ГК «АУРАТ»
Россия

РОССИЙСКАЯ АССОЦИАЦИЯ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ

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

ООО «ЭКОФЕС»
г. Новочеркасск

ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ВОДЫ «ТЕХНОВОД-2014»

Материалы VIII Международной научно-практической конференции
23 – 24 октября 2014 года
г. Сочи, Красная Поляна,

Новочеркасск
«Лик»
2014

УДК 628.1/.3
ББК 38.761.1
Т 38

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»;
С.Н. Линевич, д-р техн. наук, профессор ЮРГПУ(НПИ) имени М.И. Платова, заслуженный деятель науки и техники РФ;
В.Н. Швецов, д-р техн. наук, профессор, гл. редактор журнала ВСТ;
Н.С. Серпокрылов, д-р техн. наук, профессор РГСУ;
Н.В. Енгибарьянц, ведущий инженер, ответственный секретарь, ЮРГПУ(НПИ) имени М.И. платова

Т 38 **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.
ISBN 978-5-9947-0290-1

В настоящем сборнике представлены материалы докладов VIII Международной научно-практической конференции «Технологии очистки воды» – ТЕХНОВОД–2014 и размещены в четырех 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.

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 628.1/.3
ББК 38.761.1

ISBN 978-5-9947-0290-1

© Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, 2014
© Авторы, 2014

С О Д Е Р Ж А Н И Е

ПРЕДИСЛОВИЕ……..7

Гетманцев С.В. 125 лет на службе России……10

I. КОАГУЛЯНТЫ, ФЛОКУЛЯНТЫ. ОПТИМИЗАЦИЯ КОАГУЛЯЦИОННОЙ, ФЛОКУЛЯЦИОННОЙ, ОБРАБОТКИ ПРИРОДНЫХ И СТОЧНЫХ ВОД……...……..16

Алексеева Л.П. Оценка эффективности композиционных коагулянтов «УНИКО» при очистке воды различных водоисточников…….16

Гетманцев С.В. Г.Б. Рашковский, Сычев А.В. О расчете оптимальной дозы коагулянта……..……...27

Воинцева И.И., Новиков М.Г., Гетманцев С.В. Новые композиционные биоцидные флокулянты на основе полигексаметиленгуанидин гидрохлорида как альтернатива реагентам-окислителям……33

Алексеева Л.П. ,Алексеев С.Е., Курова Л.В. Оптимизация процессов очистки воды малозагрязненных источников водоснабжения……...……39

Гетманцев С.В., Рашковский Г.Б., Сухоносов Н.А., Старостин Г.С. Определение массовой доли полигексаметиленгуанидина в композиционных коагулянтах..……..….46

Гетманцев С.В., Рашковский Г.Б., Сычев А.В. Определение основности коагулянтов……..…….48

II. ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ И ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ ОЧИСТКИ И ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ПРИРОДНЫХ ВОД…….…....51

Скрябин А.Ю., Поповьян Г.В. Изменение качества реки Дон: микроводоросли как фактор, влияющий на органолептические свойства воды…….....51

Щербаков В.И., Аль-Амри З.С.А. Методы фторирования воды городских водопроводов……...……..56

Федотов Р.В., Игнатенко С.И. Повторное использование регенерационных растворов в технологии обескремнивания подземных вод….....59

Хецуриани Е.Д., Богачев А.Н., Душенко А.Ю., Бечвая Р.С., Пельчер А.В., Завалюев В.Э. Очистка воды от сине-зеленых водорослей на ершовой загрузке…….……...65

Гутенев В.В., Денисов В.В., Фесенко Л.Н., Денисова А.В., Скрябин А.Ю. Передовые технологии обеззараживания на базе местных ресурсов для нужд водоснабжения Крыма……...71

Алешин В.С., Алешин А.В., Акын Л.Г., Джукаев С.Н.
Безреагентная очистка низкотемпературных вод регулируемого Эшкаконского водохранилища……....81

Ким А.Н., Штейнмиллер О.А., Графова Е.О.
Некоторые особенности очистки подземных вод…….....86

Куасси Бру Гийом Особенности режимов очистки природных вод в сухой и влажный период года в странах Западной Африки……...91

Алешин В.С., Алешин А.В., Акын Л.Г., Джукаев С.Н.
Теоретические и экспериментальные предпосылки условий осаждения взвеси в низкотемпературной воде Эшкаконского водохранилища……96

Ким А.Н., Грун Н.А., Мурашев С.В., Романова Ю.В.
Новый способ дообработки водопроводной воды…….....102

Линевич С.Н., Бреус С.А. Водоподготовка в период чрезвычайных ситуаций.....107

Алешин В.С., Алешин А.В., Акын Л.Г., Джукаев С.Н.
Исследования фильтрующего зернистого материала в фильтрах Эшкаконского водохранилища……..……..110

Денисова А.В., Фесенко Л.Н., Скрябин А.Ю.
Резервы повышения экономической эффективности гипохлоритной технологии водоподготовки…..……..115

Бубырь Д.С., Булыжев Е.М., Грехов Ю.А., Клячкин В.Н., ***Кувайскова Ю.Е., Орлов Г.А.*** Прогнозирование физико-химических показателей источника водоснабжения…….119

III. ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ И ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ ОЧИСТКИ ХОЗБЫТОВЫХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД……..……...126

Фесенко Л.Н., Мирошниченко Л.Г., Тер-Матиосова К.С.
Очистка нефтесодержащего поверхностного стока отходами производства.....126

Белых Д.Е., Щербаков В.И. Технология извлечения фосфора из сточных вод методом кристаллизации…….....134

Черкесов А.Ю., Игнатенко С.И., Фесенко Л.Н., Костюков В.П.
Технологические схемы очистки воды от сульфидов методом железо-каталитического окисления ислородом воздуха.....137

Вильсон Е.В., Лагода А.М. Исследования эффективности физико-химической очистки сточных вод чайного производства…….148

Гризодуб Н.Н. Экспериментальный выбор дозы реагента при доочистке биологически очищенных сточных вод фильтрованием в опытно-промышленных условиях…….……..152

Яковлева Е.В., Никифорова А.В., Хачатурян Г.С., Самсонова Е.В. Интенсификация очистки химически загрязненных производственных сточных вод углеванием…….…….....158

Спиридонова Л.Г. Практика интенсификации физико-химической очистки производственных сточных вод птицекомплексов……...163

Теплых С.Ю., Носова Е.Г. Реагентный метод очистки промышленных сточных вод предприятий выделки меха.....167

Костюков В.П., Угроватова Е.Г. Восстановление поглотительных свойств сернисто-щелочного раствора…….....172

Борисова В.Ю., Гаврилина Ю.А. Анализ способов интенсификации биологической очистки сточных вод……...174

Банников П.О., Серпокрылов Е.Н. Очистка дождевых сточных вод в месте их выпуска…….……...178

Стрелков А.К., Теплых С.Ю., Горшкалев П.А., Саргсян А.М. Взаимодействие объектров железнодорожного транспорта и экосистемы…….……...181

Яковлева Е.В., Хачатурян Г.С., Самсонова Е.В. Оптимизация очистки химически загрязненных производственных сточных вод в промышленных условиях…….....184

Михайлов А.В., Ким А.Н., Продоус О.А. Очистка поверхностного стока на торфяных фильтрах…….....189

IV. РАЗРАБОТКА НОВЫХ И МОДЕРНИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЙ И УСТАНОВОК ДЛЯ ОЧИСТКИ ПРИРОДНЫХ И СТОЧНЫХ ВОД. МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ. ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО. ПРОЕКТИРОВАНИЕ.……...195

Волосникова Е.А. Приборно-методические решения для экологического контроля и мониторинга……..…….195

Кашарин Д.В., Шабельник А.А. Мероприятия по локализации и ликвидации аварийных разливов нефти для условий юга России……..200

Чукалина Е.М. Проблемы дезодорирования воздуха в индустриальном мегаполисе……..…….……205

Баринов А.М. Моделирование гидродинамики тонкослойного отстойника (на примере установки «Ключ П-40»……210

Серпокрылов Н.С., Нетута А.В., Тайвер Е.А. Станция микрофильтрации г. Волгодонска…….……215

Щербаков В.И., Кульмедов Б. Использование капельного орошения сельскохозяйственных земель в бассейне реки Амударья……219

Кашарин Д.В., Тхай Тхи Ким Тьи. Расчетное обоснование новых конструкций противопаводковых мобильных водонаполняемых дамб для условий слабых грунтов……..…223

Рыльцева Ю.А., Бутко Д.А., Лысов В.А.
Особенности проектирования инженерных систем
и сооружений крупных промышленных объектов……..228
Бутко Д.А., Шишова О.П. К вопросу балансов
водопотребления и водоотведения……231
Серпокрылов Е.Н. Методика сравнительной оценки оптимизации
процесса аэрации (на примере аэраторов «Бакор»)…….232
Фесенко Л.Н., Пчельников И.В., Игнатенко С.И., Фесенко А.Л.
К выбору режима электролиза морской воды
при производстве гипохлорита натрия…….....237
Фесенко Л.Н., Пчельников И.В., Федотов Р.В.,
Игнатенко С.И, Бабаев А.А., Черкесов А.Ю.
Импортозамещающие национальные технологии и оборудование
производства низкоконцентрированного гипохлорита натрия
в схемах обеззараживания питьевой воды……....244
Булыжев Е.М., Богданов А.Ю., Грехов Ю.А.
Эффективность процесса ультратонкослойной гравитационной
очистки в сетчатом ламельном фильтре…….……..……....253
Лобанов Ф.И. Геотурбирование. Перспективные направления
в обезвоживании и складировании осадка……..…..260
Куликов Н.И., Куликова Е.Н., Куликов Д.Н., Приходько Л.Н.
О спефицике создания систем водоснабжения и водоотведения
в условиях г. Сочи и Крыма…….....265
Трякина А.С. Статистический анализ показателей качества
воды канала Северский Донец-Донбасс……268
Информационно-рекламные материалы.....273

П Р Е Д И С Л О В И Е

В этом году Международной научно-практической конференции «Технологии очистки воды», сокращенно «ТЕХНОВОД», исполняется 10 лет. Нынешняя, восьмая конференция, «ТЕХНОВОД-2014» проводится в г. Сочи 23 – 24 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.

Выбор г. Сочи для проведения конференции был неслучайным. Сочи – место проведения зимней олимпиады 2014 г., где в период подготовки к мировому спортивному форуму были впервые реализованы многие инженерные задачи в области водоснабжения и водоотведения объектов олимпиады. Высокая концентрация спортивных и жилых объектов, их расположение на разных высотных отметках и неустойчивых грунтах потребовало реализации инновационных проектов, позволивших вывести на качественно новый уровень производство питьевой воды и очистку сточных вод. Этим было обеспечено бесперебойное и качественное функционирование объектов водного комплекса ЖКХ в период проведения олимпиады, что еще выше подняло авторитет страны как организатора всемирных спортивных форумов. Все это будет благоприятствовать успешному и высокому творческому уровню работы конференции «ТЕХНОВОД-2014». Для этого планируются встречи с ведущими специалистами Водоканала г. Сочи, экскурсии.

