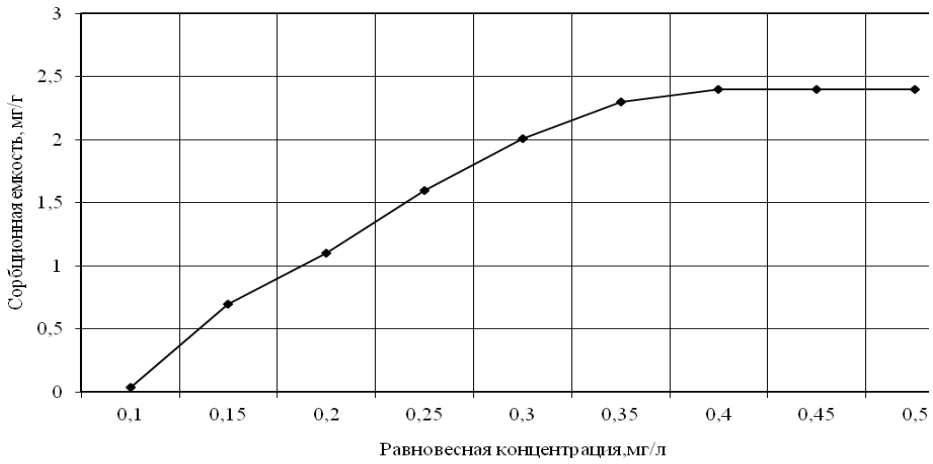


Рисунок 2. **Изотерма сорбции железа опокой**

В ходе лабораторных исследований также изучалось влияние размера частиц сорбционного материала на эффективность очистки, Изотерма сорбции железа частицами сорбционного материала различной крупности (от 1 до 10 мм) из модельных растворов железа с концентрацией 150 – 200 мг/л, представленная на рисунке 3, показывает, как влияет удельная поверхность сорбента на сорбционную емкость.

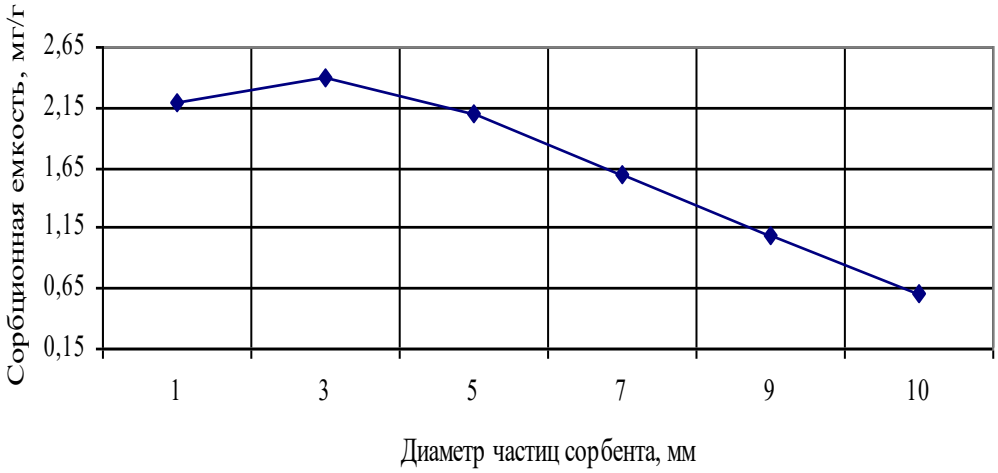


Рисунок 3. **Зависимость сорбционной емкости от размера частиц исследуемого материала:** исходная концентрация железа 210 мг/л

Полученные данные свидетельствуют, что при увеличении значений удельной поверхности сорбента его сорбционные свойства возрастают.

Динамические условия. При изучении сорбционных свойств опоки относительно железа была определена ее динамическая емкость и

получены оптимальные условия процесса сорбционного извлечения железа в динамических условиях.

На рисунке 4 представлена изотерма сорбции ионов железа опокой в динамических условиях.

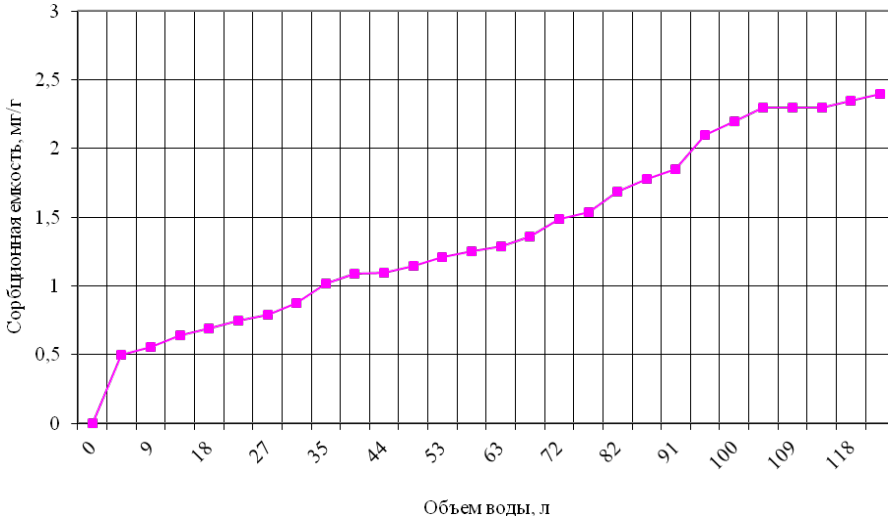


Рисунок 4. **Зависимость динамической сорбционной емкости опоки от объема пропущенного модельного раствора**

По результатам проведенных исследований сделаны следующие выводы:

1. В качестве сорбента предложено использовать природный минерал – опоку, так как, ее сорбционная емкость по железу имеет высокое значение.
2. В статических условиях содержание железа снижается до допустимых значений (0,3 мг/л), сорбционная емкость опоки при равновесных концентрациях, равных ПДК, для железа составляет 2,4 мг/г, оптимальный размер частиц опоки 1 – 3 мм.
3. В динамических условиях концентрация железа в фильтрате соответствует допустимому значению (0,3 мг/л), сорбционная емкость опоки при остаточных концентрациях равных ПДК для железа составляет 2,3 мг/г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Журба М.Г., Соколов М.А., Говорова Ж.М. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений в 3 т. Т. 1. Системы водоснабжения. Водозаборные сооружения. изд. 3-е, перераб. и доп.: Учебное пособие. М.: Изд-во АСВ, 2010.
2. Крешков А. П. Основы аналитической химии [Текст] / А.П. Крешков. М.: Химия, 1976. Т. 1. 460 с.
3. Сахарова А.А., Доскина Э.П., Кузьмина Т.А., Сидякин П.А., Укладова Т.М., Ибрагимова З.К. Исследование процесса седиментации взвеси промывных вод водопроводных станций [Текст] // Инженерно-

строительный вестник Прикаспия. 2014. № 1 (7). С. 75–79.
4. Сахарова А.А., Москвичева Е.В., Черкесов А.К., Ибрагимова З.К. Обезвреживание железосодержащих промывных вод [Текст] // Современная наука и инновации. 2015. Вып. 2. С. 108–113.
5. Алыков Н.Н. Природные ископаемые ресурсы и экологические проблемы Астраханского края [Текст]: монография / П.П. Алыков, Н.М. Алыков, К.Ю. Садомцев, О.В. Шмачкова; под ред. Н.М. Алыкова. Астрахань: Изд. дом «Астраханский университет», 2005. С. 113.

УДК 628.166

ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО ГИПОХЛОРИТА НАТРИЯ ЭЛЕКТРОЛИЗОМ МОРСКОЙ ВОДЫ ПЕРСИДСКОГО ЗАЛИВА ДЛЯ НУЖД ТЭС «ХОРМОЗГАН» ИСЛАМСКОЙ РЕСПУБЛИКИ ИРАН

Л.Н. Фесенко, И.В. Пчельников, А.Е. Геркен
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия
С.И. Игнатенко, С.В. Косолапова
ООО НПП «ЭКОФЕС», г. Новочеркасск, Россия

Представлены результаты исследований получения гипохлорита натрия электролизом морской воды Персидского залива. Экспериментально подтверждена возможность получения гипохлорита натрия с концентрацией до 1 % по эквиваленту хлора в получаемом продукте. Определено оптимальное время пребывания морской воды в электролизере в режимах проточного и стационарного электролиза. Составлены рекомендации по выбору технологической схемы производства ГХН из воды Персидского залива.

Мировой опыт научного поиска альтернативных жидкому хлору дезинфектантов обозначил, а в дальнейшем и подтвердил на практике перспективность и экономическую целесообразность применения для биоцидной обработки питьевой и технологической воды низкоконцентрированного (0,8 % или 8 г/л в эквиваленте активного хлора) электрохимического гипохлорита натрия (ГХН), производимого на месте потребления в нужном количестве путем электролиза водного хлоридно-натриевого раствора. Процесс получения низкоконцентрированного ГХН достаточно изучен и широко применяется в практике обеззараживания (взамен жидкого хлора и технического 18 %-ного гипохлорита) во всех развитых странах, как на водоочистных станциях небольшой производительности, так и на сооружениях подготовки сотен тысяч кубометров питьевой и технологической воды. До некоторого времени сдерживающим фактором развития отечественных электролизных установок являлась их невысокая производительность по

вырабатываемому хлору, вследствие чего крупные станции водоподготовки столкнулись с дилеммой: либо установка пакета, состоящего из десятков параллельно работающих мелких электролизеров, либо приобретение более производительных единичных импортных дорогостоящих аппаратов.

В России самые мощные электролизные установки работают в городах: Санкт-Петербург (водопроводные станции «Северная» – 3,5 т и «Южная» – 4,5 т по эквиваленту хлора в сутки, производство фирмы «NEWTEC»); Иваново (2 установки по 680 кг/сут., фирма «GRUNDFOS/ALLDOS»); Набережные Челны (2 электролизера НСТ-1500 по 680 кг эквивалентного хлора в сутки, производства фирмы «Severn Trent De Nora»); Уфа (3 установки по 113 кг/сут, фирма «Wallace & Tiernan»).

Поскольку тенденция дальнейшего развития производства электролизных аппаратов направлена на увеличение их единичной мощности, то она предопределила необходимость в выпуске ООО НПП «ЭКОФЕС» электролизеров производительностью не менее 1 т/сут. по активному хлору. Именно 7 таких аппаратов были смонтированы и в августе 2015 г. пущены в работу на самой мощной в России (и второй в мире после электролизной станции 8 т активного хлора в сутки, действующей на водоочистной станции Лас-Вегаса) электролизной станции на Александровских ВОС г. Ростова-на-Дону (рис. 1).

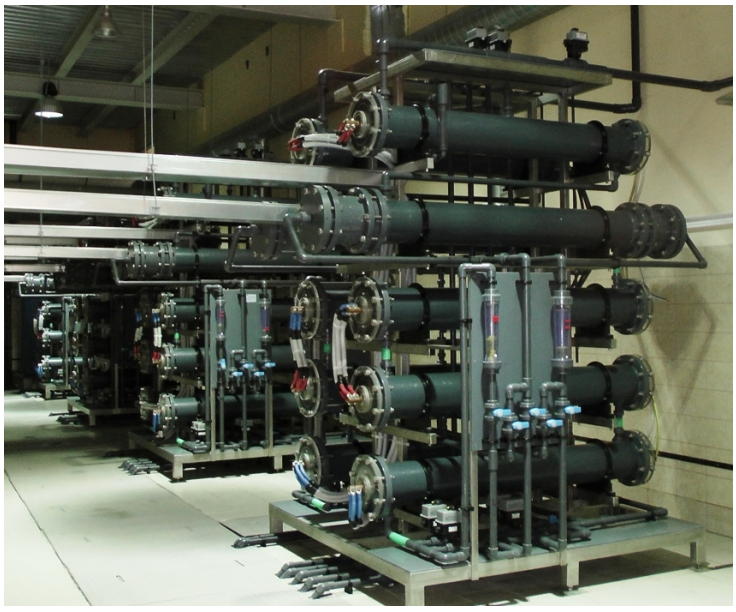


Рисунок 1. **Самая крупная в России (вторая в мире) электролизная станция на Александровских ОСВ производительностью 7 т/сут по эквиваленту хлора с безмембранными электролизерами производства**

На предприятиях энергетики для обеззараживания технологической воды в теплообменных системах с технической точки зрения оптимально применение электрохлораторных установок, поскольку обеспечение электроэнергией энергоемкого электролизного процесса не вызывает дополнительных трудностей. Возможность же использования в технологическом процессе производства ГХН в качестве сырья морской воды делает такую схему предотвращения биообрастаний в охлаждающих конденсаторах еще более экономически привлекательной. В настоящее время в России технология биоцидной обработки охлаждающих

оборотных циклов с использованием ГХН, получаемого на базе морской воды, не применяется, а мощные генераторы ГХН (до 300 и более кг/ч по активному хлору) отечественной промышленностью не выпускаются. Тем не менее, мировая практика имеет опыт применения электрохлораторных комплексов, в том числе на атомной электростанции «Бушер» (Иран) с получением ГХН из морской воды с общим расходом ее в системе охлаждения более 200 тыс. $м^3$/ч и при постоянном потоке морской воды через электролизер 230 $м^3$/ч, номинальная мощность которого составляет 458 кг/ч по активному хлору при его концентрации в растворе ГХН около 2 г/л, а также на АЭС «Куданкулам» (Индия, 2005 г.) с 4 генераторами ГХН с номинальной производительностью 375 кг/ч активного хлора каждый и суммарным потоком питающей морской воды, проходящим через все генераторы от 570 до 760 $м^3$/ч [1].

В Исламской Республике Иран намечается выполнение ряда новых проектов, в которых для предотвращения роста морских организмов в охлаждающую конденсаторы паровых турбин морскую воду необходимо обеспечить непрерывную дозированную подачу ГХН, получаемого из морской же воды. В частности, на ТЭС «Хормозган», которая будет размещаться вблизи города Бендер Аббас на побережье Персидского залива, в составе 4-х паросиловых блоков 350 МВт, расход охлаждающей морской воды на 4 блока составит 190 000 $м^3$/ч при общем расчетном расходе дозирования ГХН в морскую воду – 365 кг/ч. Химический состав воды Персидского залива по основным показателям представлен на рисунке 2 в виде диаграммы гипотетического состава солей.

	24,6	100,9	489,2	
pH = 8,4	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$Na^{+} + K^{+}$	Σ Kt = 614,7
	HCO^{-}_{3}	SO_4^{2-}	Cl^{-}	Σ An = 614,7
	2,3	41,6	570,8	

Рисунок 2. **Диаграмма гипотетического состава солей Персидского залива**

В качестве основы электролизного узла в электрохлораторных установках предварительно планируются электролизеры марки CHLOROPURE с применением системы последовательно расположенных электролитических ячеек с биполярными электродами в виде пластин, помещенных в общий непроводящий цилиндрический корпус из поливинилхлорида (рис. 3 – 4). Поскольку обычно применяемое Na-катионитовое умягчение водопроводной воды, используемой для приготовления искусственных солевых растворов, для морской воды неприемлемо, то для снижения интенсивности катодных отложений в установках CHLOROPURE и их аналогах предусматривается более высокая скорость протекания потока морской воды через аппарат с тем,

чтобы образующиеся карбонат кальция и гидроксид магния не успевали закрепиться на катоде и выносились потоком.

С другой стороны, относительно малое (в связи с высокой скоростью протекания потока) время пребывания воды в электролизере не позволяет получить концентрацию ГХН более чем 2 г/л по активному хлору, и что следует считать недостатком такой технологии. Помимо того, даже относительно высокие скорости протока не исключают катодных обрастаний ввиду высокой жесткости морской воды и, как следствие, обязательных кислотных промывок электролизных аппаратов.

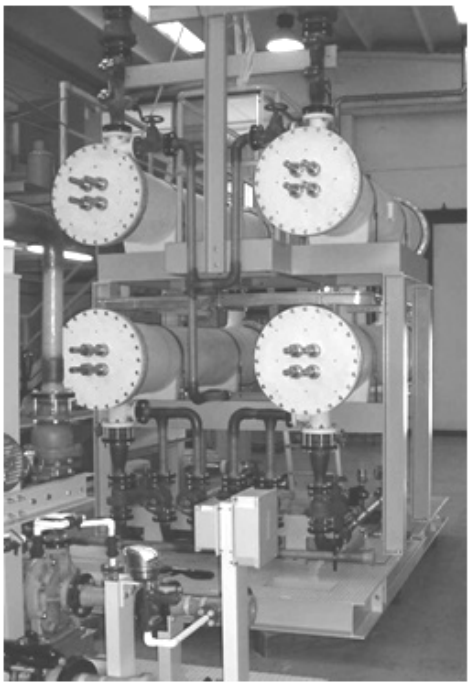


Рисунок 3. **Электролизеры CHLOROPURE для производства гипохлорита натрия из морской воды**



Рисунок 4. **Общий вид промышленной электрохлораторной установки, CHLOROPURE поставляемой в сборном виде**

Нами предлагается иное решение проблемы катодных отложений и низкой концентрации активного хлора в получаемом продукте. Поскольку концентрация хлорида натрия в воде Персидского залива составляет 30 – 32 г/л (т.е. аналогична солевым растворам, приготавливаемым для электролиза на водопроводной воде), то возможно получение ГХН с концентрацией 7,5 – 8,5 г/л на выходе из электролизера (что и реализуется на Александровских ВОС в однотонных аппаратах производства ООО НПП «ЭКОФЕС»), а минимизировать катодные отложения целесообразно декарбонизацией (удаление иона HCO_3^-) морской воды путем ее подкисления до $pH = 4{,}0 – 4{,}2$ с переводом HCO_3^- в CO_2 и последующей отдувкой выделившегося диоксида углерода в пленочном дегазаторе с насадкой из колец Рашига или Паля. Поскольку щелочность HCO_3^- в воде залива невысока (2,2 – 2,4 мг-экв/л против 3,0 – 3,5 мг-экв/л,

например, для донской воды), то и расход кислоты будет сравнительно небольшим. Кроме того, и размеры электролизных аппаратов, а, следовательно, и общая площадь анодов с окисно-иридиево-рутениево-титановым покрытием, будут в 1,5 – 2 раза меньшими по предлагаемой схеме.

Проведенными ранее исследованиями получения ГХН из воды Черного моря было установлено, что на количество (концентрацию) активного хлора в получаемом продукте оказывают влияние время пребывания в электролизере (отношение объема электролизера к расходу проходящего через аппарат электролита) и анодная плотность тока [2]. Для определения оптимальных технологических параметров были проведены исследования проточного бездиафрагменного электролиза модельной воды, аналогичной по химсоставу воде Персидского залива. Модельную воду готовили растворением в 1 л дистиллированной воды навесок следующих солей: $NaHCO_3$ = 193,2 мг; NaCl = 26027,7 мг; $CaCl_2$ = 1364,1 мг; $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ = 10252,0 мг; Na_2SO_4 = 2953,6 мг. Химический анализ приготовленной воды подтвердил адекватность ее состава воде Персидского залива. Эксперимент проводили в электролизной ячейке объемом 66,0 мл при постоянном электрическом токе, анодной плотности 1000 А/м^2 и начальной температуре раствора 25 °С. В качестве электродов использовали окисно-рутениево-титановые аноды (ОРТА) и титановые катоды размерами 60×10 мм, толщиной 1 мм с межэлектродным расстоянием 3 мм. Источником постоянного напряжения служил инверторный блок питания марки GW INSTEK 3610 с системой автоматического поддержания силы постоянного тока.

Схема экспериментальной установки представлена на рисунке 5. Во время эксперимента меняли расход воды через ячейку и определяли концентрацию активного хлора в получаемом ГХН. Результаты эксперимента представлены на рисунке 6 в виде графика зависимости концентрации активного хлора от времени пребывания электролита в ячейке. Время пребывания 3 %-ного (30 г/л) рабочего солевого раствора в электролизном аппарате «Хлорэфс» УГ-25-МК-1000 мощностью 1 т/сут по эквиваленту хлора (рис. 1) составляет 7,5 – 8,0 мин, при этом концентрация активного хлора в получаемом ГХН составляет 7,5 – 8,0 г/л. Следуя результатам эксперимента (рис. 6) такие же концентрации хлора могут быть получены и из воды Персидского залива при таком же времени пребывания (расходе воды) электролита в электролизере. Величина pH в получаемом из морской воды ГХН была в пределах 8,4 – 8,9 и не зависела от времени пребывания электролита в ячейке. Видимого образования хлопьев гидроксида магния при таких значениях pH в получаемом ГХН отмечено не было.

На следующем этапе исследований определяли влияние декарбонизации исходной морской воды на концентрацию активного хлора в ГХН в стационарном (не проточном) режиме электролиза в той же ячейке. Декарбонизацию морской воды проводили путем ее подкисления до pH = 4,29 с последующей отдувкой выделившегося CO_2 методом барботирования подкисляемой воды в 0,5 л цилиндре воздухом в

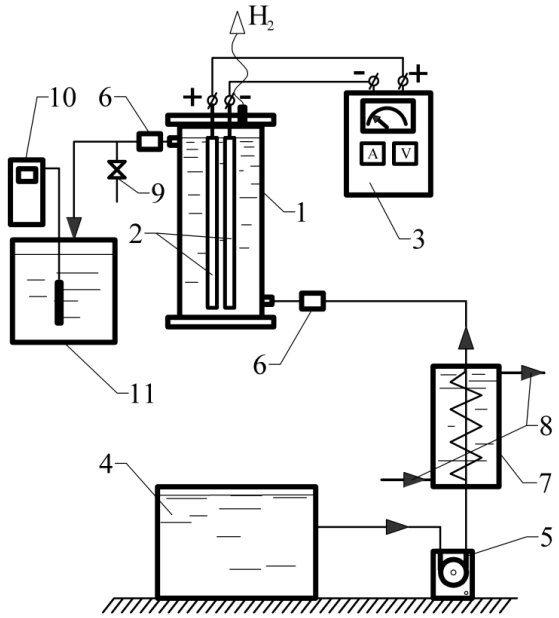


Рисунок 5. **Схема экспериментальной установки проточного типа:**
1 – электролизная ячейка; 2 – электроды; 3 – блок питания; 4 – емкость исходной морской воды; 5 – перистальтический насос; 6 – термометр; 7 – термостат; 8 – патрубок подвода и отвода охлаждающей воды; 9 – пробоотборник; 10 – pH-метр; 11 – накопитель ГХН

соотношении 1:15 в течение 20 мин. Концентрации HCO_3^- и CO_2 после декарбонизации составляли 0 и 3,5 мг/л соответственно, свободная кислотность отсутствовала. Результаты исследований представлены в виде графиков на рисунке 7, из которых следует, что предварительная декарбонизация морской воды позволяет получить концентрацию активного хлора до 13 г/л (против 11 г/л без декарбонизации), что объясняется отсутствием иона карбона в прикатодном пространстве (или его минимуме) и, как следствие, невозможность образования отложений $CaCO_3$ на катоде и его последующей пассивации.

Как представляется, общая технологическая схема получения ГХН из морской воды будет выглядеть в следующем виде: исходная морская вода направляется на предварительную механическую очистку на скорые напорные фильтры, работающие в режиме контактного фильтрования с коагулянтом – низкоосновным оксихлоридом алюминия $Al_2(OH)_5Cl$ при дозе 3 – 5 мг/л по Al_2O_3 и скорости фильтрования 7 – 8 м/ч. При часовой потребности в активном хлоре 365 кг/ч и расходе морской воды 125 л на каждый кг вырабатываемого хлора (8 г/л по активному хлору в ГХН),

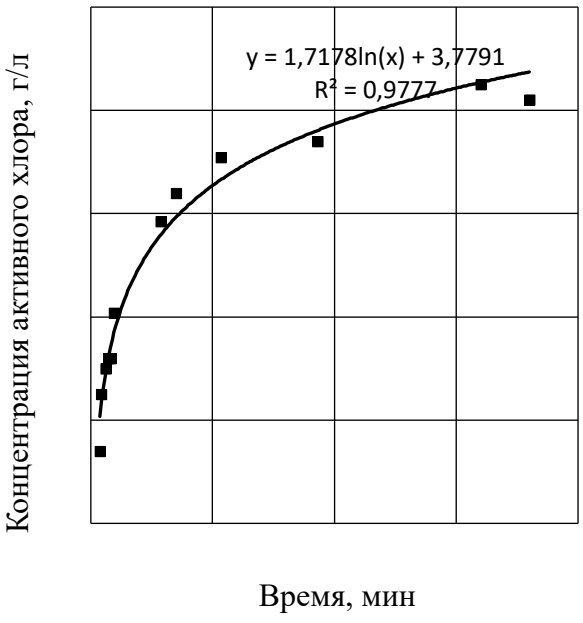


Рисунок 6. **Зависимость концентрации активного хлора от времени пребывания электролита в ячейке**

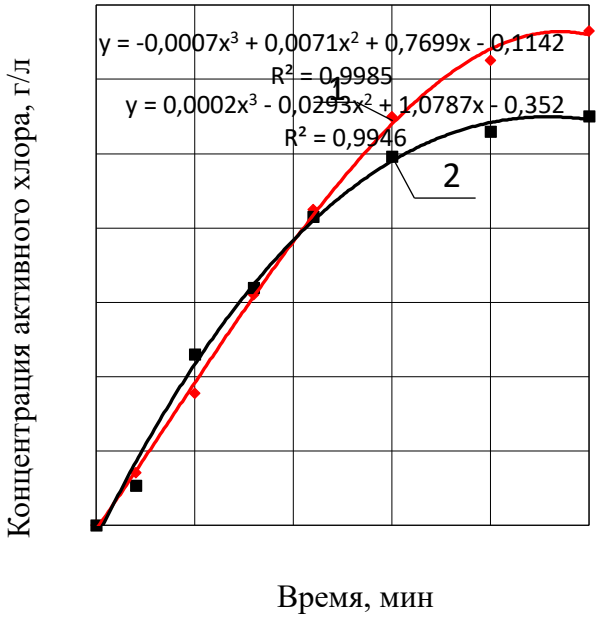


Рисунок 7. **Зависимость концентрации активного хлора от времени стационарного электролиза декарбонизированной (1) и недекарбонизированной (2) морской воды**

общий расход воды на получение ГХН будет равным 0,125×365 =45,6 м^3/ч. Общая площадь фильтрования при скорости 7,5 м/ч составит 45,6 / 7,5 = 6,1 м^2, что может быть реализовано на 4 фильтрах с FRP лейнером, диаметром D = 1640 мм, площадью фильтрования 2,11 м^2, высотой H_{max} = 3175 мм (в том числе 1 фильтр резервный). Фильтрованная морская вода собирается в накопитель, откуда после ее подкисления направляется на пленочный дегазатор (1 рабочий и 1 резервный) с насадкой из колец Рашига и площадью орошения в плане 1000×1000 мм. После дегазатора декарбонизированная морская вода собирается в накопитель, откуда насосами подается на электролизные установки «Хлорэфс» УГ-25МК-1000 производительностью 1000 кг/сут по эквиваленту хлора (рис. 1). При заявленной потребности в активном хлоре 365 кг/ч или 8760 кг/сут для получения ГХН из морской воды следует принять 9 рабочих и 3 резервных аппарата, т.е. всего 12 электролизных установок. В комплект установки входят: электролизер, 2 блока питания, накопитель гипохлорита W = 4×14500 л, B×L×H = 4920×4920×3860 мм, D = 2310 мм (комплект из 4 стандартных емкостей SB17-1УВФК2); газовый сепаратор для отделения электролизных газов диаметром D = 300 мм и высотой 7,0 м; система принудительной вентиляции сепаратора и накопителя ГХН, с установленными по 1 вентилятору на газовый сепаратор и накопитель ГХН. Электролизер установки состоит из 2 параллельно работающих автономных электролизных модулей, каждый из которых представляет собой 4 последовательно расположенные герметичные секции трубчатого

типа с размещенными внутри них пакетами электродных пластин, изготовленных из листового титана с оксидно-иридиево-рутениево-титановым покрытием (на анодах). Между третьей и четвертой секциями электролизного модуля последовательно по ходу движения морской воды расположен теплообменник для охлаждения раствора вырабатываемого гипохлорита. В процессе электролиза на катодах пакетов происходит отложение солей жесткости, которые периодически удаляются промывкой электролизных модулей 5 %-ным раствором соляной кислоты. Кислотная промывка (регенерация) осуществляется по мере необходимости, и периодичность ее работы устанавливается в процессе эксплуатации. В электролизных модулях принят замкнутый кислотный контур оборота кислоты. Соляная кислота многократно используется и после наработки электролизными модулями 1000 – 1200 ч (после 10 – 12 кислотных промывок), отработанная кислота насосом (небольшим расходом ~ 50 – 60 л/ч) возвращается в накопитель фильтрованной морской воды, где она используется как подкислитель воды перед декарбонизацией. Из накопителей ГХН дозируется в заданные точки технологической схемы охлаждения конденсаторов паровых турбин.

ВЫВОДЫ

Экспериментально подтверждена возможность получения ГХН для нужд ТЭС «Хормозган» из морской воды Персидского залива на 9 электролизных установках типа «Хлорэфс» УГ-25-МК-1000 производительностью 1 т/сут по эквиваленту хлора с концентрацией активного хлора в генерируемом продукте 7,5 – 8,0 г/л. Применение предварительной декарбонизации морской воды минимизирует процесс отложений карбоната кальция на катодах, величина pH = 8,5 – 9,0 в получаемом ГХН исключает возможность выпадения гидроксида магния в объеме электролизного аппарата.

ЛИТЕРАТУРА

1. Петров В.Б., Синяков А.Е., Драгинский В.Л. Установки по производству электролитического гипохлорита натрия // Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2008»: Мат. Междун. науч.-практ. конф., г. Калуга: 26–29 февр. 2008г./ Юж.-Рос. гос. техн. ун-т.(НПИ). Новочеркасск: «Оникс+», 2008. С. 31–37.
2. Фесенко Л.Н., Игнатенко С.И., Пчельников И.В. К выбору режима электролиза морской воды при производстве гипохлорита натрия // Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2014»: Мат. 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.

УДК 628.166

БЛОЧНО-МОДУЛЬНАЯ УСТАНОВКА И ТЕХНОЛОГИЯ ОЧИСТКИ ВЫСОКОЦВЕТНОЙ СЕРОВОДОРОДСОДЕРЖАЩЕЙ ПОДЗЕМНОЙ ВОДЫ ПРИЗВОДИТЕЛЬНОСТЮ 10 М^3/ЧАС

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

В работе рассмотрены технология и оборудование электрохимического окисления сероводорода в проточном электролизере с генерацией в нем гипохлорита натрия из присутствующих в исходной воде хлоридов, а также глубокое обесцвечивание подземной воды двухступенчатым контактным фильтрованием с применением коагулянта оксихлорида алюминия совместно с катионным флокулянтом «ПРАЕСТОЛ-650 TR».

Достаточное и своевременное поение животных, как и кормление, - обязательное условие успешного развития животноводства. Качество воды, её количество и своевременность поступления в организм поддерживают гармоническое течение сложных секреторных и моторных функций пищеварительного тракта, более эффективное использование питательных веществ корма. Для водопоя крупного рогатого скота на молочном комплексе СЗАО «СКВО» (х. Путь Правды, Зерноградского района, Ростовской области) используют артезианскую воду после её деминерализации на установке обратного осмоса производительностью 10 м^3/ч по пермеату. Опресненная вода имеет следующий состав: pH = 6,9, общая жесткость $Ж_{об}$ = 3,5 ммоль/л (в том числе Ca^{2+} = 46,0 мг/л, Mg^{2+} = 14,6 мг/л); Na^+ = 93,4 мг/л; HCO_3^-= 183,0 мг/л; Cl^- = 158,0 мг/л; SO_4^{2-} = 4,8 мг/л; солесодержание P = 500,0 мг/л; окисляемость перманганатная ПО = 8 мгO_2/л.

Увеличение поголовья молочного стада и, как следствие, рост водопотребления вызвал необходимость бурения дополнительной скважины для покрытия дефицита питьевой воды для скота. В результате на поверхность была поднята вода с превышением требований СанПиН 2.1.4.107.-011 по следующим показателям (протокол лабораторных испытаний № 01.489-В от 03.03.2015 г. выполненных ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии» в Ростовской области): цветность 200 град. при норме не более 20; мутность 4,6 мг/л при норме не более 1,5; окисляемость перманганатная 8,6 мгO_2/л (не более 5,0); азот аммонийный 4,7 мг/л (не более 1,5); хлориды 601 мг/л (не более 350); общая минерализация 2 020 мг/л (не более 1000). Дирекция СЗАО «СКВО» обратилась с просьбой в ООО НПП «ЭКОФЕС» разработать технологию, смонтировать

на объекте и пустить в работу фильтровальную установку по снижению цветности, мутности, азоту аммонийному и перманганатной окисляемости производительностью до 10 $м^3$/ч по очищенной воде. Доведение концентрации хлоридов и общей минерализации до нормативных показателей предполагалось в дальнейшем осуществлять путем разбавления очищенной воды пермеатом от действующей обратноосмотической установки.

Для удаления аммиака, снижения цветности, мутности и окисляемости воды было предложено провести окислительную обработку гипохлоритом натрия и последующее контактно-сорбционное фильтрование для удаления мутности и продуктов окисления органических соединений, обуславливающих цветность. Очистку воды планировали проводить в четыре последовательные ступени (рис. 1).

1. Предварительная очистка воды от механических примесей (частицы сварки, уплотнительные материалы, ржавчина, песок, глинистые частицы и др.) на сетчатом фильтре тонкой очистки Honeywell Braukmann модели F76S-2AD с устройством автоматической обратной промывки (1 рабочий и 1 резервный). Конструкция фильтров предусматривает автоматизацию включения режима обратной промывки как по перепаду давления в фильтре, так и в соответствии с заданным временным интервалом. Во время включенного режима обратной промывки чистая вода продолжает поступать на следующий этап очистки.

2. Окислительная обработка воды в проточном электролизере УГПЭ-8000 (установка прямого электролиза воды производительностью 350 – 400 г/ч по эквиваленту хлора, а при концентрации Cl^- в воде = 600 мг/л до 500 – 600 г/ч, производства ООО НПП «ЭКОФЕС») для снижения цветности, окисления Fe^{2+} до Fe^{3+} с переводом его в гидроксид, аммиака до нитрата, а также поддержания фильтровальной установки в надлежащем санитарном состоянии. Для снятия катодных отложений предусмотрен контур кислотной промывки электролизера 5 %-ной соляной кислотой.

3. Блок контактно-сорбционного фильтрования воды для удаления мутности и снижения цветности до нормативных значений. Состоит из двух параллельно работающих напорных фильтров серии НТ 3672 (производитель ООО «Нова Терра», г. Москва) диаметром D = 900 мм, площадью фильтрования F = 0,64 $м^2$ и производительностью до 5,0 $м^3$/ч каждый (при скорости фильтрования $V_ф$ = 7,8 м/ч). Корпус фильтра выполнен из стекловолокна, ламинированного внутри полиэтиленом, фильтрующая загрузка – природный диатомит опал – кристобаллитовой породы (опока дробленая модифицированная под торговой маркой ОДМ-2Ф размерами фракции 0,7 – 1,8 мм). Промывка фильтров предусмотрена очищенной водой из емкости объемом W = 5 $м^3$ (см. рис.1).

4. Безреагентное фильтрование воды (без добавления коагулянта) мутность и цветность воды не снимет, поэтому, в предлагаемой

технологии максимальное удаление взвешенных веществ и цветности производится контактной коагуляцией в зернистом фильтрующем слое, для чего в трубопровод перед фильтрами дозируется коагулянт – низкоосновный оксихлорид алюминия $Al_2(OH)_5Cl$ дозой 3 –5 мг/л (в пересчете на Al_2O_3). Для этого предусмотрена установка приготовления и дозирования коагулянта, комплектуемая емкостью для растворения реагента с пропеллерной мешалкой и насосом-дозатором DLX производства ETATRON.

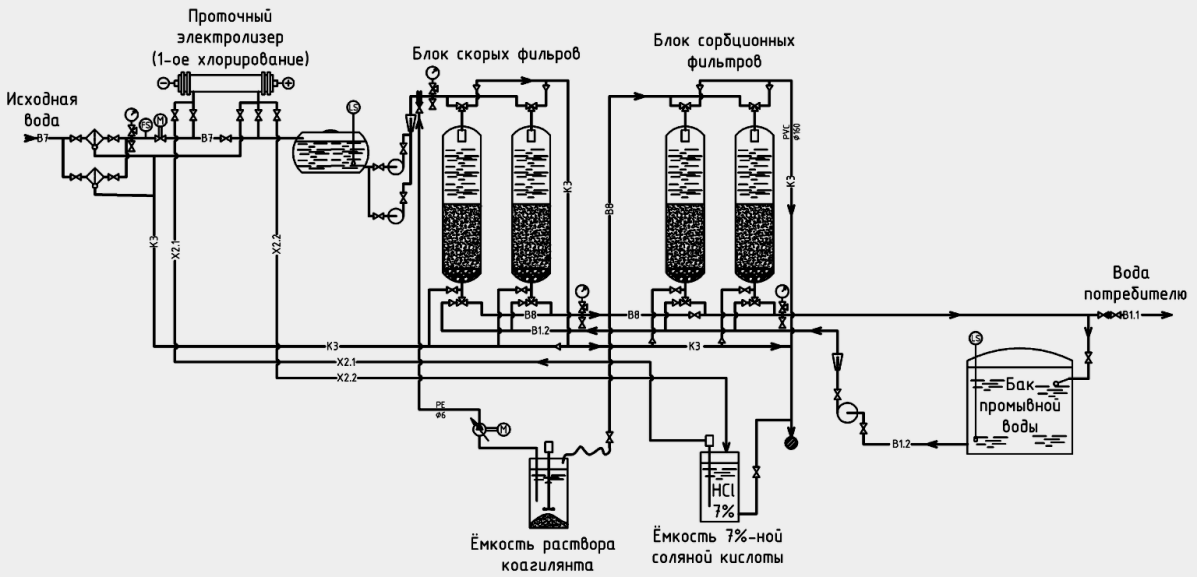


Рисунок 1. **Первоначальная технологическая схема очистка воды**

5. Для повышения надежности работы фильтровальной установки обесцвечивания воды и её финишной очистки от возможных хлорорганических соединений, а также для дехлорирования воды на завершающей ступени водоочистки (перед подачей на водопой) устанавливаются два сорбционных фильтра второй ступени, загруженных гранулированным активным углем марки КАУСОРБ-221, производимого методом паровой активизации угля, полученного из скорлупы кокосового ореха. КАУСОРБ-221 обладает высокой механической прочностью и низким пылеобразованием.

Установка была смонтирована на объекте (СЗАО «СКВО») в июле 2015 г. Однако, при подключении её к исходной воде и пуске в работу выяснилось, что ранее представленные данные химанализа качества воды, выполненного ФБУЗ Ростовской области, на основании которых и составлялась технологическая схема водоочистки с подбором оборудования не соответствуют реальным, в том числе:

– по сероводороду: по протоколу – отсутствие, по факту – до 15 мг/л;

– по цветности: по протоколу – 200 град. ПКШ, по факту – до 650 град. ПКШ;

– по перманганатной окисляемости: по протоколу – 8,6 мг O_2/л, по факту – до 68 мг O_2/л.

В этой связи возникла необходимость в корректировке принятой технологии, прежде всего, следует предусмотреть полное удаление сероводорода и, что наиболее проблематично, снижение цветности с 650 (!) град. до нормативных 20 град., что может быть достигнуто только как минимум двухступенным фильтрованием с применением дополнительно к коагулянту и катионного флокулянта.

С тем, чтобы иметь реальную картину изменения химсостава воды по этапам водоочистки вплоть до получения на выходе заявленных перед Заказчиком качественных показателей нами в период с 10.08 по 15.09.2016 г. были проведены исследования на опытной пилотной установке с подключением её к реальной исходной сероводородной воде на объекте СЗАО «СКВО». Там же была развернута лаборатория контроля качества воды по основным показателям: концентрация сульфидов, цветность, перманганатная окисляемость, остаточный хлор. Удаление сероводорода на пилотной установке осуществляли методом его окисления высококонцентрированным гипохлоритом натрия (типа «Белизна»). В предлагаемой (откорректированной) технологии удаление сероводорода будет проводиться в три последовательных этапа: первый – в существующем проточном электролизере, в котором протекают следующие химические реакции:

на катоде: $2Na^{+}+2\bar{e} \rightarrow 2Na$;

$2Na+2H_2O \rightarrow 2NaOH+ H_2\uparrow$;

на аноде: $2Cl^{-}-2\bar{e} \rightarrow Cl_2$;

$Cl_2+H_2O \rightarrow HClO+HCl$.

Получающийся в результате реакции гидроксид натрия взаимодействует с хлорной и хлорноватистой кислотами, образуя соответственно хлорид и гипохлорит натрия. Суммарную реакцию можно записать:

$$2NaCl+3H_2O \rightarrow NaClO+ NaCl+2H_2O+ H_2\uparrow.$$

Генерируемый в электролизере из природных хлоридов гипохлорит натрия будет взаимодействовать с сероводородом, окисляя его до серы (в кислой среде):

$$H_2S+NaClO \rightarrow S^0+ NaCl+ H_2O \quad (1)$$

или сульфатов (щелочной среде):

$$H_2S+4NaClO \rightarrow H_2SO_4 + 4NaCl. \quad (2)$$

В нейтральных средах окисление сероводорода происходит и до серы и до сульфатов, т.е. параллельно протекают обе реакции (1) и (2):

$$2H_2S +5NaClO \rightarrow S^0+ H_2SO_4+5NaCl + H_2O.$$

Количественное соотношение между S^0 и SO_4^{2-} определяется pH среды, так же как и доза гипохлорита, которую возможно рассчитать по

формуле [1]:

$$Д = 0{,}216\ pH + 1{,}707,\ мг/мг\ H_2S.$$

Таким образом, при величине pH = 8,4 – 8,5 после электролиза (реально получаемый результат на воде СЗАО «СКВО») доза гипохлорита натрия (по эквивалентному хлору) составит:

$$Д = 0{,}216 \cdot 8{,}45 + 1{,}707 = 3{,}53\ мг/мг\ H_2S.$$

При концентрации H_2S = 15 мг/л = 15 г/м^3 и расходе сероводородной воды через электролизер 10 м^3/ч общее количество H_2S, проходящего через аппарат, составит 15·10 = 150 г/ч на окисление которого необходимы 150 · 3,53 = 529,5 г эквивалента хлора. В действительности, как это установлено анализом, концентрация сероводорода при расходе воды 10 м^3/ч снижалась с 15,0 до 11,5 мг/л. Т.е. при производительности УГПЭ-8000 до 600 г/ч по активному хлору его должно быть достаточно для полного окисления H_2S тем не менее, очевидно, большая часть вырабатываемого NaClO расходуется и на окисление фульвокислот, обуславливающих высокую цветность и перманганатную окисляемость.

Второй этап – доокисление сероводорода кислородом воздуха путем барботирования объёма воды воздухом в существующей емкости W = 2 м^3 со снижением концентрации сероводорода с 11,5 до 6,0 мг/л (получено при испытании пилотной установки) и, наконец, доокисление остаточного сероводорода техническим (180 г/л в эквиваленте хлора) гипохлоритом натрия до его нулевой концентрации.

Полученная вода с полностью удаленным (окисленным) сероводородом обесцвечивалась на пилотной установке последовательно в две ступени: на первой – в фильтрующей колонке (диаметр Д = 50 мм, высота Н = 2,0 м) из прозрачного ПВХ, загруженной ОДМ-2Ф; на второй – с загрузкой КАУСОРБ-221.

Испытания пилотной установки, технологически дублирующей уже смонтированные на объекте фильтры, показали, что полное обесцвечивание воды до нормативного показателя по цветности (менее 20 град. по платино-кобальтовой шкале) возможно только с применением дополнительно к коагулянту и флокулянта катионного типа марки PRAESTOL-650 TR, при этом дозирование этих двух реагентов для получения желаемого показателя по цветности необходимо осуществлять как перед первой, так и перед второй ступенями очистки (перед фильтрами с ОДМ и перед фильтрами с активным углем).

Качественные показатели воды, полученные при испытании пилотной установки и отработке технологического регламента, представлены в таблице 1, из которой следует, что полученная вода (фильтрат после второй ступени обесцвечивания) удовлетворяет нормативным требования по цветности, мутности, азоту аммонийному, перманганатной окисляемости, концентрации сероводорода, запаху, привкусу и прозрачности. Эти результаты были получены при дозе

коагулянта 9 мг/л по Al_2O_3 и флокулянта 2 мг/л (перед первой и второй ступенями).

Таблица 1. **Химический состав воды по основным показателям, полученный при окончательных испытаниях пилотной установки в усовершенствованном технологическом режиме десульфидизации и обесцвечивания (отбор проб произведен 29.09.20015 г.)**

№ п/п	Показатели	Состав воды после очистки	Норматив по СанПиН 2.1.4.1074-01
1.	Водородный показатель	8,66 ед. pH	6,0-9,0 ед. pH
2.	Жесткость общая	2,5 °Ж	не более 7,0 ˚Ж
3.	Кальций	24,0 мг/дм^3	не норм.
4.	Магний	15,86 мг/дм^3	не норм.
5.	Натрий + Калий	538,23 мг/дм^3	не норм.
6.	Гидрокарбонат	463,60 мг/дм^3	не норм.
7.	Карбонат	36 мг/дм^3	не норм
8.	Хлориды (Cl^-)	592 мг/дм^3	не более 350,0 мг/дм^3
9.	Сульфаты (SO_4^{2-})	19,2 мг/дм^3	не более 500,0 мг/дм^3
10.	Цветность	14,03 град.	не более 20 град.
11.	Мутность	0,58 мг/дм^3	не более 1,5 мг/дм^3
12.	Аммиак и аммоний-ион (по азоту)	0,1 мг/дм^3	не более 1,5 мг/дм^3
13.	Окисляемость перманганатная	4,7 мгO_2/дм^3	не более 5,0 мгO_2/дм^3
14.	Общая минерализация	1376 мг/дм^3(по конд.) 1688,89 мг/дм^3(расч.)	не более 1000,0 мг/дм^3
15.	Хлорпоглощаемость по активному свободному хлору	отсутствует	не норм.
16.	Привкус	2 балла (солоноватый)	не более 2
17.	Запах	0 баллов	не более 2
18.	Прозрачность	Более 30 См. по шрифту	30
19.	Сероводород	0 мг/дм^3	отсутствие

Для вывода блочно-модульной станции в работу по откорректированной на пилотной установке технологии стало необходимым: приобретение дополнительного оборудования, в том числе воздуходувки производительностью 1,5 м^3/мин.; монтаж воздухораспределительной системы в существующей емкости W = 2 м^3; четырех дозаторов ETATRON DLX (1 – для NaClO, 1 – для коагулянта, 2 – для флокулянта). 3 дополнительных емкости W=100 л (GRUNDFOS) для растворения флокулянта (растворной и расходной) и расходная емкость коагулянта с подключением их к существующей схеме автоматизации и электропитания. Откорректированная технологическая схема установки

десульфидизации и обесцвечивания артезианской воды представлена на рисунке 2, общий вид установки представлен на рисунке 3.

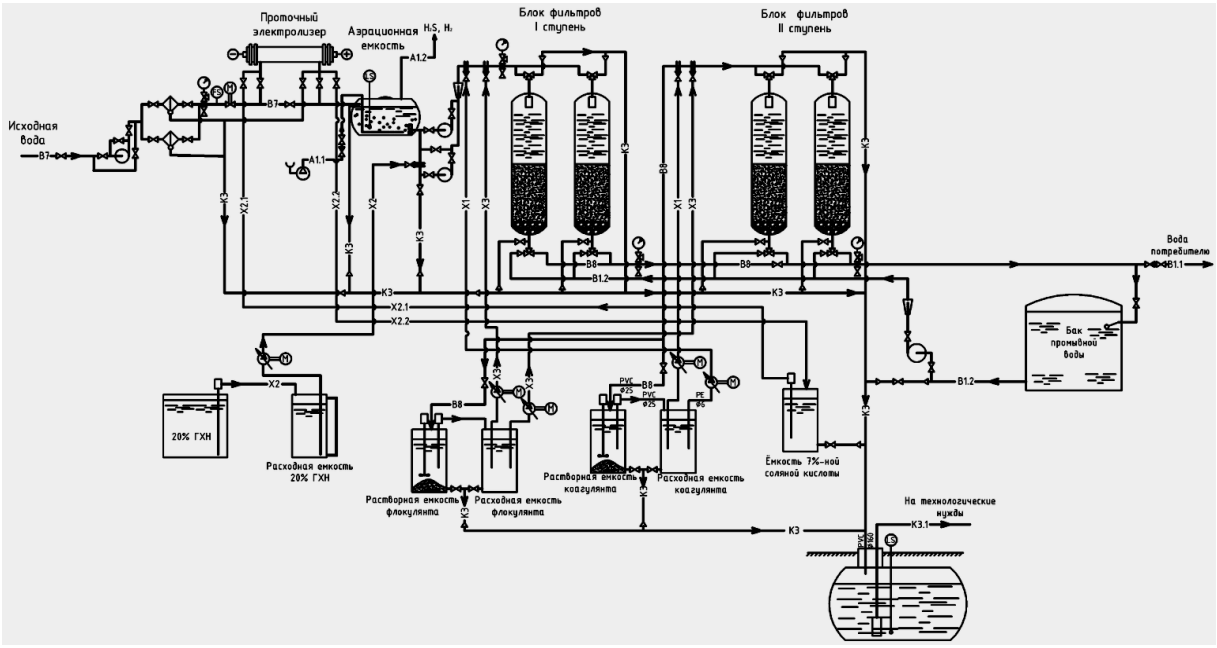


Рисунок 2. **Откорректированная технологическая схема установки десульфидизации и обесцвечивания артезианской воды**

При пуско-наладочных работах установки по откорректированной технологии было установлено следующее: при дозах коагулянта 8 – 9 мг/л и флокулянта 1,5 – 2,0 мг/л снижение цветности до величины менее 20 град. удалось достичь при скоростях фильтрования $V_ф \leq 5,5 – 6,0$ м/ч (т.е. при расходе воды $Q \leq 7,0 – 7,7$ м^3/ч); при расходе воды $Q = 10$ м^3/ч = 166,7 л/мин время пребывания воды в электролизере (при его объеме $W = 20$ л) составило $t = W/Q = 20/166,7 = 0,12$ мин., при этом окислялось 4 мг H_2S; при расходе воды $Q = 4,5$ м^3/ч и времени пребывания (окисления) $t = 0,27$ мин. уже окислялось 10,5 мг сероводорода. Изменение состава очищаемой воды по цветности (Ц), перманганатной окисляемости (ПО), концентрации сероводорода (H_2S) и остаточного хлора ($Cl_{акт}$) представлено в таблице 2.

Таблица 2. **Изменение показателей качества воды по этапам очистки**

Показатели	Этапы очистки				
	исходная	после электролизера	после аэрации	после I ступни	после II ступени
Ц, град	687	687	757	213	4,5
ПО, мгO_2/л	88,0	82,0	51,2	20,8	4,9
H_2S, мг/л	12,6	2,04	2,0	0,0	0,0
$Cl_{акт}$, мг/л	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0



Рисунок 3. **Общий вид установки десульфидизации и обесцвечивания артезианской воды**

По результатам технологической наладки фильтровальной установки продолжительность фильтроцикла (по проскоку цветности на выходе из II ступени очистки) составляла 7,5 – 8,5 ч; время промывки 5 – 6 мин. при её интенсивности W = 8 – 10 л/с·м^2. Вода после промывки собирается в емкость W = 15 м^3, откуда погружным насосом направляется на мытье полов и уборку помещений содержания скота (коровников).

ВЫВОДЫ

На основании обобщения экспериментальных данных, полученных при испытаниях опытной пилотной и промышленной установок предложена схема удаления сероводорода в проточном электролизере путем окисления H_2S гипохлоритом натрия, генерируемым из присутствующих в исходной воде хлоридов. Глубокое обесцвечивание воды достигается методом двухступенчатого фильтрования последовательно на фильтрах с загрузкой из материала ОДМ-2Ф (I ступень), и на II ступени – фильтрованием через активный уголь с высокой механической прочностью марки КАУСОРБ-221. При двухступенчатой очистке высокоцветных вод (650 и более град. цветности) наиболее эффективна контактная коагуляция в толще фильтрующей загрузки с применением коагулянта – оксихлорида алюминия совместно с катионным флокулянтом PRAESTOL-650 TR.

ЛИТЕРАТУРА

1 Игнатенко С.И. Рациональные методы очистки сероводородных вод от молекулярной серы: Дис. … канд. техн. наук. Ленинград, 1987. 160 с.

УДК 628.1.032

ИЗМЕНЕНИЕ КАЧЕСТВА ВОДЫ РЕКИ ДОН. ИЗУЧЕНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ИНТЕНСИВНОЕ РАЗВИТИЕ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ

А.Ю. Скрябин, Г.В. Поповьян, И.А. Тронь
АО «Ростовводоканал», г. Ростов-на-Дону, Россия

Показано, что подавление цветения водоемов возможно с помощью заселения определенных видов микроводорослей и некоторых сортов растительноядных рыб.

Для водоснабжения городов: Ростов-на-Дону, Батайск и Аксай с населением более 1,2 млн. человек используется поверхностный источник – река Дон, качество воды в котором в летне-осенний период года по концентрации фитопланктона превышает более чем в 4 раза допустимый норматив для водоисточников согласно ГОСТ 2761-84 [1], концентрация микроводорослей в отдельные дни превышает 400 000 клеток/см^3 (рис.).



Рисунок. **Цветение донской воды в районе водозаборов АО «Ростовводоканал»**

Микрофиты присутствуют в донской воде во все периоды года и представлены в основном 3 отделами: сине-зелёные водоросли (Cyanophyta), диатомовые водоросли (Bacillariophyta) и зеленые водоросли (Chlorophyta).

Наблюдения за развитием микрофитов в донской воде лабораторией АО «Ростовводоканал» ведутся на протяжении 36 лет, начиная с 1981 года. За этот период наблюдается рост количества клеток микроводорослей в водоисточнике, а также изменение их видового состава [2–4].

Массовое развитие микроводорослей в р. Дон в периоды цветения воды создает значительные трудности при водоподготовке и существенно влияет на такие нормируемые показатели как «запах» и «привкус». Анализ воды методом газовой хроматографии с масс-селективным

детектированием показывает наличие летучего органического вещества «геосмин», являющегося продуцентом ряда микроводорослей в количестве до 0,008 мкг/дм^3, оказывающем влияние на органолептический показатель «запах» при концентрации более 0,001 мкг/дм^3 [5].

Интенсивному развитию водорослей (эвфтрофированию водоема) способствуют такие факторы как: расположенное выше по течению Цимлянское водохранилище, высокие температуры воды в летний период года, антропогенное загрязнение акватории различными нутриентами.

Одним из важнейших факторов, оказывающим влияние на эвтрофирование, является увеличение содержания азота и фосфора. Различают природное и антропогенное эвтрофирование. Первое обусловлено влиянием на водоем комплекса абиотических и биологических факторов, в нормальных условиях оно осуществляется медленно и представляет собой один из этапов эволюции водоема. Антропогенное эвтрофирование, как следствие хозяйственной деятельности человека, процесс очень быстрый и в зависимости от масштабов воздействия вызываемые изменения в водоемах происходят в течение нескольких десятков лет, а иногда и одного десятилетия [6].

К факторам антропогенного эвтрофирования относятся: строительство плотин, способствующее снижению скорости течения рек, а также разложение растительности на затопленных при строительстве водохранилищ и каналов землях; интенсивное развитие промышленного производства, сельского хозяйства, животноводства; увеличение объемов использования синтетических моющих средств в быту и промышленности.

Для прогнозирования начала «цветения» водоисточника лабораторией осуществляется постоянный контроль над концентрацией азота и фосфора. На основании многолетних наблюдений определено, что для сине-зеленных микроводорослей, обладающих способностью к азотфиксации, основным фактором, влияющим на интенсивность развития, является фосфор. Отмечено, что рост количества клеток микроводорослей происходит через 30 – 40 сут. после увеличения концентрации фосфатов в водоисточнике свыше 0,4 мг/дм^3 (0,13 мг/дм^3 по фосфору).

Присутствие в водоеме общего фосфора в концентрации 0,2 мг/дм^3 достаточно для развития цветения [7].

Среднегодовая концентрация фосфатов в Донской воде в створе водозаборов составляет 0,37 мг/дм^3, наблюдается ежегодная тенденция увеличения как среднегодовых, так и пиковых максимальных концентраций PO_4^{3-}, в 2015 году концентрация фосфатов в водоисточнике превысила 1 мг/дм^3 (0,33 мг/дм^3 по фосфору).

В мировой практике главным источником загрязнения водоемов азотом и фосфором признаны муниципальные сточные воды, при этом более 50 % фосфатов поступают в сточные воды из стиральных порошков и моющих средств [7].

Проведенный анализ хозяйственно-бытовых сточных вод, поступающих от жилой застройки в одном из микрорайонов города Ростова-на-Дону, показал концентрацию фосфатов до 13,12 мг/дм^3 (4,28 мг/дм^3 по фосфору)!

Стратегия борьбы с цветением водоемов:

1. подавление цветения в период его развития непосредственно в водоеме, применение биологических методов очистки водоема (восстановление естественного биоценоза водоемов с помощью заселения в них определенных видов микроводорослей – Chlorella различных штаммов, а также некоторых сортов растительноядных рыб, например белого толстолобика [6, 8];
2. отказ от использования фосфорсодержащих моющих средств в быту и промышленности и замена их на моющие средства, не содержащие фосфатов;
3. строительство и поэтапная реконструкция или модернизация очистных сооружений, обеспечивающих глубокое извлечение соединений азота и фосфора.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 2761-84 Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Гигиенические, технические требования и правила выбора. М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. 10 с.
2. Лысов В.А., Скрябин А.Ю., Поповьян Г.В. Микрофиты в системе подготовки донской воды / «Строительство-2009»: Мат. юбилейной Межд. науч.-практ. конф.. Ростов н/Д: Рост. гос. строит. ун-т, 2009. 334 с.
3. 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.
4. Скрябин А.Ю., Поповьян Г.В., Тронь И.А. Микроводоросли как фактор, влияющий на органолептические свойства реки Дон // Водоснабжение и санитарная техника. 2015. № 8.
5. Страхова Н.М., Кудрякова З.Н., Пирогов Н.О. и др. Определение органических соединений, придающих запах воде, методом газовой хроматографии с масс-селективным детектированием / «Заводская лаборатория. Диагностика материалов». 2006. № 7.
6. Кульский Л.А., Сиренко Л.А., Шкавро З.Н. Фитопланктон и вода. Киев: Наук. думка, 1986. 135 с.
7. Жмур Н.С. Практика глубокого извлечения соединений азота и фосфора в процессе биологической очистки сточных вод в странах Европейского

Союза (по материалам отчета Европейской Комиссии и докладов на Евро-Русском Форуме в Берлине, 2013 г.) // Водоснабжение и канализация № 9-10, 2014.
8. Богданов Н.И. Биологическая реабилитация водоемов. Пенза, РИО ПГСХА, 2008. 152 с.

УДК 628.16

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРАКТИКЕ РАБОТЫ АО «РОСТОВВОДОКАНАЛ»

А.В. Бутко, А.Ю. Скрябин, С.А. Курьянов
АО «Ростовводоканал» г. Ростов-на-Дону, Россия

Показано, что использование геоинформационных технологий позволило обеспечить бесперебойное водоснабжение г. Ростова-на-Дону.

Современное водопроводно-канализационное хозяйство – сложнейший комплекс устройств и сооружений, включающий в себя: системы трубопроводов, транспортирующих воду различного качества, в режимах напорного и безнапорного движения; насосные станции местного, районного и общегородского значения; водозаборные сооружения и станции водоподготовки; сооружения очистки сточных вод с устройствами выпуска очищенных сточных вод в поверхностный водный объект.

На ряде выше перечисленных объектов имеется возможность доступного визуального контроля их технического состояния и технологических параметров эксплуатации. В то же время, практически все водоводы и водопроводная сеть, канализационные трубопроводы и коллекторы глубокого заложения, располагаются, как правило, под поверхностью земли. Постоянный доступ к ним, для непосредственного осмотра, затруднен по различным причинам. Не редки случаи, когда смотровые колодцы и камеры оказываются под слоем асфальта, грунта, складируемых строительных материалов, под выстроенными над ними производственными и жилыми зданиями. Эксплуатация такого хозяйства, планирование его эксплуатации, отслеживание эффективности выполнения мероприятий по восстановлению технологических параметров отдельных элементов сети без применения современных информационных и геоинформационных технологий, позволяющих быстро отыскать необходимые коммуникации и распределительные узлы, в городах с населением, превышающим миллион человек, практически невозможна. С помощью этих технологий проводится значительное количество аналитических расчетов с одновременной визуализацией их результатов.

Прежде всего, было создано несколько моделей, позволяющих

обрабатывать данные о текущих значениях напоров и расходов в диктующих точках на водопроводной сети, насосных станциях от первого до четвертого подъема. Получаемая информация позволила отслеживать характер распределения потоков воды по всей территории города, на вводе в города и поселки, питающиеся от водопроводной сети г. Ростова-на-Дону.

Сравнение объемов поступающей воды питьевого и технического качества с объемами отводимых сточных вод по отдельным районам города и населенным пунктам, позволяет отслеживать и планировать объемы подачи или отведения воды, затраты электроэнергии на перекачку воды. Используя этот же метод, рассчитываются потери (убытки), обусловленные утечками и аварийными ситуациями, а также количество дополнительного притока ливневой воды, поступающей в систему водоотведения города. Эффективность работы предприятия связана со снижением количества аварийных ситуаций на водопроводных и канализационных сетях. Известно, что аварии возникают не только на арендуемых коммуникациях, а прежде всего на брошенных, бесхозных сетях, сетях устроенных без проектной документации с отступлением от требований нормативных документов, а также на сетях, имеющих сверхнормативный износ, но в силу ряда причин находящихся в эксплуатации. Как показали наши данные о величинах аварий открытого типа, львиная доля аварийных ситуаций и утечек происходит на трубопроводах диаметром до 150 мм, имеющих значительные сроки эксплуатации.

В настоящее время комплекс выполненных работ с использованием геоинформационных технологий позволил обеспечить бесперебойное водоснабжение города, исключить случаи перерывов в водоснабжении потребителей, превышающие нормативные показатели

.

III. ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ И ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ ОЧИСТКИ ХОЗБЫТОВЫХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

УДК 628.16:628.144.2

ОСОБЕННОСТИ МНОГОСЛОЙНЫХ ФИЛЬТРОВ МАЛОЙ ВЫСОТЫ

Е.О. Графова
ООО «Чистая вода», г. Петрозаводск, Россия
Ж.Н. Петухова
ФКУ Упрдор «Кола», г. Петрозаводск, Россия
А.Н.Ким
ООО «Эковод», г. Санкт-Петербург, Россия
А.В. Михайлов
ООО «Эпицентр», г. Санкт-Петербург, Россия

Для решения проблемы поверхностного стока с автомагистралей в северных района Карелии и Мурманской области разработано и апробировано локальное очистное сооружение в виде конструкции многослойного фильтра малой высоты с набором отечественных экологичных осветлительно-сорбционных материалов.

На российском рынке природоохранного оборудования для очистки дождевых и талых вод с территорий, загрязняемых автотранспортом (АЗС, нефтебазы, автохозяйства, автодороги, проходящие через водоохранные зоны, автостоянки), предлагаются установки заводской готовности

различных отечественных и зарубежных фирм. Общим почти для всех конструкций таких установок является их подземное расположение.

Устройство фильтров малой высоты продиктовано необходимостью устройства их у автотрассы в северных районах Карелии и Мурманской области. Эти районы характеризуются специфическими климатическими и геологическими особенностями такими как:

– на территории размещения локальных очистных сооружений (ЛОС) отсутствует электроснабжение, в связи с чем исключен электрообогрев сооружений;

– невозможна перекачка очищенного стока, возможно только их самотечное движение;

– в местах пересечения с автодорогой водоохранных зон (реки, озера, болота) перепад отметок между полотном дороги и прилегающей местностью или уровнем воды в водоприемнике дождевого стока колеблется 0,5 ÷ 1,5 м, редко больше, тогда как выпуск очищенных стоков при подземном (из условия непромерзания) размещении ЛОС проходит ниже уровня воды в водоеме на 3,0 – 3,5 м;

– с учетом диаметра емкостных элементов ЛОС (D = 1,5 – 2,0 м) наиболее часто предлагаемых на рынке сооружений, потребуется отрывка котлована глубиной до 4,5 м, размером по поверхности в плане 15,0·6,0 м, что в прибрежной водонасыщенной зоне практически невозможно (по соображениям: затраты-результат);

– также в водонасыщенных грунтах необходимо предусматривать дополнительные утяжеляющие пригрузочные плиты против всплывания.

Для устройства системы очистки нескольких участков автодороги, пересекающих водоохранные зоны, разработана и передана для внедрения в производство новая технология и конструктивное оформление сооружений для очистки дождевых и талых стоков, в наибольшей степени отвечающих особенностям автодороги М-18 «Кола»:

1. ЛОС имеют наземное расположение, движение стоков самотечное;
2. ЛОС в режиме ожидания дождевых и талых стоков находится в «сухом» состоянии;
3. ЛОС в рабочем режиме находятся в «водозаполненном» состоянии;
4. сброс очищенных стоков осуществляется на рельеф с учетом существующих отметок, примыкающих к ремонтируемому участку;
5. глубокая очистка дождевых и талых стоков осуществляется на многослойном сорбционном фильтре;
6. «продувочные» воды (обеспечивающие «сухое» состояние ЛОС в режиме ожидания) проходят глубокую сорбционную очистку перед сбросом на рельеф;
7. сорбционная емкость различных слоев многослойного фильтра обеспечивает продолжительность фильтроциклов, достаточную для

условий сервисного обслуживания специализированной организацией;

8. размещаются наземные ЛОС за пределами 4-х метровой придорожной полосы, регламентируемой СНиП 2.05.02-85. Автомобильные дороги;
9. по результатам разработки была рассчитана смета на обустройство нескольких участков автодороги М-18 «Кола» группой ЛОС новой конструкции.

В качестве загрузки многослойного сорбционного фильтра используются:

– полимерный материал пенополиуретан «ППРТН»;

– органический материал торфоплиты «ЭФТ»;

– минеральный сорбент «Новосорб».

Технологические параметры сорбентов, примененных в фильтре, представлены в таблице 1.

Таблица 1. **Технологические параметры сорбентов**

Показатели	Материал сорбента		
	«ППРТ»	«ЭФТ»	«Новосорб»
Скорость фильтрации, м/ч	до 25	до 5	до 4,0
Объемный вес, г/см^3	0,005	0,25	0,01
Потери напора за фильроцикл, см	0,003 м на 1 см ф/ слоя	0,002 м на 1 см ф/слоя	0,002 м на 1 см ф/слоя
Грязеемкость по нефтепродуктам, кг/кг	5,0	4,0	5,0
Концентрация в очищенной воде:			
–нефтепродукты	до 10	0,3	0,3/0,05*
–взвешенные вещества	до 10	10,0	3,0

Примечание: * на финишной ступени очистки.

С учетом ограничений на общую высоту ЛОС (рис.) из-за малого перепада высот между полотном дороги и местом сброса очищенного стока (0,6 м) по конструктивным соображениям и условиям компоновки сорбционных материалов толщина фильтрующих слоев принимается равной:

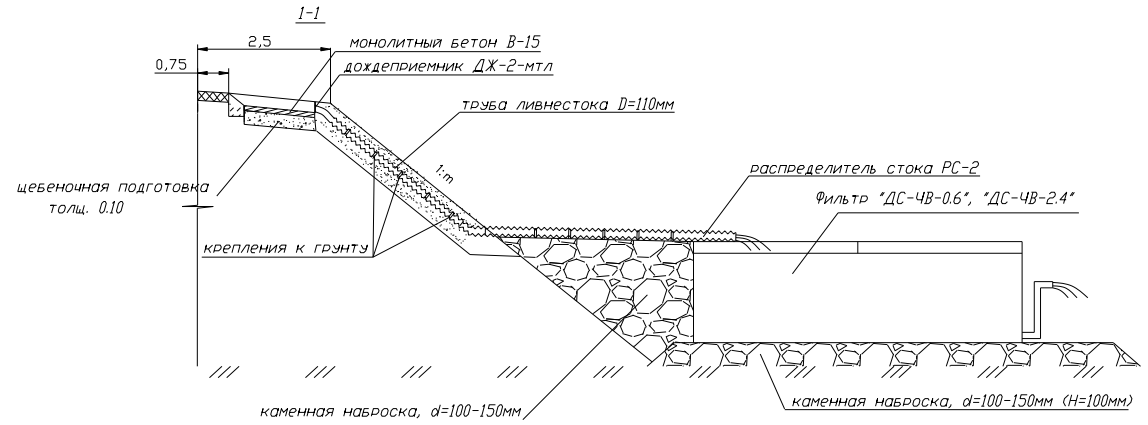
– 1 слой: пенополиуретан «ППРТ» – 100 мм;

– 2 слой: торфоплита «ЭФТ» – 200 мм;

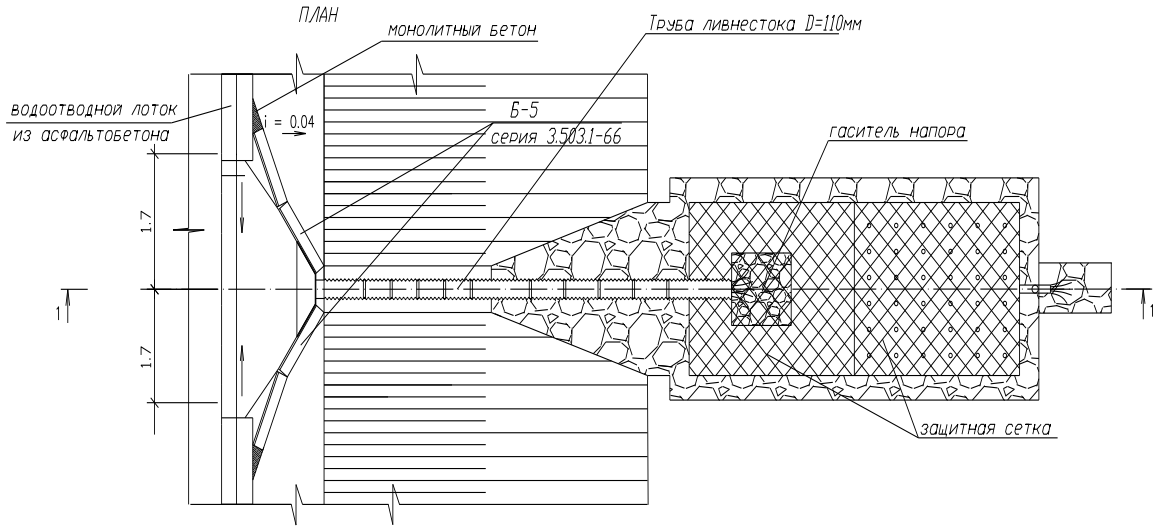
– 3 слой: «Новосорб» – 150 мм.

Исходя из необходимости обеспечить удаление годового объема нефтепродуктов, максимально допустимой высоты придорожных ЛОС в 0,5 м и сорбционной емкости материалов, удобства изготовления, транспортировки, монтажа и сервисного обслуживания, принимаются следующие параметры сорбционного фильтра:

$$0{,}6 \cdot 1{,}5 \cdot 0{,}5\ (h)\ м;\ F = 0{,}9\ м^2.$$



а)



б)

Рисунок. **Локальные очистные сооружения с сорбционными слоями малой толщины:** а – план; б – профіль

Скорость фильтрации при расчетном расходе дождевого стока *q* (л/с) составит:

$$u = (q \cdot 3600 : 1000)\ м^3/ч : 0{,}9\ м^2,\ м/ч.$$

Объем каждого из слоев сорбентов при умножении площади на высоту загрузки будет равен:

1 слой: «ППРТ» – 0.9 $м^2$ · 0,08 м = 0,07 $м^3$;

2 слой: «ЭФТ» – 0,9 $м^2$ · 0,20 м = 0,18 $м^3$;

3 слой: «Новосорб» – 0,9 $м^2$ · 0,15 м = 0,135 $м^3$.

Исходя из продолжительности «мокрого» сезона (6 месяцев), объема поступающих на сорбционный фильтр за сезон нефтепродуктов и взвешенных веществ Х (кг), сорбционной емкости используемых в конструкции фильтра сорбентов (126,85кг) для устойчивой работы ЛОС потребуется замена или регенерация:

$$Т = 126{,}85\ кг : Х\ кг,\ сезонов.$$

Таблица 2. **Сорбционная емкость (по нефтепродуктам) материалов многослойного сорбционного фильтра**

№ п/п	Показатели	Материал сорбента			
		ППРТ	«ЭФТ»	«Новосорб»	Итого
1.	Удельная сорбционная емкость, кг/кг	5,0	4,0	5,0	
2.	Объем сорбента, $м^3$	0,07	0,18	0,135	0,385
3.	Объемный вес, $кг/м^3$	5,0	80,0	100,0	
4.	Вес сорбента, кг	0,35	14,5	13,5	28,35
5.	Сорбционная емкость в объеме фильтра, кг	1,75	57,6	67,5	126,85
6.	Потери напора, м/цикл	0,03	0,04	0,005	0,075

Если принять в расчет концентрации нефтепродуктов, характерные для транспортных магистралей в пределах 15 – 30 мг/л) и взвешенных веществ порядка 800 – 3000 мг/л, то межрегенерационный период снизится до нескольких замен загрузки в течение сезона, что не обременительно для сервисного обслуживания.

Сооружения эффективно работают только при соответствующем обслуживании. В сервисное обслуживание придорожных ЛОС входит:

– контроль за эффективностью работы ЛОС;

– сбор и вывоз песка, задержанного песколовками;

– сбор и вывоз для регенерации пленки из нетканых материалов и пенополиуретановых ковров;

– сбор и вывоз отработанных сорбентов для сжигания (торфоплиты) или отжига («Новосорб»);

– комплектация фильтров свежими сорбционными материалами и регенерированными нетканными материалами и полиуретановыми коврами.

Рассмотренный в работе многослойный фильтр малой высоты является одним из вариантов решения вопросов очистки поверхностного стока с полотна автомагистрали в северных районах с учетом местных условий. Накопленный опыт позволяет выявить особенности эксплуатации ЛОС, наметить пути совершенствования сооружений с учетом современного развития техники, технологии и материалов, а также решать вопросы конструктивного взаимодействия с проектными структурами в вопросах обустройства автомагистралей для различных природных условий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Графова Е.О., Аюкаев Р.И. Инженерные решения экологической безопасности при реконструкции автодорог Северо-Запада в границах водоохранных зон // Ученые записки Петрозаводского ГУ. Серия: Естественные и технические записки, 2010. № 6. С. 49–54.
2. Ким А.Н., Захаревич М.Б., Романова Ю.В. Актуальные проблемы

поверхностного стока и пути их решения // Вестник гражданских инженеров, СПбГАСУ, 2014/1(42). С. 87–93.
3. Отведение и очистка поверхностных сточных вод / В.С. Дикаревский, А.М. Курганов, А.П. Нечаев, М.И. Алексеев. Л.: Стройиздат, Л.О., 1990. 224 с.
4. Отведение и очистка поверхностных сточных вод на торфяных фильтрах / А.В. Михайлов, А.Н. Ким, О.А. Продоус. Е.О. Графова, О.Н. Рублевская. СПб.: Издательство «Сборка», 2014. 134 с.

УДК 628.5

АНАЛИЗ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ РЕЖИМА ЭКСПЛУАТАЦИИ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ СТОЧНЫХ ВОД В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

С.А. Киреев, Н.С. Серпокрылов
Донской государственный технический университет,
г. Ростов-на-Дону, Россия

Проведен анализ действующих очистных сооружений сточных вод вахтовых поселков и производственных участков в условиях Крайнего Севера, обоснованы предложения по рациональной технологической схеме очистной станции с максимальной степенью автономности, которая может обслуживаться одним оператором при периодической дистанционной поддержке инженера-технолога.

Обеспечение стабильной и эффективной очистки хозяйственно-бытовых сточных вод вахтовых посёлков, а также производственных участков в условиях Крайнего Севера, имеет свои особенности, не всегда учитываемые как при проектировании, так и при эксплуатации очистных сооружений.

Установки биологической очистки, которые реализованы в практике в настоящее время, в основном, частично приспособлены к условиям хозяйственно-бытовой канализации на Севере ввиду того, что зачастую в них неверно установлены объемы сооружений, в т.ч. и биологической очистки, подобрано насосное оборудование и т.п. К тому же, как правило, в компаниях, которые ведут работы в условиях Крайнего Севера, отсутствует штатный инженер-технолог по очистным сооружениям. Обслуживанием установок занимается оперативный персонал, который не всегда понимает технологический процесс и в случае ухудшения качества очищенной воды не сможет принять адекватные меры для решения проблемы. Как правило, у обслуживающего персонала отсутствуют приборы для экспресс-анализа качества очищенной сточной воды.

Общеизвестно, что определяющей специфику работы очистных установок являются экстремально низкие температуры воздуха, причём

возможны два варианта [1–2]. Первый вариант – при подземной прокладке сетей канализации или доставкой сточных вод автотранспортом температура поступающих сточных вод не превышает 5 °С, второй – в условиях вечной мерзлоты, когда все инженерные коммуникации, в том числе канализационные сети, прокладываются на поверхности земли. При этом для предотвращения размерзания труб попутно размещены нерегулируемые греющие кабели, в связи с чем температура сточной воды, поступающей на очистные сооружения, может достигать 50 °С. В обоих вариантах поступления сточных вод температура выходит за пределы допустимой для протекания процесса биологической очистки (12 – 30 °С).

Также специфику работы очистных сооружений определяет неравномерность притока сточных вод на очистку. В основном количество жителей вахтового посёлка не превышает 500 человек, при этом существует строгий график труда и отдыха. Сточные воды практически не поступают в ночное время, из-за чего возникает дефицит питания активного ила.

Изложенные положения проиллюстрируем на примере двух установок, которые эксплуатируются в условиях Крайнего Севера в Туруханском районе Красноярского края более 3-х лет.

Установка ЛКОУ-К-35 представляет собой три утепленных морских контейнера, в которых размещены: усреднитель, узлы дозирования коагулянта, соды и легкоокисляемой органики, биореактор (Кейптаунская схема), третичный отстойник, узлы доочистки, обезвоживания и обеззараживания (УФО). Установка имеет систему автоматического управления, которая разрабатывалась только программистами, без рекомендаций инженеров-технологов, из-за этого имеются недостатки в программной оболочке.

Установка стабильно работает при температуре поступающих сточных вод 15 – 25 °С несмотря на превышение проектных показателей входящих загрязнений в 2 – 5 раз, при этом эффективность биологического удаления фосфатов составляет 35 – 50 %, азота аммонийного 98 %, нитритов и нитритов 86 %; при дозировании коагулянта содержание фосфатов в очищенной воде снижается на 95 %. Анализ режима эксплуатации установки ЛКОУ-К-35 представлен в таблице 1.

Установка КСК-10 выполнена в виде утеплённого морского контейнера, в котором размещены: приемный резервуар с насосами; блоки механической и биологической очистки, обезвоживания твердой фазы; узлы приготовления и дозирования коагулянта и обеззараживания.

Установка КСК-10 предусмотрена на стабильную работу при расходе не более 1,5 $м^3$/сут., при этом максимальный расход не должен превышать 6 $м^3$/сут. Поддерживать стабильную работу на КСК-10 без ежедневного присутствия инженера-технолога, невозможно, технологический режим требует постоянной корректировки (табл. 2).

Таблица 1. **Анализ режима эксплуатации установки ЛКОУ-К-35**

Отрицательный эффект	Положительный эффект
Отсутствует система автоматического контроля запорной арматуры для поддержания постоянного расхода сточной жидкости.	Объемные сооружения посчитаны правильно, с запасом 15 – 20 %.
Отсутствует система перемешивания в анаэробной зоне.	Наличие третичного отстойника.
Отсутствует система перемешивания в аноксидной зоне.	Присутствует узел дозирования органического питания.
Не предусмотрена система циркуляции ила в аэробной зоне.	Присутствует узел дозирования соды.
Несовершенная система сбора активного ила во вторичном отстойнике.	Наличие датчиков pH, растворенного кислорода в биореакторе.
Система АСУ ТП не имеет возможности изменять периодичность работы некоторых насосов.	Легкий в настройке и обслуживании узел обезвоживания избыточного активного ила, влажность кека на выходе 85 %.
Отсутствует возможность частотного регулирования насоса рецикла, насоса откачки осадка из третичного отстойника.	Наличие расходомеров на всех напорных трубопроводах.

Таблица 2. **Анализ режима эксплуатации установки КСК-10**

Положительный эффект	Отрицательный эффект
Установка обеспечивает эффективность очистки по азоту аммонийному 85 % несмотря на его превышение на входе в 2 – 3 р.	Не предусмотрена зона для денитрификации
Использование тонкослойного отстойника позволяет эффективно задерживать нерастворимые соединения фосфатов после коагулирования	Отсутствует узел регулирования pH
Доступность всего оборудования, позволяет вносить изменения в технологическую схему	Малый объем усреднителя не позволяет создать равномерный режим подачи воды на очистку

Исходя из опыта наладки и эксплуатации, как для новых (проектируемых), так и существующих (работающих) сооружений, сформулированы предложения о рациональной технологической схеме очистной станции с максимальной степенью автономности, которая может обслуживаться одним оператором, при периодической дистанционной поддержке инженера-технолога, и использоваться в районах Крайнего Севера [3–5].

1. Механическая очистка. Подвод сточной воды должен осуществляться по лотку. В подводящем и отводящем лотке должны быть установлены датчики уровня, ориентируясь на разницу в показаниях которых, система принимает решение об очистке решетки. Задержанный мусор упаковывается по пакетам, периодически утилизируемых на полигонах ТБО.

2. Усреднитель. Резервуар-усреднитель должен предусматривать возможность опорожнения ассенизационной машиной. Для предотвращения залегания осадка должны быть предусмотрены мешалки (насосы). Усреднитель должен быть оборудован системой принудительной вентиляции для корректировки температуры сточных вод в нужных пределах. При этом он должен состоять из нескольких секций, чтобы в случае обнаружения токсикантов в сточной воде, не допустить попадания такой воды в биореактор без нейтрализации токсинов или дополнительного разбавления.

3. Биологический реактор. Для обеспечения глубокой очистки от соединений азота и фосфора должен включать в себя зоны: 1 – анаэробная (дефосфотизатор), 2 – аноксидная (денитрификатор), 3 – аэробная (нитрификатор), 4 – вторичный отстойник.

4. Технологические операции при эксплуатации. 1 – дозирование соды позволит корректировать pH по зонам в аэротенке и избежать возникновение нитчатого вспухания; 2 – использование узла дозирования легкоокисляемой органики позволит избежать «голодания» ила в периоды отсутствия притока сточных вод и интенсифицировать процесс денитрификации при нарушении баланса $БПК_5$ к азоту; 3 – для контроля денитрификации и в аноксидной зоне установить датчик ОВП и растворенного кислорода, а также датчик нитратов на выходе очищенной воды, по их показаниям вести контроль подачи легкоокисляемых органических веществ в биореактор; 4 – для интенсификации процессов нитрификации возможно использовать внутреннюю циркуляцию внутри аэробной зоны, а также забор выделяющегося углекислого газа над биореактором и подача его в забор воздуходувной станции; 5 – использование расходомера на трубопроводе нитратного рецикла из вторичного отстойника в аноксидную зону, а также частотного регулирования этого насоса, позволит гибко настраивать внутренний рецикл.

5. Третичный отстойник. Позволяет задерживать остаточные взвешенные вещества из вторичного отстойника, а также позволяет использовать отстойник для осаждения нерастворимых соединений фосфатов, которые получаются в результате обработки воды коагулянтом.

6. Напорные фильтры. Использовать как ступень доочистки. Напорные фильтры управляются контроллером, который ориентируясь на разность давлений до и после ступени фильтрования, принимает решение о промывке; во время промывки необходима периодическая параллельная регенерация фильтров раствором гипохлорита натрия, после напорных фильтров содержание взвешенных веществ не превышает 1,5 мг/дм^3.

7. УФО. Для обеззараживания очищенных сточных вод рекомендуется использовать проточные УФ-блоки.

Применение на практике изложенных рекомендаций обеспечивает нормативную очистку сточных вод с дистанционным контролем инженером-технологом технологического режима в течение всего года.

ЛИТЕРАТУРА

1. СН 510-78. Инструкция по проектированию сетей водоснабжения и канализации для районов распространения вечномерзлых грунтов.
2. Салтыков Н.И. Канализация в условиях вечной мерзлоты (Крайнего Севера Европейской части СССР) / М. Л., Изд-во АН СССР, 1944. 52 с.
3. Серпокрылов Н.С., Кулик И.А. Интенсификация автотрофной нитрификации при очистке сточных вод / Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Стр-во и архит. 2009. Вып. 16(35). С. 166–171.
4. Серпокрылов Н.С., Скибина Е.В., Борисова В.Ю. Влияние внутризонной циркуляции биомассы на эффективность биологической очистки сточных вод / «Строительство-2012»: Мат. Межд. науч.-практ. конф. Ростов н/Д: РГСУ, 2012, С. 3–4.
5. Шонина Н.А. Водоснабжение и водоотведение в условиях крайнего севера / Сантехника. 2012. № 5, С. 16–22.

УДК 628.35

ИЗВЛЕЧЕНИЕ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ СОРБЕНТОМ, ПОЛУЧЕННЫМ НА ОСНОВЕ ИЗБЫТОЧНОГО АКТИВНОГО ИЛА

А.А. Войтюк, Д.О. Игнаткина, Э.П. Доскина, С.И. Милешкин, Д.М. Арутюнян
Волгоградский государственный технический университет»,
г. Волгоград, Россия

Отрицательное воздействие на микроорганизмы ионов цинка, меди и никеля может быть ликвидировано предварительным извлечением их перед биологической очисткой сорбентом, полученном на основе избыточного активного ила, являющегося отходом производства.

На сегодняшний день превышение допустимых концентраций ионов Zn^{2+}, Ni^{2+} и Cu^{2+} наблюдается не только в исходных сточных водах, но и после их очистки, в частности, после биологической. Проведенные исследования с активным илом показали, что в присутствии ионов Zn^{2+} и Cu^{2+} даже при увеличении допустимых нормативов в пределах 5 – 10 %, наблюдается снижение эффективности жизнедеятельности активного ила. Микроорганизмы теряют свою продуктивность, они не погибают, но находятся в пассивном состоянии, аналогичном низким температурам водной среды ($\leq$+6 ÷ 8 °С). Более глубокое изучение этого вопроса

потребовало проведение большого объема исследований для выявления метода, способного убрать избыток ионов Cu^{2+}, Zn^{2+} и Ni^{2+}, а также экологически выгодного применения избыточного активного ила (ИАИ). Решение этой задачи, позволило бы существенно повысить эффективность биологической очистки.

Поглощение ионов тяжелых металлов (ИТМ) микроорганизмами активного ила происходит в основном поверхностью клетки за счет физико-химического взаимодействия. Поверхность адсорбента неоднородна, между адсорбированными частицами имеет место взаимодействие, активные центры не являются полностью независимыми друг от друга. Возникла идея повлиять на эти процессы отработанным ИАИ. Потребовалось изучить сорбционные свойства илового осадка, химическую активность принадлежащих ему органических фрагментов, и далее, определить факторы, усиливающие его селективность к ионам Zn^{2+}–Cu^{2+}–Ni^{2+} с целью усовершенствования стандартной технологии очистки, в которой главная роль отводится биологическому циклу и, где, именно происходит «сбой» качества.

На основе предварительных исследований установлена целесообразность использования ИАИ (илового осадка) как сорбирующего агента. Иловый субстрат имеет большую удельную площадь поверхности (650 – 900 $м^2/г$) – фактор, определяющий качество адсорбента и обеспечивающий высокую адсорбционную емкость при удовлетворительной доступности сорбата к материалу. Определенные экспериментально значения удельной поверхности ($м^2/г$) избыточного активного ила (0,9 ± 0,1) были сопоставлены с данными (1,4 ± 0,1) для микрокристаллической целлюлозы, являющейся одним из наиболее распространенных сорбентов. На основании анализа полученных данных можно сделать вывод, что ИАИ обладает достаточно развитой удельной поверхностью, что позволяет считать его адекватной целлюлозе.

Исследования показали, что избыточный активный ил обладает широким спектром адсорбционной активности, поскольку большинство загрязнителей задерживается на его поверхности. Но в работе была поставлена задача повышения эффективности процесса биологической очистки за счет проведения дополнительной предварительной очистки сточных вод от токсичных ионов цинка, никеля и меди. Основная роль при этом должна отводиться специально разработанной фильтрующей загрузке, изготовленной на основе ИАИ и выполняющей функции адсорбента и фильтра. При этом адсорбция будет основной функцией разрабатываемого материала и должна обеспечивать селективное извлечение ионов цинка, никеля, меди. Проведенные исследования были направлены на поиск условий, обеспечивающих хороший контакт со сточными водами на неподвижном слое адсорбента. Скорость обмена определялась скоростью основного потока сточных вод на действующих

Городских канализационных очистных сооружениях г. Волгограда (ГКОС). При получении сорбента на основе илового осадка, функция фильтра была сведена до минимума, так как следовало избежать забивания загрузки. Именно поэтому, исходный материал – ИАИ структурировали специально подобранным веществом – диатомитом.