По традиции, в преддверии конференции «ТЕХНОВОД-2014», будет выпущен очередной сборник материалов, который служит научным и просветительским изданием для специалистов, занятых в области теории, строительства и эксплуатации систем водоснабжения и водоотведения, подготовки воды и очистки сточных вод, экологии и др. Сборник научных и прикладных трудов и материалов «ТЕХНОВОД» на протяжении 10 лет развивает и приумножает лучшие традиции, заложенные российскими научными и проектными организациями: ВНИИ ВОДГЕО, НИИ КВОВ, Мосводоканалниипроект и многими другими, а также водоканалами Москвы, Санкт-Петербурга, Уфы, Самары, Ростова-на-Дону, Новосибирска и др., и специализированными кафедрами ряда вузов России.

За прошедшие 10 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. Драгинского В.Л. – большого ученого, талантливого организатора, безвременно ушедшего из жизни, чей вклад в зарождение и развитие нового научного сообщества трудно переоценить.

Особая благодарность членам редакционной коллегии: Линевичу С.Н. – д.т.н., профессору ЮРГПУ(НПИ), г. Новочеркасск; Гетманцеву С.В. – к.т.н., генеральному директору ОАО «АУРАТ»; Швецову В.Н. – д.т.н., профессору, главному редактору журнала «ВСТ»; Серпокрылову Н.С. – д.т.н., профессору РГСУ; г. Ростов-на-Дону; Фесенко Л.Н. – д.т.н., профессору ЮРГПУ(НПИ), г. Новочеркасск. Особенно следует отметить Енгибарьянц Н.В. – ведущего инженера ЮРГПУ(НПИ), ответственного секретаря редакционной коллегии, принимающую участие в творческом оформлении сборников трудов конференций «ТЕХНОВОД».

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

Сегодня приходится отмечать спад водопроводно-канализационного хозяйства страны из-за недостаточных средств на развитие систем водоснабжения и водоотведения. Неудовлетворительное финансовое положение, отсутствие экономических стимулов снижения издержек, неэффективность работы предприятий привели к ситуации, когда основная часть объектов водопроводно-канализационного хозяйства выработала предельные сроки эксплуатации. К сожалению, приходится признать, что прикладная наука, как в научно-исследовательских институтах, так и в вузах практически разрушена; снизилось качество образования, подготовки специалистов высшей квалификации; в отрасли наблюдается общая техническая отсталость, а модернизация, как показали последние выставки «ЭКВАТЭК», проводится путем экспансии зарубежных фирм на отечественный рынок водоочистных технологий. Причем эти технологии, зачастую не обусловленные научными проработками, имеют широкую рекламу и, следовательно, сбыт.

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.

На конференции «ТЕХНОВОД-2014» 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-2014» представлены работы ученых из более 20 организаций 10 городов РФ, 5 участников представляют зарубежные страны.

Опубликованные в сборнике «ТЕХНОВОД-2014» материалы носят аналитический, научно-исследовательский, опытно-производственный и реферативный характер и могут представлять интерес для специалистов (ученых, производственников, руководителей и организаторов водохозяйственных производств, проектных организаций), работающих в области 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-2014» 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-2014» благодарит всех докладчиков и гостей за участие в конференции, желает интересной творческой и полезной работы, крепкого здоровья и благополучия.

ОРГКОМИТЕТ

125 ЛЕТ НА СЛУЖБЕ РОССИИ

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

Открытое акционерное общество «АУРАТ» – старейшее химическое предприятие Москвы, созданное еще в XIX веке, в ноябре 2014 г. будет отмечать свой 125-летний юбилей.

В XIX веке купеческая династия Лепёшкиных, выходцев из крестьян Ярославской губернии, была широко известна в Москве (один из представителей этой династии С.Л. Лепёшкин в 1849 – 1856 годах был городским головой). Первое химическое производство Лепёшкины основали в 1824 г. в Серпуховской части города (будущий Дербеневский химический завод). Летом 1888 г. потомственный Почетный гражданин Москвы Н.В. Лепёшкин купил у крестьян села Дегунино Московской губернии 16 десятин земли для устройства химического завода.

22 ноября 1889 г. «Торговый домъ Н.В. Лепёшкин и сыновья. Химические заводы в Москве, Иваново-Вознесенске и при селе Дегунино» получил разрешение московского генерал-губернатора Великого князя Сергея Александровича Романова на строительство химического завода «для добывания разного рода солей, щелочей, протрав и других химических продуктов, употребляемых в промышленности и земледелии».

В 1889 – 1892 годах под руководством инженера Р.Ф. Гартмана был разработан проект и по нему построен завод по производству серной, соляной кислот и их химических соединений для нужд текстильной промышленности фабрик Московской, Ивановской, Владимирской и Ярославской губерний.

Во время Первой мировой войны для нужд обороны России было резко увеличено производство серной и соляной кислот, начат выпуск сернокислого алюминия, построен и введен в эксплуатацию завод по производству азотной и пикриновой кислот для получения различного вида взрывчатых веществ. Численность рабочих на тот период составляла 350 человек.

14 февраля 1919 г. химический завод был национализирован и получил название «Государственный Дегунинский химический завод», однако он был практически остановлен по причине износа оборудования, отсутствия сырья и топлива. Производство было восстановлено к концу 1921 г. Заводской гудок, призывающий рабочих на смену, вновь прозвучал 6 ноября 1921 г.

К 1924 г. был достигнут довоенный уровень производства (в денежном выражении), на заводе работали 220 человек. Начались масштабные работы по расширению ассортимента выпускаемой продукции, в том числе по химическим соединениям металлов платиновой группы. В июле 1927 г. заводу было присвоено имя П.Л. Войкова,

постоянного представителя РСФСР в Польше (погиб 7 июня 1927 г.), предприятие стало именоваться «Государственный химический завод им. П.Л. Войкова».

В мае 1929 г. было введено в эксплуатацию производство сернокислого алюминия по усовершенствованной технологии (мощность 10 тыс. тонн в год). В июне того же года начались поставки коагулянта на Рублевскую водопроводную станцию, а в последующем и на другие водопроводные станции Москвы.

В 1931 – 1940 годах увеличен объем сернокислого производства (серная кислота, медный купорос, сульфат алюминия, соединения кобальта и др.), удобрений и реактивов (в том числе соединений урана).

В период Великой Отечественной войны завод перестроился на выпуск оборонной продукции. К 15 октября 1941 г. предприятие было остановлено и готовилось к эвакуации; оборудование, сырье и персонал были отправлены на восток страны (Кемерово, Новосибирск). Однако 10 декабря 1941 г. заместитель председателя Совета Народных Комиссаров СССР А.Н. Косыгин подписал распоряжение правительства, обязывающее «приступить к производству коагулянта из местных глин на заводе им. Войкова с обеспечением поставки его Мосгорисполкому ежемесячно по 1,5 тыс. тонн». И уже в конце декабря 1941 г. (всего через 14 дней!) возобновились поставки коагулянта для нужд Мосводоканала. В это же время было организовано производство ручных гранат РГД-33 и взрывчатки для них, химических грелок и самовоспламеняющихся горючих смесей («коктейль Молотова»), а также химических продуктов, имеющих оборонное значение (свыше 150 наименований). Так, в период 1942 – 1944 годов для нужд фронта ежегодно выпускалось 2,5 млн. шт. ручных гранат и 7 млн. шт. химических грелок.

Более 300 заводчан ушли на фронт, из них 108 человек погибли на полях сражений. К реакторам, аппаратам и агрегатам встали вчерашние школьницы и домохозяйки, члены семей кадровых рабочих, ушедших на фронт, обеспечившие выполнение напряженных фронтовых заданий. Почти 350 заводчан за трудовую доблесть были удостоены государственных наград.

В послевоенные годы активно развивается производство химических реактивов и особо чистых веществ. Создана Центральная заводская лаборатория, разработки которой позволили значительно увеличить ассортимент и повысить качество продукции завода. Для удовлетворения растущих потребностей в коагулянтах в 1956 г. было пущено новое производство сернокислого алюминия мощностью 40 тыс. тонн в год. Проведение реконструкции на базе собственных заводских разработок позволило к 1980-м годам довести мощность до 90 тыс. тонн в год. Также на базе этих разработок были построены заводы по производству коагулянтов в городах Тольятти, Сумы, Пологи.

В 1956 – 1962 гг. завод становится специализированным предприятием по производству реактивов и препаратов сложного

органического синтеза. В больших количествах выпускаются различные индикаторы, красители, аминокислоты, углеводы и другие органические соединения. Наряду с органическими химическими реактивами и препаратами производится множество технической химической продукции, а также неорганических реактивов на основе меди, олова, кадмия, никеля, хрома и драгоценных металлов: золота, серебра, рутения, родия, палладия, осмия, иридия и платины.

К 1970 г. качество 71 наименования химической продукции завода было доведено до уровня мировых стандартов. В 1970 – 1980-е годы заводу девять раз присваивали Диплом качества за наивысшие достижения по выпуску продукции с государственным «Знаком качества».

В 1992 г. в результате либерализации цен и создания новых рыночных отношений существенно изменилась структура выпускаемой предприятием продукции. В связи с резким падением спроса на заказные реактивы для вузов, научно-исследовательских институтов, техникумов и школ закрывается производство органических реактивов и препаратов.

В январе 1993 г. Химический завод им. П.Л. Войкова одним из первых в Москве преобразован в акционерное общество «АУРАТ» (74 года спустя завод снова становится частным владением), а в ноябре того же года Роспатент РФ выдал свидетельство № 123165 на торговый знак «АУРАТ».

В связи с высоким спросом одним из основных направлений стало развитие производства коагулянтов. Большое внимание было уделено созданию дополнительных мощностей по производству традиционного коагулянта – сульфата алюминия в различных товарных формах (раствор и гранулированный высшего сорта).

Учитывая потребность рынка в высокоэффективных коагулянтах, с 1993 г. были начаты работы по созданию производства реагента нового поколения – полиоксихлорида алюминия.

Правительство Москвы, понимая важность мероприятий по улучшению качества питьевой воды, приняло постановление, в котором определило сроки подготовки технико-экономического обоснования по созданию производства новых видов коагулянтов на базе ОАО «АУРАТ». Уже через один год (1 марта 1995 г.) было начато строительство первой очереди производства полиоксихлорида алюминия мощностью 50 тыс. тонн в год. Первая продукция была получена 23 марта 1996 г., и с 25 июня того же года в системе Московского водопровода стали применять полиоксихлорид алюминия под торговой маркой «АКВА-АУРАТ™10». Указом Президента РФ специалисты ОАО «Аурат» (8 человек) и МГП «Мосводоканал» (8 человек) награждены высокими государственными наградами за создание производства и применение для подготовки питьевой воды новых коагулянтов – полиоксихлоридов алюминия. Обеспечив Москву и близлежащие города новыми коагулянтами, предприятие приступило к строительству второй очереди

производства, и 25 июня 2000 г. был получен первый кристаллический полиоксихлорид алюминия «АКВА-АУРАТ™30».