Достичь требуемой селективности илового осадка удалось путем активации полученной фильтрующей загрузки [1–2]. Как известно, адсорбция комплементарна процессу биологической очистки сточных вод, поэтому проведен поиск условий такой обработки илового осадка, после которой его поверхность будет способна максимально быстро и в достаточном количестве сорбировать ионы металлов токсичных для микроорганизмов.

Для этого потребовалось теоретическое обоснование ожидаемых результатов, подготовка такой сорбционной поверхности, на которой реализовывались бы ожидаемые соответствия между молекулами или их фрагментами в клетках микроорганизмов активного ила с ионами цинка, никеля, меди, обеспечивающее образование связей между ними.

Энергия образующихся связей, сродство поверхности адсорбента к ионам обозначенных металлов – важнейший фактор, влияющий на адсорбционную емкость. Механизм их образования весьма сложен и раскрыт не полностью. Действующие силы – результат сложения физических сил (Ван-дер-Вальса) и химических. Проведя анализ величин, потенциалов ионизации, сродства к электрону, строение электронных оболочек ионов металлов и значение редокс-потенциала (окислительно-востановительного потенциала) активного ила (таблица) сделан вывод о необходимости электрохимической активации (электрогенерирования) илового субстрата.

Таблица 1. **Потенциалы ионизации и сродство к электрону рассматриваемых токсикантов активного ила**

№ п/п	Металл	Потенциал ионизации, мВ	Сродство к электрону, мВ
1	Zn^{+2} d – элемент $3d^{10}4S^0$	0,005871	0,00766
2	Ni^{+2} d – элемент $3d^{8}4S^0$	0,004772	0,008
3	Cu^{+2} d – элемент $3d^{9}4S^0$	0,004829	0,00938

Примечание. приведенные данные [3].

Электрогенерирование: катодное восстановление биологического объекта при потенциале равном E_h (редокс потенциал штамма *Pseudomonas* E_h= –240 – 260 мВ) [3] позволяет «насытить» электронами молекулы ИАИ, сделать их практически нуклеофилами, а ионы цинка, никеля, меди – стремясь достроить свои d-оболочки (электрофилы) с легкостью вступают с органическими фрагментами во взаимодействие, образуя комплексы.

Анализ химического состава веществ, содержащихся в ИАИ, взятом за основу сорбционного материала показал [4], что после электрогенерирования сорбционного материала (отработанного активного ила) степень извлечения выше, нежели в активном иле, хотя оба образца были подвержены катодной обработке. В отработанном активном иле содержатся комплексы переходных металлов, которые после электрообработки выполняют, вероятно, функцию катализаторов.

Важный класс веществ комплексного характера осуществляющих структурирование представляют металлоорганические, точнее, элементоорганические соединения [5]. В молекулах этих комплексов, (Zn^{2+}, Cu^{2+}, Ni^{2+}), атомы которых содержат незаполненные электронные оболочки, которые вступают во взаимодействие с n-электронами органических групп.

Руководствуясь данными, полученными в результате исследований, а, именно, выявив селективность активного ила к ионам таких металлов как Zn^{2+} Ni^{2+} и Cu^{2+}, также учитывая тот факт, что ИАИ выделен в процессе биологической очистки, является отходом, получение нового сорбционного материала на его основе, подходит для решения поставленной цели.

Способ получения сорбента. Влагонасыщенный избыточный активный ил 85 – 90 % с исходной влажностью 65 – 70 % смешивается с диатомитом 12 – 16 % и портландцементом 8 – 12 % от массы. Полученная масса пропускается через сито с диаметром отверстий 3 мм. Использование гранул крупностью менее 3 мм не рационально по причине того, что частицы близки по своей структуре к порошковым сорбентам и при использовании в динамических условиях будут уноситься потоком сточных вод, а при контакте с взвешенными веществами, они требуют более частой регенерации, нежели гранулированные сорбенты. Полученные гранулы сушатся при комнатной температуре в течение 12 ч [6].

*Исследование влияние расхода сорбента и температуры***.** Целесообразное применение сорбционного материала, прежде всего, зависит от того, насколько эффективно им адсорбируются вещества, а следствием этого является то, как велик удельный расход сорбционного материала на единицу объема очищаемой сточной жидкости. В работе определяли расход сорбента для выявления оптимальной загрузки сорбционным материалом, которая подлежит определению в каждом конкретном случае.

Учитывая тот факт, что изменение температуры оказывает прямое воздействие на адсорбцию из раствора, исследование проводились в диапазоне температур +5 ÷ 35 °С. Определено, что при температуре 15 – 20 °С адсорбция ионов тяжелых металлов повышается по сравнению с диапазоном 5 – 15 °С. Максимальное извлечение ИТМ с помощью

получаемого сорбционного материала происходит при температурах 15 – 30 °С. Однако, учитывая климатические условия, и сезонность, необходимо помнить, что на ГКОС не всегда получится использовать сорбционный материал в благоприятных и оптимальных условиях.

Исследование влияния pH раствора. Показатель pH среды оказывает существенное влияние на протекание всех биохимических и физико-химических процессов. Проведенные исследования показали, что извлечение ионов Zn^{2+} и Ni^{2+} из водной фазы, наиболее полно при высоких значениях pH среды. Способность сорбционного материала на основе ИАИ при контакте подщелачивать воду, оказывает позитивное влияние на адсорбцию ионов тяжелых металлов из раствора. Помимо этого, увеличение уровня pH среды способствует образованию и осаждению гидроксидов тяжелых металлов.

Исследование влияния интенсивности перемешивания. Интенсивность процесса массопереноса увеличивается за счет возрастания турбулентной диффузии, а, следовательно, возрастает скорость адсорбции [7]. Следовательно, с увеличением интенсивности перемешивания возрастает сорбционная емкость, это означает, что работа сорбционного материала в динамических условиях будет носить позитивный характер.

Дальнейший процесс изучения характеристик сорбента проводился с использованием трехкомпонентных растворов.

Представленные результаты доказывают, что для удаления из городских сточных вод рассматриваемых токсикантов, целесообразно перед биологической очисткой провести сорбционную предоочистку сточных вод. Предложенный метод позволяет обеспечить, при необходимости, любую требуемую степень очистки по s, p, d-металлам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бахир В.М. Электрохимическая активация: изобретения, техника. технология. [Текст] / В.М. Бахир. 2014. 512 с.
2. Бейгельдруд Г.М. Очистка сточных вод от ионов тяжелых металлов с созданием оборотного цикла гальванического производства [Текст] / Г.М. Бейгельдруд, С.Н. Макаренко. М., 1999. 63 с.
3. Энергии разрыва химических связей. Потенциалы ионизации и сродство к электрону [Текст] / Л.В. Гуревич [и др.]. М.: Наука, 1974. 354 с.
4. Экология очистки сточных вод физико-химическими методами [Текст] / Н.С. Серпокрылов [и др.]. М.: Изд-во Ассоц. строит. вузов, 2009. 264 с.
5. Басоло Ф. Химия координационных соединений [Текст] / Ф. Басоло, Р. Джонсон. М.: Мир, 1966. 196 с.
6. Пат. 2542259 Российская Федерация, МПК B01J 20/10. Способ получения сорбента [Текст] / Войтюк А.А., Москвичева Е.В.,

Сахарова А.А.; заявитель и патентообладатель Войтюк А.А. / № 2013146300/05; заявл.16.10.2013; опубл. 03.12.2014.
7. Веницианов Е.В. Динамика сорбции из жидких сред [Текст] / Е.В. Веницианов, Р.Н. Рубинштейн. М.: Наука, 1983. 237 с.

УДК 543.06

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНОСТИ КОАГУЛЯНТОВ

Г.Б. Рашковский, Г.С. Старостин, Н.А. Сухоносов, А.В. Сычев
ОАО «Аурат», г. Москва, Россия
Н.К. Куцева, А.Н. Русанова
ЗАО «Роса», г. Москва, Россия

Дана подробная характеристика и расчетная формула определения основности коагулянтов для сопоставления по данному параметру продукции различных производителей.

Важнейшей характеристикой коагулянтов, представляющих собой полиоксихлориды алюминия, является основность (В) – отношение молярных содержаний гидроксила и алюминия, выраженное в процентах:

$$B = \frac{\left[OH^-\right]}{3 \cdot \left[Al^{3+}\right]},$$

где $[OH^-]$ – содержание гидроксила, моль; $[Al^{3+}]$ – содержание алюминия, моль; 3 – валентность алюминия.

Значение основности оказывает существенное влияние на скорость гидролиза коагулянта и, соответственно, на его эффективность при очистке воды.

Если коагулянт не является композиционным продуктом и получен из высококачественного сырья (синтетическая соляная кислота; товарный гидроксид алюминия или металлический алюминий марок А 999, А 995, А 99), то содержание в нем посторонних ионов пренебрежимо мало в сравнении с содержанием алюминия, хлора и гидроксила. Основность такого коагулянта можно определить, исходя из содержаний хлора и алюминия:

$$B = \left(1 - \frac{\left[Cl^-\right]}{3\left[Al^{3+}\right]}\right) \cdot 100,$$

где $[Cl^-]$ – содержание хлора, моль.

В этом случае значение основности может быть вычислено по формуле:

$$B = \left(1 - \frac{26{,}982 \cdot X_2}{3 \cdot 0{,}5293 \cdot X_1 \cdot 35{,}453}\right) \cdot 100,$$

где X_1 – массовая доля оксида алюминия, %; X_2 – массовая доля хлора, %; 26,982 – молекулярная масса алюминия; 35,453 – молекулярная масса хлора; 0,5293 – массовая доля алюминия в оксиде алюминия.

После упрощения получим расчетную формулу для вычисления основности:

$$B = \left(1 - \frac{0{,}479 \cdot X_2}{X_1}\right) \cdot 100 \qquad (1)$$

Брутто-формула коагулянта $Al(OH)_bCl_{3-b}$ рассчитывается из соотношения: $b = 3B/100$.

Исходными данными для расчетов являются результаты аналитического контроля состава коагулянтов. При этом массовые доли оксида алюминия и хлора определяют титриметрическими методами (оксид алюминия – обратным титрованием с трилоном Б, хлор – меркуриметрическим методом).

В случае, когда коагулянт модифицирован какими-либо ионными добавками, определение основности представляет собой более сложную задачу. Так, общая расчетная формула для коагулянтов, содержащих полиоксихлорид алюминия, кальций, натрий, трехвалентное железо и сульфаты, имеет следующий вид:

$$B = \left(1 - \frac{X_2 / 35{,}453 - 2X_3 / 40{,}08 - 3X_4 / 22{,}99 - 3X_5 / 55{,}847 + 2X_6 / 96{,}062}{3 \cdot 0{,}5293 \cdot X_1 / 26{,}9815}\right) \cdot 100$$

где X_3 – массовая доля кальция, %; X_4 – массовая доля натрия, %; X_5 – массовая доля железа, %; X_6 – массовая доля сульфат-иона, %; 22,99 – молекулярная масса натрия; 40,08 – молекулярная масса кальция; 55,847 – молекулярная масса железа; 96,062 – молекулярная масса сульфат-иона.

После упрощения получим расчетную формулу:

$$B = \left(1 - \frac{0{,}479X_2 - 0{,}848X_3 - 0{,}739X_4 - 0{,}913X_5 + 0{,}354X_6}{X_1}\right) \cdot 100. \qquad (2)$$

Очевидно, что для коагулянтов сложного состава желательно аналитическими методами определять молярное содержание гидроксильных групп и далее, определив содержание алюминия, рассчитывать значение основности.

Непосредственное титрование гидроксильных групп кислотой в присутствии индикатора неэффективно, так как из-за буферных свойств солей алюминия невозможно точно определить точку эквивалентности. Для достоверного титриметрического определения основности необходимо предварительно связывать алюминий в прочное соединение

постоянного состава.

Фирма Kemira рекомендует определять молярное содержание гидроксильных групп следующим образом: к раствору коагулянта добавляют избыток соляной кислоты для нейтрализации гидроксильных групп, связывают ионы алюминия фтористым калием в комплексное соединение $K_3[AlF_6]$, после чего титруют кислоту раствором гидроксида натрия в присутствии фенолфталеина. Сходная методика рекомендована фирмой «Полвак», отличие заключается в том, что ионы алюминия связывают в оксалатный комплекс.

К сожалению, обе эти методики характеризуются недостаточной воспроизводимостью, так как переход окраски фенолфталеина протекает в слабощелочной области, а в этих условиях комплексные соли алюминия частично разлагаются щелочью с образованием гидроксида или гидроксокомплексов алюминия.

Нами разработана новая методика, в которой связывание алюминия осуществляется путем его осаждения в виде нерастворимого гидроксида алюминия. Малая величина произведения растворимости этого соединения (ПР = 10^{-31}) практически исключает буферный эффект в области pH, близкой к точке переход окраски фенолфталеина (8,2 – 10,0).

Молярное содержание гидроксильных групп по данной методике определяют следующим образом: к раствору коагулянта добавляют раствор гидроксида натрия для перевода алюминия в осадок гидроксида алюминия, после чего титруют избыточную щелочь раствором соляной кислоты в присутствии фенолфталеина.

При добавлении щелочи к раствору коагулянта образуется гидроксид алюминия:

$$Al(OH)_aCl_{3-a} + (3-a)NaOH = Al(OH)_3\downarrow + (3-a)NaCl.$$

Осадок гидроксида алюминия полностью или частично растворяется в избытке гидроксида натрия с образованием алюмината натрия:

$$Al(OH)_3 + NaOH = Na[Al(OH)_4].$$

При титровании раствора соляной кислотой алюминат натрия разлагается, при этом вновь осаждается гидроксид алюминия:

$$Na[Al(OH)_4] + HCl = Al(OH)_3\downarrow + NaCl.$$

В точке эквивалентности алюминий практически полностью находится в форме гидроксида натрия, поэтому он не создает помех кислотно-основному титрованию.

Если в растворе присутствуют сульфат-ионы, то при титровании они могут осаждаться в виде малорастворимых основных солей, например, основного сульфата натрия $Na_2[Al_6(OH)_{10}(SO_4)_5]\cdot 4H_2O$ или водородного алунита $H_2[Al_6(OH)_{12}(SO_4)_4]$. Осаждение таких солей препятствует достоверному определению точки эквивалентности, поэтому при анализе коагулянтов, содержащих сульфат-ионы (оксихлорсульфат алюминия, оксисульфат алюминия) сульфат-ион следует удалять из раствора путем

осаждения в виде сульфата бария:

$$Al(OH)_a(SO_4)_bCl_{3-a-b} + bBaCl_2 = Al(OH)_aCl_{3-a} + bBaSO_4\downarrow.$$

Рекомендована следующая методика анализа. Навеску коагулянта, содержащую около 0,05 г оксида алюминия, взвешивают в стаканчике на аналитических весах с погрешностью не более 0,0002 г.

Навеску количественно переносят с помощью воды в коническую колбу объемом 250 см^3. При анализе кристаллического вещества нагревают анализируемый коагулянт с водой до полного растворения продукта. Добавляют около 50 мл воды. Если в коагулянте присутствует сульфат-ион, наличие которого можно обнаружить по помутнению раствора при добавлении хлористого бария, его осаждают, добавляя к анализируемому раствору 5 мл 1 Н раствора хлористого бария.

К анализируемому раствору добавляют из бюретки 40,0 см^3 0,1 Н раствора гидроксида натрия и несколько капель фенолфталеина, после чего титруют 0,1 Н раствором соляной кислоты до исчезновения малиновой окраски.

Расчет ведут по формуле:

$$B = \left(1 - \frac{(C_1 \cdot V_1 \cdot K_1 - C_2 \cdot V_2 \cdot K_2) \cdot 26{,}982 \cdot 100}{m \cdot 3 \cdot 0{,}5292 \cdot X_1 \cdot 1000}\right) \cdot 100\%,$$

где C_1 и C_2 – соответственно молярные концентрации гидроксида натрия и соляной кислоты (по 0,1 каждая); V_1 – объем раствора гидроксида натрия, см^3 (V_1 = 40); V_2 – объем раствора соляной кислоты, см^3; K_1 и K_2 – соответственно поправочные коэффициенты для растворов гидроксида натрия и соляной кислоты; 26,982 – молекулярная масса алюминия; m – масса навески, г.

После упрощения получим следующую расчетную формулу:

$$B = \left(1 - \frac{0{,}17 \cdot (V_1 \cdot K_1 - V_2 \cdot K_2)}{m \cdot X_1 \cdot 1000}\right) \cdot 100\%.$$

Данная методика опробована на коагулянтах различного состава. Результаты аналитического определения основности сравнивали с результатами расчетов по уравнениям (1) и (2), при этом массовые доли оксида алюминия и хлора определяли титриметрическим методом, металлов-примесей – спектральными методами, сульфат-иона – гравиметрическим методом. Результаты анализов совпадают с расчетными значениями с относительной погрешностью ± 5 %.

Разработанная методика определения основности коагулянтов проста в применении, не требует использования дефицитных реактивов и оборудования, характеризуется хорошей воспроизводимостью, пригодна для анализа коагулянтов любого ионного состава, может применяться для анализа продуктов с любым содержанием оксида алюминия, в широком диапазоне основностей (от нуля до 84 %). Методика аттестована

ФГБУ АХУ УрО РАН в декабре 2015 года и регламентирована в НДП 40.4.139-2015. Согласно свидетельству об аттестации метода измерений №88-16027-050-RA.RU.310657-2015, методике приписаны следующие значения показателей точности:

Диапазон измерений основности полиоксихлорида алюминия, %	Показатель повторяемости, σ_r, %	Показатель повторяемости, σ_R, %	Показатель точности ±δ, %
От 5 до 40 включительно	14	16	32
Св. 40 до 90 включительно	5	7	14

ВЫВОДЫ

Предлагаемая методика позволит производителям коагулянтов более эффективно контролировать качество выпускаемой продукции, а потребителям – сопоставлять по данному параметру продукцию различных производителей.

УДК 628.33

КОРРЕКТИРОВКА РЕГЛАМЕНТА ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ ИСХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ СТОЧНЫХ ВОД

Л.Г. Спиридонова, Е.Н. Серпокрылов
ООО «Акватрат», г. Ростов-на-Дону, Россия
Н.С. Серпокрылов
Донской государственный технический университет,
г. Ростов-на-Дону, Россия

На основе производственно-технологического анализа составлены и реализованы в промышленных условиях рекомендации по повышению эффективности работы очистных сооружений при стабильном отклонении расходов и концентраций загрязнений исходных сточных вод от проектных значений.

Для очистки хозяйственно-бытовых сточных вод вахтового поселка Одопту (о. Сахалин) предусмотрен комплекс сооружений биологической очистки, проектная производительность которого составляет 600 м^3/сут. Он включает три станции заводского изготовления типа БОКС (биологическая очистная канализационная станция) производительностью 200 м^3/сут. каждая, в состав каждой входит отдельно стоящий усреднитель рабочим объемом 37 м^3. В настоящее время производительность комплекса составляет ≈ 250 – 300 м^3/сут. Производительность каждой станции ≈ 4 м^3/ч, 96 м^3/сут.

Сточная вода на станцию очистки подается из приемной емкости, в которую поступает по напорным трубопроводам от вахтового поселка,

отвод очищенных вод после станций БОКС-200 ведется на поля фильтрации.

В станции БОКС-200 предусмотрены две технологические линии: очистки вод и обработки твердой фазы. Технологическая линия очистки сточных вод включает: устройство фильтрующее самоочищающееся (УФС), денитрификатор, аэротенк-нитрификатор, вторичный отстойник, блок биологической доочистки I, II-ой ступени, автоматический дисковый напорный фильтр, емкость очищенной воды, установку ультрафиолетового обеззараживания, аэробный стабилизатор-илоуплотнитель, комплект насосного и воздуходувного оборудования, комплект реагентного хозяйства.

Блок механического обезвоживания включает следующие сооружения и оборудование: бак накопления осадка, шнековый дегидратор (2 шт.), контейнер-накопитель обезвоженного осадка, флокуляционное хозяйство, насосы подачи осадка в шнековые дегидраторы.

Проектные (паспортные) концентрации загрязняющих веществ в сточной воде, поступающей на очистку, и в очищенной воде после станций БОКС-200 приведены в таблице 1 (данные табл. 1 приняты в соответствии с формулярами на станции типа БОКС производительностью 200 $м^3$/сут., а также анализа данных за 4 месяца эксплуатации (табл. 2)).

Таблица 1. **Проектные и фактические показатели исходной и очищенной сточной воды**

№	Показатели состава вод	Исходные / фактические	Нормы для очищенных сточных вод	Усредненные показатели за 4 месяца очистки
11	БПК5, мгO_2 /л	450,0 / 432	≤ 45,0	29,5
12	Взвешенные вещества, мг/л	700,0 / 445	≤ 200,0	19,9
33	Азот аммонийный, мг/л	100,0 / 62	≤ 50,0	7,3
44	Нитриты, мг/л	10,0 / 0,09	≤ 0,08	0,45
55	Нитраты, мг/л	0,0 / **33,1**	≤ 39,0	**40,0**
66	Фосфаты, мг/л	15,0 / 8,6	≤ 7,5	5,6
77	pH	6,5–8,5 / 7,01	6,5–8,5	7,06
88	Температура, °C	10–30 / 18	10–40	16
99	Нефтепродукты, мг/л	15,0 / 9,12	≤ 0,05	**0,11**
110	Железо (общее), мг/л	0,5 / н. о.	≤ 0,1	–
111	Фенолы, мг/л	0,5 / н. о.	≤ 0,001	–
112	СПАВ, мг/л	25,0 / 21,2	≤ 12,5	0,17

Примечание: «жирным» шрифтом выделены показатели, превышающие проектные (паспортные) значения в исходных и очищенных сточных водах.

Фактические концентрации загрязняющих веществ в сточных водах, поступающих на очистку и очищенных после станций БОКС-200 за период август-ноябрь 2015 г., приведены в таблице 2.

Таблица 2. **Показатели состава исходных и очищенных сточных вод (**среднее значение**) за август/сентябрь/октябрь/ноябрь 2015 г.**

№	Наименование показателей	Состав исходных сточных вод	Значения показателей в очищенных сточных водах после станций		
			БОКС № 1	БОКС № 2	БОКС№ 3
11	Прозрачность, см	1,9/2,8/2,2/2,1//2,3	20,4/30/10,5/30//22,7	21,4/30/11,2/30//23,2	22,6/30/11,9/30//23,6
12	pH, ед.	6,72/7,58/6,75/7,0 //7,01	6,62/7,76/7,41/6,6//7,09	6,44/7,77/7,35/6,5// 7,02	6,61/7,78/7,47/6,5//7,09
13	ХПК, мгО/дм^3	727/596/899/382//562	19/29/63/25//34	17/30/58/33//34,5	22/33/58/74//46,8
14	БПК$_5$ мг O_2/дм^3	**564**/**474**/394/294//432	14/23/51/19//26,8	13/24/**47**/25//27,3	17/26/**47**/**55**//34,5
15	Растворенный кислород, мг/дм^3	<1,0/<1,0/<1,0 <1,0//<1,0	8,0/7,5/6,4/9,1//7,8	7,5/7,5/6,9/8,5// 7,6	8,0/7,4/6,7/8,3//7,6
66	Взвешенные вещества, мг/дм^3	410/**928**/264/178//445	21,2/9,8/42/17,8// 21,1	20,4/7,4/30/18,0// 19,3	20,0/11,2/30/18//19,3
77	Хлорид-ион, мг/дм^3	219/195/260/176//200,4	244/263/299/176//222	235/274/269/194//243	233/128/263/164//208
88	Аммоний-ион, мг/дм^3	93/**136**/78/22//62	10,1/3,7/3,2/22// 9,8	11,3/3,5/6,9/2,3 // 6,0	10,0/2,6/10/2,3//6,2
99	Сульфат-ион, мг/дм^3	72/88/74/47//63	66/79/86/47//69,5	63/63/91/44//65,3	62/82/94/42//79,3
110	Нитрит-ион, мг/дм^3	0,05/0,02/0,08/0,3//0,09	0,27/0,09/0,47/0,3//0,28	0,27/0,09/1,24/0,29//0,46	0,27/0,09/1,49/0,29//0,62
111	Нитрат-ион, мг/дм^3	**0,45/0,1/0,29/66//33,1**	**69/16/34/66//46,3**	**69/17/37/69//48**	**74/16/40/69//49,8**
112	Фосфат-ион, мг/дм^3	**19,9**/1,61/15,6/4,8// 8,6	3,7/**15**,2/3,5/1,9//6,1	3,6/**11,0**/3,3/2,01//5,0	3,5/**14,0**/3,9/1,67//5,8
113	Нефтепродукты, мг/дм^3	6,8/5,9/**16,6**/0,54//5,12	0,18/0,05/0,10/0,07//0,11	0,17/0,09/0,11/0,07//0,11	0,19/0,07/0,12/0,05//0,11
114	СПАВ, анионные, мг/дм^3	3,7/2,3/0,86/0,08//21,19	0,15/0,23/0,08/0,06//0,17	0,16/0,25/0,10//0,17	0,16/0,29/0,12/0,02/0,19

Среднесуточный расход сточных вод по месяцам работы, составляет соответственно: 282/280/290/301, м^3/сут.

Как следует из таблиц 1 и 2, в исходных и очищенных сточных водах после станций БОКС-200 в отдельные месяцы эксплуатации наблюдаются превышения паспортных показателей по нитритам, нитратам, нефтепродуктам и БПК$_5$.

Анализ отдельных [1–3] составных элементов технологической

схемы с отклонениями от паспортных рабочих режимов показал, что:

– нарушений в работе УФС оборудования не выявлено, но периодически поступает вода черного цвета с запахом сероводорода, что свидетельствует о протекании в приемной емкости подачи сточных вод на очистку процессов гниения органических веществ из-за скопления осадка на дне емкости;

– во время работы усреднителя наблюдается частый перелив воды, вода отводится обратно в приемную емкость по переливному трубопроводу, но при этом не весь объем усреднителя подвергается перемешиванию, что свидетельствует о недостаточном количестве воздуха в усреднителе;

– насосы подачи сточных вод из усреднителя в аэротенки-нитрификаторы работают с заниженными характеристиками по расходу (примерно в 2 раза ниже расчетного); задвижки на напорных линиях насосов прикрыты на 70 – 75 %, что обуславливает малую скорость движения воды в трубах и, в свою очередь, приводит к засорению труб и задвижек на напорных линиях насосов и к импульсному движению воды в трубах, и вызывает колебания расхода.

– в аэротенках-нитрификаторах визуально наблюдается недостаток воздуха в третьем и четвертом коридорах первой и второй линии аэротенка-нитрификатора, снижается скорость окисления азота аммонийного и нитритов, что приводит к повышению их концентраций в очищенных сточных водах;

– расходы насосов рециркуляции нитратсодержащей жидкости являются заниженными, что приводит к снижению эффективности работы денитрификаторов и превышениям в очищенной воде концентраций нитратов;

– имеет место пониженный расход эрлифтов возвратного активного ила, что приводит к «срывам» отстойников и выносу избыточного активного ила в лотки отвода очищенной воды;

– периодически наблюдается переполнение приемной емкости и перелив неочищенных сточных вод на поля фильтрации.

В остальных элементах технологических схем существенных отклонений не выявлено.

Таким образом, анализ показал, что определяющим эффективность очистки вод очистных сооружений в целом является недостаточный объем приемного резервуара. Определение его объема в условиях сформировавшихся реальных расходов и суточных режимов водопотребления и водоотведения от вахтового поселка, расходов воды на собственные нужды станций водоподготовки и водоочистки, а также на собственные нужды строительной площадки (ранее не учтенные при проектировании) показало, что минимальная емкость должна быть 124 м^3, а не имеющиеся 47 м^3.

На основе производственно-технологического анализа составлены рекомендации по повышению эффективности работы очистных сооружений в условиях отклонения по расходу и концентрациям исходных сточных вод, которые включают:

– поддержание равномерного режима поступления хозяйственно-бытовых сточных вод на очистку путем постоянного контроля расхода насосов подачи сточных вод в аэротенки-нитрификаторы по расходомерам. Расход каждого рабочего насоса подачи сточных вод в аэротенк-нитрификатор должен быть равен половине среднего часового расхода.

– стабильный расход рециркуляции нитратсодержащей жидкости в соответствии с данными таблицы 3.

– дополнительную установку воздуходувок для взмучивания жидкости в усреднителях.

Таблица 3. **Производительность насосов рециркуляции нитратсодержащей жидкости в условиях пониженных расходов исходных сточных вод**

N п/п	Расход сточных вод, поступающих на одну технологическую линию	Ориентировочный расход насосов рециркуляции нитратсодержащей жидкости на одну технологическую линию
1.	2,1 м^3/ч (50 м^3/сут.)	≈ 8,4–12,6 м^3/ч
2.	3,1 м^3/ч (75 м^3/сут.)	≈ 12,4 – 18,6 м^3/ч
3.	4,2 м^3/ч (100 м^3/сут.)	≈ 16,8 – 25,2 м^3/ч

4. Существующая приемная емкость и установленные в ней насосы не обеспечат необходимых характеристик при увеличении общего суточного расхода хозяйственно-бытовых сточных вод до 600 м^3/сутки. Объем ее не обеспечивает достаточного усреднения расходов сточных вод и концентраций загрязняющих веществ и ведет к неравномерной нагрузке на сооружения, что снижает эффективность очистки и обеззараживания.

Реализация данных рекомендаций обеспечила стабильность режима эксплуатации станции и повысила безотказность работы оборудования (воздуходувки, насосы, УФ-установки и запорно-регулирующая арматура) при обеспечении нормативных показателей очистки сточных вод и обработки твердой фазы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Спиридонова Л.Г., Гризодуб Л.Г., Вильсон Е.В., Серпокрылов Н.С. Региональные реагенты для очистки сточных вод // Водоснабжение и канализация. 2013 № 1-2. С. 58–62.
2. Петренко С. Е. Повышение эффективности и надежности очистки сточных вод на разных стадиях эксплуатации очистных сооружений [Электронный ресурс] / С.Е. Петренко, Н.С. Серпокрылов, Е.В. Борисова и

др.// Электронный журнал «Инженерный Вестник Дона». 2013. № 22. URL: http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1602.
3. Серпокрылов Е.Н. Методика сравнительной оценки оптимизации процесса аэрации (на примере аэраторов «Бакор») // Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2012»: Мат. VIII Межд. науч.-практ. конф.; Красная поляна, г. Сочи, 23–24 окт. 2014 г. / Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т. (НПИ). Новочеркасск: Лик, 2014, С. 232–236.

УДК 628.31

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ДЕНИТРИФИКАЦИИ В СХЕМЕ С АЭРОТЕНКОМ-ОТСТОЙНИКОМ

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

Настоящая работа посвящена определению расчетных параметров технологии денитрификации, реализуемой в схеме с аэротенком-отстойником для сточных вод с высокой концентрацией азота общего.

В работе приведены результаты исследований очистки городских сточных вод г. Кату в ЮАР. Специфика данных сточных вод заключается в содержании высоких концентраций, как органических веществ, так и биогенных: ХПК составляет 724 мг/дм^3; $БПК_п$ – 517 мгO_2/дм^3; $БПК_5$ – 362 мг/дм^3; взвешенные вещества – 180 мг/дм^3; $азот_{общ}$ – 70 мг/дм^3; фосфаты (по Р) – 24 мг/дм^3. Требования к биологически очищенным сточным водам, поступающим на доочистку в биопруд: ХПК – 75 мг/дм^3; $БПК_п$ – 15 мг/дм^3; взвешенные вещества – 25 мг/дм^3; азот аммонийный – 6 мг/дм^3; азот нитритов и нитратов – 15 мг/дм^3; ортофосфаты (по Р) = 10 мг/дм^3.

Основанием для принятой технологической схемы является небольшой расход сточных вод – 1000 м^3/сут в сочетании с высокими концентрациями загрязняющих веществ. Известно, что в случае, если $БПК_п$ сточных вод превышает значение 300 мгO_2/дм^3, целесообразно использовать аэротенки-смесители, при невысоком расходе сточных вод целесообразно применять аэротенки-отстойники, однако в этих сооружениях невозможно осуществлять процесс денитрификации одновременно с нитрификацией, которая требует низких нагрузок на активный ил по органическим веществам. Поставленная задача достаточно эффективно может быть решена при использовании комбинированных сооружений (КС) ООО «Экосистема-Н», представляющих собой аэротенк-отстойник с расположенным над ним биофильтром. Между собой аэротенк-отстойник и биофильтр конструктивно связаны системой

аэрационных колонн, выполняющих две функции: транспортировку сточных вод, очищенных в биофильтре в аэротенк-отстойник и насыщение воды кислородом воздуха за счет его эжектирования в аэрационные колонны, параметры которых специально рассчитываются [1]. Однако в КС при высоких концентрациях азота общего в исходных сточных водах процессы нитри-денитрификации реализовать невозможно, так как в аэротенке-отстойнике не могут существовать условия для одновременного высокоэффективного обеспечения условий нитри- и денитрификации, соответственно не возможно обеспечить требуемые концентрации по составляющим азота на выходе из сооружений. Задачей, решенной в процессе данных теоретических исследований, является увязка технологических процессов, характерных для аэробных и аноксидных условий.

В данном случае, прежде всего, необходимо определить баланс по азоту при условии протекания процесса нитрификации и снижения $БПК_п$ до 15 мг/дм^3. В процессе аммонификации в сточные воды поступает азот аммонийный, его количество зависит от количества белка, содержащегося в органике, для большинства видов городских сточных вод процентное содержание белка составляет около 20 – 23 %, в данном случае принимаем 23 %, содержание азота в белке 11 – 14 %, принимаем к расчету 14 %. Разложение органических веществ в соответствии с исходными данными принимаем 97 %. Следовательно, в процессе аммонификации, в очищаемую воду дополнительно поступит 16,2 мг/дм^3 азота аммонийного (517 · 0,97 · 0,23 · 0,14). Общее количество азота аммонийного с учетом азота, поступающего при аммонификации (азот по Кьельдалю), составит: 70 + 16,2 = 86,2 мг/дм^3. В процессе очистки сточных вод азот аммонийный расходуется на построение клеточного вещества.

Концентрацию азота ассимилированного можно посчитать по данным ЮАР: 0,025мг N/мг ХПК. Считаем, что под ХПК понимаем ту часть, которая подвергается биодеградации, т.е. 724 – 75 = 649 мг/дм^3. Следовательно, концентрация ассимилированного азота составит 16,2 мг/дм^3. Остаточная концентрация азота аммонийного после КС составит 6 мг/дм^3. Так как концентрация азота нитритов/нитратов допускается 15 мг/дм^3, то нитрификации должно быть подвергнуто: 86,2 – 16,2 – 6 = 64 мг/дм^3, а денитрификации 64 – 15 = 49 мг/дм^3, что по массе составляет 49,0 кг/сут.

Согласно эмпирическим данным фирмы «ООО Экосистема-Н», в биофильтре КС возможен процесс денитрификации, интенсивность которого составляет 10 – 15 % от исходной концентрации, что, в данном случае составит 4,9 – 7,35 кг/сут. Для дальнейших расчетов снижение концентрации азота нитратов в биофильтре КС принимаем равным 5 мг/дм^3. Следовательно, в денитрификаторе необходимое количество удаляемого азота нитратов составляет 44 кг/сут. (49,0 – 5,0). Так как

производительность очистных сооружений составляет 1 000 м^3/сут., концентрация азота нитратов, удаляемого в денитрификаторе, составит 44 мг/дм^3.

Приведенное количество нитратсодержащих сточных вод, которое следует подвергать процессу денинитрификации, составит 44 · 1000/64 = 687,5 м^3/сут или 28,6 м^3/ч (где 64 мг/дм^3 – концентрация азота аммонийного трансформируемая в азот нитратный в результате процесса нитрификации).

Образующиеся в процессе денитрификации газообразные соединения азота извлекаются из воды в результате ее аэрации в КС. Так как денитрифицирующие микроорганизмы являются гетеротрофами, им необходим органический субстрат с легкоразлагаемой органикой, следовательно, исходные сточные воды после механической очистки целесообразно направлять в денитрификатор. Однако с целью уменьшения объемов сооружений в денитрификатор направляем только часть сточных вод, которые содержат необходимое количество легкоразлагаемой органики, другая часть сточных вод после механической очистки направляется в камеру смешения КС. Количество сточных вод, направляемых в денитрификатор определяли с учетом потребности микроорганизмов-денитрификаторов в органическом субстрате, которую принимали равной 3,5 мг $БПК_п$ на 1 мг $N_{нитратов}$, тогда $БПК_п$, потребляемое на процесс денитрификации составит 44 · 3,5 = 154 мгO_2/дм^3. Суточная потребность органических веществ в этом случае составит 154 кг. Следовательно, в процессе денитрификации снижение органических веществ составит 154 кг $БПК_п$/сут, что составляет 30,0 % от исходного количества (517 кг/сут). Количество исходных сточных вод, которые необходимо направить в денитрификатор, также очевидно составит 30,0 % от исходного количества сточных вод – то есть 1000 · 0,3 = 300 м^3/сут, или 12,5 м^3/ч, остальные исходные сточные воды, в количестве 41,7 – 12,5 = 29,2 м^3/ч направляем в камеру смешения КС для дальнейшей очистки в аэробных условиях. Предусматривали, что в денитрификатор направляется фиксированный расход исходных сточных вод, таким образом, в часы максимального водоотведения в камеру смешения КС будет поступать расход сточных вод с учетом коэффициента неравномерности (неравномерность поступления сточных учитывается при расчете КС).

Объем денитрификатора определяли как произведение продолжительности процесса денитрификации и объема сточных вод, направляемых в денитрификатор. Объем сточных вод, обрабатываемых в денитрификаторе, складывается из объема нитратсодержащих сточных вод – 28,6 м^3/ч (подаваемых из камеры смешения КС) и исходных сточных вод 12,5 м^3/ч).

Приведенное количество нитратсодержащих сточных вод, которое следует подвергать процессу денинитрификации, составит

$44 \cdot 1000/64 = 687{,}5$ м^3/сут или 28,6 м^3/ч (где 64 мг/дм^3 – концентрация азота аммонийного трансформируемая в азот нитратный в результате процесса нитрификации). Следовательно, объем обрабатываемых сточных вод составляет $12{,}5 + 28{,}6 = 41{,}1$ м^3/ч. Коэффициент циркуляции очищенных вод, содержащих нитраты, в денитрификаторе составляет от 2 – 5 и определяется по формуле: $R = [(NH_4 – N)_{исх} – (NH_4 – N)_{кон}]/(NO_3 – N)$, в данном случае $R = (70 – 6)/15 = 4{,}3$. Циркуляционный расход из КС в денитрификатор составляет 123 м^3/ч ($123 = 28{,}6 \cdot 4{,}3$).

Для расчета необходимой продолжительности процесса денитрификации воспользуемся уравнением, связывающим возраст денитрифицирующего ила, экономический коэффициент и удельную скорость денитрификации:

$$1/\mu = Y^d\rho^d – K^d,$$

где: ρ_d = 19 сут. (возраст одноиловой системы, определенный в процессе расчета параметров нитрификации) – возраст денитрифицирующего ила; K^d = 0,04 сут$^{-1}$ – коэффициент отмирания биомассы, сут$^{-1}$, при 20^0C; Y^d = 0,9 г ила/г $N\text{-}NO_3$ – удельный прирост биомассы, г ила/г $N\text{-}NO_3$ [2].

$\rho = (1/\mu + Y^d)/K^d = (1/19 + 0{,}04)/0{,}9 = 0{,}103$ г/г$_{ила}$сут = 4,3 мг/г$_{ила}$, ч.

Продолжительность денитрификации составляет: $t = 44/(3 \cdot (1 – 0{,}35) \cdot 4{,}3) = 5{,}2$ ч. Объем реакционной зоны денитрификатора составляет: $41{,}1 \cdot 5{,}2 = 214$ м^3.

Перемешивание иловой смеси в зоне денитрификации осуществляется циркуляцией потока сточных вод в системе: камера смешения КС – денитрификатор – камера смешения КС и мешалками, установленными в денитрификаторе. В результате использования денитрификаторами органического субстрата происходит снижение $БПК_п$ сточных вод, поступающих на комбинированные сооружения ($БПК_п$ = 363 мг/дм^3 (517 – 154 = 363).

Расчет комбинированных сооружений заключается в последовательном определении возможной нагрузки на ил по органическим веществам в аэрационной зоне аэротенка-отстойника с учетом протекания процесса нитрификации, что регламентирует величину $БПК_п$ в сточных водах, направляемых в аэротенк-отстойник. Разница $БПК_п$ в сточных водах, поступающих в КС и $БПК_п$ в сточных водах, направляемых в аэротенк-отстойник КС, используют для расчета биофильтра. В данном случае нагрузка на ил по $БПК_п$ принята 0,07 г$_{БПК}$/г$_{ила}$. Доза ила для расчетов принята 3,0 г/дм^3. Соответственно БПК сточных вод направляемых в аэротенк-отстойник должна составить составит 81 мг/дм^3:

($H = БПК \cdot Q/a_i(1–S) \cdot V = БПК \cdot 1000/3000(1 – 0{,}35) \cdot 595 = 0{,}07$ гБПК/г ила сут, тогда БПК = 81,2 мгO_2/дм^3).

Потребность в кислороде для осуществления процесса нитрификации при наличие в технологической схеме денитрификации

уменьшается, так как в процессе денитрификации в систему поступает 2,86 гO_2/гN [3]:

Так как денитрификации подвергается 44 мг/дм^3, количество освобожденного кислорода составит 2,86 · 44 = 125,8 мгO_2/дм^3.

Без учета денитрификации, потребность в кислороде (Gк) на нитрификацию составляет:

Gк = 4,57N/гO_2/м^{3}воды, Gк = 4,57 · 64 = 295,2 гO_2/м^{3}воды,

где 4,57; 2,86 гO_2/гN стехиометрические коэффициенты [3, табл. 1.75].

Следовательно, с поправкой на процесс денитрификации, потребность в кислороде для нитрификации составит:

Gк = 295,2 – 125,8 = 166,7 гO_2/м^3 воды.

Суточная потребность в кислороде составит:

166,7 · 1000/1000 = 166,7 кгO_2/сут.

Часовая потребность составит: 6,9 кгO_2/ч.

Для определения потребности в кислороде для окисления органических веществ используем данные ЮАР (формула для расчета средней потребности в кислороде на окисление органических соединений):

Gк = 1,51 · M, гO_2/м^{3}воды,

где M = M($_{Sti}$)·(1 – Fus – Fup)·((1 – Fcv·Yh) + Fcv·(1 – F)· Bh·Yh· Θm/ (1 + Bh ·Θm)), кг О/сутки,

M($_{Sti}$) – ХПК сточных вод, поступающих в аэротенк = 115 мгО/дм^3,

Fus – не растворимые биоразлагаемые частицы = 0,05 мгО/дм^3,

Fup – частично растворимые биоразлагаемые фракции = 0,13, мгО/дм^3,

Fcv – отношение между ХПК и взвешенными веществами = 1,48,

Yh – коэффициент = 0,45, мгВВ/мгХПКб; F= эндогенный остаток = 0,2,

Bh – частота эндогенного дыхания = 0,24 в сутки,

Θm – возраст ила = 19 сут.

Тогда ХПК$_{расч}$ составляет 73 гО/м^3, G$_к$=1,51·73 = 110,23 гO_2/м^{3}воды. Коэффициент 1,51 принят по таблице, рекомендуемой коллегами из ЮАР с учетом возраста ила 19 сут.

G$_{общ}$ = 6,9 + 4,6 кгO_2/ч = 11,5 кгO_2/ч или 276 кгO_2/сут.

Растворимость кислорода в воде зависит от температуры и давления. Так как г. Кату расположен на высоте над уровнем моря 1186 м, то согласно табличным данным по растворимости кислорода при температуре 25 ºС и давлении, соответствующему данной высоте над уровнем моря, для удовлетворения потребности в кислороде требуется увеличить подачу кислорода на 12 %, что составит 309 кгO_2/сут.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колесников В.П. Современное развитие технологических процессов очистки сточных вод в комбинированных сооружениях / В.П. Колесников, Е.В. Вильсон. Ростов-на-Дону: «Изд-во «Юг», 2005. 212 с.

2. Nitrogen control and phosphorus removal in sewage treatment//,noyes data corporation/ Park Ridge, New Jersey, U.S.A., 1978. 704 p.
3. Очистка сточных вод /М. Хенце, П. Армоэс, Й. Ля-Кур-Янсен, Э. Арван. М.: Мир, 2004. 480 с.

УДК 628.35

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РЕАГЕНТА VTA BIOKAT P500 НА БИОЛОГИЧЕСКИХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ ГОРОДСКОГО ОКРУГА Г. СТЕРЛИТАМАК

Ю.В. Кузнецов, А.В. Башкиров, Т.Р. Заплохова, Р.Р. Гаязов, Т.В. Мехоношина
ЗАО «Водоснабжающая компания» г. Стерлитамак,
Республика Башкортостан, Россия
В.П. Костюков, М.А Титова, П.В. Костюков
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия

Представлены результаты производственных исследований эффективности применения препарата VTA Biokat P500 для дефосфатизации хозяйственно-бытовых сточных вод.