Выпуск этого продукта позволил значительно расширить географию применения полиоксихлоридов, обеспечить отдаленные районы Сибири и Крайнего Севера реагентом, прекрасно работающим при низких температурах очищаемой воды. Использование коагулянта «АКВА-АУРАТ™30» обеспечивает снижение материальных затрат на транспортировку, погрузочно-разгрузочные работы, приготовление рабочих растворов реагентов и электроэнергию. Мощность производства кристаллического полиоксихлорида алюминия «АКВА-АУРАТ™30» составляет 20 тыс. тонн в год. ОАО «АУРАТ» способно обеспечить реагентом не только станции подготовки питьевой воды, но и очистные сооружения сточных вод. В связи с ростом потребления коагулянтов в 2001 г. проведено техническое перевооружение первой очереди производства жидких полиоксихлоридов алюминия с увеличением мощности до 75 тыс. тонн в год.

Для расширения объемов поставки коагулянтов ОАО «АУРАТ» активно развивает сеть дистрибьюторов по всей России. Так, ООО «Таурат» (Казань), ООО «Раурат» (Ростов-на-Дону), ООО «Сиб-Аурат» (Ачинск), ООО «Сибтранс-Аурат» (Томск), ООО «Промхимснаб» (Санкт-Петербург), ООО «Интехмонтаж» (Минск) и другие компании способствуют успешному продвижению коагулянтов производства ОАО «АУРАТ» в регионы России и страны Таможенного союза.

Завод «АУРАТ» всегда стремился обеспечить высокое качество своей продукции и одним из первых в химической отрасли получил в советское время «Знак качества». Эта традиция продолжается и в наши дни. Выпуск качественной продукции начинается с технологической дисциплины, автоматизации производства, соблюдения стандартов предприятия. Все это стало возможным благодаря наличию квалифицированной метрологической службы и аккредитованной испытательной лаборатории, оснащенной оборудованием, позволяющим с высокой точностью определять примеси в поступающем сырье и готовой продукции, спектрометром с индуктивно-связанной плазмой ICAP 6300 Radial, атомно-абсорбционным спектрометром iCE 3300 и другими современными приборами. Наряду с новыми методами анализа широко используются традиционные титриметрические и гравиметрические методы.

Высокое качество коагулянтов обеспечивается целым комплексом мер: использованием передового современного оборудования и высококачественного сырья; строгим соблюдением заданных технологий, точной выдержкой всех параметров технологических процессов; максимальной автоматизацией производства; повышением профессионального уровня персонала; обеспечением всех участников технологического процесса оперативным доступом к производственной информации.

В ОАО «АУРАТ» применяется трехступенчатая система контроля качества. По мере производства любого продукта контроль осуществляется не только на финише, при выходе готовой продукции, но и еще, по меньшей мере, дважды – на промежуточных этапах. При таком подходе выпуск недоброкачественного продукта практически исключен. Госстандарт РФ и орган по сертификации систем качества ВНИИС уже в 1999 г. выдали ОАО «АУРАТ» сертификат соответствия. Документ удостоверяет, что предприятие способно обеспечить стабильность характеристик продукции, выпускаемой по действующей нормативной документации, и соответствует требованиям ГОСТ Р ИСО 9002-96. Через три года, после повторного рассмотрения вопросов качества выпускаемой продукции, был получен сертификат соответствия на производство коагулянтов по новой версии стандарта ГОСТ Р ИСО 9000-2001.

Безопасность и соответствие коагулянтов ОАО «АУРАТ» современным нормативным санитарно-эпидемиологическим требованиям подтверждается технической и экспертной документацией, в том числе экспертными заключениями ФГБУ «НИИ медицины труда» РАМН, ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в городе Москве», НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды им. А.Н. Сысина РАМН. Все коагулянты имеют сертификаты соответствия требованиям нормативных документов и заключения о радиологической безопасности.

Убедительное свидетельство высокого качества продукции – награды и дипломы, полученные на выставках (конкурсах) «Всероссийская Марка (III тысячелетие). Знак качества XXI века». Так, коагулянты торговой марки «АКВА-АУРАТ™» удостоены платиновой и золотой медалей.

В создании продукции высокого качества есть такая составляющая, которую невозможно обеспечить никакими стандартами и инструкциями. Это отношение работников к делу, когда каждый работает с полной отдачей и считает невозможным допустить брак или какой-либо сбой в производстве. Конкретное отражение такого подхода – прямая связь с потребителями. Даже при отсутствии рекламаций и претензий работники компании постоянно опрашивают заказчиков: каковы их требования к качеству, что надо усовершенствовать, улучшить.

В современных рыночных условиях важно не только продать коагулянт, не менее важно оказать сервисные услуги – совместно с потребителями продукции освоить новые технологии применения полиоксихлоридов алюминия для подготовки воды питьевого качества и для очистки сточных вод, найти оптимальные схемы и режимы использования новых реагентов. Эта работа начинается с выставок и конференций.

ОАО «АУРАТ» является постоянным участником международных конгрессов: «ЭКВАТЭК» и «ВэйстТэк» (Москва), IFAT (Мюнхен), «АКВА ТЕРРА» (Санкт-Петербург), «ЭТЭВК» (Ялта), «Великие реки» (Нижний Новгород), «Вода и тепло» (Минск). При активной поддержке

ОАО «АУРАТ» ежегодно проводятся международные научно-практические конференции «ТЕХНОВОД». Высококвалифицированные специалисты компании (в том числе шесть кандидатов наук) всегда готовы ответить на любые вопросы, предоставить образцы продукции и технические рекомендации. В ОАО «АУРАТ» создана исследовательская группа, которая осуществляет разработку коагулянтов, способов их получения. Специалисты этой группы проводят презентации, подбор коагулянтов и их рабочей дозы, режима коагуляции в соответствии с составом и свойствами очищаемой воды, осуществляют сопровождение процесса внедрения на объекте.

Сотрудниками предприятия «АУРАТ» создан ряд новых технических решений в области коагуляции, которые защищены патентами. Опыт многолетней производственной практики и результаты исследований наших специалистов обобщены в многочисленных публикациях. Генеральный директор ОАО «АУРАТ» С.В. Гетманцев является автором пяти книг по теории и практике коагуляционной очистки воды.

Одним из важнейших конкурентных преимуществ является создание брэндов. Мы активно продвигаем на российском рынке реагентов торговую марку полиоксихлоридов алюминия «АКВА-АУРАТ™», «СКИФ» – смешанный коагулянт и флокулянт, «ГРАЛС» – гранулированный сульфат алюминия, «ВОДАЛС» – водный раствор сульфата алюминия. Наши торговые марки коагулянтов являются гарантом высокого качества продукции.

Сейчас коллектив ОАО «АУРАТ» работает над созданием крупного производства коагулянтов на новой площадке в г. Канаш (Республика Чувашия). На строящемся заводе будет организован выпуск полиоксихлоридов алюминия «АКВА-АУРАТ™» различных модификаций и раствора сульфата алюминия, а также производство нового вида продукции – гранулированного полиоксихлорида алюминия. Ввод в действие этого производства позволит удовлетворить потребности российского рынка в высококачественных безопасных коагулянтах. Все затраты на создание новых производств осуществляются за счет собственных средств предприятия.

Более 15 лет ОАО «АУРАТ» оказывает благотворительную помощь детским приютам Покровского Хотькова и Борисоглебского Аносина ставропигиальных женских монастырей Русской Православной Церкви (сейчас в них проживает 70 воспитанниц); девять работников предприятия удостоены наград РПЦ.

ОАО «Аурат» с оптимизмом смотрит в будущее и надеется не только сохранить конкурентные преимущества в России, но и занять достойное место на мировом рынке химической продукции.

КОАГУЛЯНТЫ, ФЛОКУЛЯНТЫ, ОПТИМИЗАЦИЯ КОАГУЛЯЦИОННОЙ, ФЛОКУЛЯЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ ПРИРОДНЫХ И СТОЧНЫХ ВОД

УДК 628.161.3

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПОЗИЦИОННЫХ КОАГУЛЯНТОВ «УНИКО» ПРИ ОЧИСТКЕ ВОДЫ РАЗЛИЧНЫХ ВОДОИСТОЧНИКОВ

Л.П. Алексеева
ОАО «НИИ КВОВ», г. Москва, Россия

Рассмотрены особенности применения композиционных коагулянтов серии УНИКО при водоподготовке поверхностной воды. Так отпадает необходимость применения флокулянта и предварительного хлорирования. Использование УНИКО дает лучший эффект очистки воды по сравнению с сульфатом алюминия по основным показателям: мутности, цветности, перманганатной окисляемости, остаточному алюминию и др.

Технология водоподготовки, применяемая в настоящее время для очистки воды поверхностных водоисточников, основана на процессе коагуляции и последующего осветления воды, при этом применяются одно- и двухступенные схемы очистки. Процесс коагуляции является практически единственным методом очистки воды от природных и антропогенных загрязняющих веществ, от которого зависит качество питьевой воды и его соответствие высоким современным требованиям. Главное значение при очистке воды коагулированием имеет правильный выбор вида и доз реагентов.

Существенно повысить глубину очистки воды на действующих водопроводных станциях можно за счет применения композиционных коагулянтов нового поколения (товарный знак УНИКО), обладающих

высокими коагулирующими свойствами и бактерицидным эффектом. Это в ряде случаев позволяет отказаться от применения хлорсодержащих реагентов на этапе первичного обеззараживания воды.

Перед практическим применением новых коагулянтов компанией ООО «УНИКО» было принято решение изучить их эффективность в лабораторных условиях непосредственно на водопроводных станциях, использующих для водоснабжения водоисточники различного качества, и отличающиеся принятой технологией очистки воды. Эффективность новых коагулянтов оценивалась в сравнении с традиционными реагентами, применяемыми на водопроводных станциях.

Исследовали 5 основных образцов коагулянтов различного состава: три из них УНИКО-СА/4, УНИКО-СА/5 и УНИКО-СА/6 состоят из сульфата алюминия с активной частью по Al_2O_3 7,5 % и отличаются между собой различным количеством добавок полигексаметиленгуандин гидрохлорид (ПГМГ-ГХ), относящийся к группе флокулянтов катионного типа: 0,11; 0,135 и 0,162 %.

В состав реагентов УНИКО-ОХА/10/5 и УНИКО-ОХА/18/5 входят оксихлориды алюминия (отличаются «основностью») и ПГМГ-ГХ 0,135 %. Активная часть по Al_2O_3 составляет 9,5 %.

Испытания реагентов проводили на специальной лабораторной установке, предназначенной для проведения пробного коагулирования воды. Ниже приводятся характерные данные результатов испытаний новых коагулянтов в г.г. Вологде, Кирове, Северодвинске и Ижевске.

Качество воды водоисточников в этих городах на момент проведения испытаний по основным параметрам существенно отличалось (табл. 1), в связи с чем, оптимальные и эффективные, с точки зрения протекания процесса коагулирования и качества очищенной воды, дозы и виды реагентов, применяемых на водопроводных станциях, были разные.

В г. Вологде исследования проводили на водопроводной станции (ВОС), источник водоснабжения р. Вологда. Для осветления речной воды применяют коагулянт – сульфат алюминия и анионный флокулянт – флопам FO-905. В паводковые периоды при недостаточной щелочности воды проводится ее предварительное подщелачивание содой, а по мере необходимости стабилизационная обработка воды после ее очистки. Обеззараживание воды осуществляется хлором в два этапа (первичное перед смесителем и вторичное перед резервуаром чистой воды). Наиболее тяжелые периоды очистки воды – весенний и осенний паводки, когда резко ухудшается качество речной воды при одновременном понижении ее температуры.

В период исследований качество речной воды характеризовалось высокой цветностью 110 – 112 град., небольшой мутностью 5,46 – 6,62 мг/л и значительным содержанием органических веществ, показатель перманганатной окисляемости отмечался на уровне 16,9 мгO_2/л.

Щелочность речной воды составляла 2,22 – 2,32 мг-экв/л, pH – от 7,73 – 7,81. Доза коагулянта на сооружениях была 50 мг/л по сульфату алюминия (или 15 мг/л по Al_2O_3) и флокулянта – 0,15 мг/л.

Таблица 1. **Данные по качеству воды различных водоисточников в периоды проведения исследований**

Показатели	г. Вологда	г. Киров	г. Северодвинск	г. Ижевск
Водоисточник	р. Вологда	р. Вятка	р. Солза	пруд
Период года	ноябрь	май	май	июль
Температура T^0C	1,5	13	6	22
Мутность, мг/л	5,46–6,62	9,5–12,3	2,6–3,3	6,2–8,6
Цветность, град.	110–112	153–160	160	51–53
Перманганатная окисляемость, мгO_2/л	16,9	14,4–14,8	30,6–32	10,7–12,7
pH	7,76–7,81	7,3–7,4	6,7	8,0–8,2
Щелочность, мг-экв/л	2,2–2,32	1–1,1	0,39	2,7–2,8
Доза коагулянта СА по Al_2O_3, мг/л	15	11	13 Сода–35	16
Вид и доза флокулянта, мг/л	FO-905 0,15	Пр-650 0,2		REF-2022 0,07

Сравнение эффективности реагентов проводили в условиях, приближенных к режиму очистки воды на водопроводной станции.

Опыты проводили с различными вариантами обработки воды коагулянтами и флокулянтами, с предварительным хлорированием, подщелачиванием и без них. Результаты некоторых исследований, представленные в таблице 2 и на рисунках 1 – 2 показывают, что мутность отстоянной воды при очистке воды р. Вологда существенно зависит от вида применяемых реагентов и изменяется от 17,57 мг/л (при использовании СА) до 0,1 мг/л (при использовании композиционного коагулянта У-ОХА/5).

Аналогичная тенденция изменения мутности отстоянной воды наблюдается и во всех последующих опытах при использовании коагулянтов УНИКО (кроме У-СА/6), т.е. она была в десятки раз меньше, чем в пробах воды с СА. По результатам испытаний установлено, что использование коагулянта УНИКО-СА/5 может не только существенно улучшить работу первой ступени очистки воды на водопроводной станции, но, и обеспечивает гораздо более высокое качество фильтрата по основным показателям, чем при использовании СА.

Для определения эффективности извлечения микроорганизмов при использовании коагулянта УНИКО были выполнены микробиологические анализы проб воды, обработанных различными коагулянтами после часового отстаивания.

Таблица 2. **Результаты исследований в г. Вологда**

Проба	1	2	3	4	5	6
Вид коагулянта. Доза, мг/л (по Al_2O_3)	СА 15	У-СА/4 15	У-СА/5 15	У-СА/6 15	УОХА/5 15	У-ОХА/6 15
Доза флокулянта, мг/л	(FO-905) 0,15	–	–	–	–	–
Доза хлора, мг/л	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4
Условия перемешивания: после ввода коагулянта 180 об/мин – 90с, после ввода флокулянта 180 об/мин – 30 с, 0 об/мин – 10 мин.						
Отстаивание:						
Температура, °С						
Мутность, мг/л *(К=101)*	17,57	2,72	1,92	12,9	0,71	0,1
Фильтрат:						
Мутность, мг/л	0	0	0	0	0	0
Цветность, град	23	11	9	17	15	11
Остаточный алюминий, мг/л	0,78	0,08	0,07	0,32	0,07	0,07
Перманганатная окисл., мгO_2/л	7,3	5,0	4,1	6,6	6,8	5,0
Щелочность, мг-экв/л	1,48	1,44	1,45	1,44	1,99	1,99
pH	7,3	7,42	7,55	7,47	7,61	7,68

Примечание: исходная вода: температура 2 °С, .мутность – 17,57 мг/л, цветность – 110 град. перманганатная окисляемость – 16,9 мгO_2/л, доза коагулянта на станции по $Al_2(SO_4)_3$ – 50 мг/л

На рисунке 2 видно, что, в том числе, и за счет более глубокого извлечения взвешенных веществ при отстаивании, качество воды, осветленной при использовании коагулянтов УНИКО без флокулянтов, по

основным микробиологическим показателям существенно лучше, чем при использовании СА с флокулянтом.



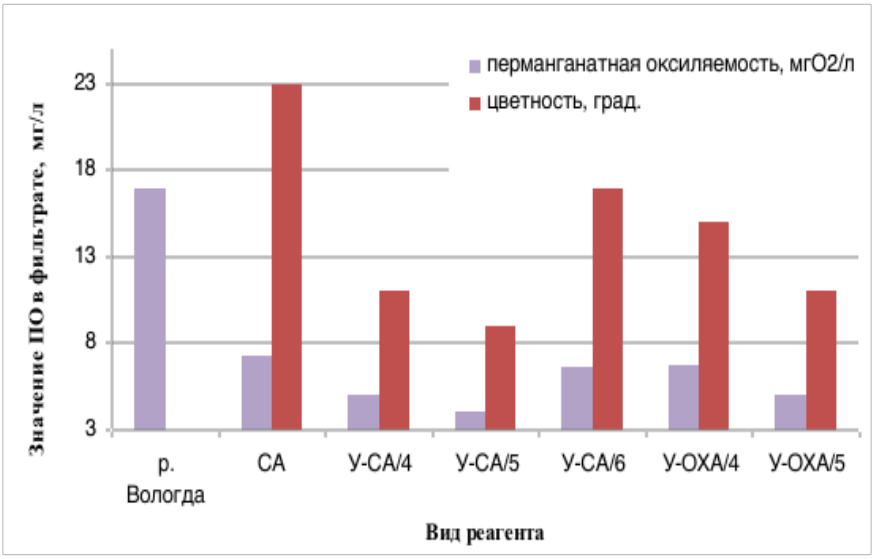


Рисунок 1. **Изменение качества фильтрата в зависимости от вида коагулянта (доза коагулянта 15 мг/л по Al_2O_3)**

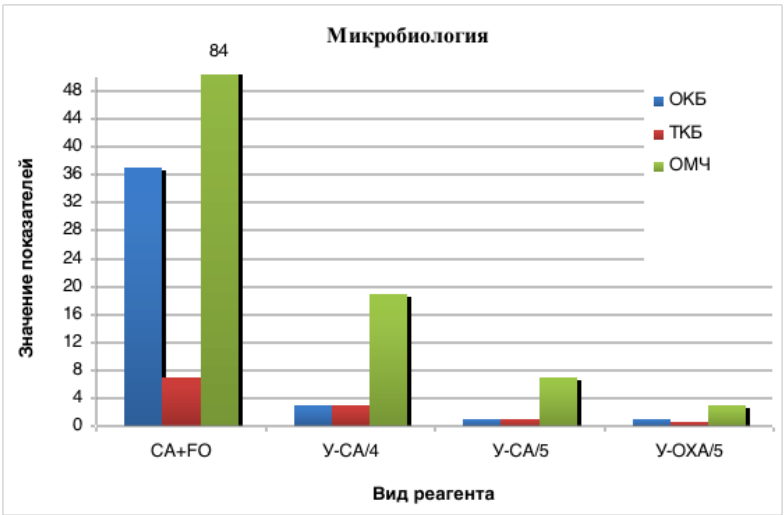


Рисунок 2. **Изменение микробиологических показателей в зависимости от вида коагулянта (доза коагулянта 15 мг/л по Al_2O_3)**

Эти результаты показывают, что на ВОС г. Вологда при использовании коагулянтов серии УНИКО обеспечивается возможность отказа от первичного хлорирования воды перед отстойниками, что позволит, с одной стороны снизить расход хлора, а с другой – значительно уменьшить количество образующихся хлорорганических соединений.

В г. Кирове на ВОС испытывали рассматриваемые коагулянты в процессе очистки воды р. Вятка, с целью изучения эффективности их использования в сравнении с традиционным коагулянтом сульфатом алюминия, применяемым на станции.

В период исследований (май 2013 г.) качество воды р. Вятка характеризовалось небольшой мутностью 9,5 – 12,3 мг/л и высокой цветностью – до 160 град. Применение высоких доз коагулянта сульфата алюминия при сравнительно низкой щелочности 1,0 – 1,1 мг-экв/л, создавало определенные проблемы при очистке речной воды. Исходя из указанных проблем, в процессе очистки речной воды были исследованы коагулянты серии УНИКО. Результаты характерных опытов представлены на рисунках 3 и 4.