Ежегодное увеличение численности населения городского округа города Стерлитамак, при устойчивом снижении водопотребления, по причине удорожания ресурсов, способствуют образованию высококонцентрированного по загрязняющим веществам стока.

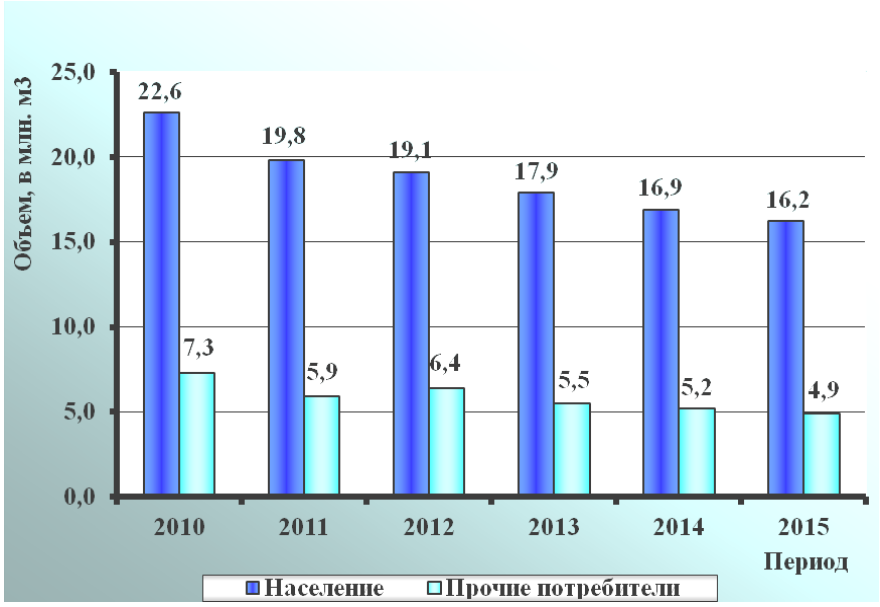


Рисунок. **Объём водопотребления за период с 2010 – 2015 гг.**

Реализованные проектные решения очистки сточных вод, основанные на нормативных данных прошлых лет, в настоящее время не обеспечивают необходимую степень очистки. В несколько раз возросли концентрации биогенных загрязнений, в том числе по азоту аммонийному, фосфатам. Несмотря на это перед эксплуатирующими организациями ставится задача достижения установленных жёстких норм на сброс загрязняющих веществ в водоёмы рыбохозяйственного значения, что предполагает реализацию комплекса мероприятий по модернизации и техническому перевооружению действующих биологических очистных сооружений.

Таким образом, очевиден научный и практический интерес исследований глубокой очистки от биогенных элементов.

На первом этапе работ, используя первичные данные контроля качества сточных вод, проведено определение расчетных значений концентраций основных загрязняющих веществ на входе на биологические очистные сооружения.

Для определения расчетных концентраций выполнена статистическая обработка протоколов аналитических определений концентраций компонентов сточной жидкости по следующим показателям: аммонийный азот N (NH_4), БПК, ХПК, взвешенные вещества, фосфор. В результате имеется возможность провести сравнительный анализ состава хозяйственно-бытовых сточных вод, принятых при проектировании, и фактических значений концентраций загрязнений сточной жидкости, поступающей на обработку в настоящее время.

Таблица 1. **Характеристики сточных вод на входе на БОС г. Стерлитамак**

№ п/п	Наименование показателя	Расчетные концентрации (2015 г.), мг/дм^3	Проектные концентрации (1983 г.), мг/дм^3	Нормативные значения концентраций (2016 г.), мг/дм^3
1	Азот аммонийный	54,64	14,0	23,6
2	ХПК	400	не норм.	360
3	Взвешенные вещества	286	237	208
4	БПК	250	139,0	240
5	Фосфор	3,35	не норм.	3,5

Если на момент проектирования сооружений основной задачей очистки считалось изъятие и окисление массы органических веществ, то сейчас к перечню загрязнений, подлежащих безусловному удалению, добавлены биогенные элементы – азот и фосфор, хотя классические технологические схемы, реализованные на большинстве действующих очистных станциях, не предусматривают таких процессов.

Из известных методов наиболее глубокое удаление фосфатов обеспечивается использовании железо- и алюминийсодержащих реагентов

В настоящее время зарубежный и отечественный рынки предоставляют огромнейший ассортимент коагулянтов и флокулянтов, что позволяет подобрать наиболее эффективные реагенты для решения ряда технологических проблем.

На базе производственной лаборатории цеха «Биологические очистные сооружения» городского округа г. Стерлитамак проведена серия исследований на реальной сточной воде. Тестировались реагенты: оксихлорид алюминия марок «А» и «Б» производитель ООО «Казанский завод химических реагентов» и VTA Biokat P500 концерна «VTA Австрия GmbH».

Целью исследований являлась оценка эффективности влияния реагентов на снижение содержания в очищенных сточных водах фосфатов, нитритов, нитратов, ХПК, тяжелых металлов на улучшение седиментационных и водоотдающих свойств активного ила и на работу комплекса сооружений биологической очистки в условиях пониженных температур.

В настоящей публикации представлены результаты испытаний реагента VTA Biokat P500 концерна «VTA Австрия GmbH».

При проведении исследований была создана модельная установка, имеющая две параллельные технологические линии, одна из которых являлась контрольной. Поступление хозяйственно-фекальных сточных вод на данную установку производили через промежуточные резервуары объёмом 10 л каждый. Модельный аэротенк имел объём 43 л, подача воздуха осуществлялась через компрессор.

Вторичные отстойники объёмом 35 л были выполнены с конусом для сбора активного ила. Для транспортировки возвратного ила были использованы аквариумные погружные насосы, которые были подключены через временные таймеры с промежутком включения 30 мин. Транспортировка возвратного ила проходила бесперебойно.

Ввод реагента производили перед вторичным отстойником, для смешения коагулянта с жидкостью была изготовлена каскадная мешалка. Рабочий раствор реагента дозировали вручную перед мешалкой.

При проведении исследования реагентов VTA Biokat P500 концерна «VTA Австрия GmbH» представителями компании установлена расходная норма (доза) рабочего раствора 0,4482 мкл/дм3 (или 0,45 кг/м^3).

Из таблицы 2 видно, что положительная динамика прослеживается при удалении: фосфатов и нефтепродуктов. **VTA Biokat P500** оказывает отрицательное воздействие на концентрацию хлоридов. При введении реагента в рекомендуемой дозе для удаления фосфора фосфатов повышается содержание в очищенной воде железа, нитритов и нитратов.

На остальные компоненты существенного воздействия реагент не оказывает.

Таблица 2. **Сравнительный анализ качества очищенных сточных вод при проведении исследований VTA Biokat P500**

№ п/п	Наименование показателя	Ед. изм.	Точка контроля		
			Исходная сточная жидкость	Выход из контрольной установки	Выход из установки с VTA Биокат
1.	pH	ед. pH	7,41	7,09	8,15
2.	ХПК	мгO_2/дм^3	490,6	60,4	64,0
3.	Хлориды (Cl^-)	мг/дм^3	81,5	86,9	101,0
4.	Азот аммонийный (NH_4^+)	мг/дм^3	54,30	0,47	0,48
5.	Железо общее ($Fe_{общ}$)	мг/дм^3	1,05	0,28	0,23
6.	Нитриты (NO_2^-) по N	мг/дм^3	< 0,02	8,96	8,96
7.	Нитраты (NO_3^-) по N	мг/дм^3	0	13,0	11,4
8.	Сульфаты (SO_4^{2-})	мг/дм^3	61,3	99,1	103,6
9.	Фосфор фосфатов (PO_4^{3-}) по P	мг/дм^3	**4,10**	**3,27**	**2,10**
10.	Нефтепродукты	мг/дм^3	0,19	0,21	0,12

Также при проведении исследований установлено что, несмотря на заявленные возможности реагента, применение VTA Biokat P500 в предложенной дозе для обработки иловой смеси в аэротенке обеспечило снижение концентрации в очищенной сточной жидкости только на 51 % (до 2,1 мг/дм^3). Снижение остаточного содержания фосфора до установленного норматива 0,2 мг/дм^3 не обеспечивается.

Применение реагента не влияет на восстановление процесса нитрификации при сбросах сточных вод с высоким содержанием азота аммонийного и в условиях начала процесса вспухания активного ила.

Стоимостный анализ возможности применения реагента VTA Biokat P500 показал, что при включении финансовых затрат на приобретение реагента (без учета строительства станции реагентного хозяйства), обеспечивающего годовую потребность очистных сооружений производительностью 25 тыс. м^3/сут. в состав тарифа на водоотведение городского округа г. Стерлитамак, произойдёт увеличение последнего на 16 руб. за 1 м^3. Поскольку затраты прямо пропорциональны колебаниям курса валют, следовательно в существующей ситуации экономически нецелесообразно применение реагента VTA Biokat P500.

ВЫВОДЫ

Применение реагента VTA Biokat P500 в предлагаемой дозе не обеспечивает гарантированного положительного влияния на процесс очистки сточных вод от фосфатов до норм ПДК водоёмов рыбохозяйственного значения составляющего 0,2 мг/дм^3, а также не оказывает влияния на процессы нитрификации и на улучшение седиментационных свойств активного ила во вторичном отстойнике.

Затраты на использование реагента **VTA Biokat P500** значительно превышают полученный эффект от его применения.

УДК 628.31

ИССЛЕДОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД МОЛОКОЗАВОДОВ НА МОДЕЛЬНОМ СТОКЕ

С.В. Степанов, О.С. Солкина, К.М. Морозова, А.С. Степанов, Т.В. Соколова
ООО ГК «Эколос», г. Самара, Россия

Представлены результаты очистки сточных вод молокозаводов с использованием мембранного биореактора. Показано, что биомембранные технологии обеспечивают увеличение производительности сооружений очистки сточных вод в 1,5 – 2 раза при существенном улучшении показателей очищенной воды.

В настоящее время в соответствии с политикой импортозамещения происходит повсеместное расширение действующих и строительство новых предприятий молочной промышленности в Российской Федерации. Имеющиеся канализационные очистные сооружения, как правило, не обеспечивают достижение соответствующих нормативов, что существенно нарушает работу муниципальных сооружений биологической очистки и приводит к загрязнению окружающей среды.

Исследование состава сточных вод на ряде действующих молокозаводов показало, что ассортимент выпускаемой продукции, автоматизация технологии производства, способы переработки вторичного сырья существенно влияют на состав сточных вод. Тем не менее, все они характеризуются высокими концентрациями органических веществ: по $БПК_{полн}$ до 2500 мг/л, ХПК до 3500 мг/л, по азоту аммонийному до 30 мг/л, азоту нитратов – до 30 мг/л, фосфору фосфатов – до 20 мг/л. Взвешенные вещества колеблются от 200 до 1000 мг/л. Концентрация жиров находится в диапазоне 20 – 100 мг/л. Величина pH уменьшается в ходе технологических процессов ввиду гидролиза органических загрязнений продуктов переработки молока. Температура поднимается до 35 °С в летнее время [1–3].

Наибольшее распространение получила схема очистки сточных вод, включающая: жироловки, усреднители, установки напорной реагентной флотации, биологические очистные сооружения с аэротенками, или биофильтрами [3–5]. Частыми проблемами, выявляемыми на подобных станциях очистки сточных вод, является нестабильная работа сооружений физико-химической очистки в связи с отсутствием автоматизированных систем корректировки pH и дозирования коагулянта, а также неэффективная работа сооружений биологической очистки, связанная с необходимостью их модернизации для полного окисления органических веществ, нитрификации и денитрификации. Эти факторы определили необходимость проведения экспериментальных исследований биологической очистки сточных вод молокозаводов с применением современных технологий.

За рубежом для глубокой очистки сточных вод предприятий текстильной, пищевой, мясоперерабатывающей, молочной и других отраслей промышленности широко используются биомембранные технологии, что обеспечивает многократное увеличения концентрации активной биомассы и полное удержание микроорганизмов в биореакторах, тем самым, исключая ступени отстаивания и фильтрования в существующих схемах обработки сточных вод.

Исследования проводились на опытно-промышленной установке МБР-0,2 производства ГК «Эколос». В установке был использован мембранный модуль с плоскорамной мембраной SINAP25, идентичной используемым в производственных условиях. Площадь мембранного модуля составляет 0,25 $м^2$. Максимальная производительность установки МБР – 4 л/ч, 96 л/сут.

На экспериментальной установке МБР был реализован процесс биологической очистки с нитри-денитрификацией, поскольку в исходном стоке молокозаводов присутствует нитратный азот. Первоначально экспериментальные исследования проводились с модельным стоком, в качестве которого использовался раствор молока с добавлением однозамещенного фосфорного калия, хлористого аммония и нитрата натрия в пропорциях, соответствующих концентрациям загрязняющих веществ после физико-химической очистки, определенным по опыту эксплуатации ряда предприятий молочной промышленности. Состав модельного стока: $БПК_{полн}$ – 480 – 960 мг/л, $N\text{-}NH_4$ – 24 – 96 мг/л, $N\text{-}NO_3$ – 0 – 40 мг/л, $P\text{-}PO_4$ – 4,8 – 9,6 мг/л. Концентрация ила в реакторе в пусковой период составляла 1,04 г/л и в процессе эксперимента в течение четырех месяцев концентрация ила возросла до 14 г/л, при этом иловый индекс изменялся от 30 до 150 мл/г.

За весь период работы установки можно выделить 4 технологических режима, отличающихся продолжительностью аэрации в

мембранном биореакторе и концентрацией органических веществ модельного стока (рис. 1).

В зависимости от режима работы установки $БПК_{полн}$ пермеата изменялось по усредненным данным в пределах 2 ÷ 11 мг/л, концентрация аммонийного азота в пермеате варьировала от 0,005 до 1,4 мг/л при начальной концентрации азота аммонийного 28 – 96 мг/л, концентрация нитратного азота в пермеате составляла 2,5 ÷ 9,1 мг/л (концентрация нитратного азота в модельном стоке менялась от 0 до 40 мг/л). Необходимо отметить полное отсутствие взвешенных веществ в пермеате.

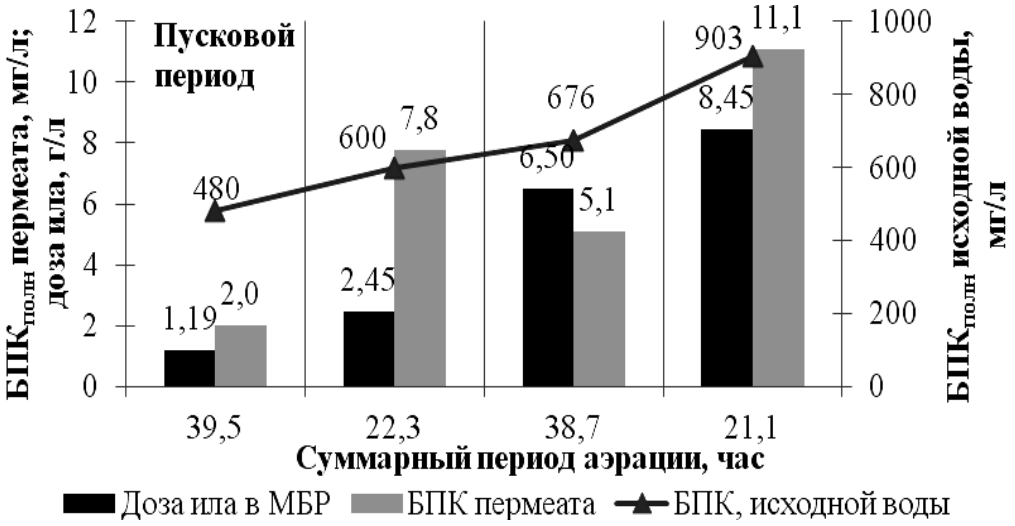


Рисунок 1. **Усредненные показатели работы установки**

Проведенные исследования показали, что использование биомембранной технологии на стадии биологической очистки сточных вод позволяет получить очищенную воду, соответствующую современным требованиям, по $БПК_{полн}$ до 3 мг/л, азоту аммонийному до 0,4 мг/л, азоту нитратному до 9 мг/л и взвешенным веществам до 3 мг/л без ступени доочистки.

Биомембранные технологии обеспечивают увеличение производительности сооружений очистки сточных вод в 1,5 – 2 раза при существенном улучшении показателей очищенной воды, за счет возможного увеличения концентрации активного ила в реакторе до 10 – 12 г/л и, соответственно, окислительной мощности сооружения. Окислительная мощность мембранного биореактора при дозе активного ила 10 г/л достигает 1100 г/м^3·сут, а при дозе активного ила 4,0 г/л составляет 750 г/м^3·сут, т.е. в 1,46 р меньше (рис. 2).

Проведенные экспериментальные исследования позволили получить основные расчетные технологические и кинетические параметры процесса биологического окисления модельного стока в МБР.

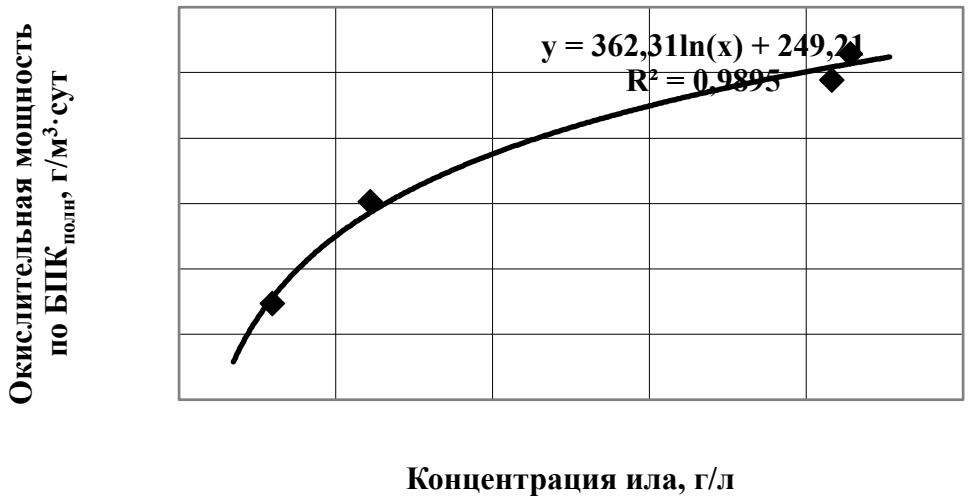


Рисунок 2. **Зависимость окислительной мощности от дозы активного ила**

На рисунке 3 представлена зависимость удельной скорости окисления органических веществ по БПК$_{полн}$ от концентрации ила.

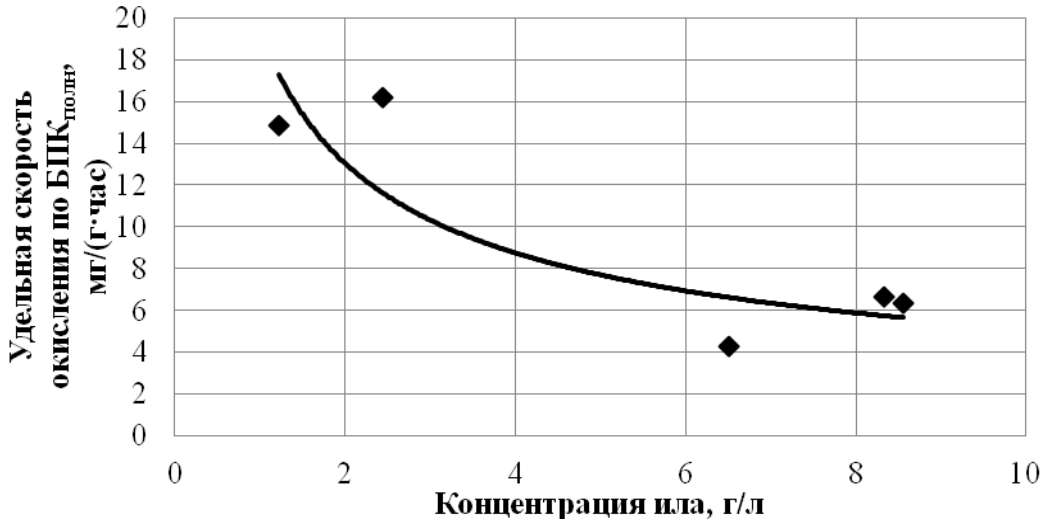


Рисунок 3. **Зависимость удельной скорости окисления органических веществ по БПК$_{полн}$ от концентрации ила**

Аналогичные зависимости получены для процессов нитрификации и денитрификации. При дозе ила 3 – 4 г/л удельные скорости окисления органических веществ по БПК$_{полн}$, нитрификации и денитрификации составили: 9; 0,5 и 4,3 мг/(г·ч) соответственно, при дозе ила 6 – 8 г/л: 6,5; 0,4 и 3,1 мг/(г·ч).

Графоаналитическим методом определен коэффициент ингибирования продуктами метаболизма φ, который составил: для гетеротрофной микрофлоры окисления органических веществ – 0,39 л/г, для процессов нитрификации – 0,19 л/г и денитрификации – 0,22 л/г. Необходимо отметить, что коэффициент φ для гетеротрофной

микрофлоры, полученный в результате выполнения опытов в контактных условиях по скорости потребления кислорода, также составил 0,39 л/г.

Влияние изменения температуры на процесс очистки может быть описано уравнением Вант-Гоффа [6]. При температурах 30 – 35 °С скорость остается постоянной, а при дальнейшем повышении температуры до 45 °С резко падает, практически до нуля. Обработка результатов проведенных исследований позволила получить кинетические зависимости процессов окисления органических загрязнений по $БПК_{полн}$, нитрификации и денитрификации от температуры. Определение температурной константы χ уравнения Вант-Гоффа для всех трех процессов, протекающих в МБР, имеет как научное, так и практическое значение. На основании полученной зависимости найдена величина константы χ для аэробной гетеротрофной конверсии – 0,091 $град^{-1}$. Аналогично получено для нитрификации – 0,096 $град^{-1}$ и для денитрификации – 0,13 $град^{-1}$.

В дальнейшем планируется подтверждение полученных коэффициентов и констант на реальной сточной воде в промышленных условиях.

ВЫВОДЫ

1. Полученные результаты эксперимента на модельном растворе позволили установить кинетические зависимости окисления органических веществ по $БПК_{полн}$, нитрификации и денитрификации и показали увеличение окислительной мощности сооружения в 1,46 раз при повышении концентрации ила с 4 до 10 г/л, что позволяет значительно уменьшить объемы сооружений биологической очистки при использовании технологии МБР за счет сокращения объема аэробной зоны и исключения из схемы вторичных отстойников и сооружений доочистки.
2. В ходе эксперимента на установке МБР и кинетических опытов в контактных условиях были определены коэффициенты ингибирования продуктами метаболизма φ для модельного раствора сточных вод и смеси активного ила, который составил: для окисления органических веществ по $БПК_{полн}$ – 0,39 л/г, для нитрификации – 0,19 л/г, для денитрификации – 0,22 л/г.
3. На основании полученных зависимостей скоростей окисления органических веществ по $БПК_{полн}$, нитрификации и денитрификации от температуры найдена величина константы χ для аэробной гетеротрофной конверсии – 0,091 $град^{-1}$. Аналогично получено для нитрификации – 0,096 $град^{-1}$ и для денитрификации – 0,13 $град^{-1}$, что является важным для расчета сооружений очистки сточных вод при высоких колебаниях температуры на различных предприятиях молочной промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дятлова Т.В., Певнев С.Г., Федоровская Т.Г. Очистка сточных вод молокозаводов // Водоснабжение и санитарная техника. 2008, № 2. С. 12–15.
2. Шифрин С.М., Иванов Г.В., Феофанов Ю.А. Очистка сточных вод предприятий мясной и молочной промышленности. М.: Изд-во «Легкая и пищевая промышленность», 1981. 272 с.
3. Степанов С.В., Солкина О.С., Степанов А.С. Очистка сточных вод предприятий молочной промышленности // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительные технологии: сборник статей [Электронный ресурс] / Под ред. М.И. Бальзанникова, К.С. Галицкова, А.К. Стрелкова; СГАСУ. Самара, 2016.
4. Bjorn Rusten, Arne Lundar, Ola Eide, Hallvard Odegaard. Chemical pretreatment of dairy wastewater // Water Science & Technology. 1993. V. 28 (2). P. 67–76.
5. Cornel, P. Membrane bioreactors in industrial wastewater treatment – European experience, examples and trends. P. Cornel, S. Krause // Water Science & Technology. 2006. V. 53 (3). P. 37–44.
6. Хенце М. Очистка сточных вод. Биологические и химические процессы / М. Хенце, П. Армоэс [и др.]; пер. с англ. М.: Мир, 2004. 399 с.

УДК 628.3

ПОЛУЧЕНИЕ АДСОРБЕНТОВ ИЗ ОРЕХОВОЙ СКОРЛУПЫ АНАКАРДА ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДЫ

Куасси Бру Гийом
Донской государственный технический университет,
г. Ростов-на-Дону, Россия
г. Абиджан, Республика Кот-д'Ивуар

Предложена технология получения и определены технологические параметры активных фильтрующих материалов и адсорбентов для процессов очистки вод, полученных из скорлупы ореха анакарда республики Кот-д'Ивуар.

В настоящее время во всем мире для очистки вод широкое применение получили сорбенты, получаемые из растительного сырья, наиболее распространенным является активированный уголь, получаемый из кожуры кокосовых орехов.

В республике Кот-д'Ивуар образуется около 1 млн. т скорлупы ореха анакарда, направляемой в отвал [1–2]. Актуальным, как для Республики, так и для внешнего рынка, является изучение возможности получения активированного угля из данного ореха и его применение в очистке вод.

Исследования для получения адсорбентов включали в себя: подготовку исходного материала, его карбонизацию, химическую активацию. Для фильтрующих материалов – подготовку исходного материала, карбонизацию, дробление, рассев и выделение классов для проведения испытаний.

Показатели качества ореховой скорлупы анакарда и основные характеристики полученных из неё образцов сорбентов определяли по нормативным документам [3–9].

Подготовка ореховой скорлупы анакарда. Поскольку ореховая скорлупа анакарда содержит большое количество маслянистых веществ, то для их извлечения скорлупа орехов предварительно проходила термообработку в воде до их полного извлечения (около 2 – 3 ч) порциями по 50 г.. Показатели качества ореховой скорлупы анакарда до и после термообработки в воде и основные характеристики полученных из неё образцов сорбентов приведены в таблице.

Карбонизация ореховой скорлупы анакарда. После варки в воде скорлупа подвергалась термической обработке без доступа воздуха при температуре 500 – 600 °С и выдержке при этой температуре в течение 10 мин. (скорость нагрева составляла около 20 °С в минуту). Средний выход карбонизата составил около 40 г из 100 г скорлупы орехов кешью. Полученный карбонизат имеет зольность 4,9 %, содержание общей серы – 0,22 %, суммарный объём пор по воде – 0,51 $см^3$ /г (см. табл.).

По имеющейся в литературе информации промышленные активные угли для адсорбции из жидких сред имеют суммарный объём пор по воде не менее 0,50 $см^3$/г. Этот показатель для скорлупы орехов кешью после варки в воде составляет 0,37 $см^3$/г, а для карбонизата (500 – 600 °С) – 0,51 $см^3$/г (табл.). Таким образом, карбонизация при более низких температурах (300 – 400 °С, 400 – 500 °С) нецелесообразна, так как полученный материал заведомо будет иметь суммарный объём пор по воде ниже необходимой величины.

Химический состав карбонизата скорлупы ореха анакарда: SiO_2 – 15,4 %, Al_2O_3 – 5,6 %, Fe_2O_3 – 5,6 %, CaO – 8,7, %, MgO – 9,9, %, P_2O_5 – 11,3 %, SO_3 – 3,3 %, TiO_2 – 0,14 %. Определения выполнялись по ГОСТ 10538-87 «Топливо твёрдое. Методы определения химического состава золы». Выход веществ, экстрагируемых хлороформом, составляет 11,2 %.

Химическая активация. Была проведена щелочная активация карбонизата. Для этого его заливали 5 % раствором KOH и выдерживали в этом растворе в течение суток. Затем карбонизат подвергался термической обработке без доступа воздуха при температуре до 800 °С, выдерживался при этой температуре в течение 10 мин. и быстро охлаждался. Для химической активации было использовано около 300 г карбонизата ореховой скорлупы анакарда. После щелочной активации зольность

уменьшилась до 2,4 %, суммарный объём пор по воде увеличился до 1,00 $см^3/г$, а насыпная плотность уменьшилась с 329 до 220 $г/дм^3$ (табл.).

Таблица. **Показатели качества ореховой скорлупы анакарда и основные характеристики полученных из неё образцов**

Материал	Обгар, %	W^a, %	A^d, %	S^d_t, %	F, %	Метилено-вый синий, мг/г	V_Σ, $см^3/г$	Насыпная плотность, $г/дм^3$
Скорлупа после варки в воде	–	1,0	0,9	0,23	3,2	9,4	0,37	-
Карбонизат скорлупы (500–600 ºС)	–	1,1	4,9	0,22	5,0	11,7	0,51	329
Карбонизат скорлупы после щелочной активации	–	0,9	2,4	0,20	5,1	15,2	1,00	220
Карбонизат скорлупы (800 ºС)	–	0,9	5,0	0,21	8,9	10,4	0,92	271

Фильтрующий материал. Часть ореховой скорлупы подвергалась термической обработке без доступа воздуха при температуре 800 °С. Полученный карбонизат измельчался и рассеивался на классы < 1,0 мм; 1,0 – 2,5 мм в соответствии с ГОСТ 2093-82 «Топливо твёрдое. Ситовый метод определения гранулометрического состава».

Карбонизат (500 – 600 °С) измельчался и из него выделялся класс 0,6 – 1,6 мм для фильтрующего материала и щелочной активации. Полученный карбонизат (500 – 600 °С) уже является активным материалом (табл.) и может отвечать требованиям, предъявляемым к фильтрующим материалам в ГОСТ Р 51641-2000 «Материалы фильтрующие зернистые. Общие технические условия».

Исследуемый фильтрующий материал имеет следующие характеристики: общая влага W^r_t – 2,1 %, зольность A^d – 2,4 %, содержание общей серы S_t^d – 0,22 %. Сравнительная сорбция по метиленовому синему, мг/г, показала преимущество карбонизата скорлупы после щелочной активации (табл.).

Для определения возможности использования исследуемого материала в качестве загрузки механических фильтров очистки воды, в соответствии с ГОСТ Р 51641-2000 «Материалы фильтрующие зернистые. Общие технические условия», проведены испытания класса 0,63 – 1,60 мм на механическую прочность, химическую стойкость и определение нижеперечисленных показателей.

Эквивалентный диаметр зёрен определялся по формуле:

$$D = \frac{100}{\sum_{i=1}^{n} \frac{P_i}{d_k}},$$

где *Pi* – массовая доля класса материала, оставшаяся на сите диаметром d_k мм;

n – число сит;

$d_k + d_n + d_{n+1} / 2$ (d_k, мм – 0,59; 0,71; 0,90; 1,12; 1,37; 1,55);

$P_i = P_n + P_{n+1}$ (P_i , весовые проценты – 4; 14; 18; 18; 34; 8).

Коэффициент неоднородности $К_н$ = 1,56.

Коэффициент неоднородности не должен превышать 2, а эквивалентный диаметр зёрен – 1,29. Очевидно, что по этим показателям исследуемый материал соответствует нормативным требованиям.

Определение максимальной и минимальной порозности (свободный объём между зёрнами) рассчитывались по формулам:

$$n_{\max} = (1 - V_1 / V_2) \cdot 100; \qquad n_{\min} = (1 - V_1 / V_3) \cdot 100,$$

где V_1 – объём воды, вытесненный образцом материала; V_2 – объём образца после свободного осаждения; V_3 – объём образца после уплотнения.

Результаты определения порозности фильтрующего материала показали, что исследуемый материал обладает хорошими структурными показателями. Величина максимальной порозности составляет 50 %, а минимальной – не менее 45 %.

Таким образом, проведённые исследования свидетельствуют о возможности получения из скорлупы орехов кешью активных фильтрующих материалов и адсорбентов для процессов очистки вод.

ЛИТЕРАТУРА

1. Emmanuelle Lautié, Manuel Dorniera, M. de Souza Filhoc, Max Reynesa; Les produits de l’anacardier: caractéristiques, voies de valorisation et marchés; Fruits, 2001, vol. 56, p. 235–248.
2. SORO Doudjo, Thèse: «Couplage de procédés membranaires pour la clarification et la concentration du jus de pomme de cajou : performances et impacts sur la qualite des produits»; Centre International d’Etudes Supérieures en Sciences Agronomiques, Montpellier supagro; Page 6 ; 2012.
3. ГОСТ 11014-2001 Угли бурые, каменные, антрацит и горючие сланцы. Ускоренные методы определения влаги.
4. ГОСТ Р 55661-2013 Топливо твёрдое минеральное. Определение зольности.
5. ГОСТ 8606-93 (ИСО 334-92) Топливо твёрдое минеральное. Определение общей серы. Метод Эшка.
6. ГОСТ 6217-74 Уголь активный древесный дроблёный. Технические условия.

7. ГОСТ 4453-74 Уголь активный осветляющий древесный порошкообразный. Технические условия.
8. ГОСТ 17219-71* Угли активные. Метод определения суммарного объёма пор по воде.
9. ГОСТ 16190-70 Сорбенты. Метод определения насыпной плотности.

УДК 628.161:665.61:504.55.054:667.3.081.3

ПРИМЕНЕНИЕ ШЕРСТИ В КАЧЕСТВЕ СОРБЕНТОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДОИСТОЧНИКОВ ПРИ РАЗЛИВАХ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Л.Н. Фесенко, Л.Г. Мирошниченко,
К.С. Тер-Матиосова, А.И. Ткаченко
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия

Исследованы сорбционные свойства природных сорбентов (овечьей и козьей шерсти), применяемых при ликвидации аварийных разливов и утечках нефтепродуктов. Определены значения нефтеёмкости выбранных сорбентов в статистических условиях для дизельного топлива и масла для дизельных двигателей.

К наиболее распространенным веществам, загрязняющим гидросферу, относятся нефть и продукты ее переработки. Большие количества последних попадают во внутренние водоисточники при добыче, а особенно при транспортировке в места переработки и потребления.

На сегодняшний день известно множество способов ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов (НП) [1–2]. Многие из них являются дорогостоящими, сложными по исполнению, поэтому в последнее время большое внимание уделяется сорбционным методам, как наиболее удовлетворяющим решению проблемы. К преимуществам сорбционного метода относятся: возможность удаления загрязнений весьма широкой природы, отсутствие вторичных загрязнений и управляемость процессом [3–4].

В последние годы повысился интерес к возобновляемым отходам переработки сельскохозяйственного сырья, которые дешевы, доступны и просты по способам утилизации, имеют высокие сорбционные характеристики и возобновляемую сырьевую базу. В этой связи оптимальным представляется подход к очистке загрязненных вод, при котором для удаления загрязнений используются вещества, являющимися отходами производства, которые сами являются вторичными материальными ресурсами.

Целью данной работы являлось исследование сорбционных свойств отходов при переработке козьей и овечьей шерсти к нефти и НП.

Главным показателем эффективности сорбента является его сорбирующая способность (нефтеемкость), которая зависит от степени развитости удельной поверхности: чем больше удельная поверхность, тем выше сорбирующая способность. Поэтому на начальном этапе работы было предположено, что модификация кислотами аминокислот шерсти будет способствовать увеличению сорбционной способности. В ходе исследования выяснялось, что наибольший эффект очистки воды от нефти и НП наблюдается при обработке шерсти (и овечьей, и козьей) таким модификатором, как серная кислота. Кроме того, наибольшее значение нефтеёмкости наблюдается у шерсти, модифицированной 10 %-ным раствором серной кислоты. При контакте волокна шерсти с растворами серной кислоты свыше 10 % подвергаются сильному разрушению и даже частичному гелеобразованию. Поэтому при химической модификации в ходе дальнейших экспериментов по исследованию сорбционных свойств использовалась 10 %-ная серная кислота.

Обработка шерсти химическими реагентами приводит не только к изменению химического состава волокна шерсти, но и к изменению структуры поверхности [5], что подтверждают микрофотографии сканирующей микроскопии (рис. 1).

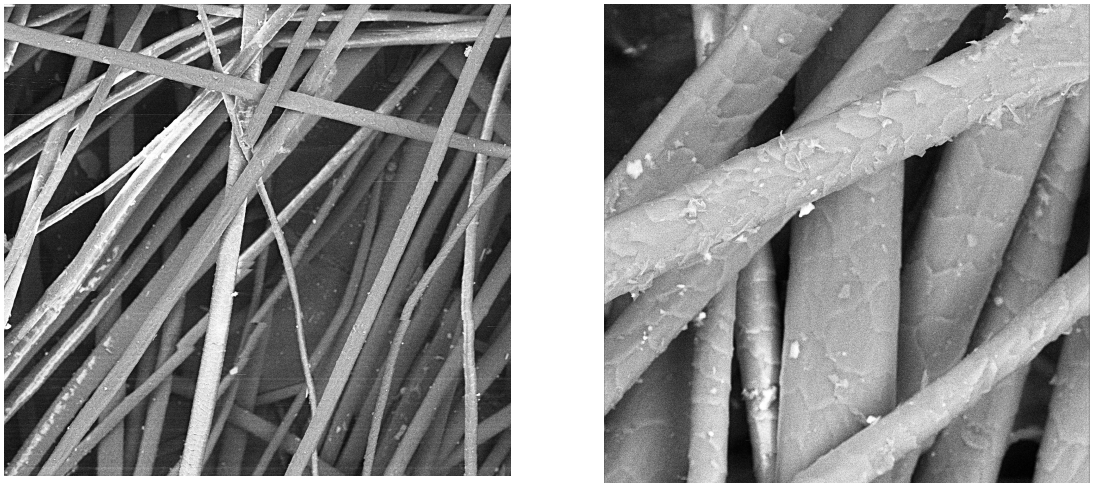


Рисунок 1. **Микрофотографии чешуек козьей шерсти до и после модификации**

Как видно из микрофотографий, на поверхности шерсти, обработанной раствором серной кислоты, происходит раскрытие чешуек волосков шерсти.

При исследовании нефтеёмкости в качестве НП использовали дизельное топливо (ДТ) и масло для дизельных двигателей марки 10W-40.

Эксперимент по определению нефтеемкости выбранного СМ в статических условиях проведен следующим образом: в чашки Петри

наливалось определенное количество НП, туда помещались медные сетки известной массы. Затем, на поверхность сорбата равномерно сплошным слоем наносился исследуемый СМ в количестве 5 г. Через заданные промежутки времени с помощью сетки снимался исследуемый образец СМ с поглощенным сорбатом и взвешивался на лабораторных весах после стекания избыточного количества нефти. Результаты опытов приведены в таблице и на рисунках 2, 3.

Таблица. **Значения нефтеёмкости в стационарных условиях для отходов переработки шерсти**

Сорбент	ДТ		Масло		Нефть	
	Время, мин	Нефтеёмкость, г/г	Время, мин	Нефтеёмкость, г/г	Время, мин	Нефтеёмкость, г/г
Модифицированная шерсть козья	5	12	5	12	5	10
	10	12,4	10	12,4	10	10,5
	15	12,5	15	12,5	15	10,5
	20	12,4	20	12,3	20	10,48
	25	12,3	25	12,2	25	10,46
	30	12,2	30	12,1	30	10,45
Модифицированная шерсть овечья	5	10	5	11,5	5	11,5
	10	10,4	10	12,4	10	12
	15	11,9	15	12,5	15	12
	20	11,7	20	12,5	20	11,96
	25	11,6	25	12,5	25	11,9
	30	11,5	30	12,4	30	11,8

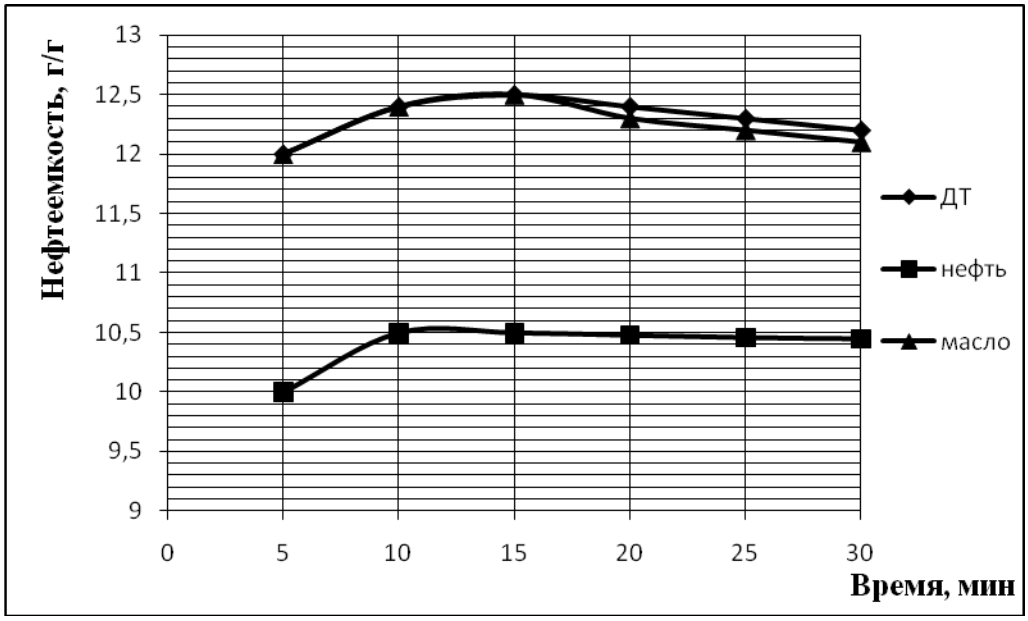


Рисунок 2. **Зависимость нефтеёмкости козьей шерсти от времени контакта с нефтью и НП**

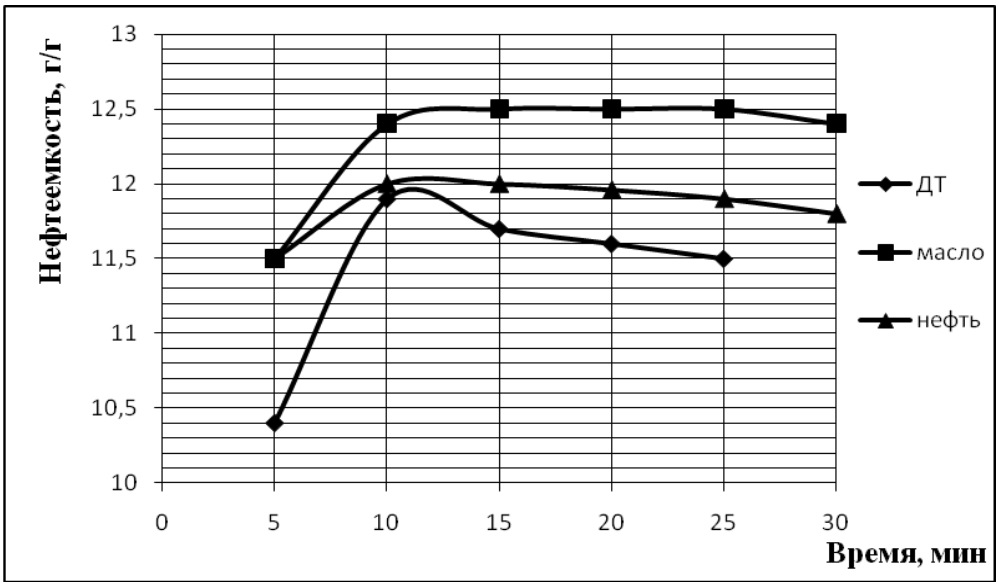


Рисунок 3. **Зависимость нефтеёмкости овечьей шерсти от времени контакта с нефтью и НП**

Из рисунков 2 и 3 видно, что они в основном имеют гиперболический вид как для овечьей, так и козьей шерсти. Сорбция происходит в течение 10 – 15 мин контактирования СМ с нефтью и НП. По прошествии этого времени, количество поглощенного сорбата шерстью практически не увеличивалось, что можно объяснить насыщением СМ и равенством значения скоростей процессов сорбции и десорбции.

Анализ вышеуказанных зависимостей показал также, что овечья шерсть лучше адсорбирует нефть, чем козья. Масло СМ сорбируют примерно одинаково. Лучшую нефтеемкость по отношению к ДТ показала козья шерсть, что, по видимому, связано с особенностями структуры козьей шерсти, с ее более линейным строением ворсинок.

ВЫВОДЫ

1. Разработана технология целенаправленной модификации СМ, позволяющие получать реагенты широкого спектра действия. Установлено, что применение органических и минеральных кислот в определенных концентрациях, при обработке отходов переработки шерсти позволяет получать СМ направленного спектра действия для удаления из широкого спектра НП и нефти из вод.
2. Найдено, что оптимальная продолжительность модификации шерсти 10 %-ным раствором серной кислоты для увеличения нефтеемкости составляет 10 минут.
3. Среди исследованных сорбатов в наибольшей степени поглощают нефть модифицированные отходы овечьей шерсти (12 г/г), а ДТ лучше сорбируют отходы переработки козьей шерсти (12,5 г/г), в связи с чем можно управлять выбором СМ для более эффективной очистки вод, имея представление о природе загрязнений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аренс В.Ж., Гридин О.М., Яншин А.Л. Нефтяные загрязнения: как решить проблему// Экология и промышленность России. 1999. С. 33–36.
2. Хлесткий Р.Н., Самойлов Н.А., Шеметов А.В. Ликвидация разливов нефти при помощи синтетических органических сорбентов // Экология. 1999. № 2. С. 46–49.
3. Цомбуева Б.В. Применение природных материалов в качестве сорбентов для очистки почв при нефтяных загрязнениях // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6.
4. Артемов А.В., Пинкин А.В. Сорбционные технологии очистки воды от нефтяных загрязнений // Вода: химия и экология. 2008. № 8. С. 18–24.
5. Каменщиков Ф.А., Богомольный Е.И. Удаление нефтепродуктов с водной поверхности и грунта. М.: Ижевск, 2006, 528 с.

УДК 628.35

О ВОЗМОЖНОСТИ УВЕЛИЧЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ДЕЙСТВУЮЩЕЙ КАНАЛИЗАЦИОННОЙ ОЧИСТНОЙ СТАНЦИИ

Н.И. Куликов, Е.Н. Куликова, Д.Н. Куликов, Л.Н. Приходько, В.В. Омельченко
Сочинский государственный университет, г. Сочи, Россия

Показано, что увеличение производительности действующих канализационных станций может быть достигнуто при использовании биороторной ершовой загрузки.

Действующие на территории Российской Федерации, а также и за рубежом, канализационные очистные станции (КОС) традиционно используют мембранные технологии очистки сточных вод. Анализ функционирования таких КОС показывает, что вопросы их эффективной работы в разных ситуационных условиях как правило, не рассматриваются. Вместе с тем, как показывают исследования, в настоящее время уже разработаны определенные проектные и технические решения, позволяющие значительно увеличить эффективность действующих мембранных технологий очистки сточных вод.

КОС, использующая традиционную мембранную технологию очистки сточных вод имеет в своём составе следующие функциональные элементы [1]:

– устройства для процеживания стоков и удаления крупных и тяжелых механических примесей, способных образовать закупорки в коммуникациях и сооружениях;

– отстойники первичные для уменьшения содержания взвесей и нерастворимых в воде примесей;

– сооружения биологической очистки воды от растворенных в воде органических и минеральных веществ;

4) оборудование для обеззараживания очищаемой воды и устройства для подготовки к утилизации в качестве удобрения или корма животным осадков сточных вод.

Вместе с тем комплексный учет таких ситуационных условий функционирования КОС позволяет определить меры по совершенствованию действующих систем.

Для увеличения производительности действующих КОС и обеспечения слаженной работы её функциональных элементов, представляется необходимым совершенствования этих систем по следующим направлениям:

– обеспечение равномерности поступления расходов и состава сточных вод по часам суток для выравнивания полезного использования имеющегося оборудования и емкостных сооружений. Любая неравномерность поступления расходов и состава сточных вод изменяет режим функционирования КОС, что снижает эффективность функционирования системы. Такое явление характерно как для разных часов суток, так и для специфичных регионов России, например, курортных;

– снижение эксплуатационных затрат.

Усреднителями расходов могут быть первичные отстойники, если на их основе сделать ёмкости объемом около $0{,}2Q_{сут}$. Для этого внутрь, например, радиальных отстойников монтируют цилиндрические ёмкости, применяемые на нефтепромыслах (это стальные резервуары, футерованные изнутри и снаружи антикоррозионными покрытиями из пластмассы или глазури, красок, нерастворимых в воде покрытий).

Поскольку часть объёма первичных отстойников задействуется под усреднитель расходов и концентраций примесей, то эффективность отстаивания сточных вод уменьшается и на сооружения биологической очистки нагрузка по БПК и взвешенным веществам возрастает. Это приводит к увеличению прироста активного ила и его биомассы в системе аэротенки-вторичные отстойники, увеличению потребления кислорода воздуха, но зато упрощает проблему удаления из сточных вод биогенных элементов.

Для улучшения качества очищенной воды требуется биореактор доочистки сточных вод с ершовой насадкой для удерживания гидробионтов типа фильтраторов вплоть до моллюсков [2].

В качестве резервуара для биореактора доочистки может быть задействован контактный резервуар, так как обеззараживание целесообразно осуществлять ультрафиолетовыми лучами непосредственно в трубопроводах выпуска очищенной воды в водоем.

Для подготовки к использованию выделяемых на КОС осадков целесообразно использовать устройства для обезвоживания, а затем биокомпостирования вплоть до вермикомпостирования. Соответственно для активного ила или гидробионтов биореакторов доочистки обеззараживание достигается прогревом после обезвоживания до 60 – 70 ºС с последующим скармливанием домашним животным или рыбе [3].

При таком решении комплектования КОС она становится фабрикой по производству сырья для промышленности и сельского хозяйства и её деятельность станет минимально затратной для жителей населённого пункта, экологически безопасной и занимающей наименьшую территорию.

Один из вариантов такого решения приведен на рисунке, на котором изображена технологическая схема действующей КОС производительностью 24 тыс. м³/сут. после её реконструкции с увеличением производительности до 40 тыс. м³/сут.

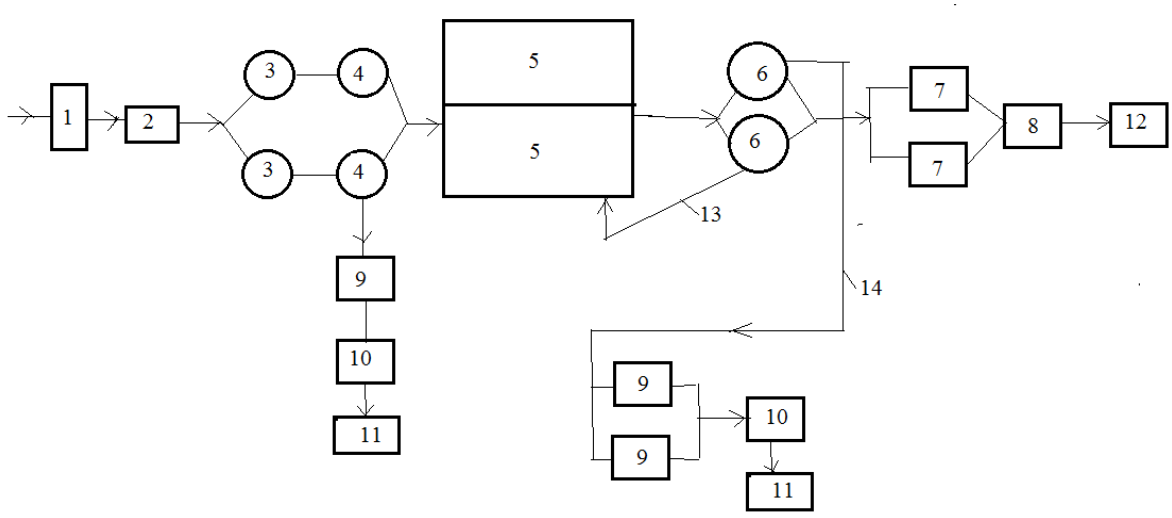


Рисунок. ***Технологическая схема действующей КОС после реконструкции:***
1 – здание решеток; 2 – песколовки; 3 - отстойники, переоборудованные в усреднители расходов; 4 - первичные отстойники; 5 - секции аэротенков; 6 – вторичные отстойники; 7 – контактные резервуары, переоборудованные в биореакторы доочистки; 8 – УФО; 9 – илоуплотнители; 10 – фильтр-прессы; 11 – биокомпостеры; 12 – потребители очищенной воды; 13 – циркуляционный активный ил; 14 – избыточный активный ил

Таким образом, можно сделать следующие выводы.

1. Действующие на территории Российской Федерации мембранные технологии очистки сточных вод не учитывают условия функционирования КОС, что значительно снижает их эффективность их функционирования.

2. Существуют простые проектные решения, отработанные на уровне изобретений (патентов), полезных моделей российских исследователей, позволяющие повысить эффективность функционирования действующих

КОС, в том числе путем увеличения производительности действующих систем.

3. В основе доработки действующих на территории Российской Федерации мембранных технологий очистки сточных вод предлагается использовать некоторые фрагменты технологий нового поколения, к которым относятся биороторная ершовая технология.

4. Повсеместное применение в Российской Федерации предлагаемого в статье решения совместного использования существующих мембранных и перспективных ершовых технологий позволит обеспечить плавный эволюционный переход очистки сточных вод на технологии нового поколения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Очистка муниципальных сточных вод с повторным использованием воды и обработанных осадков: теория и практика / Н.И. Куликов, А.Н. Ножевникова, Г.М. Зубов (и др.). М.: Логос, 2015. 400 с.
2. Водоснабжение: учебное пособие /Н.И. Куликов [и др.]. Новосибирск: ООО «ЦСРНИ», 2016. 704 с.
3. Искусственные круговороты воды, воздуха и пищи как система жизнеобеспечения нового поколения / Н.И. Куликов, Е.Н. Куликова, В.В. Омельченко, Л.Н. Приходько. М.: Ленанд. 2016, 128 с.

УДК 628.35

МОДИФИКАЦИЯ СКОРЛУПЫ ОРЕХОВ КЕШЬЮ С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ СОРБЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДНЫХ СРЕД ОТ ИОНОВ АММОНИЯ

Н.С. Серпокрылов, Куасси Бру Гийом,
Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Россия
В.Ю. Борисова, Л.Я. Хайсерова
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И.Платова, Новочеркасск, Россия

Исследована активация скорлупы орехов кешью для сорбционного извлечения ионов NH_4^+, NO_2^-, NO_3^- из природной воды. Проведен сравнительный анализ разного вида термической обработки материала.

Физико-химические методы в настоящее время очень востребованы в очистке как природных, так и сточных вод от разного вида загрязнений, в том числе и специфических.

Применяют сорбенты не только промышленного, но и природного происхождения, прошедшие предварительную обработку. Таким сырьем

являются: торфяные сорбенты, брусит, «шоколадная глина», косточки различных плодовых деревьев (абрикоса, персика, сливы, вишни, винограда) и скорлупы различных орехов, являющиеся отходами производства. Некоторые производители получают прочный активированный уголь из скорлупы кокосового и лесного орехов и оливковых косточек, которые представляют собой отходы производства оливкового масла в странах Средиземноморья [1–2].

При соответствующей обработке данного вида сырья можно получать сорбенты, обладающие высокой эффективностью при очистке воды от тяжелых металлов, нефтепродуктов, карьерных и подотвальных вод при добыче цветных металлов [3–4].

Одним из таких материалов, который можно модифицировать и использовать в ионном обмене и/или сорбции является скорлупа ореха кешью (рис. 1).

Ке́шью (англ. cashew, от порт. caju), или Анака́рдиум за́падный (лат. Anacardium occidentale), Инди́йский оре́х – дерево, плод которого является распространённым продуктом питания; вид рода Анакардиум семейства Сумаховые. Плоды ореховидные, ядро съедобное; из скорлупы добывают масло-кажу (кардойль), используемое в медицине и технике [5].

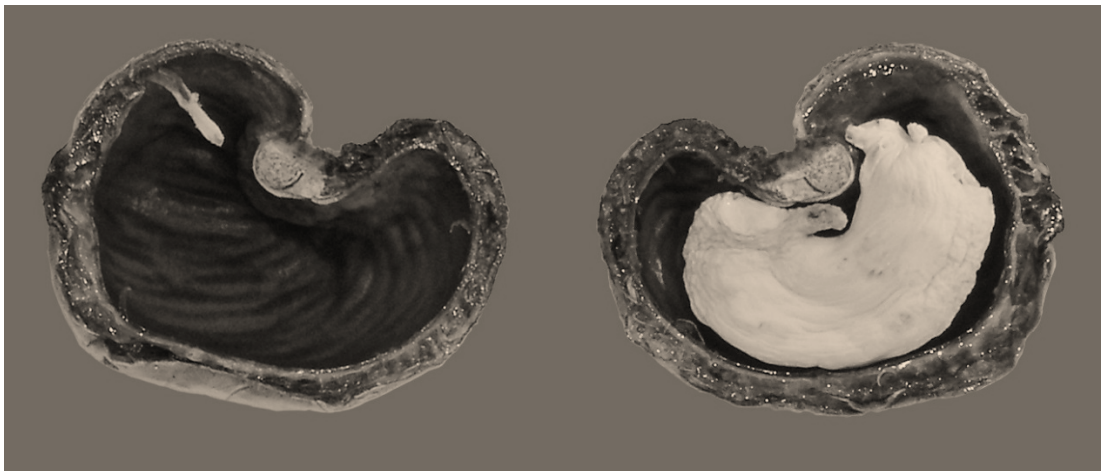


Рисунок 1. **Вид ореха кешью**

Кешью богаты белками и углеводами, витаминами А, В2, В1 и железом, содержат цинк, фосфор, кальций. Витамины способствуют обмену белков и жирных кислот в организме и понижению уровня холестерина в крови, укрепляют иммунную систему, обеспечивают нормальную деятельность сердечно-сосудистой системы. В качестве вспомогательного средства эти орехи употребляются при зубной боли, псориазе, дистрофии, нарушениях обменных процессов, анемиях.

Перед употреблением орех очищают от скорлупы и оболочки, так как едкие вещества – анакардовая кислота и кардол, находящиеся между ними, при попадании на кожу вызывают раздражение. Такие случаи

нередки среди рабочих, которые проводят очистку вручную. Затем орехи прокаливают, чтобы остатки смолы испарились. Именно поэтому кешью, никогда не продают в скорлупе.

Из оболочки кешью путём перегонки получают две фракции. Твёрдую – измельчают и используют в изготовлении автомобильных тормозных колодок и накладок к ним. Жидкая фракция содержит около 90 % анакардоновой кислоты и 10 % кардола. Существует значительный потенциал для использования жидкой фракции в разработке медикаментов, антиоксидантов, фунгицидов и т.д. В частности, она используется в производстве фениламина, служащего затвердителем и модификатором при производстве резины, а также лака и олифы.

Известно, что адсорбционные свойства материала могут быть существенно изменены в результате химического инициирования, которое можно проводить неорганическими и органическими катионами, силикаторганическими соединениями, азотсодержащими и другими веществами, либо термическим способом.

В данной работе объектами исследования являлись:

– измельченная скорлупа ореха кешью разной фракции – природный полимер растительного происхождения;

– модельный раствор (NH_4Cl 0,0001 М).

Исследуемые образцы сорбционного материала получены из скорлупы ореха кешью, прошедшей сначала измельчение, потом карбонизационную обработку (рис. 2), проведенную в интервале температур 300 – 800 °С в печи. Время карбонизации составляет 20 минут.



Рисунок 2. **Карбонизированная скорлупа ореха кешью**

Далее из полученных образцов были приготовлены рабочие модельные растворы: в 200 мл дистиллята растворяли 0,0001М NH_4Cl и вносили карбонизированную скорлупу в навесках 0,04 г; 0,2 г; 0,4 г, 0,8 г.

Измерение ионов NH_4^+, NO_2^-, NO_3^- с помощью прибора «Экотест-2000» были выполнены (табл.) через 30 минут.

Таблица. **Результаты измерений после карбонизации скорлупы ореха кешью**

№ п/п	Наименование	pH	NH_4^+, мг/л	NO_2^-, мг/л	NO_3^-, мг/л	Электропроводность, TDS, ppM
1.	Образец 1	6,57	0,328	0,0312	0,0014	8
2.	Образец 2	8,4	0,83	0,0391	0,046	28
3.	Образец 3	–	1,58	0,0386	0,091	53
4.	Образец 4	–	3,77	0,0476	0,0895	100

Примечание: образец 1 – навеска скорлупы 0, 02 г, образец 2 – навеска скорлупы 0,2 г; образец 3 – навеска скорлупы 0,4 г; образец 4 – навеска скорлупы 0,8г

Исходная концентрация иона аммония в рабочем растворе составляла 1,7 мг/л.

Из анализа полученных данных следует, что также в составе скорлупы ореха кешью есть углеродистый скелет.

Значения удельной электропроводности свидетельствуют о переходе ионов NH_4^+ в раствор в соответствии с увеличением массы навески измельченной скорлупы. По балансу масс это составляет: сорбция 39 %, окисление – 25 %.

Далее проводились замеры отмеченных ранее ионов каждый час. Результаты представлены на рисунках 3 – 5.

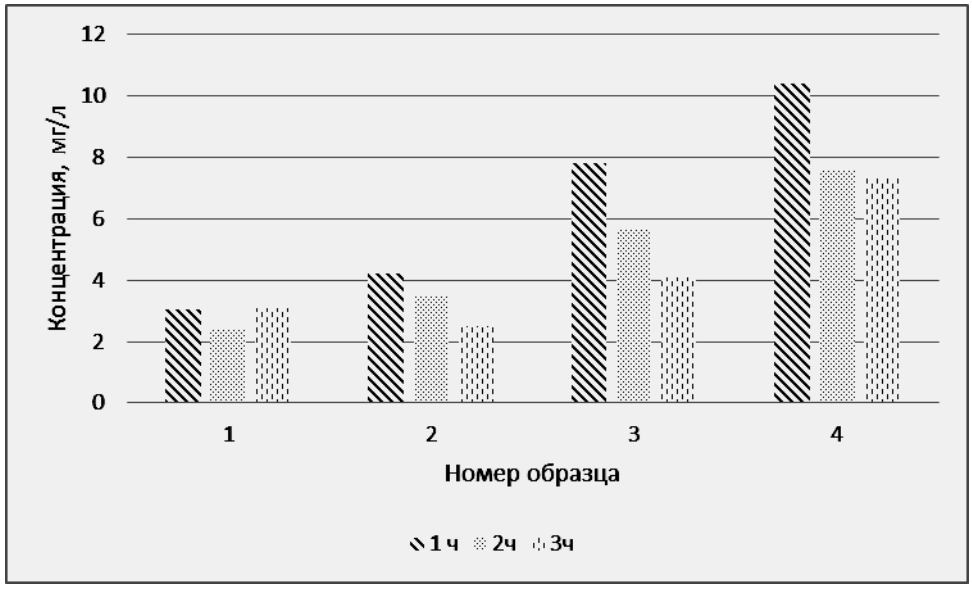


Рисунок 3. **Зависимость содержания ионов NH_4^+ от времени обработки скорлупы**

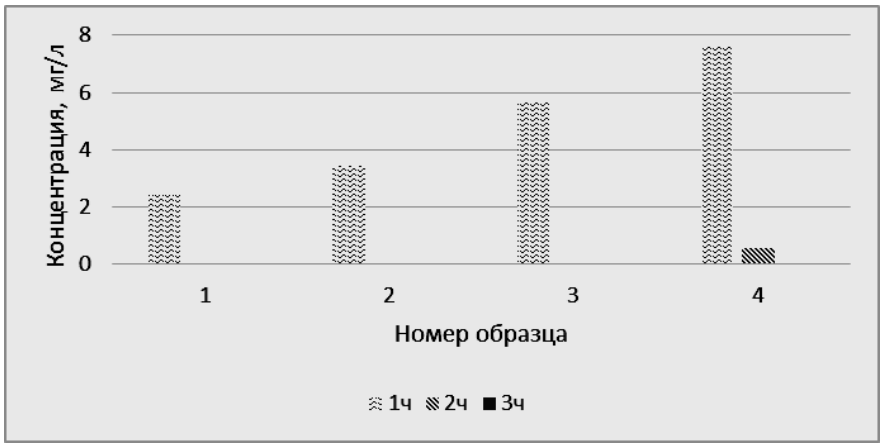


Рисунок 4. **Зависимость содержания ионов NO_2^- от времени обработки скорлупы**

Анализ зависимостей содержания ионов NH_4^+, NO_2^-, NO_3^- от времени обработки скорлупы показал, что наиболее усиленно происходит сорбция нитрат ионов.

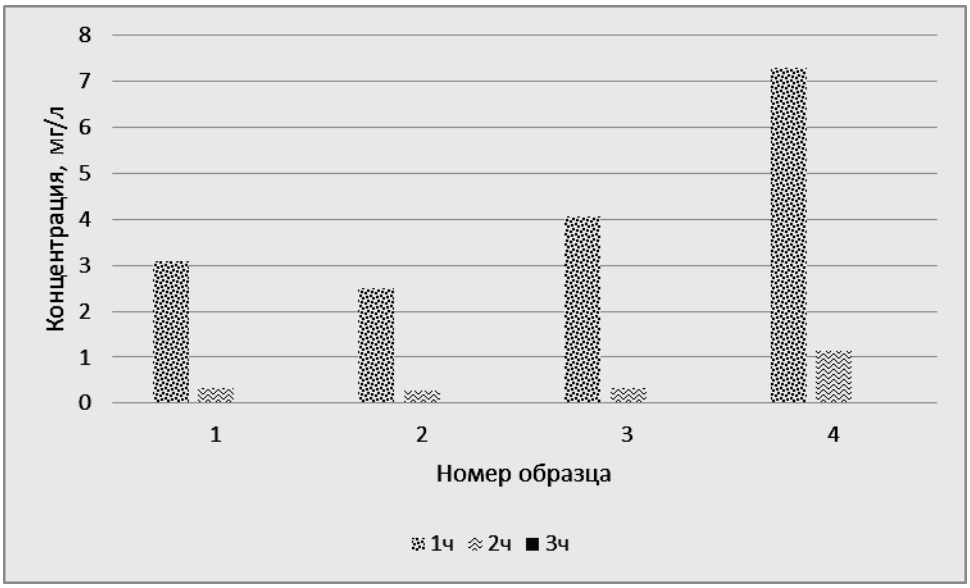


Рисунок 5. **Зависимость содержания ионов NO_3^- от времени обработки скорлупы**

Таким образом, образцы скорлупы орехов кешью, подвергнутые термообработке, обладают сорбционной емкостью. В дальнейших исследованиях будет проведен анализ наиболее эффективных способов активации сорбционных свойств скорлупы орехов кешью, разработаны рекомендации по использованию такого сорбента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Панфилов В.А. Новое поколение адсорбентов // Экология производства. 2015. № 10. С. 66–67.

2. Долбня И.В. Сорбционный материал на основе абрикосовой косточки для очистки сточных вод от нефтепродуктов // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2015. № 4 (88).
3. Перспектива применения новых сорбционных материалов для улучшения экологического состояния водных ресурсов / Э.Т. Ямансарова, Н.В. Громыко, Д.Н. Хасанова, М.И. Абдуллин // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Экономика и экологический менеджмент». 2015. № 1.
4. Кузовков С.В., Тиханова Е.В. Технологические подходы к очистке карьерных и подотвальных вод при добыче цветных металлов // Экология производства. 2015. № 5. С. 63–67.
5. Кешью [Электронный ресурс]. Режим доступа: https:/ru.wikipedia.org/wiki/Кешью

УДК 628.356.41

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО ПРОЦЕССА БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД В ЦИРКУЛЯЦИОННОМ ОКИСЛИТЕЛЬНОМ КАНАЛЕ НА ЛЕГКООКИСЛЯЕМОМ ОРГАНИЧЕСКОМ СУБСТРАТЕ

Е.С. Гогина, И.А. Гульшин
Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

В статье представлены обобщенные результаты второго этапа комплексного исследования энергоэффективных процессов очистки сточных вод в циркуляционных окислительных каналах. Результаты этапа эксперимента подтверждают принципиальную возможность вывода биомассы в энергоэффективный низкокислородный режим при сохранении стабильно высокого качества очистки сточных вод. Эксперимент проведен на легкоокисляемом органическом субстрате в концентрациях, характерных для сточных вод Московского региона РФ.

В Национальном исследовательском Московском государственном строительном университете ведутся комплексные исследовательские работы по моделированию энергоэффективных процессов очистки сточных вод в циркуляционных окислительных каналах. В частности, рассматриваются низкокислородные технологические схемы удаления соединений азота из сточных вод. Цель исследования – определение оптимальных технологических режимов работы биомассы в различных условиях в ходе реализации экспериментальных схем.

Основным реализуемым процессом выбрана симультанная нитрификация и денитрификация. Симультанная нитрификация и денитрификация – это процесс, при котором обе биохимические реакции,

нитрификация и денитрификация, эффективно протекают в одном биореакторе без деления на отдельные кислородные макрозоны.

Физический механизм, объясняющий суть процесса, заключается в особенностях структуры крупных флоккул активного ила, формирующихся под воздействием определенных гидравлических и кислородных режимов [1]. Данная структура отличается уплотненным центром флоккулы и рыхлыми внешними слоями. Это приводит к возникновению градиентов концентрации растворенного кислорода внутри флоккулы, возникновению аноксидных микрозон в центре, позволяющих находящимся в них гетеротрофным денитрифицирующим микроорганизмам восстанавливать нитраты и нитриты до газообразного азота стандартным путем. Разреженная структура внешних слоев флоккулы сказывается на коэффициентах диффузии кислорода и повышает эффективность нитрификации автотрофными нитрифицирующими микроорганизмами в условиях пониженного содержания кислорода в биореакторе.

На основе предварительных исследований было выявлено, что наиболее перспективными сооружениями в плане реализации технологии на основе процесса симультанной нитрификации и денитрификации являются циркуляционные окислительные каналы [2].

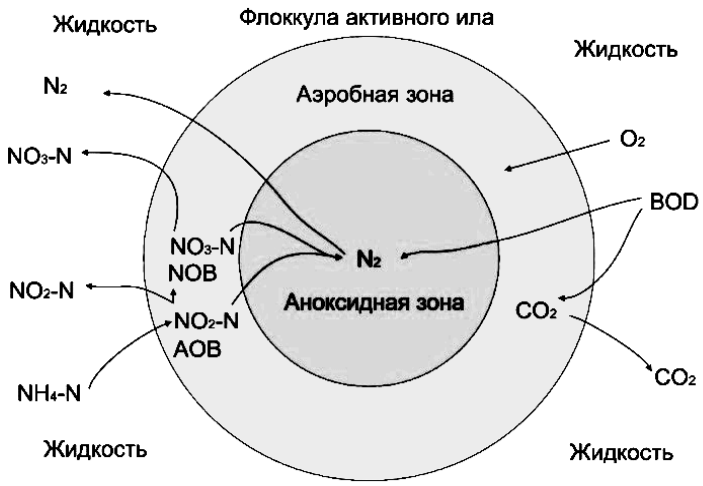


Рисунок 1. **Схема процесса симультанной нитрификации и денитрификации во флоккуле активного ила**

Помимо физического объяснения симультанной нитрификации и денитрификации существует ряд теорий микробиологического характера. Например, высказываются предположения, что некоторые из денитрифицирующих микроорганизмов, участвующих в симультанной нитрификации и денитрификации, являются автотрофными. Это означает, что потребность в легкоокисляемом источнике углерода для обеспечения

эффективной денитрификации в данном процессе снижается, что довольно важно, учитывая низкоуглеродные сточные воды, характерные для большинства регионов Российской Федерации.

Задачей физического эксперимента в составе комплексного исследования являлось получение и уточнение основных контрольных величин, необходимых для дальнейшего моделирования и проектирования очистных сооружений.

В рамках настоящего исследования на текущий момент создано две различные модели циркуляционных окислительных каналов.

Первый тип биореактора представляет собой модель с вертикальным потоком циркулирующей жидкости, состоящую из двух последовательных модулей. Данная модель исключает возникновение застойных зон и обеспечивает наилучшие условия для исследования работы биомассы. Кроме того, эксперимент на данной установке не учитывает вопросы осаждения активного ила при различных скоростях движения потока.

Второй тип биореактора представляет собой модель с горизонтальным потоком жидкости. Лабораторная установка состоит из экспериментальной и контрольной линии. Контрольная линия моделирует стандартный режим работы существующих циркуляционных окислительных каналов. На ней возможно осуществление как режимов равномерной аэрации с высоким уровнем растворенного кислорода в воде, так и создание распространенных схем денитри-нитрификации.

В настоящее время выполнены два этапа лабораторного исследования и ведется третий этап. Результаты и выводы по первому этапу были представлены ранее [2]. На основании этих результатов был скорректирован рабочий план по второму этапу эксперимента, также затрагивающего вопросы стабильности биологической системы, работающей в режиме симультанной нитрификации и денитрификации на легкоокисляемом органическом субстрате в условиях низкого содержания растворенного кислорода.

После выхода экспериментальной установки в рабочий режим процесс симультанной нитрификации и денитрификации оказался достаточно стабильным. Эксплуатация в данном режиме около двух месяцев показала хорошие результаты, как по окислению органики, так и по удалению азота. Выраженной дефосфотации отмечено не было, фосфор по большей части снижался за счет окисления органики.

После двух месяцев стабильной работы установки при уровне растворенного кислорода 0,6 мг/л, решено было снизить его концентрацию до 0,15 – 0,2 мг/л. В этот же период было снижено поступление субстрата и, соответственно, удельная нагрузка на биомассу по органике. Ожидаемо произошло нитчатое вспухание активного ила. Конструкция биореактора и вторичного отстойника позволила избежать полного выноса биомассы из системы, однако показатели очистки значительно снизились. Был запущен

процесс восстановления стабильной работы системы – повышение уровня растворенного кислорода до 0,5 мг/л при кратковременном повышении нагрузки по органике для вывода биомассы из состояния нитчатого вспухания.

По построенному графику Лайнуивера-Берка для скорости окисления органики (рис. 2) была найдена величина константы Михаэлиса-Ментен для этой реакции Km = 3,38 [3]. Максимальная скорость окисления составляет Vmax = 24,21 мг БПК/(г·ч). Отсюда уравнение скорости реакции (1), выражаемое по убыли органического субстрата (S) составит:

$$V = \frac{V_{max} S}{K_M + S} = \frac{24{,}21 \cdot S}{3{,}38 + S}. \quad (1)$$

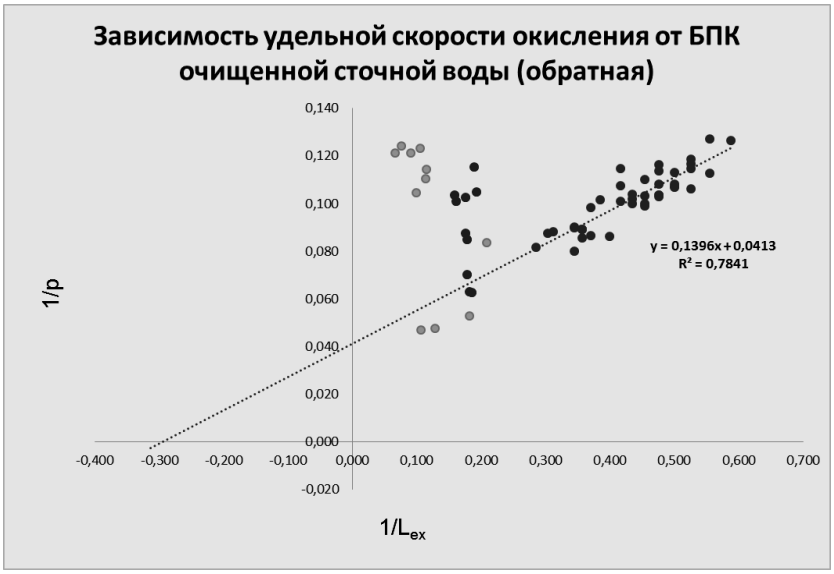


Рисунок 2. **График Лайнуивера-Берка для скорости окисления 1/p = f(1/Lex).**

График Лайнуивера-Берка для скорости нитрификации (рис. 3) позволил определить значение константы Михаэлиса-Ментен KmN = 0,106. Максимальная удельная скорость реакции VmaxN = 4,69 мгNH4/(г·ч). Уравнение реакции принимает следующий вид:

$$V = \frac{V_{max\,N} S}{K_{MN} + S} = \frac{4{,}69 \cdot S}{0{,}106 + S}. \quad (2)$$

При этом стоит отметить, что зависимость для второго и четвертого периодов полностью совпали, показав достаточно высокую величину достоверности линейной аппроксимации.

Периоды адаптации и восстановления активного ила не участвовали в составлении зависимости в связи с высокой нестабильностью процесса, хотя достоверность линейной аппроксимации на эти значения так же достаточно высокая.

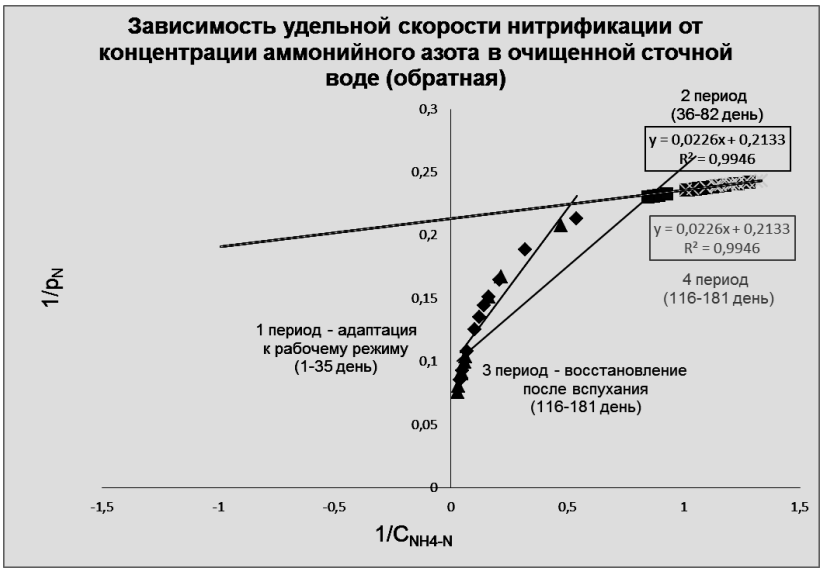


Рисунок 3. **График Лайнуивера-Берка для скорости нитрификации 1/pN = f(1/CNH4-N).**

ВЫВОДЫ

Процесс симультанной нитрификации и денитрификации в условиях отсутствия негативных воздействий, таких как, например, неоднородный состав органического субстрата, наличие ингибиторов в поступающих сточных водах, проблемы с гидравликой потока и возникновением застойных зон, несомненно, показывает высокую эффективность при минимальных эксплуатационных расходах на аэрацию. Особенности механизма первоначальной адаптации активного ила к условиям пониженной концентрации растворенного кислорода в биореакторе позволяют создать в дальнейшем стабильную систему, которая способна быстро восстанавливаться после сбоев.

Для дальнейшего исследования перспектив использования данной технологии необходимо провести дополнительные испытания, учитывающие гидравлику потока и необходимость поддержания биомассы во взвешенном состоянии при сохранении пониженной интенсивности аэрации, а также исследования на реальной сточной воде.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sun S.-P., Pellicer i Nacher C., Merkey B., Zhou Q., Xia S.-Q., Yang D.-H., Sun J.-H., Smets B.F. Effective Biological Nitrogen Removal Treatment Processes for Domestic Wastewaters with Low C/N Ratios: A Review // Environmental Engineering Science. 2010. Vol. 27, N 2. P. 111–126.
2. Gogina E., Gulshin I. Simultaneous denitrification and nitrification in the lab-scale oxidation ditch with low C/N ratio // Procedia Engineering. 2015. 117. P. 107–113.
3. Gulshin, I., Kuzina, A. Adaptation of nitrifying activated sludge to simultaneous nitrification and denitrification in the lab-scale oxidation ditch

// International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Vol. 10, N 21. P. 42618–42623.

УДК 628.16

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ШАХТНЫХ ВОД (ВОСТОЧНЫЙ ДОНБАСС)

К.О. Оковитая, О.А.Суржко
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И.Платова, г. Новочеркасск, Россия
А.В.Барышников
Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Россия

В статье предложен и обоснован вариант совершенствования технологической схемы очистки шахтных вод Восточного Донбасса. Предлагается включить в существующую технологическую схему очистки вод от железа камеру аэрации, электролизер и обеспечить усиленную аэрацию в четырехсекционном отстойнике.

В связи с закрытием шахт «Южная», «Нежданная», «Шахта им. Красина», «Майская» произошло их затопление подземными водами. При постоянном подпоре воды возникла опасность загрязнения грунтовых вод, в том числе родников природного заповедника «Белая горка» и подтопления территории поселка Пушкин.

Для предотвращения этих последствий, в балке Атюхта были построены очистные сооружения шахтных вод. В ходе эксплуатации сооружений появилась необходимость в их реконструкции, т.к. качество очищенной воды не удовлетворяет требованиям сброса, и возникли экономические проблемы с обезвоживанием образующегося осадка.

Целью работы является совершенствование технологии очистки шахтных вод для обеспечения нормативов сброса в поверхностные водные объекты с минимизацией затрат на внедрение.

Основным загрязнителем является общее железо и закисное железо (II). Были проанализированы основные методы обезжелезивания: при помощи аэрации; аэрация с добавлением сильных окислителей; с осаждением коллоидного железа; при помощи каталитического окисления с последующей фильтрацией; ионно-обменным и мембранными методами; биологическим обезжелезиванием. Наименее энергозатратным методом реконструкции очистных сооружений является способ аэрации, но с обоснованием интенсивности и дисперсности подаваемого воздуха.

Существующая технологическая схема включает: площадку погружных насосов и приемный резервуар, камеру аэрации, четырёхсекционный отстойник, каскад мелководных прудов с водной

растительностью, выпуск очищенной воды в р. Атюхта.

С помощью погружных насосов с глубины 20 – 22 м на очистные сооружения подается шахтная вода с постоянным расчетным расходом 600 м^3/ч. Экспериментально по ПНДФ 14.1:2:3:4.121-97(изд. 2004) был определен состав шахтных вод, результаты исследования приведены в таблице.

Технологическая схема, обеспечивающая нормативные показатели сброса представлены на рисунке.

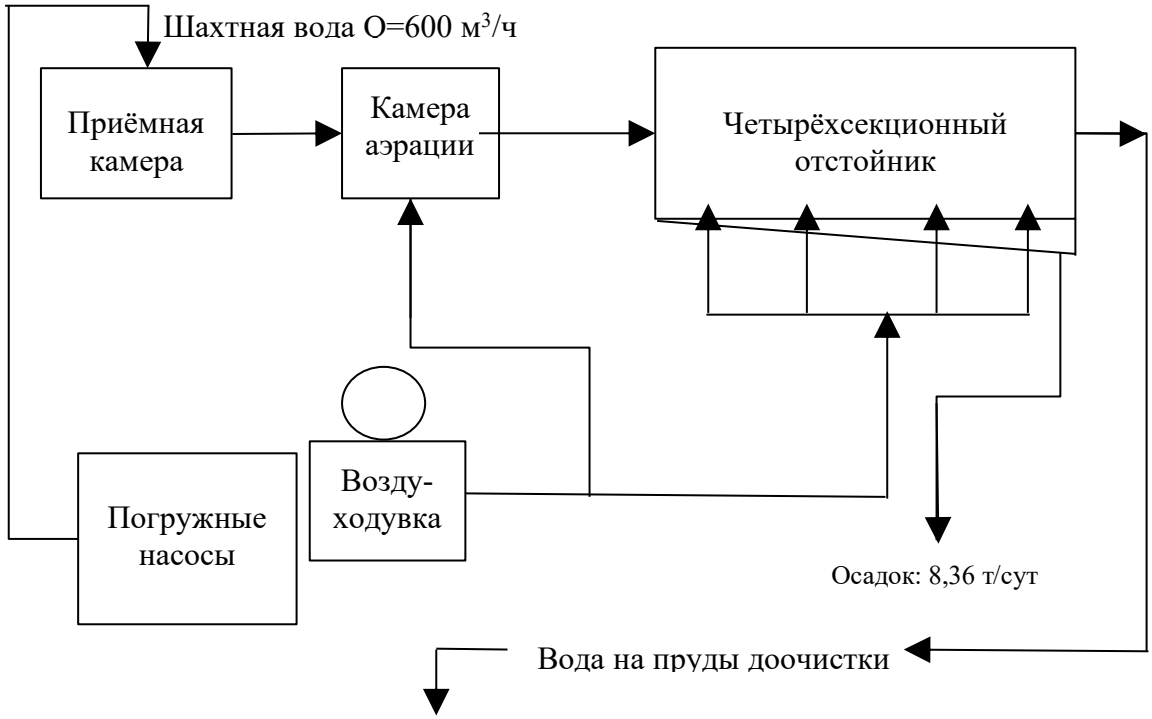


Рисунок. **Технологическая схема очистки шахтных вод**

Для увеличения эффективности очистки воды и улучшения показателей качества воды, сбрасываемой в водный объект, предлагается произвести реконструкцию очистных сооружений и добавить сооружения, где будет использоваться усиленная аэрация шахтной воды атмосферным воздухом. Посредством окисления кислородом воздуха растворенного в шахтной воде железа (II), до железа (III) и тем самым образования нерастворимого соединения железа Fe_20_3, увеличивается эффективность очистки шахтной воды.

Для наиболее эффективного применения этого метода, проектируется камера аэрации, которая будет находиться перед электролизёром, а также аэрация будет производиться в четырёхсекционном отстойнике, каждая секция которого при помощи перфорированных труб будет разделена на восемь зон: четыре зоны аэрации и четыре зоны седиментации, что позволяет наиболее эффективно

вывести из воды загрязняющие вещества и наиболее полно осадить взвешенные вещества.

Таблица. **Результаты исследования состава шахтных вод**

№ п/п	Исследуемый показатель	Результат исследования воды			Случай-ные система-тические промахи
		Исходная	После существую-щей схемы очистки	После рекомендуе-мой схемы очистки	
1.	pH	6,62	7,38	7,38	1,48
2.	Взвешенные вещества, мг/дм^3	40,0	15,0	6,0	1,8
3.	Сухой остаток, мг/дм^3	6154,0	6000,0	5942,0	297,1
4.	Хлориды, мг/дм^3	406,0	402,4	402,4	36,2
5.	Сульфаты, мг/дм^3	3030,8	3006,3	2946,7	471,5
6.	Ион-аммония по азоту, мг/дм^3	0,83	0,75	0,50	0,18
7.	Нитрит-ион по азоту, мг/дм^3	0,008	0,018	0,018	0,003
8.	Нитрат-ион по азоту, мг/дм^3	0,28	0,48	0,48	0,14
9.	Фосфат-ион (по P), мг/дм^3	< 0,02	0,03	0,03	0,00
10.	Жестокость общ. ммоль/дм^3	43,2	39,2	35,2	3,2
11.	Кальций, мг/дм^3	320,6	320,6	320,6	35,3
12.	Гидрокарбонаты, мг/дм^3	866,5	782,4	732,2	80,5
13.	Железо общее, мг/дм^3	39,00	12,0	0,41	0,12
14.	Железо закисное, мг/дм^3	19,80	5,0	< 0,05	–
15.	Нефтепродукты, мг/дм^3	0,25	0,07	0,07	0,03

Из приёмной камеры вода самотёком переливается в камеру аэрации. Это железобетонный резервуар, с размещённой в нём системой перфорированных труб, по которым осуществляется подача воздуха из воздуходувки.

В камере аэрации происходит первая стадия насыщения шахтной

воды воздухом, для интенсификации процесса окисления железа (II) в железо (III), с последующей агрегацией нерастворимых частиц.

Основными параметрами расчёта камеры аэрации является определение её габаритных размеров, которые зависят от времени пребывания в ней воды.

Рекомендуемое время пребывания воды в камере аэрации 20 – 25 мин. Принимаем камеру аэрации размерами 6х12х3 м. Интенсивность аэрации берется с учётом насыщения воды кислородом, превышая стехиометрические показатели, максимальное содержание растворенного кислорода в воде при нормальных условиях составляет 8 мг/л.

В результате проведенных исследований установлено, что максимальное использование кислорода (7,5 %) для окисления железа (II) достигается при среднепузырчатой аэрации, когда диаметр отверстий в воздуховодах составляет 2,5 мм. Для обеспечения подачи воздуха в распределительную систему четырехсекционного отстойника необходим расход воздуходувок 55 $м^3$/мин, который может быть обеспечен двумя турбокомпрессорами (один резервный) ТВ-42-1,4 с давлением 1,4 атм, с расходом 60 $м^3$/мин. Скорость вылета струи воздуха из перфорированных лучей должна находиться в пределах 25 – 30 м/с. Наибольший расход воздуха идет на 1 и 2 завесы, далее расход снижается, как и содержание закисного железа в обрабатываемой воде.

Анализ результатов исследования приведенных в таблице показывает, что эффективность очистки основных загрязнителей по существующей схеме составляет (%):

- по железу (II) – 69,4;
- по железу общему – 60,5;
- по взвешенным веществам – 62,5.

В результате внедрения предлагаемой схемы очистки шахтных вод достигаемый эффект очистки составляет (%):

- эффект очистки по железу (II) – 99,7;
- по железу общему – 98,9;
- по взвешенным веществам – 85,1.