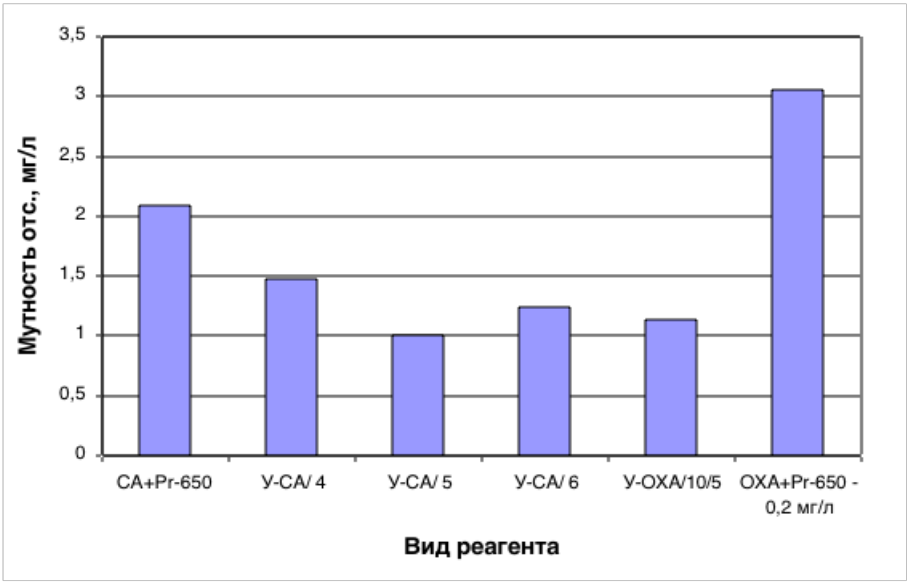


Рисунок 3. **Влияние вида коагулянта на величину мутности отстоянной воды**

На рисунке 3 видно, что процесс коагулирования при использовании реагентов УНИКО в начальный период времени протекает более эффективно, осветление воды при отстаивании проходит быстрее и глубже, чем с СА и ОХА. Мутность осветленной воды минимальная в случае применения реагента У-СА/5.

Аналогичные данные по мутности получены и в других опытах. На рисунке 4 показано, что при очистке воды с коагулянтом У-СА/5 достигаются минимальные значения не только по мутности отстоянной и

фильтрованной воды, но и по показателям остаточного алюминия и цветности.

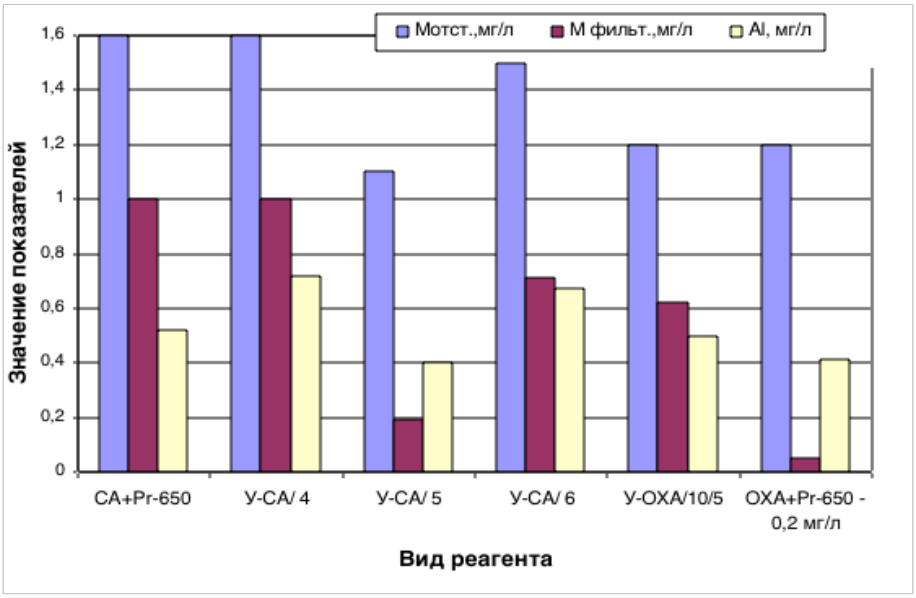


Рисунок 4. **Изменение качества очищенной воды в зависимости от вида коагулянта (доза коагулянта 11 мг/л по Al_2O_3)**

Для оценки количества образующихся хлорорганических соединений в очищенной воде, при проведении исследований были выполнены опыты с хлорированием.

Результаты одного из опытов (рис. 5), показывают, что одним из основных преимуществ коагулянтов УНИКО является уменьшение концентрации образующихся токсичных хлорорганических соединений в процессе подготовки питьевой воды. В случае применения коагулянтов УНИКО без первичного хлорирования, концентрация хлороформа, основного побочного продукта, в 2 – 3,5 раза была меньше по сравнению с использованием СА с первичным хлорированием.

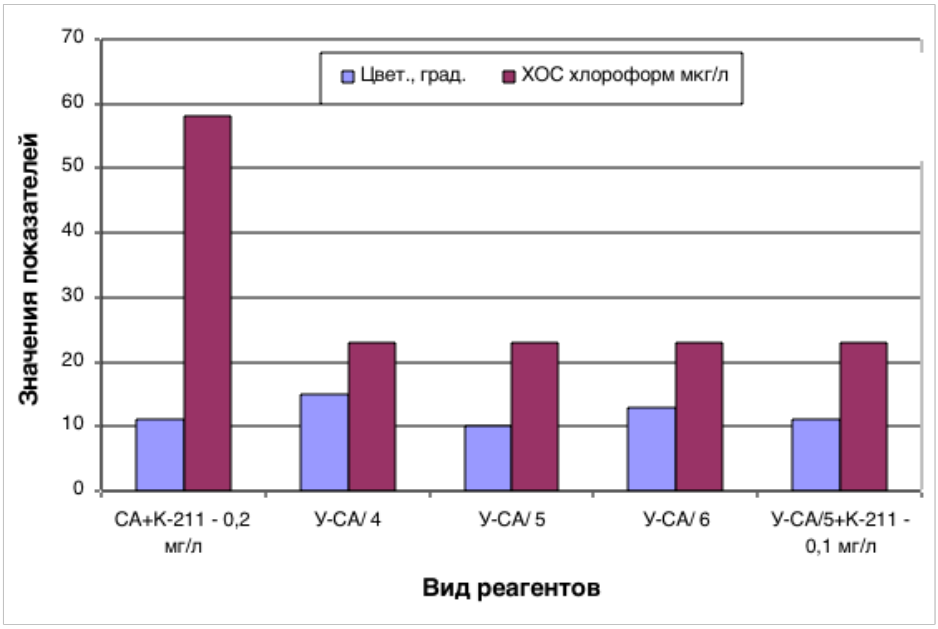


Рисунок 5. **Изменение качества очищенной воды в зависимости от вида коагулянта (доза коагулянта – 11 мг/л по Al_2O_3)**

Данные бактериологического анализа во всех исследуемых пробах воды, показали полное отсутствие микробиологических загрязнений по показателям ОМЧ и ОКБ.

В г. Северодвинске источником водоснабжения является р. Солза, качество воды которой характеризуется высокой цветностью от 70 до 225 град. и значительным содержанием органических веществ природного происхождения. Низкая щелочность речной воды (0,25 – 0,9 мг-экв/л) требует при ее очистке постоянного применения подщелачивающего реагента. Кроме того, температура воды в реке большую часть года не превышает 1 °С, что негативно отражается на процессах коагулирования и осветления воды. На водопроводной станции для очистки речной воды помимо соды применяют коагулянт сульфат алюминия. Процесс коагулирования и хлопьеобразования при обработке холодной, цветной, мало мутной воды протекает вяло, хлопья образуются мелкие, плохо оседают при отстаивании и неэффективно задерживаются в загрузке при фильтровании.

Высокая хлорпоглощаемость речной воды, связанная с повышенным содержанием органических веществ, создает благоприятные условия для образования значительных концентраций токсичных хлорорганических веществ, в частности концентрация хлороформа в питьевой воде достигает 2 – 3 ПДК (0,06 мг/л).

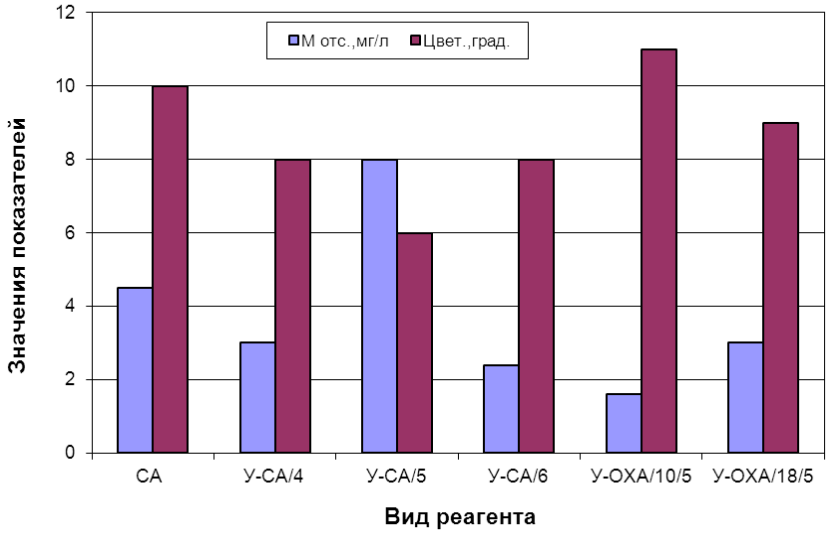
Результаты исследований показали, что качество очищенной воды по всем основным показателям было всегда лучше при использовании коагулянтов марки УНИКО-СА/4 и УНИКО-СА/5 по сравнению с СА. Результаты одного из опытов представлены на рисунке 6.

В г. Ижевске эффективность композиционных коагулянтов УНИКО изучалась при очистке и обеззараживания прудовой воды (используемой для питьевого водоснабжения), сравнительно с коагулянтом сульфатом алюминия и анионным флокулянтом REF 2022, применяемым на ВОС.

Качество воды в водоисточнике характеризуется средними значениями цветности и мутности и значительным содержанием органических веществ природного и антропогенного происхождения. Так, величина показателя перманганатной окисляемости достигает 14 мгO_2/л, а величина показателя химического потребления кислорода – 51 мгO_2/л.

Из-за высоких концентраций органических веществ и низкого содержания кислорода в прудовой воде с мая по ноябрь развиваются сине-зеленые водоросли, численность которых достигает 890 тыс. кл/мл. Максимальные концентрации отмечаются в летний период (август).

Очистка такой воды на ВОС связана со значительными трудностями, в связи с чем, на станции с традиционными сооружениями (отстойники и скорые фильтры) для очистки воды применяют шесть видов различных реагентов, таких как хлор, сульфат аммония, коагулянт, анионный флокулянт, перманганат калия и порошкообразный активированный уголь.