Сравнение вышеприведенных показателей очистки шахтных вод по лимитирующим загрязняющим веществам показывает, что в среднем эффективность увеличивается на 30 %, что позволяет получить воду удовлетворяющую требованиям сброса.

ВЫВОДЫ

Внедрение избыточной среднепузырчатой аэрации в четырёхсекционном отстойнике, разделенном на зоны аэрации и седиментации, позволит получить качество очищенной воды, удовлетворяющее требованиям сброса в р. Атюхта.

УДК 628.5

ОСОБЕННОСТИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД В СИРИИ

Марам Саийд
г. Латакия, Сирийская Арабская Республика
Донской государственный технический университет,
г. Ростов-на-Дону, Россия

Выполнен сравнительный анализ состояния и эффективности работы очистных сооружений сточных вод в республике Сирия в мирное и военное время. Показано, что в условиях военных действий вследствие перебоев в подаче электроэнергии, конструктивных ошибок и неквалифицированной эксплуатации эффективность очистки сточных вод составляет 35 – 50 %. Предложены варианты повышения степени очистки вод в чрезвычайных ситуациях.

Развитие канализационных систем в Сирии начато много лет назад, но только четыре города: Дамаск, Алеппо, Хомс, Хама обладают современными средствами водоотведения [1] и, в основном, имеют проблемы в эксплуатации и техническом обслуживании очистных сооружений, при этом наибольшей проблемой является отсутствие практических решений для обработки твердой фазы.

В других населенных пунктах также существуют системы канализации, но большинство из них не имеют средств для очистки сточных вод, что причиняет ущерб здоровью населения и окружающей среде, ведет к загрязнению грунтовых вод и воды в водохранилище, которое поставляет воду. Кроме того, неочищенные сточные воды разных отраслей промышленности, например, эфиромасличные, сбрасывают сточные воды непосредственно в близлежащие реки без очистки, тем самым способствуя ухудшению качества воды. Отсутствие канализационных систем и очистных сооружений увеличивает дефицит водных ресурсов.

Развитие по всей стране канализационных систем и в том числе больших и малых сооружений по очистке сточных вод стало предметом национальной политики

До войны в Сирии (см. табл.) в четырнадцати провинциях страны коэффициент обслуживания канализацией (означает «количество населения, обслуживаемого канализационными сетями») составлял 16 – 96 %. Канализационные сети были построены в основном в городских центрах, в провинциях коэффициент обслуживания значительно снижается. К тому же, очистные сооружения не были реализованы во многих городах и провинциях.

Вода в Сирии является дефицитом и хронической проблемой. Годовой объем сточных вод в Сирии равен примерно 1 070 млн. м^3.

Привести более точную оценку водоотведения от человека в сутки в Сирии крайне сложно из-за отсутствия данных. Как правило, период подачи водопроводной воды в Сирии ограничен с 6 ч утра до 15 ч. При этом каждый потребитель обеспечен резервуаром (емкостью) для хранения воды. Поэтому пик потребления воды и, соответственно, водоотведения приходится на утренние часы.

Таблица. **Коэффициент обслуживания канализацией населенных мест Сирии**

№ п/п	Провинция	Средний коэффициент обслуживания	№ п/п	Провинция	Средний коэффициент обслуживания
1	Латакия	47 %	8	Алеппо	56 %
2	Тартус	31 %	9	Хама	66 %
3	Дейр аль-Зур	27 %	10	Хомс	45 %
4	Хасаке	16 %	11	Идлиб	35 %
5	Ракка	25 %	12	Сувейде	38 %
6	Дераа	66 %	13	Кенитре	38 %
7	Сельские районы Дамаска	31 %	14	Дамаск	96 %

Согласно технико-экономическим исследованиям, проведенным Всемирным банком развития и реконструкции и другими организациями, норма водоотведения сточных вод на душу населения колеблется от 65 до 140 л/сут. При проектировании, согласно рекомендациям исследований технических компаний, принята средняя норма по очистке сточных на одного человека 92 л/сут., за исключением Латакия – 120 л/сут. и Хасаке 180 л/сут. Нагрузка загрязнений в сточных водах, поступающих на очистные сооружения, по данным станции Адра в Дамаске составляет в г/сут.·чел.: по $БПК_5$ (BOD) – 38, взвешенным веществам (SS) – 45, азоту общему по Кьедалю (TKN) – 9.

Несмотря на усилия правительства в последние годы для очистки и повторного использования сточных вод Сирийская модель канализования населенных мест является уникальной, поскольку она развивается без какой-либо четкой и продуманной стратегии.

Исследования очистных установок проведены британской компанией Говард Hamffers в восьмидесятых годах прошлого века, а в девяностых годах проведено комплексное исследование в различных областях Сирии по оценке загрязненности сточных вод. Данные этих исследований являются основой для управления системами водоотведения по регионам. В качестве единого стратегического варианта предложена продленная аэрация, а в малых населенных пунктах – пруды и лагуны естественного окисления, окислительные каналы и т.д. Однако в ходе фактической реализации рекомендаций эти предложения не обеспечивали требуемую степень

очистки вод. Практически основным методом очистки сточных вод, принятым небольшими общинами в Сирии, является продленная аэрация (98 %).

Имеется недостаточно сведений по применению современных методов отведения сточных вод в небольших населенных пунктах, которые составляют до 50 % объемов водоотведения в стране, а также нет для них современных технологических решений по очистке. Следует отметить, что в настоящее время все национальные исследования не содержат обоснованных предложений по эффективному выделению загрязнений из сточных вод.

Опыт стран с аналогичными климатическими условиями и энергообеспечением, как в Сирии, показывает, что решение проблемы состоит в развитии местных локальных систем очистки, а не централизованных очистных сооружений, при которых снижается надежность транспортирования и повышаются затраты на перекачку сточных вод.

Нами проведена оценка эффективности некоторых канализационных систем в провинции Латакия в 2012 – 2013 г.г., в условиях ведения боевых действий [2].

Рассмотрены четыре бассейна канализования:

- Алруимия – Катария;
- Алхара – Ааннакия;
- сточные система оси Хеббет – Жеблая;
- канализация оси Марж Мерабан.

Эти четыре очистных сооружения были первыми в Латакии, где для очистки сточных вод применили высшую водную растительность.

Исследования проведены в 2 этапа: 1 – оценка экологической и экономической эффективности очистки вод растениями в 2012 г; 2 – лабораторные исследования в течение восьми месяцев показателей процесса: растворенного кислорода, БПК, ХПК, взвешенных веществ, ионов (аммоний, нитрит, нитрат, фосфат) в 2013 г.

Сравнительный анализ позволил выявить большинство операционных проблем в четырех станциях очистки сточных вод**:**

– перебои в подаче электроэнергии, обусловленные директивами правительства по уменьшению расхода топлива в чрезвычайных экономических условиях;

– проблемы отбора и определения проб на анализ сточных вод: в 2013 году прекратилось проведение лабораторных испытаний на станциях (Алхара – Хеббет – Марж Мерабан) на основе директив управления по вопросам санитарии в Латакии, чтобы уменьшить потребление лабораторных материалов;

– мониторинга и управления режимом: фиксированная система (вкл-выкл) подачи воздуха, которая не меняется в зависимости от изменения расхода воды сточных вод или концентрации растворенного кислорода в аэротенке;

– проблемы недостаточного количества и профессионального уровня персонала, особенно во время ночной смены;

– проблемы утилизации осадков сточных вод: ни на одной из станций нет плана или стратегии обезвоживания и удаления твердой фазы.

ВЫВОДЫ

Результаты исследования показали, что имеет место отражение чрезвычайных ситуаций в стране (война) вследствие перемещения населения изменяются расходы и концентрации загрязнений сточных вод, что в свою очередь привело к несоответствию между фактическими и расчетными значениями расходов сточных вод (39,6 ÷ 62,1) %. Превышение фактических значений загрязняющих веществ в очищенных сточных водах (БПК, ХПК, TSS и т.д.) от проектных составляет 35 – 50 %. Из-за перебоев в подаче электроэнергии (шесть и более часов), конструктивных ошибок и неквалифицированной эксплуатации нестабилен режим очистки сточных вод.

ЛИТЕРАТУРА

1. Туркмени Абдул, Разак Мохаммед Саид. Национальный план действий по управлению сточными водами в Сирии – региональных сетей и очистных сооружений / Отсутствие национальной стратегии и пустая трата денег, Сирия. 2009.
2. Саийд Марам. Оценка эффективности некоторых из канализационных систем в провинции Латакия / Магистерская диссертация. Тишрин Университет. Латакия, Сирия. 2014.

УДК 628.35:66.081.3

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СОВМЕЩЁННОГО ПРОЦЕССА ИЗВЕСТКОВАНИЯ, КОАГУЛЯЦИИ И АДСОРБЦИИ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ ВОДЫ

Г.Н. Земченко

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

В статье рассмотрены вопросы по эффективности удаления из воды ионов меди и цинка с применением полиоксихлорида алюминия, кварцево-глауконитового песка, активного угля марки БАУ-МФ. Приведены результаты лабораторных исследований, даны рекомендации по выбору адсорбента для проведения совмещённого процесса известкования, коагуляции и адсорбции тяжёлых металлов из воды.

Одним из самых распространенных методов удаления из воды ионов тяжёлых металлов является реагентный метод, в основе которого лежит перевод растворённых веществ в нерастворимые с последующим их отделением в виде осадков. В качестве реагентов чаще всего используют гидроксиды кальция и натрия.

Наиболее популярным реагентом, применяемым для удаления тяжёлых металлов из воды, является гидроксид кальция, который осаждает ионы металла в виде гидроксидов:

$$Me^{n+} + nOH^{-} = Me(OH)_n$$

Для ускорения процессов осаждения образующихся гидроксидов тяжёлых металлов вводят коагулянты и флокулянты. Обычно это соли трехвалентного железа и полиакриламид, как показывает практика, чаще всего на выходе из очистных сооружений наблюдаются остаточные содержания металлов, превышающие установленные нормативы. В тех случаях, когда требуется более глубокое удаление из воды тяжёлых металлов, рекомендуется дополнительно очищать воду на фильтрах, загруженных активированным углём. Однако невысокая ёмкость угля по отношению к тяжёлым металлам и сложность его регенерации приводит к повышению эксплуатационных затрат и не достаточно высокому эффекту очистки.

Для оптимизации процесса удаления тяжёлых металлов из воды проводились исследования по применению в качестве коагулянта полиоксихлорид алюминия (ПОХА) торговой марки «АКВА-АУРАТ™30» с одновременным дозированием в воду сорбента. Выбор данного коагулянта был обоснован тем, что хорошо известны коагулирующие и сорбционные свойства ПОХА, он эффективно работает в условиях низких температур и не приводит к снижению pH обрабатываемой воды, как в случае, например, с сульфатом алюминия. Полиоксихлорид алюминия также является активным адсорбентом катионов Ca^{2+}, Mg^{2+}, Cu^{2+}, Zn^{2+} и др., анионов SO_4^{2--}, PO_4^{2-}, $Cr_2O_7^{2-}$ и др. [1–2].

В качестве сорбента применялся кварцево-глауконитовый песок (КГП), добываемый в карьерах Ростовской области.

Этот природный материал, содержащий 60 – 80 % глауконита, обладает достаточно высокими ионообменными и адсорбционными свойствами по отношению к катионам тяжелых металлов. Гидратированные алюмосиликаты различного состава, содержащиеся в глауконитовом песке, – глаукониты – имеют жёсткую алюмосиликатную анионную решётку с достаточно большими каналами, допускающими диффузию катионов, и развитую удельную поверхность зёрен.

Для изучения эффективности совмещённого процесса известкования, коагуляции и адсорбции ионов тяжёлых металлов в одном реакторе был поставлен эксперимент на модельной воде, содержащей катионы меди и

цинка в широких пределах.

Исследования проводили в стаканах ёмкостью 500 мл на модельной воде, с содержанием катионов меди и цинка от 3,0 мг/л до 10 мг/л. Известь вводили в виде раствора $Ca(OH)_2$ до значений pH = 8,0 – 8,5. Дозы коагулянта и глауконитового песка выбирали в зависимости от содержания в воде ионов тяжелых металлов. Реагенты вводились в следующем порядке: ввод кварцево-глауконитового песка, 3-минутное перемешивание, ввод извести и ПОХА, быстрое перемешивание в течение 15 мин., затем медленное перемешивание в течение 2 мин.. Цикл обработки воды от ввода реагента до отбора проб составил около 1 ч и 30 мин.

Для сравнения сорбционных свойств параллельно проводили опыты на известном активном угле марки БАУ-МФ и без применения сорбентов.

Проведённые эксперименты показали, что при соответствующей обработке кварцево-глауконитового песка эффект очистки от ионов меди и цинка составляет практически сто процентов. Следует отметить и достаточно высокий эффект очистки от ионов меди и цинка известкованием с полиоксихлоридом алюминия (табл.).

Образующийся в результате осаждения осадок обладает довольно высокой плотностью и легко поддаётся обезвоживанию.

Таблица. **Результаты лабораторных исследований совмещённого процесса реагентного и сорбционного метода очистки воды от ионов меди и цинка**

№ п/п	Дозы реагентов, мг/л				Содержание в воде ионов Cu^{2+}, Zn^{2+}, мг/л до очистки		Содержание в воде ионов Cu^{2+}, Zn^{2+}, мг/л после очистки	
	Известь	ПОХА	КГП	БАУ	Cu^{2+}	Zn^{2+}	Cu^{2+}	Zn^{2+}
1.	До значений pH = 8,0 – 9,0	1,0	100	–	3,0–5,0	3,0–5,0	Следы –0,03	Следы 0,05
2.		1,5	150	–	6,0–10,0	6,0–10,0	0,03–0,05	0,04–0,08
3.		1,0	–	–	3,0–5,0	3,0–5,0	0,3–0,5	0,8–0,9
4.		1,5	–	–	6,0–10,0	6,0–10,0	0,5–1,0	1,5–2,0
5.		1,0	–	100	3,0–5,0	3,0–5,0	0,05–0,07	0,08–0,1
6.		1,5	–	150	6,0–10,0	6,0–10,0	0,06–0,08	0,08–0,2

Проведённые эксперименты показали, что наибольший эффект очистки воды от ионов меди и цинка получен при использовании совмещенного процесса: известкование, коагуляция и адсорбция кварцево-глауконитовым песком. Эффективность процесса при значениях тяжелых металлов от 3,0 до 5.0 мг/л составляет фактически 100 %. Остаточные значения катионов меди и цинка при более высоких значениях в исходной воде, удовлетворяют нормативным требованиям к сбросу воды в водоём рыбохозяйственного назначения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сычёв А.В., Гетманцев С.В. Применение оксихлорида алюминия для очистки воды с низким щелочным резервом // Водоснабжение и санитарная техника. 2005, № 8. С. 14–18.
2. Серпокрылов Н.С., Вильсон Е.В., Земченко Г.Н. Эколого-экономические аспекты реагентной обработки воды //Водоснабжение и санитарная техника. 2005, № 8. С. 20–24.

УДК 502/504

ВЛИЯНИЕ ПОЛИГОНОВ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ НА СОСТОЯНИЕ ПОЧВЫ И ПОДЗЕМНЫХ ВОД

М.К. Байдулова, И.В. Волкова, Л.В. Боронина
Астраханский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Астрахань, Россия

Атмосферные осадки, солнечное тепло, разогревание свалки и тепло от пожаров способствуют протеканию на полигонах твердых бытовых отходов непредсказуемых физико-химических и биохимических процессов, продуктами которых являются многочисленные токсические химические соединения в жидком, твердом и газообразном состоянии. В процессе хранения отходы способны превращаться в другие вещества с другими физико-химическими и токсическими свойствами. Это приводит к появлению на полигонах хранения отходов новых экологически опасных веществ, что представляет серьезную угрозу биосфере, существованию человека. Для предотвращения экологической катастрофы предлагается проведение всестороннего мониторинга влияния полигона на окружающую среду после ввода его в эксплуатацию и на основе анализа мониторинга выработка решений по предотвращению экологической катастрофы.

Любая человеческая деятельность (сельскохозяйственная, промышленная и др.) построена на отходной технологии. Конечный продукт, получаемый человеком, как правило, используется им нерационально. Из 100 % основного продукта около 90 %, а иногда и более, выбрасываются человеком в отходы, которые не могут затем явиться сырьём для природных процессов (циклов) [1]. Это приводит к накоплению на поверхности Земли инертных (неусвояемых) или вредных материалов.

Ресурсы пространства (территориальные, водные, воздушные, включая ближний космос) и времени постепенно истощаются. В связи с замусориванием и другими видами загрязнений, а также с ростом населения земли, свободного пространства остаётся мало. Обострение экологических проблем оставляет всё меньше времени для их решения.

Разрушение природы ухудшает качество среды обитания человека, и такое явление имеет социальное значение. Загрязнение воздуха, почвы,

воды приводит к росту заболеваемости, потерям рабочего времени, снижению профессиональной квалификации и трудоспособности, увеличению смертности. Поэтому потребность в здоровой окружающей среде является общечеловеческой необходимостью и важнейшим показателем благосостояния нации [2].

В решении природоохранных задач одно из ведущих мест занимает проблема складирования и утилизации отходов. Наряду с развитием безотходных технологий, вовлечением отходов во вторичную переработку и т.д. одним из основных способов обезвреживания отходов остаётся складирование их на специально оборудованных полигонах. Экологическая ситуация, сложившаяся в последнее время, потребовала экологического мониторинга полигонов твёрдых бытовых и промышленных отходов (ТБ и ПО) в связи с образованием в больших объёмах отходов производства, не участвующих в повторном использовании.

Наибольшую опасность представляют жидкие промышленные и бытовые отходы, которые характеризуются высокими концентрациями самых разнообразных токсичных веществ и соединений, способных проникать в гидрографическую сеть и подземные воды, нанося ощутимый вред почвенно-растительному покрову.

Исследованиями зарубежных и отечественных учёных на протяжении последних десятилетий доказано [4], что захороненные твёрдые и пищевые отходы содержат значительные количества (до 100 наименований) токсичных соединений. В бытовых отходах, собираемых от населения, могут содержаться: различные красители, краски, лаки, ртуть, растворители, свинец и его соли, лекарства, пластмассы, синтетические материалы, полихлорбифенилы, металлические банки и др. Все эти загрязнители попадают на свалки и полигоны в результате поступления сюда несортированных отходов, отсутствия входного контроля на полигонах. К тому же на полигоны попадают и отходы, которые могут быть возвращены в рецикл, и после соответствующей обработки использоваться в качестве вторичных материальных ресурсов. По мере складирования отходов накапливаются потенциально опасные загрязняющие вещества, миграция которых продолжается длительное время и после закрытия полигона, так как разложение отходов и вынос веществ из тела полигона не прекращается до устойчивого равновесия с окружающей средой [1, 4].

Вокруг полигонов ТБО формируются зоны динамичных ореолов поликомпонентного загрязнения поверхностных и подземных вод, других природных сред с высокими температурами токсичного фильтрата (порядка 40 – 50 °С), вытекающего из-под свалки. Высокая температура фильтрата определяется протеканием экзотермической химической реакции, происходящей в отходах.

Воздействие твердых и опасных отходов на приземные слои атмосферы заключается в испарении с поверхности почвы в результате разогрева в теплые периоды или при пожарах, входящих в состав отходов элементов (ртуть, мышьяк летучие металлы), газообразных соединений, получающихся в результате химических реакций в недрах свалки. При горении наблюдается выделение диоксина, фуранов, хлорированного дибензодиозона. Поэтому во многих странах Европы сжигание бытовых отходов запрещено [1].

В результате определения показателей экологического состояния почвы и грунтовых вод авторами статьи были проведены эксперименты по определению содержания загрязняющих веществ в почве и грунтовых водах. Пробы были отобраны на одной из крупнейших свалок Астраханской области в г. Ахтубинске. В таблице 1 показана динамика содержания нефтепродуктов в образцах почв исследуемого полигона.

Таблица 1. **Динамика содержания нефтепродуктов в образцах почв полигона**

Поллютанты	Содержание	ПДК, мг/кг	2011, мг/кг	2012, мг/кг	2013, мг/кг	2014, мг/кг
Нефтепродукты	на поверхности	100	48	20	20	менее 7,0
	на глубине 20 см		317,2	52	48	–
	фоновое		52	10	5,6	6,0

Результаты анализов показали, что в 2011 г. наибольшая концентрация нефтяных углеводородов наблюдалась в пробах, отобранных на глубине 20 см от поверхности (317,2 мг/кг). Фоновое загрязнение при этом составляло 52 мг/кг.

В 2012 г. в пробах с глубины 20 см от поверхности содержание нефтепродуктов превышало содержание на поверхности в 2,6 раза. Фоновое содержание значительно (в 5,2 раза) снизилось по отношению к 2011 г.

В 2013 году в поверхностных пробах содержание терраполлютантов не изменилось, на глубине 0,2 м – уменьшилось по сравнению с 2012 г. на 8 %. Фоновое содержание снизилось почти в 2 раза.

В 2014 г. концентрация исследуемого показателя была менее 7,0 мг/кг на поверхности, а на глубине 0,2 м вообще не обнаружено. Фоновое содержание нефтепродуктов составило 6,0 мг/кг.

За период 2011 – 2014 гг. содержание нефтепродуктов в поверхностных пробах снизилось более чем в 7 раз; в пробах с глубины 0,2 м – снизилось более чем в 300 раз; фоновое содержание поллютантов в почве полигона уменьшилось в 8,7 раза. Концентрация исследуемого показателя в течение 4-х лет не превышала установленный норматив (100 мг/кг). Однако, следует подчеркнуть, что содержание нефтепродуктов

в пробах была выше фоновой концентрации..

Исследования грунтовых вод свалки проводились на предмет содержания хлоридов, сульфатов, железа, марганца, свинца, меди, кадмия, ртути, ионов аммония, нефтепродуктов и фенолов. Результаты исследований по скважинам представлены в таблице 2.

Таблица 2. **Динамика содержания поллютантов в грунтовых водах полигона, мг/дм^3**

Поллютанты	ПДК	2011	2012	2013	2014
Хлориды	100	314	418	206,52	200
Сульфаты	100	136	174	149	125
Железо	3,0	0,01	0,011	0,016	0,02
Марганец	0,1	0,016	0,016	0,016	0,016
Ионы аммония	1,2	2,39	1,92	2,46	2,3
Медь	1,0	0,004	0,0032	0,0054	0,006
Свинец	0,03	0,0021	0,0025	0,003	0,003
Кадмий	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Ртуть	0,005	менее 0,002	менее 0,002	менее 0,002	менее 0,002
Нефтепродукты	0,01	0,3	0,3	0,12	0,09
Фенолы	0,001	0,001	0,001	0,0021	0,006

Как видно из результатов исследований превышение норматива на содержание загрязняющих веществ за исследованный период отмечено по пяти веществам: хлоридам, сульфатам, ионам аммония, нефтепродуктам и фенолам.

Содержание ионов аммония к концу исследований уменьшается на 6,5 %, а максимальное значение отмечается в 2013 году. Превышение ПДК в 2011 и 2013 гг. было в 2 раза, в 2012 – в 1,6 раза, в 2014 – в 1,9 раза. Максимальное превышение ПДК как по хлоридам, так и по сульфатам было отмечено в 2012 г. (в 4,2 раза и в 1,74 раза, соответственно). Концентрация органического загрязнителя – нефтепродуктов диагностировалась на максимальном уровне в 2011 и 2012 гг. (превышение ПДК в 30 раз), после чего произошло снижение показателя в 3 раза. Превышение допустимого уровня содержания фенолов диагностировалось в 2013 и 2014 гг. (в 2 и 6 раз соответственно).

Содержание таких поллютантов, как марганец, кадмий и ртуть оставалось стабильным в течение всего исследованного периода.

Таким образом, с 2011 по 2014 гг. по скважине № 1 тенденция к уменьшению загрязнения отмечалась по хлоридам, сульфатам, ионам аммония и нефтепродуктам, к увеличению загрязнения – по железу, меди, свинцу и фенолам, а показатели по содержанию сульфатов, хлоридов,

ионов аммония, нефтепродуктов и фенолов значительно превышают установленные нормативы.

С целью снижения комплексного воздействия полигонов на все компоненты многоэтажной структуры ландшафта во многих странах разработаны долгосрочные программы исследований, нормативные и законодательные акты, определяющие порядок размещения опасных отходов в геологической среде. Недопустимо, когда зона санитарной охраны полигона и применяемое оборудование выбираются произвольно (без учета реальных процессов загрязнения и комплексных ответных реакций биосферы на функционирование полигонов ТБО). Результаты мелкомасштабных исследований дают возможность выявить значение региональных геолого-тектонических, гидродинамических, метеорологических, термических, геохимических и микробиологических факторов, влияющих на состояние отходов, на миграцию и отложение образующихся загрязняющих веществ и соединений [6].

Таким образом считаем целесообразным перед созданием полигонов твердых бытовых отходов провести обоснованный выбор места для их размещения, определять приоритетные загрязнители и пути их проникновения в окружающую среду, а также в пищевую цепь и живой организм, обеспечивать всесторонний мониторинг влияния полигона на окружающую среду после ввода его в эксплуатацию. По результатам этих работ можно выдавать краткосрочные и долгосрочные прогнозы изменения окружающей среды регионов под действием хранящихся отходов. Если полученная комплексная информация достаточно полная, то успешно могут быть решены вопросы: где и когда загрязняющие вещества окажутся в любой из природных сред, какие экологически опасные химические и биохимические реакции будут протекать в зоне влияния отходов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гринин А.С., Новиков В.Н. Промышленные и бытовые отходы: хранение, утилизация, переработка. М.: Фаир-Пресс, 2002. 336 с.
2. Денисов В.И., Лукманов Ю.Х. Благоустройство территорий жилой застройки. СПб.: МАНЭБ, 2006. 224 с.
3. Сметанин В.И. Защита окружающей природной среды от отходов производства и потребления. М.: НИЦПУРО, 2003. 130 с.
4. Боброва В.Ю., Климонтова В.А. Экологический мониторинг на полигонах твёрдых бытовых и промышленных отходов, Вестник АГТУ. Астрахань: изд-во АГТУ, 2000. С. 76–77 с.
5. Сметанин В.И. Защита окружающей природной среды от отходов производства и потребления. М.: НИЦПУРО, 2003. 130 с.
6. Лаверов Н.П. Геологические аспекты проблемы захоронения радиоактивных отходов // Геоэкология, 1994. № 6. С. 5–9.

УДК 628.35

ВЛИЯНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ СТОЧНОЙ ЖИДКОСТИ НА СКОРОСТЬ НИТРИФИКАЦИИ

В.П. Костюков, М.А. Титова, П.В. Костюков, Т.Р. Заплохова
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия

В работе представлены результаты экспериментальных исследований по влиянию органического вещества на скорость нитрификации.

Удаление биогенных элементов из сточных вод в процессе биологической очистки является одной из основных проблем при очистке сточных вод. Сточные воды очищаются от азота последовательным осуществлением процессов нитрификации и денитрификации. Первым диктующим этапом биологического удаления азота является процесс нитрификации, скорость которого зависит от многих факторов, в том числе от концентрации органических веществ, находящихся в сточной жидкости. В связи с этим в настоящее время актуальной темой является исследование влияния органических веществ на скорость нитрификации аммонийного азота.

В технической литературе описывается отрицательное влияние органического вещества на скорость нитрификации. Считается, что органическое вещество сточной жидкости оказывает ингибирующее влияние на скорость окисления аммонийного азота. Низкие скорости нитрификации, в свою очередь, являются фактором удорожания технологии очистки.

Для оценки влияния органических загрязнений на нитрификацию аммонийного азота проводили серии экспериментов с обеспечением в реакторах постоянной концентрации аммонийного азота при различных концентрациях органических веществ сточной жидкости.

Среду с различной концентрацией органических веществ получали разбавлением исходной сточной жидкости, отстоянной водопроводной водой, вводя в полученную смесь дополнительно рабочий раствор хлорида аммония и гидрокарбоната натрия.

В качестве контроля использовали отстоянную водопроводную воду с активным илом. Доза ила в конечном объеме смеси – 1 г/дм^3. Активный ил предварительно промывали отстоянной водопроводной водой для удаления метаболитов. Опыт проводили в трехкратной повторности.

В результате определения почасовых скоростей для каждой серии относительно ХПК реакционной смеси получен ряд значений, которые сведены в таблицу.

Таблица. **Значения скоростей нитрификации**

ХПК, мгO_2/дм^3	24,48	36,72	40,8	40,8	40,8	61,12
V, мгN/г·ч	10,48	11,04	12,81	6,41	3,97	11,48
1/V	0,095	0,091	0,078	0,156	0,252	0,087
ХПК, мгO_2/дм^3	61,12	61,2	61,2	91,5	91,5	153
V, мгN/г·ч	4,64	14,36	5,08	9,27	5,74	8,91
1/V	0,216	0,070	0,197	0,108	0,174	0,112

Графическая обработка полученных результатов представлена на рисунках 1 и 2.

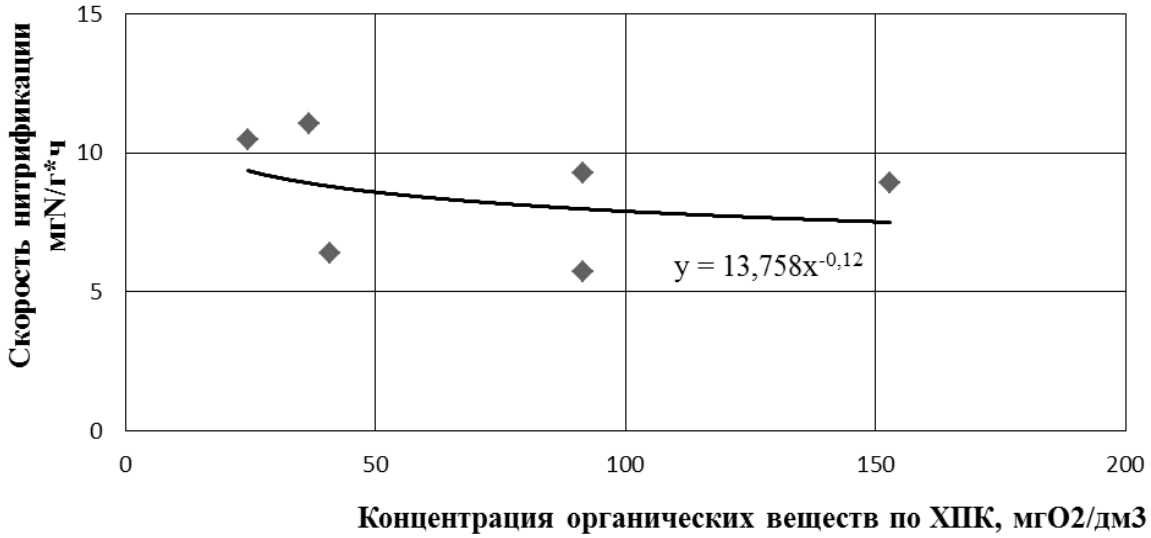


Рисунок 1. **Зависимость скорости нитрификации от ХПК**

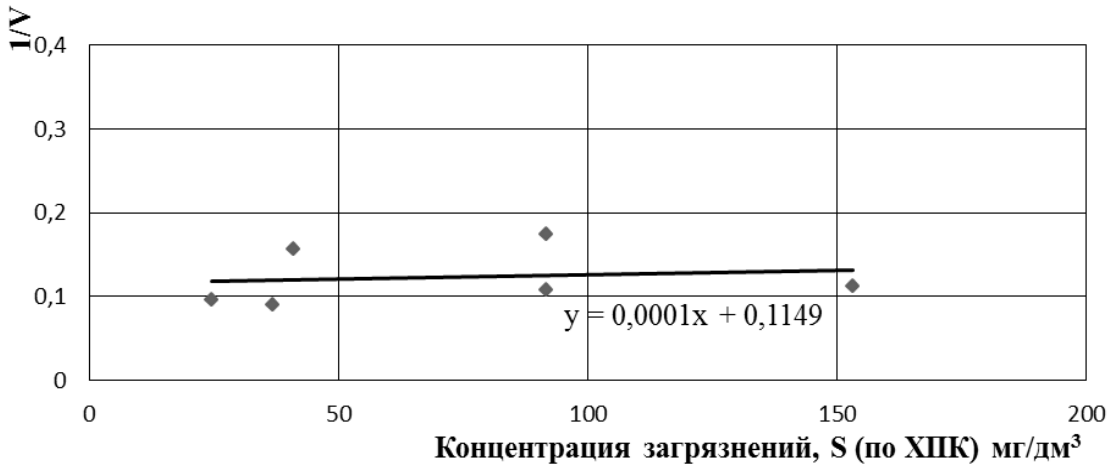


Рисунок 2. **График зависимости 1/V от S**

График 1/V от S пересекает ось абсцисс в точке минус 1149, что численно равно значению константы ингибирования нитрификации

органическим веществом сточной жидкости, которая, в свою очередь указывает, что при концентрации органических веществ (по ХПК) численно равной константе ингибирования (1149 мгO_2/дм^3) скорость нитрификации уменьшается вдвое.

Безусловно, при столь высоких концентрациях органических загрязнений в смеси сточных вод и активного ила нитрификация невозможна ввиду высокой нагрузки на ил, конкуренции за кислород автотрофов-нитрификаторов с гетеротрофами, а также невыгодными для автотрофов условиями среды, постольку при низкой концентрации растворенного кислорода окислительно-восстановительный потенциал снижается.

ВЫВОДЫ

1. Полученные результаты показывают, что концентрация органического вещества при значениях характерных для среды аэротенка в переделах 20 – 160 мгO_2/дм^3, не оказывает существенного влияния на скорость нитрификации аммонийного азота.
2. Константа ингибирования нитрификации органическим веществом хозяйственно-бытовых сточных вод равна 1149 мгO_2/дм^3.
3. Высокие значения органических веществ приводят к снижению нитрификации вследствие вымывания медленно растущих микроорганизмов-нитрификаторов и доминирования накопительных культур в активном иле с низким возрастом.
4. Проектирование систем биологической очистки на основе нагрузки на ил с последующим уточнением с использованием кинетических моделей является наиболее оптимальным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хенце М. Очистка сточных вод: Пер.с англ./ Хенце М., Армоэс П., Ля-Кур-Янсен Й., Арван Э. М.: Мир, 2004. 480 с.
2. Яковлев С.В., Карюхина Т.А. Биохимические процессы в очистке сточных вод. М.: Стройиздат, 1980. 200 с.
3. Пахомов А.Н., Стрельцов С.А., Козлов М.Н., Харькина О.В., Хамидов М.Г., Ершов Б.А., Белов Н.А. Опыт эксплуатации сооружений биологической очистки сточных вод от соединений азота и фосфора. // Водоснабжение и санитарная техника. 2010. № 10, ч. 1. С. 35–40.
4. Степанов С.В., Стрелков А.К., Блинкова Л.А., Морозова К.М., Беляков А.В. Определение кинетических констант для процессов биохимической очистки сточных вод нефтеперерабатывающих заводов// Водоснабжение и санитарная техника. 2013. № 2. С.46–50.
5. Степанов С.В., Швецов В.Н., Морозова К.М., Беляков А.В., Блинкова Л.А. Исследование технологии нитри-денитрификации для очистки

нефтесодержащих сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2013. № 5. С. 50–56.

УДК 621.577

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ В ЦЕЛЯХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

В.В. Востоков
ООО НПП «ЭКОФЕС», г. Новочеркасск, Россия

Показано, что в настоящее время при наметившейся тенденции к децентрализации источников теплоснабжения, увеличивающемся росте тарифов и спросе на энергетические ресурсы, а так же сокращении запасов традиционных источников энергии, особую остроту приобретает вопрос их рационального использования.

В существующих экономических условиях необходим прогрессивный подход к проблеме снижения затрат энергоносителей используемых в коммунальном хозяйстве на цели теплоснабжения жилых зданий. Следовательно, одним из перспективных направлений в области энергосбережения является внедрение теплообменников, позволяющих использовать тепло сточных вод в непосредственной близости от потребителя, а в идеальном случае непосредственно на объекте теплоснабжения.

Серьезным источником экономии энергоресурсов в современных жилых зданиях может стать использование технологий утилизации низкопотенциальной тепловой энергии сточных вод с целью сокращения затрат на горячее водоснабжение.

В настоящее время существует ограниченное количество технологий, позволяющих использовать низкопотенциальную теплоту канализационных стоков в целях теплоснабжения, и прежде всего это применение в качестве теплоутилизаторов тепловых насосов.

Основными проблемами, связанными с использованием хоз-бытовых сточных вод в качестве источника низкопотенциального тепла в жилых зданиях являются:

– требования СанПиН 4723-88 «Санитарные правила устройства и эксплуатации систем централизованного горячего водоснабжения», которые запрещают использовать утилизаторы тепла канализационных стоков без промежуточного теплоносителя и четко регламентируют расстояния между трубопроводами ГВС и сточных вод [1];

– неравномерность расхода сточных вод по часам суток и дням недели;

– наличие нерастворенных в сточных водах продуктов

жизнедеятельности человека и остатки овощей и фруктов;

– наличие минерального осадка (песка).

График расхода сточных вод в жилом доме совпадает с графиком общего расхода холодной и горячей воды и имеет вид, представленный на рисунке 1 [2].

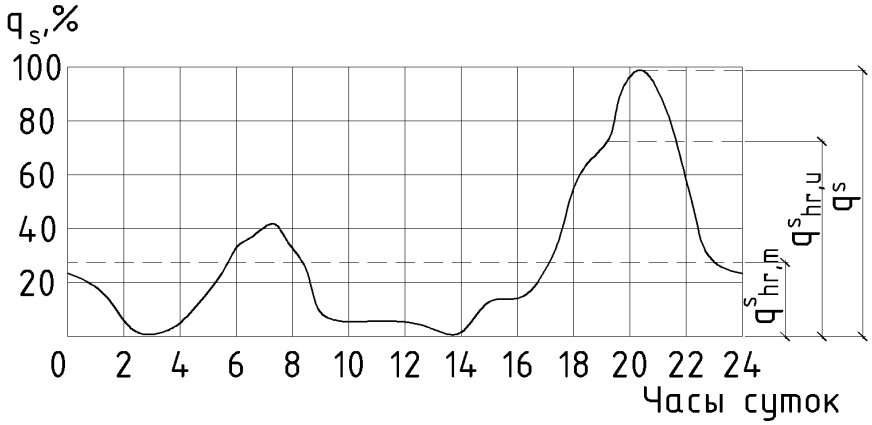


Рисунок 1. **График расхода сточных вод в жилом здании:**
q^s_m – средний часовой расход, л/ч; q^s_u – максимальный часовой расход, л/ч;
q^s – мгновенный расход продолжительностью 1…3 мин, л/с

Решение задачи, связанной с неравномерностью расхода сточных вод как источника тепловой энергии, заключается в устройстве емкостей-усреднителей расхода и/или применением средств автоматизации. Применение современных средств автоматизированного управления, так же позволяет опосредовано решить задачу неравномерности расхода стоков путем управления работой теплонасосной установки, тепловой насос включается при достижении определенного значения расхода ГВС или при достижении стоками заданной температуры не ниже 10 °С.

Наличие в стоках нерастворенных органических загрязнений (остатки растений, твердые физиологические выделения человека) приводят к засорению теплообменных аппаратов, что в свою очередь приводит к падению производительности теплового насоса. Данная проблема решается путем разделения фекальных сточных вод (от унитазов) и сточных вод от раковин, моек, душей и ванн – так называемых «серых» стоков на отдельные ветви, которые объединяются в общий поток только перед выпуском из здания [3–4]. Удаление растительных загрязнений в основном предусматривается применением различных механических фильтров с гидравлическим удалением задержанных загрязнений, либо установкой в кухонных мойках измельчителей пищевых отходов.

Минеральные загрязнители приводят и к засорению теплообменников ТНУ. Применение различных турбулизаторов потока, периодическая промывка позволяют достаточно эффективно бороться с

данными отложениями. Так же возможно применение гладких теплообменников, располагаемых на вертикальных участках канализационных стояков.

В интересах ООО НПП «ЭКОФЕС» была разработана технология утилизации тепла хоз.-бытовых сточных вод жилых зданий на основе установки теплоутилизации канализационных стоков (УТКС) и теплого насоса (рис. 2), позволяющая снизить затраты тепловой энергии на нагрев воды в системе горячего водоснабжения до 30 %.

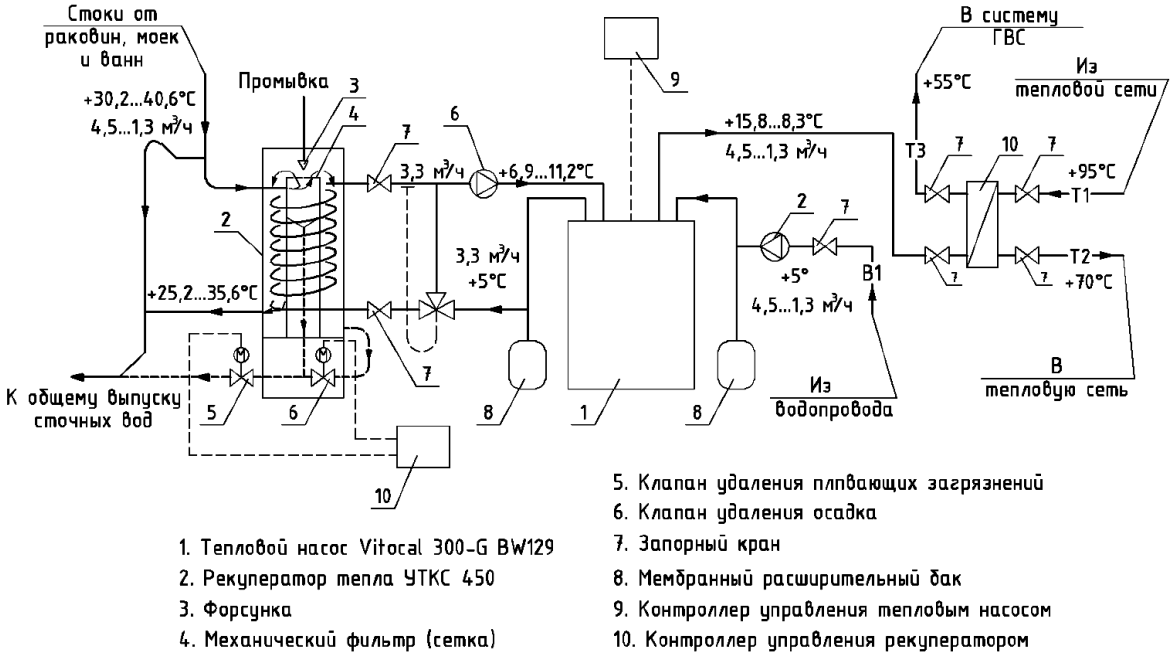


Рисунок 2. **Принципиальная схема утилизации тепла хозяйственно-бытовых сточных вод для нужд горячего водоснабжения на базе теплового насоса Vitocal 300-G BW129 с рекуператором тепла УТКС 450**

ЛИТЕРАТУРА

1. Санитарные правила и нормы СанПиН 4723-88 «Санитарные правила устройства и эксплуатации систем централизованного горячего водоснабжения». М., 1988. 8 с.
2. Внутренние санитарно-технические устройства. В 3 ч. Ч. 2. Водопровод и канализация [Текст] / Ю.Н. Саргин, Л.И. Друскин, И.Б. Покровская и др.; Под ред. Староверова И.Г., Шиллера Ю.И. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1990. 247 с.
3. Зайцев О.Н. Использование тепла канализационных стоков на нужды отопления жилых зданий / О.Н. Зайцев, А.М. Верламов, И.П. Ангелюк // Строительство и техногенная безопасность. 2011. Вып. 40. С. 145–147.
4. Шонина Н.А. Утилизация тепла сточных вод. Читатели спрашивают [Текст] / Н.А. Шонина // Сантехника. 2013. № 1.

УДК 628.5

СРАВНЕНИЕ МЕТОДИК ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ И РАЗРАБОТКИ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ РЕЖИМА ОЧИСТКИ ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД

В.В. Данильченко, В.Н.Мацур, Л.А. Овчаренко
ОАО «Ставропольский водоканал», г. Ставрополь, Россия,
Н.С. Серпокрылов, Ю.И. Коренев
Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Россия

Приведены сравнительные результаты оценки состояния и разработки предложений по повышению эффективности действующих очистных сооружений городских сточных вод по двум методикам. Показано, что обе методики работоспособны для производственного мониторинга и разработки рекомендаций по совершенствованию режимов очистки сточных вод. Однако методика по оперативно-менеджерской оценке требует меньше времени и средств на ее осуществление и не требует участия узкопрофильных специалистов.

В настоящее время оценка технологической эффективности работы действующих очистных сооружений городских сточных вод ведется по методическим указаниям 1983 г. [1] и является довольно длительной и затратной процедурой. При этом технологическая эффективность определяется сопоставлением проектных и фактических показателей степени очистки сточных вод. При отсутствии проектных данных, а также при отклонении расхода и состава поступающих на очистку сточных вод от проектных параметров, оценку ведут на основании анализа среднесуточных проб. В случаях отклонения показателей качества очистки и расходов необходимо произвести оценку эффективности работы каждого отдельного сооружения, входящего в технологическую схему, на базе которой разрабатывается план мероприятий по обеспечению соблюдения нормативных требований [2], в который включаются водоохранные решения: проектирование, строительство, реконструкция действующих сооружений, сроки ввода в эксплуатацию и т. п.

Существует альтернативная методика технического аудита (оперативно-менеджерская оценка, ОМО), базирующаяся на анализе технологических показателей отдельных узлов и аппаратов обработки сточных вод и их твёрдой фазы [3], разработанная в США и адаптированная к нормативной базе России [4].

В соответствии с [4] для каждого технологического параметра установлена оценочная балльная шкала, на базе которой делается

заключение о техническом и технологическом состоянии очистных сооружений.

Установленные по технологическому анализу факторы ОМО негативного влияния на общие показатели очистных сооружений группируются в убывающий ряд по баллам и им присваивается кодировка «А», «В», «С».

Факторы, отнесенные к группе «А», оказывают наибольшее постоянное, негативное влияние на показатели очистки сточных вод (по эффективности или производительности). Их устранение должно быть первоочередным при составлении плана реконструкции, и они требуют наибольших капитальных затрат.

К факторам группы «В» следует отнести такие, которые периодически снижают показатели работы очистных сооружений. Разработка мероприятий по снижению их воздействия осуществляется во вторую очередь.

Факторы группы «С» незначительно влияют на снижение показателей процесса, их устранение намечается в последнюю очередь.

Следует отметить, что обе методики были разработаны, когда не было установленных норм на группу азота и фосфаты, жестко нормированные в настоящее время. Исходными для сравнения оценки по обеим методикам явились показатели 2014 г. режима работы очистных сооружений ОАО «Ставропольский водоканал», представленные в таблице.

Проведенная по [1] оценка позволила сформулировать «Техническое задание на совершенствование режимов и степени очистки сточных вод», куда вошли следующие рекомендации: – установить режим внутренней циркуляции осадка и откачки его в илоуплотнители; – восстановить режим биокоагуляции перекачкой части избыточного активного ила в отстойник; – для предотвращения переполнения предусмотреть резервный первичный отстойник с перекрытием его для сбора и очистки газов от запахов в мокром скруббере; предусмотреть трубопровод циркулирующего осадка от насосной станции сырого осадка; или, как вариант сравнения, установку погружного насоса в распределительной чаше; строительство аварийного сброса сточных и дождевых вод в виде ливнеспуска. Реализация рекомендаций разделена на этапы: 1 – первичный отстойник (срок реализации 2 года); 2 – обработка обезвоженного осадка с получением удобрения (срок реализации 1 год); 3 – прокладка коммуникаций для перевода очистных сооружений в режим нитри-денитрификации и дефосфотизации (срок реализации составляет 4 года).

По баллам ОМО отдельные узлы ОСК относятся: А. Биологическая очистка (сумма баллов +15,38) к 1 типу сооружений; Б. Вторичные отстойники (+ 13,30) – ко 2 типу; С. Обработки твердой фазы (– 28,56) – к 3, а в целом ОСК (15,38 + 13,30 – 28,56 = 0,12) – к 3 типу.

Таблица. **Результаты работы ОСК г. Ставрополя в 2014 г.**

№ п/п	Ингредиенты	Поступающая вода, мг/л	Сброс, мг/л	ВСС, мг/л	% очистки фактический	% очистки нормативный
1.	Взвешенные вещества	225,7	10,37	25,0	95,4	80–95
2.	ХПК	441,95	39,2	–	91,1	40–75
3.	$БПК_5$	192,72	12,78	13,1	93,3	80–95
4.	Сульфаты	192,64	175,58	368,0	–	–
5.	Хлориды	63,45	70,79	127,0	–	–
6.	Азот аммонийный	36,87	1,97	3,492	94,6	40–50
7.	Нитриты	0,283	1,02	2,25	–	–
8.	Нитраты	0,92	40,68	43,0	–	–
9.	Фосфаты/по Р/	9,13	2,79	3,5	69,4	20–40
10.	АПАВ	3,27	0,29	0,47	91,1	60–90
11.	Железо	4,54	0,242	0,29	94,6	50–80
12.	Цинк	0,195	0,0328	0,22	83,1	40–70
13.	Медь	0,0306	0,0048	0,1	84,3	60–80
14.	Алюминий	0,32	0,0042	0,15	98,7	60–80
15.	Кадмий	0,0023	< 0,0005	0,001	–	35–60
16.	Сухой остаток	673,6	607,97	588,0	–	–
17.	Никель	0,013	0,0017	0,02	86,9	40–50
18.	$Хром_{общ.}$	0,0059	< 0,01	0,05	–	50–80
19.	Нефтепродукты	1,29	0,049	0,26	96,2	50–85
20.	Свинец	0,033	0,0013	0,01	96,0	50–85
21.	Фториды	0,42	0,196	0,45	53,3	10–30

На основе ОМО сделан вывод о совершенствовании работы в целом или отдельных элементов ОСК. Сооружения типа 1 имеют отклонения от паспортных параметров рабочих режимов, обусловленные управлением и эксплуатацией сооружений. Их устранение не требует капитальных затрат и может быть обеспечено управленческими решениями. Сооружения типа 2 по ОМО в баллах указывают на недостаточную производительность, т.е. перегрузку отдельных блоков очистных сооружений. Достижение нормативных параметров очистки вод в данном случае требует модификации или реконструкции некоторых узлов ОСК. Сооружения типа 3 по баллам ОМО требуют существенных изменений в технологической схеме, т.е. требуется дополнительное строительство и расширение отдельных, лимитирующих процесс узлов очистных сооружений.

Приведем некоторые конструктивно-режимные дополнения и/или изменения для повышения показателей очистки вод (и соответственно, баллов ОМО):

1 – восстановить подачу избыточного активного ила в отстойники, что будет способствовать сокращению времени отстаивания за счет ускоренной седиментации до 30 – 45 мин. вместо 90 – 120 мин. и, соответственно, увеличению гидравлической нагрузки на отстойник;

2) создать режим ацидофикации (преферментации) в неработающих метантенках, куда следует каждые 4 ч в течение 2 ч откачивать осадок из 1-х отстойников и иловую жидкость из илоуплотнителей;

3) согласно среднегодовым показателям очистки вод, можно видеть, что регенератор в аэротенке ($БПК_5$ сточных вод после первичного отстаивания (139,45 < 150 мг/л) не является технологически необходимым элементом. В этом случае «освобождается» один коридор в 2-х трехкоридорных аэротенках (размером 101,87 · 8,75 · 4,22 м) объемом 3750 м^3, для 2-х – 7250 м^3. Данные объемы рекомендуется использовать под аноксидный процесс денитрификации, принципиально отсутствующий в существующей технологической схеме.

4) применяемая в настоящее время на ОСК плоская загрузка из пористого материала является морально устаревшим решением, практически неуправляемым элементом аэротенка и при очередной профилактике рекомендуется к удалению. Для увеличения окислительной способности аэротенков рекомендуется принять плавающую загрузку в водопроницаемых кассетах, например, GEA 2H типа BCN, BCP (производство ФРГ), имеющая активную поверхность до 900 м^2/м^3. Ее инсталляция в аэротенке не требует его остановки и опорожнения. Применение других типов эффективных стационарных загрузок (разновидности ершей отечественного производства) требует опорных конструкций, особого расположения аэраторов, что нельзя выполнить без опорожнения и реконструкции аэротенка.

Также в перспективе, при реконструкции аэротенков, рекомендуются к замене установленные на ОСК аэраторы типа «Экотон», имеющие малый, по нынешним технологиям, коэффициент массооообмена и производящего 0,8 – 2,0 кг растворенного в жидкости кислорода на 1 кВт/ч электроэнергии. Современные, в том числе и отечественные аэраторы, дают 6 – 8 кг кислорода / кВт·ч, что существенно экономит затраты электроэнергии и эксплуатационные затраты. Это в итоге позволит до 40 % сократить расход электроэнергии на ОСК.

Сравнивая результаты оценок ОСК по обеим методикам, можно отметить их работоспособность для разработки рекомендаций по совершенствованию режимов очистки сточных вод. Однако методика по ОМО требует меньше времени и средств на ее осуществление и не требует участия узкопрофильных специалистов по ОСК.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методика оценки технологической эффективности работы очистных сооружений канализации / НИИ коммунального водоснабжения и очистки воды Академии коммунального хозяйства им. К.Д.Памфилова. М., 1983, 76 с.
2. Гигиенические требования к охране поверхностных вод: Санитарные правила и нормы. СанПиН 2.1.5.980-00/М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2000. 12 с.
3. Оперативно-менеджерская оценка работы коммунальных очистных сооружений сточных вод/Метод. пособие. Смоленск: Госкомприроды, Агентство по контролю окружающей среды штата Миннесота (США), 1998. 18 с.
4. Серпокрылов Н.С., Калинникова Е.Н. Оперативно-менеджерская оценка работы очистных сооружений водоснабжения и канализации Ханты-Мансийского автономного округа на примере г. Белоярского //Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2009»: Мат. V Межд. науч.-практ. конф., посвященной 120-летию ОАО «АУРАТ», г. Кисловодск, 6-10 окт. 2009 г./Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. (НПИ). Новочеркасск: ЮРГТУ(НПИ), 2009, С. 166–170.

УДК 628.35

ЭКОНОМИЧНАЯ И ЭКОЛОГИЧНАЯ БИОТЕХНОЛОГИЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД СООБЩЕСТВАМИ ПРИКРЕПЛЁННЫХ И СВОБОДНОПЛАВАЮЩИХ ГИДРОБИОНТОВ

Н.И. Куликов, Е.Н. Куликова, Д.Н. Куликов, Л.Н. Приходько, Е.В. Шлыков
Сочинский государственный университет, г. Сочи, Россия

Рассмотрены особенности биотехнологии очистки сточных вод с использованием свободноплавающего активного ила и микроорганизмов, прикрепленных на поверхности твердой насадки.

Использование прикреплённых микроорганизмов гарантирует наличие пространственной сукцессии гидробионтов в соответствии с механизмом деструкции и утилизации органических веществ, содержащихся в сточной жидкости. Поскольку органические вещества разного строения, то и набор микроорганизмов разнообразен. Последовательное превращение органических веществ в клеточное вещество гидробионтов обеспечивает прирост этого клеточного вещества,

а удерживание насадкой этого клеточного вещества гарантирует стабильность процесса очистки воды от примесей сточной жидкости [1–2].

Поскольку не все гидробионты, очищающие воду, закрепляются на насадке, хотя и ориентированы на выедание своих предшественников, то неизбежно сочетание прикреплённых и свободноплавающих микроорганизмов в любой системе сообществ гидробионтов. Бактерии могут находиться в составе хлопьев свободноплавающего активного ила, а могут прикрепляться к твёрдой поверхности насадки. В зависимости от свойств поверхности насадки, её заряда, площади поверхности, каталитических возможностей и сорбционных характеристик удерживаемая клеточная масса обеспечивает кинетические характеристики биореактора, его окислительную мощность при наличии соответствующего массообмена и массопереноса питательных веществ к гидробионтам.

На практике высоко зарекомендовала насадка, выполненная из супертонких волокон стекла, базальта и полимерных материалов (полиамида, вискозы и т.д.).

Для предупреждения обламывания или обрыва волокон (супертонких) используются защитные короны из полиэфирных, капроновых волокон диаметром 0,1 – 0,3 мм. При нарезке волокон и скрутке волокон в ерш задействуются нержавеющая проволока диаметром 0,5 мм и подкладка из нитей полимерных материалов, обладающих высокой стойкостью к коррозии в условиях биореакторов [1–3]. Полиамидные супертонкие волокна оказались привлекательными для удерживания бактерий, способных осуществлять процесс «Анаммокс». Очень низкий прирост биомассы этих бактерий не позволяет их удерживать в свободноплавающем активном иле вследствие вывода этих бактерий с избыточным илом.

Таким образом, для обеспечения задействования возможно большего набора микроорганизмов в процессах биологической очистки сточных вод неизбежно сочетание в биореакторах и прикреплённых и свободноплавающих микроорганизмов.

К сожалению, практическое применение ершовой насадки затянулось на 40 лет по разным причинам объективного и субъективного характера.

Тем не менее, процесс реализации новых технических решений в области биологической очистки сточных вод с использованием сообществ прикреплённых на ершовой насадке и свободноплавающих микроорганизмов продолжается и набирает обороты, как в России, так и за её пределами, так как несёт с собой и экономические, и экологические преимущества. Безусловно, совершенствованию использования новых экологических решений способствуют успехи и решения в смежных областях науки и практики, усиление влияния проблем экологии на

экономику жилой застройки, рост понимания необходимости создания искусственных круговоротов воды, воздуха и пищи для жизнеобеспечения нового поколения людей в дополнение к использованию традиционных природных ресурсов в обеспечении жизни людей энергетическими и пищевыми ресурсами, пресной водой, кислородом воздуха для дыхания людей и животных.

В биотехнологии, реализуемой сообществом прикреплённых и свободноплавающих микроорганизмов, необходимо предварительное процеживание сточной воды для отделения механических примесей, крупностью более 3 мм. Далее требуется также усреднение по часам суток расходов и концентраций загрязнений сточных вод для стабильности прироста биомассы микроорганизмов и кислорода воздуха, т.е. окислительной способности биоценоза микроорганизмов биореакторов во времени. На первом этапе биологической очистки бытовых сточных вод, содержащих мочу и фекалии и преимущественно состоящие из белковых веществ, целесообразно в аноксидных условиях осуществлять денитрификацию примесей сточных вод за счёт потребления связанного кислорода нитритов и нитратов, возвращаемых в первую ступень биореакторов очистной станции из второй – нитрификации.

Ступень денитрификации стабилизирует pH иловой смеси и обеспечивает частичный массообмен за счёт выделения пузырьков газа азота в виде микро пузырьков. Пузырьки газообразного азота выделяются и при протекании процесса «Анаммокс» $NH_4^+ + NO_2^- \rightarrow N_2\uparrow + 2H_2O$. Для гарантированного массообмена целесообразно вращение ершовой насадки, закрепляемой в кассетах из коррозионно-стойких материалов. Вращение, как правило, производится посредством мотор-редукторов со скоростью вращения 2 оборота в минуту. Большие угловые скорости нежелательны во избежание отрыва микроорганизмов от насадки. Биореакторы нитрификации могут быть двух типов: в виде биороторов с ершовой насадкой и в виде аэротенков-нитрификаторов со свободноплавающим биоценозом, выращенным в биороторах-культиваторах в период проведения пусконаладочных работ. Поскольку бывшая биоплёнка обладает высокими седиментационными свойствами, низкой величиной илового индекса, то концентрацию активного ила можно удерживать на уровне 3 – 5 кг/м³ по беззольному веществу, а это способствует уменьшению потребных размеров емкостных сооружений.

На рисунке изображена канализационная очистная станция, выполненная в виде комплекса сооружений, базирующихся на использовании биоценозов прикреплённых и свободноплавающих микроорганизмов, рекомендуемая к использованию в интервале производительностей КОС от 20 до 50 тыс. м³/сут.

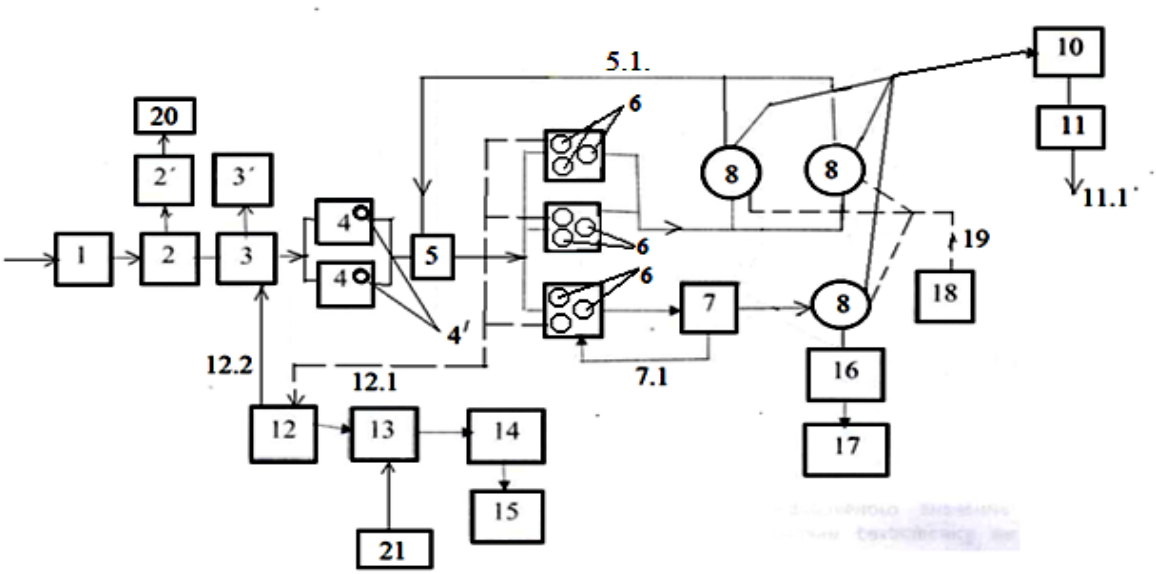


Рисунок. **Технологическая схема очистки сточных вод сообществами прикреплённых и свободноплавающих гидробионтов:**
1 – ГКНС; 2 – решетка. 2′– контейнеры с отбросами с решеток; 3 – песколовки. 3′ –контейнеры с песком; 4 – усреднители расходов; 4′ – насосы-дозаторы среднечасового расхода; 5 – камера для распределения потоков сточной воды; 5.1 – рециркуляционный поток нитрифицированной воды; 6 – фильтры сорберы-денитрификаторы; 7 –биороторная установка – культиватор нитрифицирующего свободноплавающего активного ила [4]; 7.1. – рециркуляционный поток нитрифицированной воды; 7.2. – регенерационная вода; 8 – башенные сооружения с нитрифицирующим активным илом, илоотделителями и биореакторами доочистки сточных вод; 9 – биореактор доочистки; 10 – УФО или озонаторные; 11 – резервуар чистой воды; 11.1 – выпуск воды потребителям или в поверхностный водоём; 12 – илоуплотнители; 12.1 – регенерационная вода; 12.2. – надиловая вода; 13 – аппараты обезвоживания осадков сточных вод; 14 – биокомпостеры [5]; 15 – накопитель удобрений; 16 – емкость избыточного ила; 17 – выростной бассейн для рыб; 18 – воздуходувная; 19 – воздуховоды; 20 – шнек-измельчитель отбросов из контейнеров 2′; 21 – реагентное хозяйство

ЛИТЕРАТУРА

1. Водоотведение: Учебник. Воронов Ю.В., Алексеев Е.В., Саломеев В.П., Пугачев Е.А. М.: ИНФРА. М, 2007, 415 с.
2. Очистка муниципальных сточных вод с повторным использованием воды и обработанных осадков: теория и практика/ Н.И. Куликов, А.Н. Ножевникова, Г.М. Зубов (и др.). М.: Логос, 2015. 400 с.
3. Авторское свидетельство СССР № 1310005. Устройство для очистки воды. Опубл. 15.05.87. Бюл. № 18. Авторы: Н.И. Куликов, Н.П. Омельченко, В.Р. Пудвиль. Патентообладатель: МакИСИ.
4. Заявка на изобретение № 2015152484/12(080894) Сорбционная ершовая насадка. Патентообладатель: Куликов Д.Н.
5. Пат. № 156656. Биокомпостер очистных станций типа «Мегаполис»

Опубл. 10.11.2015, бюл. № 31. Авторы: Куликов Н.И., Куликов Д.Н., Куликова Е.Н., Приходько Л.Н., Патентообладатель: ЗАО «ЭКОС».

УДК 533.583.2:351.777

РАЗРАБОТКА ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОЙ АДСОРБЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПРОИЗВОДСТВА ФЕНОЛФОРМАЛЬДЕГИДНЫХ СМОЛ

Т.А. Краснова, И.В. Тимощук, Л.С. Жунева
Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (Университет), г. Кемерово, Россия

Проведено комплексное исследование адсорбции фенола и формальдегида из водных растворов (равновесие, кинетика, динамика) на углеродных сорбентах марок АГ-3, АБГ, КсАУ, отличающихся составом, способом получения, структурой и химическим состоянием поверхности. Разработана экологически безопасная ресурсосберегающая адсорбционная технология очистки сточных вод от фенола и формальдегида, образующихся при производстве фенолформальдегидных смол новолачного типа.

Охрана окружающей среды в настоящее время является одним из значимых факторов, оказывающих влияние на дальнейшее развитие человечества. В последние годы обострились проблемы, связанные с загрязнением гидросферы. Сброс недостаточно очищенных сточных вод в водоемы приводит к снижению биологической продуктивности экосистем и истощению водных ресурсов. Разработка и внедрение в практику малоотходных и безотходных технологических процессов с локальной очисткой сточных вод, обеспечивающих повторное использование очищенной воды и извлеченных ценных компонентов, является одним из способов решения проблемы охраны окружающей среды и ресурсосбережения.

К приоритетным загрязнителям гидросферы можно отнести соединения второго класса опасности – фенол и формальдегид, обладающие аллергенным, мутагенным, канцерогенным действием [1]. Фенол и формальдегид преимущественно содержатся в сточных водах предприятий целлюлозно-бумажной, кожевенной, химической промышленности, производства лекарственных препаратов. Концентрация фенола и формальдегида в сточных водах может достигать 10 г/дм^3. Например, при производстве фенолформальдегидных смол новолачного типа, сточные воды, образующиеся в процессе производства, содержат 2 – 5 г/дм^3 фенола, 1,5 – 4 г/дм^3 формальдегида. Новолачные смолы находят широкое применение при изготовлении пресс-порошков, спиртовых лаков, наждачных кругов, в качестве цементирующего средства, пенопластов.

Используемые в практике методы извлечения формальдегида и фенола из сточной воды, обладают рядом недостатков: требуют значительных затрат химических реагентов, тепла и электроэнергии, использование дорогостоящего оборудования, высоких температур, часто сопровождаются образованием вторичных загрязнений. Для очистки сточных вод от органических соединений часто эффективным методом бывает адсорбция на активных углях. Для создания эффективной технологии адсорбционной очистки сточных вод от органических соединений углеродными сорбентами необходимо провести комплексное исследование, включающее равновесие, кинетику и динамику процесса адсорбции.

Объектами исследования являлись промышленные активные угли марок АГ-3 (ОАО «Сорбент», г. Пермь), КсАУ (кокосовый уголь, «Eurocarb», Англия), АБГ (буроугольный полукокс, ЗАО «Карбоника-Ф», г. Красноярск), отличающиеся сырьем, способом получения, химическим состоянием поверхности, техническими характеристиками; водные растворы формальдегида и фенола с переменным содержанием органических веществ (0,0001 – 70 ммоль/дм^3) и их смесь.

Исследование равновесия адсорбции фенола и формальдегида на АУ проводилось из растворов индивидуальных компонентов и из смеси. Одним из основных критериев оценки адсорбционных свойств исследуемых сорбентов являются изотермы адсорбции. Для аналитического описания изотерм адсорбции использованы уравнения Фрейндлиха и Ленгмюра (теория мономолекулярной адсорбции), уравнение Дубинина-Радушкевича (теория объемного заполнения микропор) и уравнение БЭТ (теория полимолекулярной адсорбции Брунауэра, Эммета и Теллера) [2]. Изотермы адсорбции, рассчитанные по уравнениям Дубинина–Радушкевича, Фрейндлиха и БЭТ (за исключением уравнения Ленгмюра), хорошо согласуются с экспериментально полученными изотермами адсорбции на АУ, что свидетельствует о возможности применения данных уравнений для расчета параметров адсорбции в статических условиях фенола и формальдегида из водных растворов их смеси. Рассчитанные значения параметров адсорбции органических веществ из водных растворов смеси для всех углей приведены в таблицах 1, 2.

Величины предельного адсорбционного объема, рассчитанные для фенола и формальдегида позволяют предположить, что адсорбция органических веществ при совместном присутствии подчиняется объемному механизму заполнения микропор для всех исследуемых АУ. Значения характеристической энергии свидетельствуют, что сорбция фенола и формальдегида при совместном присутствии идет в основном в микро- и мезопорах адсорбентов.

Таблица 1. **Параметры адсорбции фенола из смеси АУ в статических условияхиз водных растворов**

Тип уравнения	Параметры адсорбции	Марка сорбента		
		КсАУ	АГ-3	АБГ
Фрейндлиха	β	20,28	7,99	5,00
	1/n	0,637	0,463	0,328
Дубинина-Радушкевича	a_{max}, ммоль/г	4,93	2,04	0,98
	E, кДж/моль	14,93	15,90	15,84
	W, $дм^3$/кг	1,064	0,179	0,086
БЭТ	a_{max}, ммоль/г	2,00	1,43	0,045
	Q, кДж/моль	11,28	13,44	16,96

Таблица 2. **Параметры адсорбции формальдегида из смеси АУ в статических условиях из водных растворов**

Тип уравнения	Параметры адсорбции	Марка сорбента		
		КсАУ	АГ-3	АБГ
Фрейндлиха	β	2,58	2,87	1,37
	1/n	1,0308	0,9456	0,8425
Дубинина-Радушкевича	a_{max}, ммоль/г	33,45	21,83	9,00
	E, кДж/моль	13,57	13,70	14,66
	W, $дм^3$/кг	1,231	0,59	0,33
БЭТ	a_{max}, ммоль/г	33,33	23,80	17,54
	Q, кДж/моль	22,10	22,24	16,70

Значение теплот адсорбции при малом заполнении пор углеродными сорбентами для фенола, предполагают адсорбцию, обусловленную как Ван-дер-Ваальсовыми силами (дисперсионное взаимодействие), так и за счет образования водородных связей (специфическое взаимодействие). Значения теплот адсорбции для формальдегида дают основание считать, что при его адсорбции превалирует специфическое взаимодействие за счет образования водородных связей с поверхностными полярными функциональными группами, то есть поглощение фенола и формальдегида активными углями является суммарным процессом неспецифической адсорбции (в объеме доступных пор) и специфической (на активных центрах).

Для уточнения механизма адсорбции были проведены ИК-спектроскопические исследования, которые показали, что при совместной адсорбции формальдегида и фенола из водных растворов вместо адсорбции димерных структур на поверхности активного угля

наблюдается увеличение алифатических (-CH) и –C-O- групп [3]. Следовательно, между фенолом и формальдегидом происходит взаимодействие и в водном растворе, и на поверхности активного угля, где молекулы формальдегида способны выступать в качестве вторичных адсорбционных центров для молекул фенола. При совместной адсорбции между этими соединениями, очевидно, проявляется эффект образования водородной связи, которая является достаточно непрочной, что позволяет предположить возможность эффективной регенерации активного угля после адсорбционной очистки воды от смеси фенола и формальдегида.

По данным кинетических исследований установлено, что процесс адсорбции контролируется внешним массопереносом для всех исследуемых сорбентов. Рассчитаны коэффициенты внешнего массопереноса, необходимые для инженерных расчетов.

На основе фундаментального уравнения внешнедиффузионной динамики адсорбции с использованием кинетических данных и адсорбционных констант уравнения Дубинина-Радушкевича оптимизированы параметры фильтра и режимы непрерывного процесса адсорбционной очистки. Установлено хорошее согласование экспериментальных и расчетных выходных кривых адсорбции смеси фенола и формальдегида на активных углях. По результатам моделирования определены основные характеристики динамики адсорбции: длина рабочего слоя, длина неиспользованного слоя, коэффициент защитного действия, продолжительность работы колонны и количество очищаемой воды в зависимости от скорости пропускания, высоты неподвижного слоя и размеров колонны. [4]. Время работы фильтрующего слоя до проскока уменьшается в ряду: КсАУ > АГ-3 > АБГ. Исследования адсорбции формальдегида в присутствии фенола в динамических условиях показали наибольшую эффективность АУ марки КсАУ, однако учитывая его высокую стоимость, для очистки сточных вод, содержащих смесь фенола и формальдегида, можно рекомендовать сорбент марки АГ-3.

В процессе работы эффективность адсорбционных фильтров по извлечению загрязняющих веществ со временем снижается, поэтому для восстановления адсорбционной емкости сорбентов необходима периодическая их регенерация. Нами предложена технология регенерации АУ после адсорбции исследуемой смеси фенол-формальдегид – применение промывки углеродного сорбента водой подогретой до 50 °С для извлечения формальдегида, с последующим прогревом до 200 °С в течение 2 ч, позволяющим извлечь фенол и восстановить сорбционную емкость АУ на 95 – 98 %.

На основании результатов системного подхода к изучению адсорбции из водных сред сорбентами различной природы, массопереноса,

оптимизации параметров фильтров и режимов сорбционной очистки разработана технология адсорбционной очистки сточных вод от органических компонентов, позволяющая повысить экологическую безопасность и ресурсосбережение производства фенолформальдегидных смол за счет повторного использования очищенной воды и утилизации извлеченных органических веществ.

Адсорбционную очистку сточных вод нами предлагается добавить в существующую технологическую схему производства новолачных смол периодическим методом. Технология может быть реализована на базе отечественного оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Грушко Я.М. Вредные органические соединения в промышленных сточных водах: Справочник / Я.М. Грушко. Л.: Химия, 1982. 216 с.
2. Когановский А.М. Адсорбция органических веществ из воды / Н.А. Клименко, Т.М. Левченко, И.Г. Рода. Л.: Химия, 1990. 256 с.
3. Тимощук И.В. Изучение состояния поверхности активного угля после адсорбции органических соединений / И.В. Тимощук, Н.С. Голубева, Т.А. Краснова, Т.А. Туманова // Экология и промышленность России. 2010. № 10. С. 58–59.
4. Когановский А.М. Очистка и использование сточных вод в промышленном водоснабжении / А.М. Когановский, Н.А. Клименко, Т.М. Левченко, Р.М. Марутовский, И.Г. Рода. М.: Химия, 1983. 288 с.

УДК 628.196

ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ПРОЦЕССОВ МИНЕРАЛИЗАЦИИ И БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБРАСТАНИЙ ТРУБОПРОВОДОВ СИСТЕМ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ И АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

М.Г. Новиков
АО «Ленводоканалпроект», г. Санкт-Петербург, Россия
О.А. Продоус
ООО «ОПСВ-ИНЖИНИРИНГ», г. Санкт-Петербург, Россия
В.А. Чесноков
НПО «ЭкоМир», г. Москва, Россия

Показана возможность использования реагента нового поколения на основе полимера полигексаметиленгуанидина гидрохлорида для борьбы с биообрастанием технологического оборудования.

Для охлаждения теплообменных аппаратов в системах оборотного водоснабжения тепловых (ТЭС) и атомных (АЭС) электростанций

применяются специальные сооружения – градирни, на которые подается большой объем оборотной воды для охлаждения реакторов.

Используемая для охлаждения теплообменных аппаратов природная вода, зараженная спорами, содержащимися в воздухе, а также поступлением подпиточной природной воды, под воздействием технологических факторов изменяет свой физико-химический и биологический состав, что приводит к:

- образованию отложений гидрокарбоната кальция и росту толщины отложений на внутренней поверхности трубопроводов;
- биологическому обрастанию (биоценозу), способствующему уменьшению коэффициента теплопередачи при росте гидравлического сопротивления трубопроводов и увеличению энергопотребления системы охлаждения, в зависимости от толщины слоя отложений в резервуаре градирни [1].

Установлено, что слой в 3 мм поглощает 25 % тепловой энергии, а если на стенках толщина отложений 13 мм, то теряется уже 70 % тепла [2].

В государственном научном центре прикладной микробиологии и биотехнологии (ФБУН ГНЦ ПМБ, пос. Оболенск, Московской области) из воды системы контура охлаждения оборудования было выделено и идентифицировано 45 микроорганизмов-биодеструкторов, образующих условия для развития биоценозов, усиливающих коррозионные процессы в трубопроводах и ухудшающих состав оборотной воды.

В таблице приведен перечень бактерий и микроорганизмов, выделенных из воды теплоносителя в контуре охлаждения.

Таблица. **Бактерии и микроорганизмы, выделенные из воды теплоносителя**

Бактерии	Число штаммов	Микромицеты и дрожжи	Число штаммов
Pseudomonasaeruginosa	4	*Penicillium chrysogenum*	1
Pseudomonaslemoignei	1	*Penicillium sp.*	6
Pseudomonas ruhlandii	1	*Aspergillus sp.*	2
Proteus mirabilis	1	*Cladosporium sp.*	1
Proteus sp	7	*Candida*	1
Proteus inconstans	2	*Aureobasidium sp.*	1
Enterobacter cloacae	2	*Saccharomycetales*	1
Paracoccusdenitrificans	1		
Bacillus megaterium	2		
Bacillus sp	2		
Alcaligenes faecalis	2		
Azomonas insignis	1		
Staphylococcus aureus	5		
Bacillus polimyxa	1		

Многочисленность и разнообразие микрофлоры систем охлаждения требует применения для ее защиты биоцидных препаратов широкого спектра действия, не повреждающих трубопроводы и конструкционные материалы. Биоциды должны быть эффективными при низких температурах и в течение длительного времени. Используемые в настоящее время ингибиторы коррозии металлов чаще всего имеют ряд недостатков: многие из них эффективны в узком диапазоне концентраций, труднодоступны, являются токсичными для высших животных и человека либо способствуют биообрастанию в системах оборотного водоснабжения.

Для борьбы с процессом биообрастания трубопроводов и оборудования обычно применяют хлор, хлорактивные препараты и сернокислую медь. Однако, эти препараты, как правило, высокотоксичны, характеризуются коррозионной активностью, малым сроком последействия в воде и другими недостатками.

Высокой биоцидной активностью в отношении таких компонентов биоценоза, как хлорелла, сине-зеленые водоросли, грибы и спорообразующие плесени рода ***AspergillusCladosporiumMucor,*** образующих скопления в оборотных системах и охлаждающей аппаратуре, обладают реагенты нового поколения на основе полимера полигексаметиленгуанидин гидрохлорида ПГМГ-ГХ [3]. Это обстоятельство позволило рекомендовать эти препараты для борьбы с биообрастанием технологического оборудования.

Для предотвращения биообрастаний в оборотных системах, свободных от механических примесей и обрастателей, систему заполняют водой и вводят реагенты на основе ПГМГ-ГХ в концентрации 0,2 – 1,0 мг/л (по ПГМГ-ГХ). При такой обработке общее содержание микробов в оборотной воде снижается с $8 \cdot 10^9$ до 10^2 КОЕ/мл. Установлено наблюдением, что биообрастание не наблюдается в течение 36 суток. В контрольных опытах видимое развитие биообрастания в воде после обработки ее хлором начинается на 8 – 9-е сутки.

Для уничтожения уже существующего в оборотной системе биообрастания необходима значительно большая доза препарата, чем для предотвращения развития водорослей – 1,0 – 5,0 мг/л. При таких концентрациях гибель водорослей в системе наблюдается на 7 сутки. Уничтожение водорослей может быть достигнуто и при более низких концентрациях ПГМГ-ГХ, но за более продолжительное время контакта.

Помимо биоцидных свойств ПГМГ-ГХ обладает свойствами ингибитора коррозии. Использование ПГМГ-ГХ в процессе водоподготовки оборотной воды позволяет обеспечить пассивацию металлических поверхностей труб за счет образования тонких поверхностных слоев молекул полимера ПГМГ-ГХ.

Соли ПГМГ-ГХ в качестве биоцидов и ингибиторов коррозии более

эффективны в присутствии ионов Cl^- и Ca^{2+}. С использованием ПГМГ-ГХ (0,1 – 1,5 %) разработан состав для удаления накипи с поверхности труб, теплообменников и технологических аппаратов. Состав содержит пиросульфат натрия, соляную кислоту, неионогенное ПАВ, уротропин и другие компоненты. Состав повышает скорость растворения накипи и обеспечивает защиту от коррозии.

Уникальность ПГМГ-ГХ, являющегося основным действующим веществом реагентов на его основе, состоит в том, что для обеззараживания воды требуются крайне малые количества, губительные для микроорганизмов, но безвредные для человека. Бактерицидные свойства этого соединения обусловлены разрушительным электрохимическим воздействием на оболочку клетки, которая играет роль молекулярного фильтра, защищающего цитоплазматическую мембрану от разрушающих токсинов. Чтобы воздействовать на клетку, антибактериальный препарат должен проникнуть через этот слой. Сильное электростатическое взаимодействие положительно заряженного ПГМГ-ГХ и отрицательно заряженной клеточной стенки бактерии вызывает отток компонентов, обеспечивающих целостность бактериальной оболочки. Молекулы ПГМГ-ГХ связываются с находящимися снаружи молекулами, тем самым образовывая бреши, через которые остаточные количества ПГМГ-ГХ проникают к цитоплазматической мембране. Далее молекулы ПГМГ-ГХ нарушают целостность цитоплазматической мембраны. На первом этапе наблюдается утечка молекул с низким молекулярным весом, в первую очередь ионов калия ($К^+$). Уже при бактериостатических количествах ПГМГ-ГХ из клетки уходит 40 % содержащихся в клетках $К^+$. С увеличением концентрации ПГМГ-ГХ содержимое клетки с большим молекулярным весом (например, нуклеотиды) поступает в надосадочную жидкость вокруг нее. Бактериальные клетки со значительной (более 15 % выше нормального уровня) утечкой нуклеотидов оказываются неисправимо поврежденными.

При этом ПГМГ-ГХ действует на микробные клетки, не повреждая эукариотические (клетки живых организмов, включая человека). Одним из факторов, определяющим избирательность воздействия средства на микроорганизмы, является липидный состав плазмалеммы бактерий. В ее составе находится большое количество кислых фосфолипидов, которые практически отсутствуют в плазмалемме эукариотических клеток. Эти фосфолипиды не только маркируют поверхность мембраны бактерий, но и притягивают к ней положительно заряженные молекулы ПГМГ-ГХ.

Свойства реагентов на основе ПГМГ:

1. Обладают антимикробной активностью в отношении санитарно-показательных и условно-патогенных микроорганизмов (общие и термотолерантные колиформные бактерии, Escherichia coli, Staphylococcus

aureus, Clostridium perfringens, Pseudomonas aeruginosa, Salmonella enteritidis, Salmonella infantis, legionella pneumophila.), вирусов (коли-фаги), альгицидной активностью.

2. Устраняют биообростание в системе. Обладают свойством ингибитора коррозии. Остаточные содержания полимера в воде образуют тончайшую пленку на поверхностях труб, тем самым защищая их от коррозии и биообрастания, снижая риск вторичного микробиологического заражения воды.

3. Обладают длительным (более 20 сут.) пролонгирующим эффектом.

4. Безопасны для животного и растительного мира. По параметрам острой токсичности по ГОСТ 12.1.007-76 относится к 4 классу малоопасных веществ – при введении в желудок, к 4 классу малоопасных веществ – при нанесении на кожу и в виде паров при ингаляционном воздействии и парентеральном введении. Не оказывает местного раздражающего действия в виде концентрата при однократном воздействии на кожу, не обладает кожно-резорбтивным и сенсибилизирующим действием.

5. Безвредны по отношению к любым контактирующим материалам.

6. Безопасны при хранении, транспортировке и использовании.

7. Обладают свойствами ингибитора коррозии.

8. Срок годности средства в невскрытой упаковке производителя составляет 3 года. Срок годности рабочего раствора после приготовления при условии его хранения в соответствии с требованиями – 3 года.

ПГМГ является биоразлагаемым веществом.

В водоемах под действием ферментов «активного ила» происходит его разрушение с образованием аммиака, перекиси водорода и алифатических альдегидов, которые являются источниками углерода для биоценоза водоемов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Очистка воды градирен от взвешенных веществ. / Сайт: http://filter.vladbmt.ru/index.php/2010-01-25-08-36-39/59-bagapplication02.html.
2. Толщина отложений солей жесткости. / Сайт: http://tekpromgrupp.ru/
3. Воинцева И.И., Гембицкий П.А., Полигуанидины – дезинфекционные средства и полифункциональные добавки в композиционные материалы. Издательство «ЛКМ-пресс», М., 2009. С. 240–242.

УДК 628.35

МОДИФИКАЦИЯ РИСОВОЙ СОЛОМЫ С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ СОРБЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДНЫХ СРЕД ОТ ИОНОВ АММОНИЯ

Н.С. Серпокрылов, А. Халил
Донской государственный технический университет,
г. Ростов-на-Дону, Россия
В.Ю. Борисова, Н.В. Кондакова, Р.А. Бурханова
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия

Для придания сорбционных свойств исследована активация рисовой соломы из Египта с целью извлечения ионов NH_4^+, NO_2^-, NO_3^- из природной воды. Проведен сравнительный анализ разного вида термической обработки материала.

По данным Всемирной Организации Здравоохранения более половины всех болезней на планете происходит от загрязнения воды, связанным с негативным антропогенным и техногенным воздействием на окружающую среду.

Есть отдельные районы на Земле с водой, которая отличается высоким содержанием азота в виде аммонийных солей, нитритов и нитратов [1].

Присутствующий аммонийный азот является одной из основных причин эвтрофирования водоемов, оказывает токсичное воздействие на живые организмы водоемов, способствует увеличению расходов обеззараживающих реагентов или времени обеззараживания на водоочистных установках. Из этого следует, что очистка природных вод от примесей группы азота – актуальная задача, требующая сбалансированных экологических и экономических решений.

Одним из наиболее перспективных и экономически целесообразных методов удаления соединений азота является ионный обмен. Для этого метода характерны высокая эффективность, надежность в условиях колебания расходов воды, возможность осуществлять процесс в широком диапазоне концентраций, независимость от климатических факторов, возможность автоматически регулировать процесс [2].

В последние годы для удаления ионов тяжелых металлов, ионов солей, растворенных в воде, стали успешно применять сорбционные материалы на основе растительных отходов: скорлупы кокосового и кедрового орехов, шелуха риса, гречихи, древесной щепы, соломы и др.. Существуют отдельные регионы, специализирующиеся на выращивании и производстве того или иного сырья, результатом которого является

образование большого количества отходов для вторичного использования, решая тем самым, проблему ресурсосбережения.

Нетрадиционным сырьем, которое еще не нашло широкого применения в промышленности, могут быть косточки различных плодовых деревьев (абрикоса, персика, сливы, вишни, винограда) и скорлупы различных орехов, которые в настоящее время являются отходами производства. В Европе ряд производителей получает прочный активированный уголь из скорлупы кокосового и лесного орехов и оливковых косточек, которые представляют собой отходы производства оливкового масла в странах Средиземноморья [3].

При соответствующей обработке данного вида сырья можно получать сорбенты, обладающие высокой эффективностью при очистке воды; имеющие хорошую плавучесть, это позволит их использовать, как ценный материал для удаления нефтепродуктов в виде пленки с поверхности воды. Сорбенты отличаются также своей экологичностью, потому что сырьем для их получения является часть экосистемы и природы в целом.

Многотоннажные отходы производства риса также могут самостоятельно служить дешевыми сорбентами для очистки разных жидких сред или использоваться для получения из них углерод-, кремний- и фосфорсодержащих материалов с высокими сорбционными характеристиками [4].

Для увеличения поглотительной способности сорбентов применяются различные способы обработки исходного растительного материала – механические, физические, химические и физико-химические методы, включая термическую обработку сырья.

В данной работе объектами исследования являлись:

– измельченная рисовая солома разной фракции – природный полимер растительного происхождения, являющийся многотоннажным отходом сельского хозяйства с континента Африка;

– модельный раствор (NH_4Cl: 0,0001 М).

Исследуемые образцы сорбционного материала получены из рисовой соломы, прошедшей карбонизационную обработку (рис. 1), проведенную разными способами в интервале температур 300 – 800 °С: обработка в печи, через линзу под прямыми солнечными лучами. Время карбонизации составляет 15 минут.

Далее с использованием полученных карбонизатов были приготовлены рабочие растворы: в 200 мл раствора NH_4Cl (0,0001 М) в дистиллированной воде внесены навески измельченной соломы в 0,04 г; 0,2 г; 0,4 г. С помощью прибора «Экотест-2000» были выполнены замеры ионов NH_4^+, NO_2^-, NO_3^- (табл. 1, 2) через 30 мин. Исходная концентрация NH_4^+ составляла 2,18 мг/л.



Рисунок 1. **Образцы рисовой соломы**

Таблица 1. **Результаты измерений после карбонизации рисовой соломы в печи**

№ п/п	Наименование	pH	NH_4^+, мг/л	NO_2^-, мг/л	NO_3^-, мг/л	Электропроводность, TDS, ppM
1.	Образец 1	8,6	1,99	0,0349	0,0129	40
2.	Образец 2	9,29	3,38	0,058	0,03	159
3.	Образец 3	9,91	1,95	0,106	0,0889	269

Примечание: Образец 1 – навеска соломы 0,02 г, образец 2 – навеска соломы 0,2 г; образец 3 – навеска соломы 0,4 г.