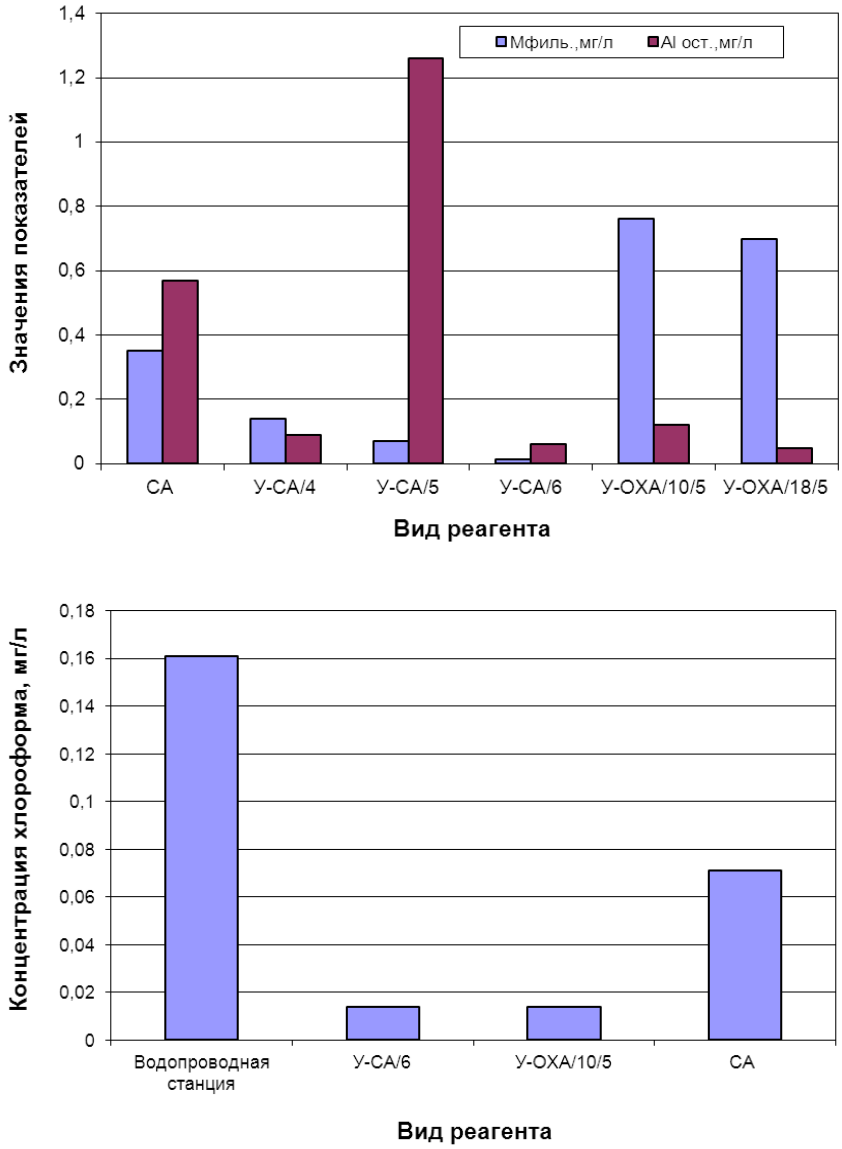


Рисунок 6. **Изменение основных показателей качества очищенной воды в зависимости от вида коагулянта**

Из-за наличия высоких концентраций сине-зеленых водорослей в прудовой воде плохо работают отстойные сооружения. Отмечается повышенный вынос взвешенных веществ из отстойников на фильтры, поэтому возникает необходимость применения высоких доз реагентов. Осадок в отстойниках содержит большое количество органических веществ и имеет тенденцию к загниванию, что приводит к появлению в воде устойчивого неприятного запаха. Периодически на станции возникают трудности с обеспечением качества очищенной воды по показателям перманганатной окисляемости и остаточному алюминию.

Исследования по определению эффективности коагулянтов серии УНИКО проводили в летний период, во время высокого содержания в прудовой воде водорослей.

Полученные результаты позволили установить, что все коагулянты марки УНИКО эффективнее, чем сульфат алюминия. При использовании для очистки воды коагулянта У-ОХА/10/5 показатели мутности отстоянной воды, концентрации остаточного алюминия и показателя перманганатной окисляемости были в 1,5 – 2 раза меньше, чем с сульфатом алюминия.

Результаты опыта с уменьшением дозы коагулянта до 14 мг/л вместо 16 мг/л (доза, применяемая на станции), подтвердили эффективность коагулянтов марки УНИКО, особенно на основе оксихлорида алюминия У-ОХА/10/5. Преимущества его отмечались не только по сравнению с СА, но и по сравнению с коагулянтом гидрооксихлорид алюминия (ГОХА), применяемым на станции совместно с флокулянтом (рис. 7).

Следует также отметить, что микробиологические и гидробиологические показатели качества воды были лучше при использовании для очистки коагулянтов марки УНИКО (табл. 3).

Таблица 3. **Результаты микробиологического и гидробиологического анализа**

Марка коагулянта		У–СА/4	У–ОХА/10/5	СА	Исходная
Доза коагулянта	мг/дм^3	14	14	14	14
Доза флокулянта REF 2022	мг/дм^3	–	–	0,07	–
Микробиология		ОМЧ – 19 ТКБ – 0 ОКБ – 0 Колифаги– 0	ОМЧ – 27 ТКБ – 0 ОКБ – 0 Колифаги –0	ОМЧ – 43 ТКБ – 1 ОКБ – 1 Колифаги – 0	ОМЧ– 165 ТКБ – 0 ОКБ – 9 Колифаги – 0
Гидробиология	тыс. кл/мл	267,8	124,57	280,9	497,3

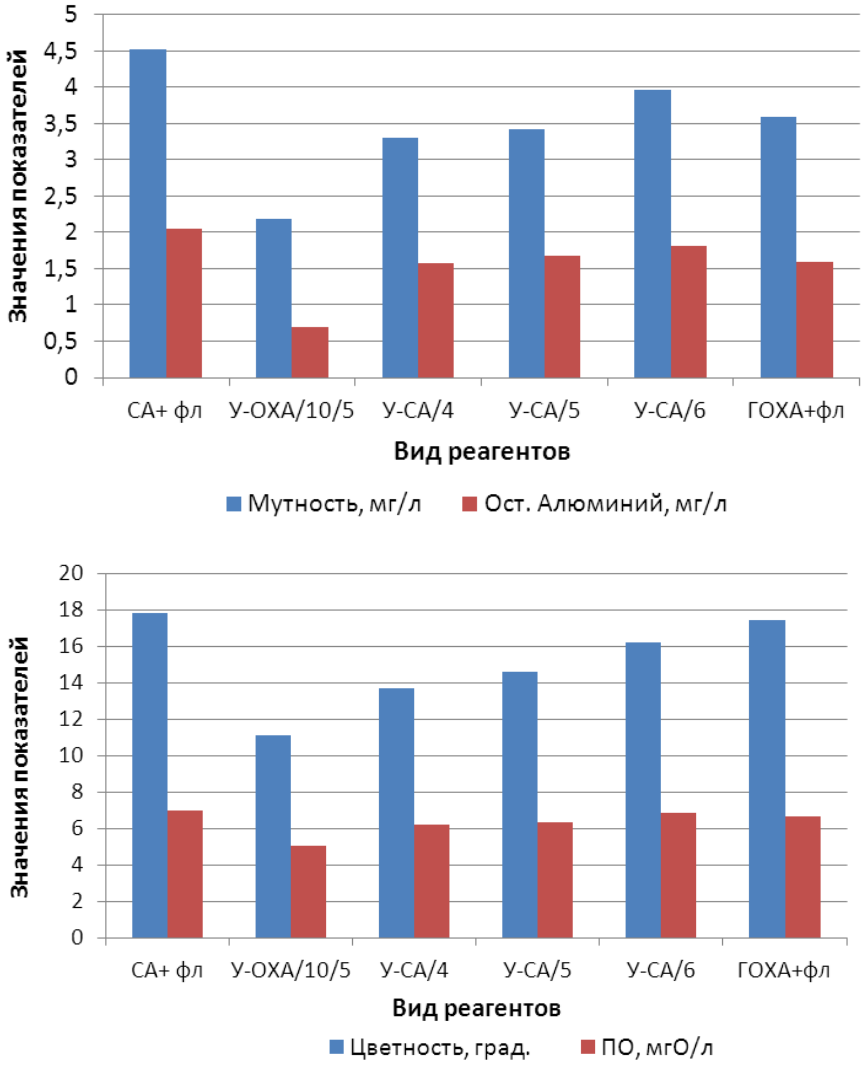


Рисунок 7. **Качество очищенной воды в зависимости от вида реагентов (доза коагулянта -14 мг/л, доза флокулянта – 0,07 мг/л)**

Так, показатель ОМЧ в отстоянной воде уменьшался на 74 % с СА, на 84 % с У-ОХА/10/5 и на 88,5 % с У-СА/4. Особенно важно отметить, что при использовании для очистки воды У-ОХА/10/5 существенно уменьшается концентрация гидробиологических загрязнителей, эффективность их удаления при использовании для очистки воды СА составляет 43,5 %, а при использовании У-ОХА/10/5 – 75 %.

ВЫВОДЫ

1. Приведенные результаты исследований показали высокую эффективность композиционных коагулянтов серии УНИКО при очистке воды различных поверхностных источников водоснабжения.

2. При использовании коагулянтов УНИКО во всех случаях качество очищенной воды было лучше, чем при использовании сульфата алюминия, по основным показателям (мутности, цветности, перманганатной окисляемости, остаточному алюминию и др.).

3. Коагулянты серии УНИКО могут существенно улучшить работу первой ступени очистки воды на водопроводной станции, особенно при наличии в водоисточнике фито- и зоопланктона. Уменьшение мутности отстоянной воды оказывает положительное влияние на весь последующий технологический процесс: снижается нагрузка на фильтровальные сооружения, за счет чего повышается качество фильтрата, увеличивается продолжительность фильтроцикла, уменьшается количество промывных вод и т.п.

4. При использовании для очистки воды композиционных коагулянтов УНИКО отпадает необходимость в дополнительном применении флокулянта. Если на водопроводной станции флокулянт не применяется, но технологически это целесообразно, то замена коагулянта сульфата алюминия на коагулянты серии УНИКО исключит необходимость устройства системы приготовления и дозирования флокулянта. И соответственно исключит все связанные с этим капитальные и эксплуатационные расходы.

5. Эффективность различных типов коагулянтов УНИКО зависит от качества исходной воды. Выбор марки реагента следует проводить на основании результатов предварительных технологических изысканий на воде конкретного источника водоснабжения.

6. Существенным преимуществом коагулянтов УНИКО по сравнению с сульфатом алюминия является возможность его использования без предварительного хлорирования воды. В этом случае хлорирование целесообразно осуществлять перед фильтрами, что позволит, с одной стороны, снизить расход хлорсодержащего реагента, а с другой – значительно уменьшить количество образующихся хлорорганических соединений, так как в процессе осветления воды в отстойниках, либо в осветлителях, из воды удаляется основная масса загрязнений, в том числе органических веществ, обусловливающих при хлорировании образование хлороформа.

УДК 629.16.065.2-926

О РАСЧЕТЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ДОЗЫ КОАГУЛЯНТА

С.В. Гетманцев, Г.Б. Рашковский, А.В. Сычев
ОАО «АУРАТ», г. Москва, Россия

Предложены методики расчета оптимальной дозы коагулянта для оперативного управления дозировкой реагента, в том числе для разработки систем автоматического управления коагуляцией.