Таблица 2. **Результаты измерений после карбонизации рисовой соломы солнечным светом**

№ п/п	Наименование	pH	NH_4^+, мг/л	NO_2^-, мг/л	NO_3^-, мг/л	Электропроводность, TDS, ppM
1.	Образец 1	6,04	2,5	0,0516	0,003	33
2.	Образец 2	6,02	4	0,0998	0,0283	98
3.	Образец 3	6,24	5,8	0,178	0,0339	196

Примечание: Образец 1 – навеска соломы 0,02 г, образец 2 – навеска соломы 0,2 г; образец 3 – навеска соломы 0,4 г.

Из анализа полученных данных следует, что происходит изменение содержания измеряемых ионов, что свидетельствует о наличии в составе рисовой соломы углеродистого скелета (рис. 2 – 4). При этом имеет место, как сорбция, так и окисление ионов аммония до нитратов и нитритов. По балансу масс это составляет: сорбция – 81 %, окисление – 77 %.

Значения удельной электропроводности – численного выражения способности водного раствора проводить электрический ток, свидетельствуют об увеличении концентрации ионов NO_3^-, так как модельные растворы готовились на дистилляте. Природные воды, как правило, представляют растворы смесей разных электролитов.

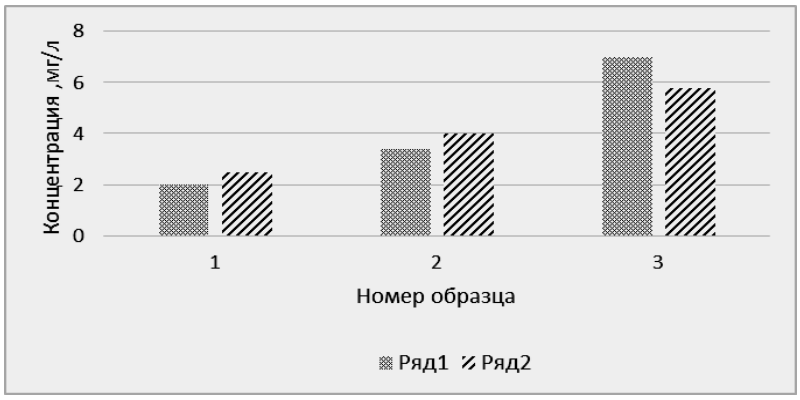


Рисунок 2. **Зависимость содержания ионов NH_4^+ от типа обработки рисовой соломы:** ряд 1 – концентрация ионов NH_4^+ после карбонизации в печи, ряд 2 – концентрация ионов NH_4^+ после карбонизации солнечным светом

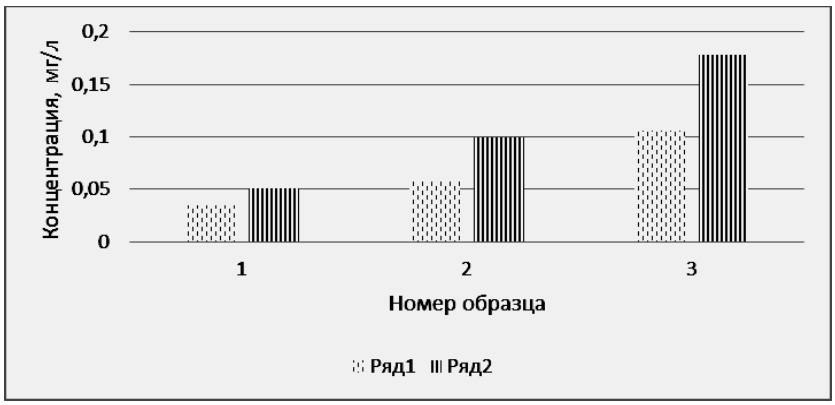


Рисунок 3. **Зависимость содержания ионов NO_2^- от типа обработки рисовой соломы: р**яд 1 – концентрация ионов NO_2^- после карбонизации в печи, ряд 2 – концентрация ионов NO_2^- после карбонизации солнечным светом

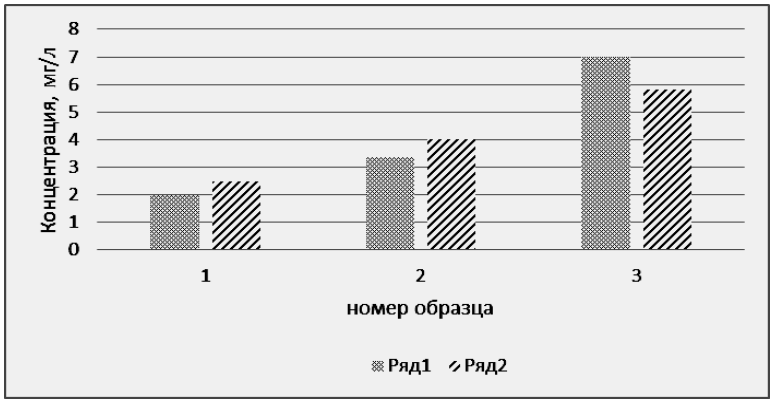


Рисунок 4. **Зависимость содержания ионов NO_3^- от типа обработки рисовой соломы:** ряд 1 – концентрация ионов NO_3^- после карбонизации в печи, ряд 2 – концентрация ионов NO_3^- после карбонизации солнечным светом

Таким образом, отмечено повышенное содержание нитрат ионов NO_3^- в образце № 3. В целом видно, что образцы рисовой соломы, подвергнутые термообработке, обладают сорбционной емкостью. В дальнейшем исследования будут посвящены анализу наиболее эффективных способов активации сорбционных свойств рисовой соломы для извлечения ионов NH_4^+.

ЛИТЕРАТУРА

1. Перспектива применения новых сорбционных материалов для улучшения экологического состояния водных ресурсов / Э.Т. Ямансарова, Н.В. Громыко, Д.Н. Хасанова, М.И. Абдуллин // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Экономика и экологический менеджмент». 2015. № 1.
2. Очистка городских сточных вод от аммонийного азота клиноптилолитовой породой Закарпатья / А.В. Ершов, Л.В. Яременко, Л.В. Лебедева, В.В. Алекберова. // Химия и технология воды. 1984.Т. 6. С. 71–75.
3. Долбня И.В. Сорбционный материал на основе абрикосовой косточки для очистки сточных вод от нефтепродуктов // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2015. № 4 (88).
4. Сорбенты на основе рисовой шелухи для удаления ионов Fe(III), Cu(II), Cd(II), Pb(II) из растворов / И.В. Шевелева, А.Н. Холомейдик, А.В. Войт, Л.А. Земнухова // Химия растительного сырья. 2009. № 4. С. 171–176.
5. Серпокрылов Н.С., Щербаков С.А. Доочистка шахтных вод на фильтрах с песчаной загрузкой// Инж. Вестник Дона, электронный журнал. 2011. № 2. С. 5.

УДК 628.16

ИССЛЕДОВАНИЕ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ ШЛАМОВ И РАСЧЕТ ЕГО КЛАССА ОПАСНОСТИ

К.О. Оковитая, О.А. Суржко
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И.Платова, г. Новочеркасск, Россия
А.В. Барышников
Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Россия

Определен состав шлама после очистки шахтных вод. Рассчитан класс опасности шлама и обоснованы рекомендации по его экологически безопасному складированию.

При очистке шахтных вод, расположенных в районе г. Шахты образуются железосодержащие шламы, которые обезвоживают на фильтр-прессах. Неблагоприятная экономическая ситуация, сложившаяся при эксплуатации очистных сооружений шахтных вод не позволяет в полной мере использовать механическое обезвоживание шламов. Вынужденной временной мерой является подсушивание и накопление шлама на шламовых площадках, но предварительно необходимо определить его класс опасности.

Целью данной работы является экспериментальное исследование состава железосодержащего шлама и расчет класса его экологической опасности.

Осадок с расходом около 8,36 т/сут., влажностью около 85 %, полученный в процессе обезжелезивания шахтных вод и осаждения в отстойнике, откачивается сразу на площадку подсушивания, которую в данном случае можно рассматривать в качестве техногенного месторождения железа.

Для достижения требуемой ритмичности в вывозе временно накапливаемых отходов и ликвидации, тем самым, потенциального источника техногенного воздействия на окружающую среду, необходимо определить лимит накопления отходов в шламонакопителе с учетом площади участка складирования и класса опасности отхода. Загрязняющими компонентами шлама являются тяжелые металлы (табл. 1).

Таблица 1. **Состав шлама**

№ п/п	Наименование показателей, мг/кг сухого шлама	Валовое содержание (в пересчёте на сухое вещество)	Метод определения
1.	Железо	95000,0	Эмисс-спектральный «Методические указания по контролю загрязнения почв» Гидромедиздат, М. 1987 г РД 52.24.80-89.
2.	Алюминий	2000,0	
3.	Медь	20,0	
4.	Свинец	н/о	
5.	Никель	25,0	
6.	Хром	104	
7.	Цинк	н/о	
8.	Кадмий	н/о	
9.	Марганец	400,0	
10.	Нефтепродукты	2300,0	

Наименование вида отхода по ФККО (федеральный классификатор кода отходов): отходы (осадки) при механической и биологической очистке сточных вод. Код вида отхода – железосодержащего шлама: 943 000 00 00 00.

Расчёт класса опасности отхода выполнен в соответствии с «Критериями отнесения опасных отходов к классу опасности для

окружающей природной среды», утверждёнными приказом МПР России от 15 июня 2007 г. № 511.

Перечень веществ, составляющих отход, и их количественное содержание установлены по результатам количественного химического анализа в аккредитованной лаборатории (протокол № 270 от 28.04.06 аналитической испытательной лаборатории НИИ Биологии РГУ, аттестат аккредитации № РОСС 0001.511127 от 30.10.2000 г.)

Показатель К степени опасности шлама (отхода) для окружающей природной среды рассчитываем по формуле: $\mathbf{K = K_1 + K_2 + ... + K_n}$, где K_1, K_2, K_n – показатели степени опасности отдельных компонентов опасного отхода для ОПС.

Показатели K_i рассчитываем по формуле: $\mathbf{K_i = C_i/W_i}$, где C_i – концентрация i-го компонента в опасном отходе (мг/кг отхода), W_i –коэффициент степени опасности i-ro компонента опасного отхода – условный показатель, численно равный количеству компонента отхода, ниже значения которого он не оказывает негативных воздействий на ОПС. Размерность коэффициента степени опасности шлама для ОПС условно принимается как мг/кг.

Для определения коэффициента степени опасности компонента шлама для ОПС по каждому компоненту устанавливаем степень их опасности для различных природных сред.

По установленным степеням опасности компонентов отхода для ОПС в различных природных средах рассчитываем относительный параметр опасности компонента шлама для ОПС (X_i) делением суммы баллов по всем параметрам на число этих параметров. Значение коэффициента W_i рассчитываем по одной из следующих формул в зависимости от значений показателей информационного обеспечения Z_i:

Lg Wi = 4 – 4/ Zi	для 1 < Zi <2
Lg Wi = Zi	для 2 < Zi < 4
Lg Wi = 2 + 4/(6 – Zi)	для 4 < Zi < 5

где Zi = 4 Xi/3 – 1/3.

В перечень показателей, используемых для расчёта Wi, включается показатель информационного обеспечения для учета недостатка информации по первичным показателям степени опасности компонентов шлама для ОПС.

Показатель информационного обеспечения рассчитываем путём деления числа установленных показателей n на N (N = 12 – количество наиболее значимых первичных показателей опасности компонентов отхода для ОПС).

Расчетные параметры компонента шлама (железо) приведены в таблице 2.

Таблица 2. **Основные расчетные параметры компонентов шлама**

Компонент	Содержание оксидов, %	Ci	Xi	IgWi	Wi	K
Железо	13,58	95 000	3,1428	3,8571	7 196	13,2
Алюминий	0,378	2 000	2,5714	3,095	1 245,2	1,61
Породообразующие компоненты	77,982	779 823	4,0	6,0	1 00 0000	0,78
Марганец	0,052	400	2,30	2,37	537	0,74
Свинец	–	–	1,46	1,61	33,1	
Хром	0,0002	1,4	1,75	2,00	100	0,01
Никель	0,0032	25	1,83	2,11	128,8	0,19
Медь	0,0025	20	2,17	2,56	358,9	0,06
Цинк	–	–	2,25	2,67	463,4	
Кислород	–	42 730,6	4,0	6,0	1 000 000	0,04
Нефтепродукты	0,23	2 300	3,1111	3,8151	6 533	0,35

Первичные показатели опасности железа приведены в таблице 3.

Таблица 3. **Первичные показатели опасности железа в шламе**

№ п/п	Наименование первичного показателя опасности железа	Значение показателя опасности по данному компоненту шлама	Балл
1.	$ПДК_{В}$ (ОДУ, ОБУВ), мг/л	0,3	3
2.	Класс опасности в воде хозяйственно-питьевого использования	3	3
3.	$ПДК_{р.х.}$ (ОБУВ), мг/л	0,1	4
4.	Класс опасности в воде рыбохозяйственного использования	4	4
5.	ПДКс.с. (ПДКм.р., ОБУВ), мг/м^3	0,04	3
6.	Класс опасности в атмосферном воздухе	3	3
7.	Относительный параметр опасности $X_i = Σ$баллов/n	22/7=3,1428	–
8.	Zi = 4 Xi/3 – l/3	4·3,1428/3 – 1/3 = 3,8571	–
9.	Lg Wi = Zi	3,8571	–
10.	Wi	7196	–

Подобный расчет выполнен так же для алюминия, основные результаты: класс опасности в атмосферном воздухе – 2; информационное

обеспечение – 0,5; относительный параметр опасности – 2,5714; Wi = 1245.

Анализ результатов исследования шламов показывает, что основными тяжелыми металлами, загрязняющими ОПС, является железо и алюминий. Класс опасности этих металлов для водной среды равен 4, а в атмосферном воздухе класс опасности железа – 3, алюминия – 2. В связи с этим определение класса опасности компонентов шлама расчетным методом является правомерным, т.к. только для 5 класса необходимо проведение экспериментальных исследований по их воздействию на биологические объекты.

ВЫВОДЫ

Подсушивание и складирование шламов, образующихся после очистки шахтных вод на площадках, является допустимым, т.к. класс опасности железа и алюминия равен 4. При этом необходимо предусмотреть мероприятия для устранения пыления и загрязнения атмосферного воздуха тяжелыми металлами, т.к. класс опасности железа и алюминия составляет соответственно 3 и 2.

ЛИТЕРАТУРА

1. Попова С.С. Экологические аспекты переработки и утилизации гальваношламов / С.С. Попова, Л.Н. Ольшанская, В.А. Настин // Экологические проблемы промышленных городов / Под. ред. Т.И. Губиной. Саратов: СГТУ, 2003. С. 148–150.
2. Ольшанская Л.Н. Утилизация гальванических шламов предприятий Саратовского региона в товары народного потребления / Е.Н. Лазарева, В.В. Егоров // Вестник Казанского технологического университета, 2012. № 3. С. 41–47.
3. Суржко О.А. Оценка технологии утилизации гальваношламов по критериям наилучших доступных технологий / О.А. Суржко, К.О. Оковитая, С.В. Золотарёв // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук, 2015. № 7. С. 180–181.

УДК 624.144

РАБОТЫ ООО НПП «ВНИКО» НА ОБЪЕКТАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ, ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ

В.И. Надтока, И.И. Надтока, Г.В. Тюрнин
ООО НПП «ВНИКО» г. Новочеркасск, Россия

Одним из направлений деятельности многопрофильного предприятия ООО НПП «ВНИКО» является выполнение договорных работ на объектах теплоснабжения, водоснабжения и водоотведения в различных регионах Юга России.

В 2012 – 2014 гг. выполнен энергетический аудит 5-ти электростанций: Махачкалинская ТЭЦ, Каспийская ТЭЦ, Кисловодская ТЭЦ, Лермонтовская ТЭЦ, Шахтинская ГТЭС. Для этих электростанций в последующем были разработаны энергетические характеристики. Выполнено энергетическое обследование Азовского и Донецкого (Ростовская область) водоканалов.

В 2014 – 2016 гг. разработаны схемы теплоснабжения городов Новочеркасска, Новошахтинска и районного поселка Родионово-Несветайск на общую сумму более 12 млн. рублей с выполнением электронных моделей, создаваемых с использованием ГИС «Zulu», пакет «Zulu-Thermo». Выполнены теплогидравлические расчеты и оптимизация режимов работы тепловых сетей Махачкалинской ТЭЦ, Кисловодской ТЭЦ, Шахтинской ГТС.

Для г. Новочеркасска в 2016 г. выполнен гидравлический расчет водоснабжения (1 млн. руб.) и ведутся проектные работы по водоснабжению Восточного жилого района (2,1 млн. руб.).

Выполнена оптимизация схемы тепловодоснабжения ООО «ПК «НЭВЗ»» и микрорайона «Молодежный» города Новочеркасска с использованием ГИС «Zulu», пакет «Zulu-Thermo», а также теплогидравлический расчет тепловых сетей для ПАО «Тагмет».

В период с 2013 по 2016 годы разработаны схемы водоснабжения для 22-х муниципальных образований, включая города: Новошахтинск, Морозовск, Тацинская, районный поселок Родионово-Несветайск с использованием ГИС «Zulu», пакет «Zulu-Gidro» на сумму более 3 млн. рублей.

Выполнены работы по инвентаризации ливнестоков и коллекторов с выдачей рекомендаций по восстановлению и оптимизации работы системы ливневой канализации для двух микрорайонов г. Новочеркасска.

Выполнена разработка нормативно-допустимых сбросов Шахтинской ГТЭС в бассейн р. Грушевка.

Выполняются разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов Симферопольской ПГУ-ТЭС в бассейн реки Малый Салгир. Планируется проведение аналогичных работ с Севастопольской ПГУ-ТЭС.

Выполняются разработки проектов нормативов допустимых сбросов сточных вод для ОАО «Актис», г. Новочеркасск.

В 2015 году выполнены предпроектные работы по модернизации хлораторной насосно-фильтрационной станции на очистных сооружениях г. Новошахтинска.

В 2016 г. выполнены работы по актуализации схем водоснабжения и водоотведения г. Новошахтинска и Персиановского сельского поселения Октябрьского района Ростовской области.

В настоящее время выполняются предпроектные и проектные работы по реконструкции магистрального водовода (D = 700 мм) в г. Керчь (Республика Крым).

Общий объем выполненных работ по данному направлению составляет более 25 млн. рублей.

УДК 542.08

ПРИБОРНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ГК «ЛЮМЭКС» ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ И МОНИТОРИНГА

Ю.П. Ракчеев
ООО «Люмэкс-маркетинг», г. Санкт-Петербург, Россия

Для определения компонентов природной питьевой и сточной вод предлагаются различные анализаторы на базе отечественных разработок по доступной цене и широкому спектру услуг.

Группа Компаний «ЛЮМЭКС» (ГК «ЛЮМЭКС») с момента своего создания в 1991 г. и до настоящего времени является ведущим многопрофильным предприятием в России, выпускающим широкий спектр аналитических приборов и лабораторного оборудования, для экологического контроля и мониторинга.

Новое поколение анализаторов жидкости серии «Флюорат-02» («Флюорат-02-4М», «Флюорат-02-5М»), предназначенных для изменения массовой концентрации неорганических и органических соединений в воде, воздухе, почве, пищевых продуктах после переведения анализируемых веществ в раствор, сохранило полную преемственность от предыдущих моделей в области методического обеспечения, а также позволило расширить область использования за счет увеличенной емкости встроенной памяти, нового универсального кюветного отделения и реализации усовершенствованных алгоритмов обработки результатов. Технические возможности данных анализаторов позволяют снизить пределы определения по большинству определяемых компонентов и минимизировать расход реагентов в процессе анализа.

Одно из технических решений, реализованное конструкторами ГК «ЛЮМЭКС», позволило использовать анализаторы жидкости «Флюорат®-02 4М» и «Флюорат®-02-5М» в качестве измерительного средства при определении ХПК (бихроматной окисляемости) в пробах природной, питьевой и сточной воды. Проведение пробоподготовки для анализа на ХПК и измерение проб производится в непосредственно в виалах. Комплект предлагаемого оборудования для измерения ХПК, включает в себя анализатор жидкости («Флюорат®-02-4М» или

«Флюорат®-02-5М»), набор виал, специальную вставку для проведения измерения в виалах и термореактор «Термион».

Все анализаторы жидкости серии «Флюорат®-02» позволяют контролировать достаточно большой ряд нормируемых показателей в различных типах вод (нефтепродукты фенолы, АПАВ, формальдегид, ХПК, алюминий, медь, бериллий, цинк, селен и пр.). Разработаны методические решения для анализа воздуха рабочей зоны, для источников загрязнения атмосферы и для почв (МВИ нефтепродуктов).

Для каждого из определяемых компонентов ГК «ЛЮМЭКС» предлагает набор для анализа, в который входят: текст аттестованной МВИ со свидетельством о метрологической аттестации, светофильтры, ГСО определяемого компонента, кварцевые (или стеклянные кюветы), или виалы (для ХПК), спец. реактивы.

Универсальность анализаторов жидкости серии «Флюорат®-02» заключается также в том, что в двух модификациях «Флюорат®-02-4М» и «Флюорат®-02-Панорама» реализована возможность использования их, соответственно, как флуориметрического и спектрофлуориметрического детекторов в составе жидкостного хроматографа «ЛЮМАХРОМ®», предназначенного для качественного и количественного определения органических веществ в пробах методом высокоэффективной жидкостной хроматографии.

Блочно-модульный принцип комплектования данного хроматографа позволяет создать оптимальную конфигурацию прибора в зависимости от решаемых задач пользователя. В состав жидкостного хроматографа «ЛЮМАХРОМ®» входит 4 блока: шприцевой насос высокого давления с инжектором ввода пробы, детектор, набор для анализа, программное обеспечение. Жидкостный хроматограф «ЛЮМАХРОМ®» имеет возможность подключения термостата колонок и реализации градиентной схемы элюирования.

Список методического обеспечения, разработанного для жидкостного хроматографа «ЛЮМАХРОМ®» и предназначенного для контроля объектов окружающей среды, включает в себя, прежде всего, МВИ бенз(а)пирена в во всех объектах (вода, воздух, почва, источники загрязнения атмосферы). Во всех странах, контролирующих содержание ПАУ, маркером их присутствия в пробах выбран именно бенз(а)пирен, т.к. он обладает наибольшей канцерогенностью. ГК «ЛЮМЭКС» предлагает методическое обеспечение для определения других ПАУ в различных объектах окружающей среды и в нескольких вариантах исполнения, включая градиентный, в зависимости от задач пользователей.

Одним из наиболее интересных приборостроительных направлений в ГК «ЛЮМЭКС» является реализация метода капиллярного электрофореза (КЭФ). Система капиллярного электрофореза «Капель®» является первым и единственным в России и странах СНГ серийно выпускаемым

семейством приборов, реализующих метод капиллярного электрофореза и применяемых для анализа природных, питьевых и сточных вод, почв и грунтов на катионно-анионный состав, а также для решения ряда других задач.

В настоящее время ГК «ЛЮМЭКС» выпускает 2 модификации системы капиллярного электрофореза «Капель®»- «Капель®-104Т» и «Капель®-105М» с фотометрическим и спектрофотометрическим детекторами, соответственно. Обе модификации имеют в своей конструкции систему жидкостного охлаждения капилляра с заданной температурой носителя, автосемплеры входной и выходной карусели (по 10 позиций в каждой) для смены проб, сменные кассеты с капилляром разного диаметра. Управление приборами осуществляется от компьютера.

В настоящее время завершаются испытания с целью утверждения типа СИ для новой модели – «Капель-205®», которая позволяет реализовать не только все методические решения, разработанные для приборов серии «Капель®» предыдущих поколений, но и расширяет возможность при создании новых за счет увеличенной вместимости автосемплера до 59 позиций, наличия уникальной системы открывания пробирок с пробами, расширенного диапазона контролируемого давления и новой системы диагностики.

Использование систем капиллярного электрофореза серии «Капель®» позволяет не только значительно экономить реактивы при анализах, но также и существенно снизить себестоимость анализа, а, при анализе различных типов вод, упростить пробоподготовку и сократить время анализа, в отличие от других методов. Для решения задач экологического контроля и мониторинга ГК «ЛЮМЭКС» разработаны МВИ неорганических и ряда органических анионов и катионов, как в различных типах вод, так и в почвах, грунтах и донных отложениях с использованием систем капиллярного электрофореза «Капель®».

Выпускаемые ГК «ЛЮМЭКС» атомно-абсорбционные спектрометры серии «МГА®» («МГА®-915МД» и «МГА®-1000») позволяют решать задачу по определению загрязнений тяжелыми металлами природных, питьевых, сточных вод, почв и других объектов. Оба спектрометра снабжены электротермическим атомизатором и автономной системой охлаждения. В револьвере для спектральных ламп может находиться одновременно шесть источников спектрального излучения, могут устанавливаться одновременно как лампы с полым катодом типа ЛС-2 или ЛТ-6М, так и высокочастотные лампы. В спектрометрах серии «МГА®» реализована коррекция неселективного поглощения, основанная на эффекте Зеемана. Именно такая схема обеспечивает минимальные пределы обнаружения, особенно для тяжелых элементов, обеспечивая высокое соотношение сигнал/шум. Предлагаемая в качестве дополнительного

аксессуара ртуть-гидридная приставка РГП-915 позволяет анализировать пробы на содержание в них ртути.

Модель «МГА®-1000» является третьим поколением спектрометров серии «МГА®». Сохранив лучшее от предыдущих моделей, «МГА®-1000» обладает целым рядом новых особенностей: возможностью установки в автосемплер как пробирок типа Эппендорф объемом 1,5 мл, так и полистирольных кювет объемом 2 мл, более удобной работой со статистической обработкой данных, возможностью пошагово задавать любую последовательность действий при работе с автосемплером. Бесшумный процесс атомизации и интуитивно понятное ПО «МГА®-1000» созданы для удобства и комфорта работы пользователей.

Для атомно-абсорбционных спектрометров серии «МГА®» ГК «ЛЮМЭКС» предлагает не только собственное методическое обеспечение для анализа воды, воздуха, почвы, пищевых продуктов и т.д., но и реализацию ряда ГОСТ.

В последнее время наибольшей популярностью у российских и зарубежных заказчиков пользуется выпускаемое ГК «ЛЮМЭКС» оборудование, предназначенное для контроля содержания ртути. Среди загрязняющих окружающую среду веществ, наиболее негативно влияющих на экосистемы и человека, ртуть занимает одно из первых мест.

Анализатор ртути «РА®-915М» является частью аналитического ртутного комплекса, обладающего уникальной возможностью выполнять быстрые селективные измерения концентрации ртути в атмосферном воздухе, газовых потоках, жидких и твердых пробах. Принцип работы атомно-абсорбционного спектрометра «РА®-915М» основан на дифференциальном атомно-абсорбционном способе измерения концентрации ртути, который реализуется с помощью зеемановской модуляционной поляризационной спектроскопии с высокочастотной модуляцией. Для определения ртути в объектах окружающей среды ГК «ЛЮМЭКС» предлагает комплекты оборудования, так называемые ртутные комплексы, включающие в себя различные приставки, предназначенные для анализа ртути в разных объектах, а именно:

- **Приставка РП-92** для определения ртути в жидких пробах (природных, питьевых, сточных водах, минерализатах твердых проб),
- **Универсальная ртутная приставка (УРП)** для определения ртути в почвах и жидких пробах
- **Приставка ПИРО-915+** для прямого анализа (без пробоподготовки) твердых и жидких проб любого состава, в том числе в пробах, имеющих сложную матрицу (пищевые продукты, нефть, газоконденсат, биологические материалы).

Отличительной особенностью ртутных комплексов на базе анализатора ртути «РА®-915М» является оригинальная оптико-

электронная схема, обеспечивающая ультранизкий предел обнаружения ртути в режиме прямых измерений, без предварительного концентрирования, а также высокую селективность анализа и широкий динамический диапазон измерений. Коммуникативная система позволяет использовать беспроводную связь и USB интерфейс для связи с внешним компьютером. Благодаря низкому энергопотреблениию (15 Вт), небольшому весу (7,5 кг) и наличию встроенной аккумуляторной батареи, рассчитанной на работу без подзарядки до 12 часов, «РА®-915М» может быть использован для определения ртути в воздухе в режиме он-лайн и в полевых условиях. Причем, при анализе ртути в воздухе анализатор не требует регулярной калибровки.

Продукция ГК «ЛЮМЭКС» пользуется достаточно большим спросом благодаря сочетанию многофункциональности приборов, доступной цены и широкому спектру услуг:

– бесплатное обучение по закупленному комплекту оборудования на базе нашей лаборатории в Санкт-Петербурге;

– пусконаладочные работы в лаборатории Заказчика;

– бесплатное методическое сопровождение и консультационные услуги;

– ежегодные тематические семинары на базе нашей лаборатории в Санкт-Петербурге с возможностью, как бесплатного участия, так и участия на коммерческой основе с получением сертификатов о повышении квалификации государственного образца;

– бесплатные выездные семинары в регионах России.


125438, г. Москва
4-й Лихачевский пер., д. 6
www.aurat.ru
АУРАТ
+7 (499) 153-26-10
office@aurat.ru
ОАО «Аурат» - производитель и поставщик
современных высокоэффективных коагулянтов
• Полиоксихлориды алюминия «Аква-Аурат™» различных модификаций;
• Сульфат алюминия технический очищенный:
- высшего сорта гранулированный («ГРАЛС»), 1-го и 2-го сортов по ГОСТ 12966-85;
- в жидком виде;
• Полиоксихлорид алюминия «ЭПОХА» марки 1, 2, 3
• Смесевой коагулянт «СКИФ™180»;
• Полиоксихлорид алюминия марки «Аква-Аурат™ М»;
• Композиционные коагулянты «УНИКО-ОХА», «УНИКО-СА»;
• Смесевой коагулянт марки «Аква-Аурат 190М»;
• Алюминий хлоргидрат 50% раствор чистый, очищенный марки 1 и 2.
Бесплатно осуществляем техническое сопровождение
и подбор коагулянтов в конкретных условиях с выездом специалистов.

Общество с ограниченной ответственностью
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
«ЭКОФЕС»
346421, Россия, Ростовская область, г. Новочеркасск, пр. Баклановский, 200 В
Тел.: +7 (8635) 26-05-07
Тел./факс: +7 (8635) 26-05-46, 26-02-17, 26-56-13
E-mail: 65613@mail.ru; web site: http://ecofes.ru

ПРЕДЛАГАЕТ
ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ПИТЬЕВЫХ, ТЕХНИЧЕСКИХ И СТОЧНЫХ ВОД НИЗКОКОНЦЕНТРИРОВАННЫМ ГИПОХЛОРИТОМ НАТРИЯ

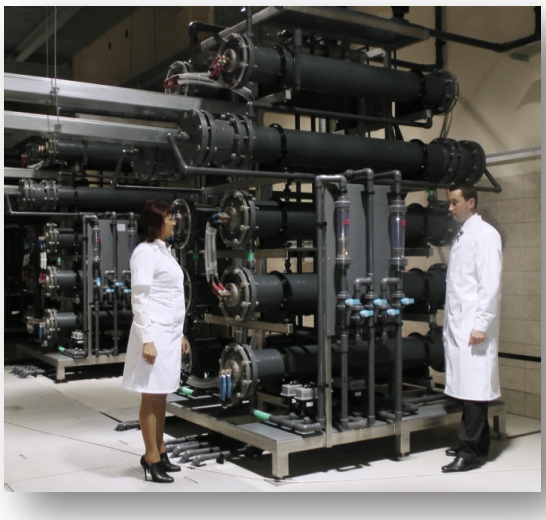
В качестве исходного сырья для электролизных установок могут быть использованы водные растворы пищевой поваренной соли, подземные минерализованные хлоридно-натриевые воды, морская вода

- ❖ Производительность электролизных установок «Хлорэфс» от 0,5 до 1000 кг эквивалента хлора в сутки
- ❖ Полная автоматизация технологического процесса
- ❖ Экономичная, надежная и безопасная работа оборудования
- ❖ Выполнение и согласование проектов
- ❖ Поставка и монтаж установок «под ключ», пусконаладочные работы и обучение персонала
- ❖ Гарантийное и послегарантийное обслуживание, поставка расходных материалов

«ЭКОФЕС» - 25 лет успешной эксплуатации установок **«Хлорэфс»** на водных объектах России и странах СНГ

Самая крупная в России электролизная станция с установками «Хлорэфс» производительностью 7 т/сут эквивалентного хлора на





Александровских водопроводных очистных сооружениях г. Ростова-на-Дону



Проектный научно-исследовательский институт водоснабжения и водоотведения
Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) имени М.И. Платова

действует в рамках научной школы «Технологии очистки природных и сточных вод» и кафедры «Водное хозяйство, инженерные сети и защита окружающей среды».

Специалисты ПНИИВиВ выполняли проектную документацию для объектов: ОАО «Башкирия сода», ОАО «Газпром», ОАО «Норильский никель», ОАО «Новотэк». Научный потенциал и лабораторная база ПНИИВиВ и кафедры ВХИСЗОС позволяют решать особо сложные задачи коммунального и производственного водоснабжения и водоотведения.

Контакты: 346428. Россия. Ростовская область, г. Новочеркасск, ул. Просвещения 132, ПНИИВиВ ЮРГПУ(НПИ) им. М.И. Платова
Тел./факс 88635255171
E-mail: vhiszos@yandex.ru

АРМАТУРА И ФИТИНГИ ИЗ ПОЛИМЕРОВ **ДЛЯ РАБОТЫ С АГРЕССИВНЫМИ СРЕДАМИ ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ**

Успешная работа завода FIP с 1954 способствовала становлению концерна Aliaxis Utilities & Industry как крупнейшего европейского поставщика запорно-регулирующей арматуры.

Внедрение уникальных технологий, основанных на полувековых разработках, обеспечивает качественно новый уровень решаемых задач для арматуры и фитингов из полимерных материалов производства FIP.

Наша приверженность качеству обеспечивает производство современной продукции, предназначенной для использования в самых сложных условиях, где высокая температура и агрессивные среды требуют безотказной работы.

НАПОРНЫЕ ТРУБОПРОВОДЫ

СИСТЕМЫ ВОДОПОДГОТОВКИ

ХИМИЧЕСКИ АГРЕССИВНЫЕ СРЕДЫ

ТЕКСТИЛЬНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

ФАРМАЦЕВТИКА

ПИЩЕВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

БАССЕЙНЫ

ЭЛЕКТРОННАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

МЕТАЛЛУРГИЯ

ПЕРЕРАБОТКА РУДЫ

ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ



Решение:
DUAL BLOCK® — система блокировки шаровых кранов промышленного применения.

- безопасная и удобная конструкция крана;
- запатентованная система DUAL BLOCK®, предотвращающая самопроизвольное ослабление гаек, предназначена для наиболее требовательных и сложных промышленных применений;
- идеально подходит для тяжелых рабочих условий, при которых вибрации или температурные расширения могу повлиять на нормальную работу шарового крана;
- безотказная работа.



Инновация:
Система Easyfit® на шаровых кранах Шаровые краны VEE и VXE общего применения.

- инновационная конструкция для легкой и безопасной затяжки;
- запатентованная система Easyfit® обеспечивает безотказную долгосрочную работу без перенапряжения резьбовых соединений и фитингов;
- концепция оперативного решения проблем в узких пространствах между трубопроводами: шток клапана является валом конической зубчатой передачи;
- ручка крана может быть маркирована специальной этикеткой для идентификации среды или всей системы;
- надежное и экономически эффективное решение.



ПРИМЕР ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ

ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ МОРСКОЙ ВОДЫ ГИПОХЛОРИТОМ НАТРИЯ, ИТАЛИЯ

Задача: обработка морской воды дезинфицирующим раствором гипохлорита натрия (эквивалент хлора).

Решение: специалисты Aliaxis Utilities & Industry предложили технологическое решение — трубы, соединительная и запорно-регулирующая арматура с приводом марки FIP из ХПВХ.

Результат: надежная система, обеспечивающая экономическую эффективность, безопасность процесса обеззараживания, исключающая хранение, транспортировку и воздействие химически опасных веществ.

КАФЕДРА ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО, ИНЖЕНЕРНЫЕ СЕТИ И ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
приглашает *в*
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова

Забота о чистой воде - это первостепенная проблема наступившего века!

Для решения этой проблемы на кафедре ВХИСЗОС ведётся подготовка бакалавров по направлениям:

08.03.01 – Строительство:
направленность «Водоснабжение и водоотведение»
20.03.01 – Техносферная безопасность:
направленность «Инженерная защита окружающей среды»

Имеется заочная форма обучения по направленности «Водоснабжение и водоотведение».

После окончания программ бакалавриата ведётся подготовка магистров по направлениям:

08.04.01 – Строительство:
«Водоснабжение и водоотведение городов и промышленных предприятий»
20.04.01 – Техносферная безопасность:
«Защита окружающей среды»

ЮРГПУ(НПИ) имеет военную кафедру, где Вы можете получить одновременно с гражданской военную специальность и воинское звание

После окончания университета Вы можете решать следующие профессиональные задачи

по направленности *«Водоснабжение и водоотведение»*

- *работа в цехах водоподготовки и очистки сточных вод различных промышленных предприятий, в городских и районных производственных управлениях водопроводно-канализационного хозяйства, в государственных и частных учреждениях, занимающихся проектированием, строительством, монтажом, пуском, наладкой и эксплуатацией систем и сооружений водоснабжения и водоотведения;*
- *участие в инженерных изысканиях и проектировании строительных объектов;*
- *выполнение технологических процессов при строительстве, эксплуатации и реконструкции строительных объектов;*
- *организация и выполнение строительно-монтажных работ, работ по эксплуатации, ремонту и реконструкции зданий и сооружений;*
- *организация рабочих мест, их техническое оснащение, размещение технологического оборудования;*
- *обслуживание технологического оборудования и машин;*
- *реализация мер экологической безопасности;*
- *составление технической документации (графиков работ, инструкций, планов, смет, заявок на материалы, оборудование), а также установленной отчетности по утвержденным формам;*
- *разработка оперативных планов работы первичного производственного подразделения;*
- *проведение анализа затрат и результатов деятельности производственного подразделения.*

по направленности *«Инженерная защита окружающей среды»*

- *обеспечение безопасности человека в современном мире,*
- *формирование комфортной для жизни и деятельности человека техносферы,*
- *минимизацию техногенного воздействия на окружающую среду,*
- *сохранение жизни и здоровья человека за счет использования современных технических средств, методов контроля и прогнозирования*



Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова

Институт дополнительного образования

Кафедра «Водное хозяйство, инженерные сети и защита окружающей среды»

ПРЕДЛАГАЮТ:

Диплом по профессиональной переподготовке

по направлениям

«Водоснабжение и водоотведение»
Срок обучения – 2 года (4 семестра)
«Теплогазоснабжение и вентиляция»
Срок обучения – 10 месяцев
«Инженерная защита окружающей среды»
Срок обучения – 3 месяца

Диплом повышения квалификации

по направлениям

«Водоснабжение и водоотведение» 72 часа
«Теплогазоснабжение и вентиляция» 72 часа
«Обращение с опасными отходами» 72 часа

По окончании выдается диплом, позволяющий вести новый вид профессиональной деятельности

Занятия проводятся ведущими специалистами кафедры ВХИСЗОС и смежных кафедр университета, сотрудниками центров госсанэпиднадзора, предприятий города и области.

Условия поступления и порядок зачисления

Профессиональная переподготовка – для лиц, имеющих высшее образование и студентов.

Для отправки договора необходимы Ваши реквизиты
При оплате от организации – ИНН, КПП
После оплаты необходимо явиться для оформления документов

Для зачисления необходимо:

- **2 фотографии 3х4 с уголком;**
- **копия диплома;**
- **копия трудовой книжки;**
- **для студентов – справка из учебного заведения.**

При необходимости предоставляется жилье

Контакты:

346428, Ростовская область, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132,
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова,
кафедра «Водное хозяйство, инженерные сети и защита окружающей среды»,
главный корпус, аудитория 136;
Тел. (86352) 55-3-34, 55-1-71; Тел./факс (86352) 55-1-71.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Алексеева Л.П.	97
Алексеев С.Е.	97
Арашаев А.В.	58
Арутюнян Д.М.	187
Бабаев А.А.	133
Байдулова М.К.	246
Бандурин М.А.	39
Барышников А.В.	236, 278
Башкиров А.В.	206
Борисова В.Ю.	226, 274
Боронина Л.В.	92, 246
Бреус С.А.	115
Булыжев Е.М.	123
Булыжев Э.Е.	123
Бутко Д.А.	176
Бурханова Р.А.	274
Вергунов А.И.	146
Войтюк А.А.	187
Вильсон Е.В.	201
Востоков В.В.	254
Волкова И.В.	246
Волосухин В.А.	19, 39,52
Волосухин Я.В.	35
Гавардашвили Г.В.	70
Гаязов Р.Р.	206
Гетманцев С.В.	85, 151
Геркен А.Е.	157
Гогина Е.С.	231
Голубева Н.С.	105
Горчаков В.В.	45
Гора Н.В.	105
Графова Е.О.	178
Гульшин И.А.	231
Данильченко В.В.	257
Денисова А.В.	103
Денисова И.А.	103
Дилина М.А.	108
Доскина Э.П.	153, 187
Жунева Л.С.	265
Заплохова Т.Р.	206, 251
Земченко Г.Н.	243
Иванкова Т.В.	30
Игнатенко С.И.	75, 85, 133. 157. 165
Игнаткина Д.О.	187
Кашарин Д.В.	64
Киреев С.А.	183

Ким А.Н. 128, 178
Кобыляцкий В.Ю. 45
Кондакова Н.В. 274
Костюков В.П. 49, 206, 251
Костюков П.В. 206, 251
Косиченко Ю.М. 23, 60
Косолапова 157
Коренев Ю.И. 257
Краснова Т.А. 105, 265
Круковский О.В. 151
Куасси Бру Гийом 215, 226
Кузнецов Ю.В. 206
Куликов Н.И. 223, 261
Куликова Е.Н. 223, 261
Куликов Д.Н. 223, 261
Курьянов С.А. 176
Куцева Н.К. 192
Маарам Саийд 239
Мацур В.Н. 257
Мехоношина Т.В. 206
Милешкин С.И. 187
Мирошниченко Л.Г. 219
Михеева И.В. 11
Михайлов А.В. 178
Москвичева А.В. 153
Мордвинцев М.М. 52
Морозова К.М. 146, 210
Наволокин Д.Ю. 35
Надтока В.И. 282
Надтока И.И. 282
Новиков М.Г. 269
Овчаренко Л.А. 257
Оковитая К.О. 236, 278
Онкаев В.А. 58
Онкаев А.В. 58
Петрова В.А. 105
Петухова Ж.Н. 178
Поповьян Г.В. 173
Приходько Л.Н. 223, 261
Продоус О.А. 128, 269
Пчельников И.В. 75. 133, 157, 165
Ракчеев Ю.П. 284
Рашковский Г.Б. 151. 192
Романова А.Ю. 128
Русанова А.Н. 192
Рыльцева Ю.А. 153
Савин В.А. 45
Сахарова А.А. 153

Серпокрылов Н.С. 183, 196, 226, 257, 274
Серпокрылов Е.Н. 196
Скрябин А.Ю. 115. 173, 176
Скуднева И.А. 110, 119
Соколова Т.В. 210
Солкина О.С. 210
Старостин Г.С. 192
Степанов С.В. 210, 210
Спиридонова Л.Г. 196
Суржко О.А. 236. 278
Сухоносов Н.А. 192
Сычев А.В. 151. 192
Тер-Матиосова К.С. 219
Тимощук И.В. 265
Титова М.А. 108, 206, 251
Ткаченко А.И. 219
Тронь И.А. 173
Тхай Тхи Ким Тьи 42
Тюрнин Г.В. 282
Угроватова Е.Г. 60
Усков К.А. 110
Утин А.В. 128
Федотов Р.В. 75, 85, 133. 165
Фесенко А.Л. 146
Фесенко Л.Н. 75, 85,108, 115, 133, 146, 157, 165, 219
Флисюк О.М. 151
Чепкасова Н.И. 85, 165
Чесноков В.А. 269
Черкесов А.Ю. 75, 133, 165
Хайсерова Л.Я. 226
Халил А. 274
Хецуриани Е.Д. 49
Хецуриани Т.Е. 49
Худобин Л.В. 123
Швецов В.Н. 146
Шикульская О.М. 92
Шипилов А.А. 110, 119
Шишкина Д.В. 153

Научное издание

Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2016»

Материалы IX Международной научно-практической конференции

Издается в авторской правке

Подписано в печать 28.09.2016.
Формат 60х84 1/16. Бумага офсетная. Печать оперативная.
Усл. печ.л.18.7. Уч.-изд. л. 18.5. Тираж 200 экз. Заказ № 47-5495

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