Подбор дозы коагулянта при проектировании очистных сооружений или при оптимизации их работы в ряде случаев осуществляют при

недостатке результатов лабораторных исследований коагуляции. Поэтому рабочую дозу коагулянта выбирают экстраполяцией экспериментальных данных с учетом опыта работы с водой сходного состава и свойств. Такая экстраполяция неизбежно носит субъективный характер и не обеспечивает выбор оптимальной дозы коагулянта, поэтому желательно иметь некий алгоритм расчета дозы, который позволит оперативно определять требуемую дозу коагулянта и вносить соответствующую корректировку текущей рабочей дозы коагулянта. Особенно это важно при нестабильных показателях качества очищаемой воды, а также для сокращения количества лабораторных опытов пробной коагуляции.

В настоящее время единственной используемой на практике формулой, используемой для определения ориентировочной дозы коагулянта в технологии очистки природных вод, является уравнение, рекомендуемое СНиП 2.04.02-84:

$$Д = 4 \cdot \sqrt{Ц}\ , \qquad (1)$$

где $Д$ – доза коагулянта по безводному сульфату алюминия, г/м^3, $Ц$ – цветность воды, град.

Соответственно, доза по оксиду алюминия $D \approx 0{,}3\,Д$, где 0,3 – отношение молекулярных масс оксида алюминия (М = 102) и сульфата алюминия (М = 342).

Формула (1) имеет ограниченную область применения, так как учитывает только один нормируемый показатель очистки воды. Для расчета дозы коагулянта желательно располагать более универсальной расчетной формулой.

Как известно, оптимальная доза коагулянта зависит от большого количества параметров. Для питьевой воды этими параметрами являются: тип коагулянта, мутность, цветность, перманганатная окисляемость, pH и щелочной резерв воды, ее ионный состав, температура, а также гидродинамические условия коагуляции. Для сточных вод, в связи с большим разнообразием типов очищаемой воды, набор параметров существенно шире.

Вряд ли возможно получить точное расчетное уравнение, учитывающее всю совокупность взаимодействующих факторов. На практике, однако, для оценки дозы коагулянта в каждом конкретном случае достаточно знать приближенную функциональную зависимость дозы от величины диктующего (наиболее трудно достижимого для данной воды) показателя. В общем случае такая зависимость должна удовлетворять следующим условиям:

– при нулевой дозе коагулянта значение диктующего показателя X должно быть равно его значению в исходной воде X_0;

– с увеличением дозы коагулянта значение X должно монотонно снижаться, стремясь к нулю;

– с увеличением значения X_0 доза должна возрастать, причем, в соответствии с имеющимися экспериментальными данными, а также по аналогии с формулой, рекомендуемой СНиП 2.04.02-84, в первом приближении доза должна быть пропорциональна квадратному корню из значения X_0.

Для получения такой зависимости мы исходили из допущения о том, что снижение диктующего показателя при коагуляции обусловлено сорбцией загрязняющего вещества на активном гидроксиде алюминия, образующемся при гидролизе коагулянта. При этом значение диктующего показателя X пропорционально массовой доле загрязняющего вещества C в очищаемой воде:

$$C = k \cdot X . \qquad (2)$$

Запишем уравнение баланса масс:

$$(C_0 - C) \cdot V = k_1 \cdot m \cdot E , \qquad (3)$$

где: C_0 и C – массовые доли загрязняющих веществ соответственно в исходной и очищенной воде; V – объем очищаемой воды, м^3; m – масса сорбционно-активного осадка гидроксида алюминия; E – емкость сорбционно-активного осадка по загрязняющему веществу.

Масса сорбционно-активного осадка пропорциональна дозе коагулянта:

$$m = k_2 \cdot V \cdot D , \qquad (4)$$

где D – доза коагулянта по оксиду алюминия, г/м^3.

Примем допущение, что сорбция протекает на начальном (линейном) участке изотермы и, соответственно, емкость осадка по загрязняющему веществу E пропорциональна равновесной концентрации загрязняющего вещества в растворе C и поверхности осадка S:

$$E = k_3 \cdot S \cdot C . \qquad (5)$$

В первом приближении можно принять, что поверхность сорбционно-активного осадка пропорциональна дозе коагулянта:

$$S = k_4 \cdot D . \qquad (6)$$

Подставляя (4), (5), (6) в уравнение (3), получим:

$$(C_0 - C) = K \cdot D^2 \cdot C , \qquad (7)$$

где $K = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4$.

Подставляя (2) в (7), получим простую формулу:

$$\frac{X_0 - X}{X} = K \cdot D^2 , \qquad (8)$$

где K – коэффициент, зависящий от состава коагулянта и воды, а также от условий коагуляции.

Численное значение коэффициента K характеризует технологическую эффективность коагулянта: чем выше K, тем

эффективней коагулянт для данной воды в данных условиях. Значение коэффициента К определяют путем пробной коагуляции.

Если диктующим показателем является цветность, при фиксированном значении $X << X_0$ и определенном значении коэффициента K уравнение (8) сводится к известной формуле (1).

Формула (8) удовлетворяет приведенным выше граничным условиям и достаточно хорошо описывает большой массив экспериментальных данных, полученных нами при проведении исследований и испытаний на реальных природных и сточных водах. Формула (8) проста и удобна, при этом она предоставляет пользователю гораздо более широкие возможности, чем формула (1).

Конечно, формула (8) не является универсальной, поскольку не учитывает воздействия ряда параметров на процесс коагуляции. Так, в ряде случаев изменение pH воды при гидролизе коагулянта является фактором, препятствующим дальнейшему протеканию гидролиза и, соответственно, ухудшающим показатели очистки воды. Это обстоятельство может привести к отклонению расчетных значений диктующего фактора от реальных показателей коагуляции, поэтому его следует учитывать.

При гидролизе сульфата алюминия на 1 ммоль (0,102 г) введенного в очищаемую воду оксида алюминия образуется 6 мг-экв кислоты, на нейтрализацию которой расходуется соответствующее количество (6 мг-экв/л) щелочного резерва. Если же коагулянтом является полиоксихлорид алюминия, в составе которого присутствует гидроксильная группа, количество образующейся кислоты можно определить по формуле:

$$a = \frac{6 \cdot (100 - B)}{100} = 0{,}06 \cdot (100 - B), \qquad (9)$$

где a – количество кислоты, образующейся при гидролизе 1 ммоль оксида алюминия, мг-экв; B – основность коагулянта, %.

Для сульфата алюминия $B = 0$, для полиоксихлоридов алюминия B обычно варьируется в диапазоне 33 – 83 % в зависимости от марки продукта.

Соответственно, количество кислоты, образующейся при гидролизе дозы коагулянта D, составит:

$$A = \frac{0{,}06 \cdot D \cdot (100 - B)}{102} \cong 6 \cdot 10^{-4} \cdot D \cdot (100 - B), \qquad (10)$$

где A – количество кислоты, мг-экв/л.

На нейтрализацию образующейся кислоты расходуется эквивалентное количество A защитной щелочи. Если в исходной воде присутствует A_0 защитной щелочи, формула (8) применима при дозах коагулянта, не превышающих D_{max}:

$$D_{\max} = \frac{1667 \cdot A_0}{(100 - B)}. \qquad (11)$$

Если расчетная величина $D > D_{\max}$, следует использовать подщелачивающий реагент, дозу которого A (мг-экв/л) можно определить исходя из количества образующейся кислоты, рассчитанного по формуле (10).

Полученные на основе формулы (8) расчетные графики, наглядно демонстрирующие взаимосвязь дозы коагулянта и величины диктующего показателя, представлены на рисунках 1 – 3. Для иллюстрации в качестве диктующего показателя выбрана цветность, но характер зависимости, естественно, не зависит от типа показателя.

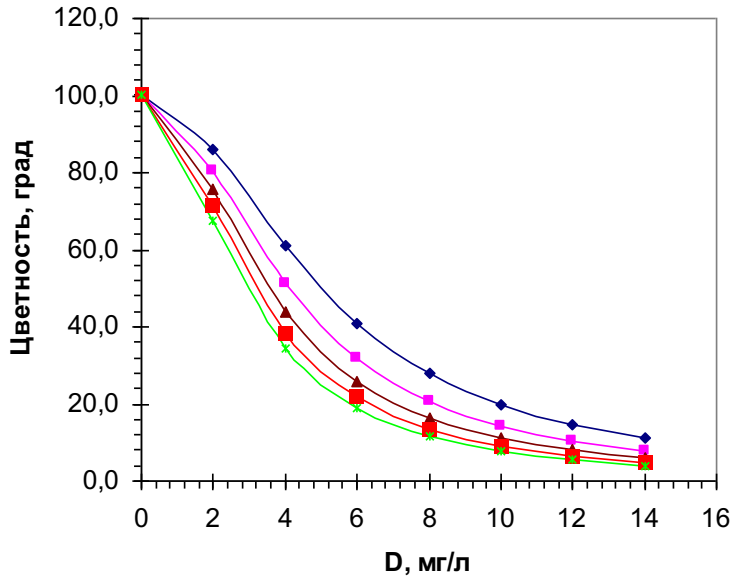


Рисунок 1. **Зависимость цветности от дозы коагулянта при различных значениях К**

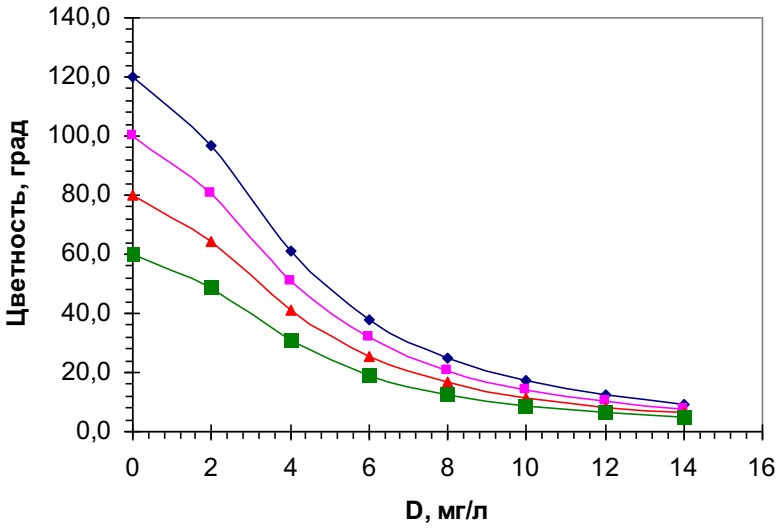


Рисунок 2. **Зависимость цветности от дозы коагулянта при различной исходной цветности (К = 0,06)**

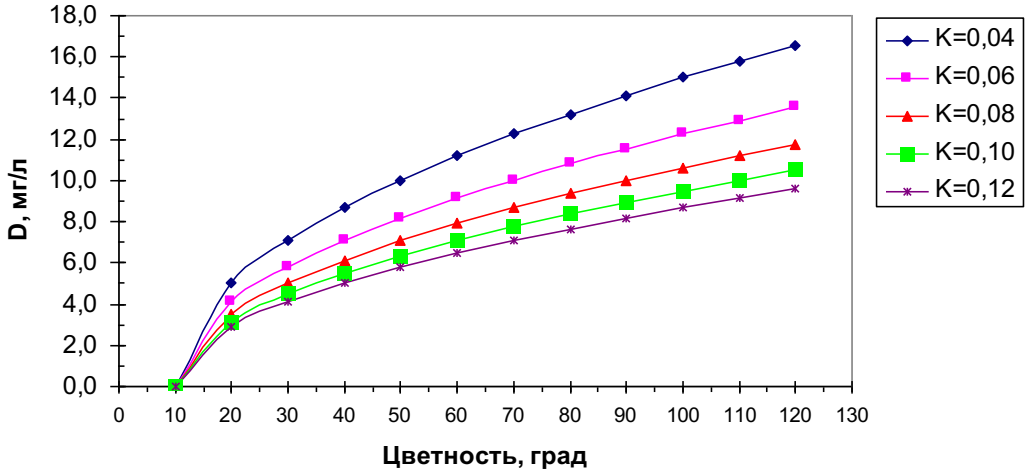


Рисунок 3. **Зависимость дозы коагулянта, требующейся для достижения цветности 10 град, от исходной цветности**

По формуле (8) можно приближенно рассчитывать оптимальную дозу коагулянта даже по результатам одного эксперимента, проведенного не в оптимальных условиях. Подбор дозы коагулянта при недостаточном объеме экспериментальных данных проводят следующим образом. По имеющимся экспериментальным данным определяют среднее значение коэффициента K. После этого, приняв значение X_0, соответствующее текущему (или, при расчете максимальной дозы, худшему) значению диктующего показателя в исходной воде, и выбрав желаемое значение X, обеспечивающее выполнение нормативных требований по диктующему показателю в очищенной воде (предпочтительно, на уровне 0,5 – 0,7 ПДК), рассчитывают оптимальную дозу коагулянта. Если неизвестно, какой из показателей является диктующим, можно определить коэффициенты K_1, K_2, … K_i для различных показателей, рассчитать соответствующие значения доз D_1, D_2, … D_i и установить таким образом диктующий показатель и дозу коагулянта.

Формулу (8) удобно применять как для предварительных технологических расчетов, так и для планирования экспериментов при пробной коагуляции. Проведя один или два эксперимента при дефицитной дозе коагулянта, можно определить диктующий показатель, рассчитать коэффициент K, вычислить оптимальные дозы и проводить последующие опыты в условиях, близких к оптимуму.

Предлагаемая методика расчета может быть использована не только для проектирования водоочистных сооружений, но и для оперативного управления дозировкой коагулянта, в том числе при разработке систем автоматического управления процессом коагуляции. В этом случае следует организовать контроль величины исходного значения диктующего показателя и обеспечить регулирование производительности насоса-дозатора в соответствии с изменением этого значения.

УДК 628.166-926.214

НОВЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ БИОЦИДНЫЕ ФЛОКУЛЯНТЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИГЕКСАМЕТИЛЕНГУАНИДИН ГИДРОХЛОРИДА КАК АЛЬТЕРНАТИВА РЕАГЕНТАМ-ОКИСЛИТЕЛЯМ

И.И. Воинцева
ООО «ЭВИМА», г. Санкт-Петербург, Россия
М. Г. Новиков
ОАО «Ленводоканалпроект», г. Санкт-Петербург, Россия
С.В. Гетманцев
ОАО «АУРАТ», г. Москва, Россия

Описаны свойства полигексаметиленгуанидин гидрохлорида (ПГМГ-ГХ) – полимерного биоцидного препарата широкого спектра действия. Показана принципиальная возможность использования ПГМГ-ГХ в качестве биоцидного флокулянта как самостоятельно, так и в составе новых композиционных реагентов, предназначенных для очистки питьевой воды.

Согласно требованиям Всемирной Организации Здравоохранения (ВОЗ) питьевая вода должна быть безопасна в эпидемическом отношении, безвредна по химическому составу и обладать благоприятными органолептическими свойствами. Мероприятия, рекомендуемые ВОЗ для обеспечения требуемого качества питьевой воды, подразумевают, в частности, уменьшение количества химических реагентов, добавляемых в воду с целью ее очистки от химических и биологических загрязнителей.

Однако опасность заболевания населения от микробиологических загрязнений природной воды гораздо выше, чем при загрязнении питьевой воды химическими соединениями различной природы, поэтому с позиций профилактики эпидемических ситуаций самой главной стадией подготовки воды является ее обеззараживание.

С начала XX века во всем мире в системах централизованного водоснабжения воду традиционно обеззараживают хлором. В США на крупных водопроводах 98,6 % питьевой воды подвергается хлорированию; озонирование составляет 0,37 %, остальные методы – 0,75 %.

Хлорирование – наиболее изученный, эффективный и экономичный метод обеззараживания питьевой воды. Благодаря эффективности и способности консервировать очищенную воду, хлор получил широкое распространение в технологиях водоподготовки. Традиционная технология водоподготовки включает в себя обеззараживание воды хлором или его соединениями, а затем коагуляцию примесей с применением коагулянтов и флокулянтов. Однако хлор – это, прежде всего серьезный токсикант с резким удушающим запахом и высокой коррозионной активностью.

Применение, транспортировка и хранение значительных количеств жидкого хлора в черте города, сброс газообразного хлора в окружающую среду, коррозия приборов и оборудования на водопроводных станциях представляют высокую экологическую опасность для окружающей среды.

Одним из серьезных недостатков хлорирования воды является образование высокотоксичных галогенсодержащих соединений, значительную часть которых составляют тригалоидметаны: хлороформ, дихлорбромметан, дибромхлорметан и бромоформ, предельно допустимые концентрации которых установлены в различных странах в пределах от 0,001 до 0,2 мг/л. Если же необходимую дозу хлора вводят в воду не сразу, а поэтапно, в 2 – 3 приема, то на первом этапе хлорирования образуются нелетучие хлорорганические соединения, еще более токсичные, чем тригалоидметаны.

Образование токсичных соединений обусловлено взаимодействием хлора с растворенными в воде органическими веществами природного происхождения (гуминовые и фульвиновые кислоты, танины, белковые вещества, хлор- и фосфорсодержащие пестициды, нефтепродукты, продукты метаболизма фито- и зоопланктона, иные органические примеси). Количество образующихся в воде хлорорганических соединений пропорционально уровню загрязнения источников питьевого водоснабжения органическими веществами и дозам хлора, которые используются при хлорировании воды. Всего из воды было выделено и идентифицировано более 230 хлорорганических соединений, многие из которых обладают канцерогенными, тератогенными и мутагенными свойствами, эмбриотоксическим, гонадотоксическим действием, понижают иммунитет, вызывают аллергические реакции, могут вызывать бесплодие, нарушение обмена веществ и деятельности эндокринной системы, инициировать развитие онкологических (либо раковых) заболеваний, наследственные изменения, вплоть до врожденных уродств.

Поэтому чрезвычайно актуальной задачей является разработка новых технологий очистки воды с использованием реагентов нового поколения, позволяющими, как минимум, исключить из этапа водоподготовки стадию первичного хлорирования.

Поставленная задача наиболее эффективно решается за счет использования полигексаметиленгуанидин гидрохлорида (ПГМГ-ГХ), поскольку это высокомолекулярное вещество сочетает свойства биоцида и флокулянта и при этом не только не инициирует образование в воде токсичных химических продуктов, а, напротив, способствует удалению из воды некоторых вредных химических веществ, в том числе солей тяжелых металлов.

ПГМГ-ГХ представляет собой высокомолекулярное, стабильное вещество, не требует особых мер предосторожности при применении, транспортировке и хранении, не коррозионноактивно, не опасно для

окружающей среды и персонала водоочистных станций. ПГМГ-ГХ впервые был синтезирован в США в 1943 г. Из гуаидинсодержащих соединений в США и Европе в настоящее время в качестве биоцидов используются в основном низкомолекулярные соединения – бигуаниды. В России в конце 60-х годов прошлого века в Институте нефтехимического синтеза РАН П.А. Гембицким был разработан и внедрен в производство простой, дешевый и экологически безопасный способ получения ПГМГ-ГХ высокотемпературной поликонденсацией гексаметилендиамина с гуанидингидрохлоридом.

Отличительной особенностью ПГМГ-ГХ является сочетание высокой биоцидной активности в отношении микроорганизмов (бактерий, вирусов, грибов) с низкой токсичностью для макроорганизмов (человека и животных). Такое сочетание свойств полимера обусловлено его химическим строением и макромолекулярной природой: в каждом повторяющемся звене макромолекулы ПГМГ-ГХ содержится положительно заряженная гуанидиновая группировка, состоящая из трех атомов азота, связанных с центральным атомом углерода.

В отличие от реагентов, традиционно используемых в водоподготовке, ПГМГ-ГХ не является окислителем. Механизм его биоцидного действия носит мембранотоксический характер: гуанидиновые поликатионы адсорбируются на отрицательно заряженной поверхности бактериальной клетки; диффундируют через стенку внутрь клетки; связываются с кислотными фосфолипидами, белками цитоплазматической мембраны, что приводит к ее разрыву. В результате происходит блокада гликолитических ферментов дыхательной системы, потеря патогенных свойств и гибель микробной клетки.

По острой токсичности при введении в желудок в соответствии с ГОСТ 12.1.007-76 ПГМГ-ГХ относится к III классу умеренно опасных соединений, а при нанесении на кожу – к IV классу малоопасных соединений.

ПГМГ-ГХ – стабильное в водной среде соединение, не придает посторонних запахов, привкуса и окраски в концентрациях, имеющих практическое значение; обеспечивает обеззараживание воды, улучшает качество воды по мутности, цветности, на 30 – 40 % уменьшает содержание остаточного алюминия. Препарат хорошо растворим в воде. Растворы не имеют цвета и запаха, не вызывают сенсибилизацию организма, не оказывают раздражающего воздействия на кожу и слизистые оболочки; не установлены мутагенный, гонадотоксический или тератогенный эффекты, эмбриотоксическое и канцерогенное действие.

В отличие от хлора, ПГМГ-ГХ обладает альгицидными свойствами и предотвращает биообрастание оборудования. В то же время ПГМГ-ГХ является биоразлагаемым веществом: в живом организме имеются ферментные системы, способные вызывать его биохимическое

разложение, предотвращающее кумуляцию реагента. Первой стадией метаболизма ПГМГ-ГХ в живом организме является замена аниона хлора на менее токсичный анион глюкуроновой кислоты, которая образуется в организме при окислении глюкозы. В дальнейшем протекает гидролиз гуанидиновых группировок и деструкция полимерной цепи с образованием мочевины, аммиака и углекислоты. В естественных водоемах ПГМГ-ГХ также деградирует под влиянием бактерий «активного ила».

Для ПГМГ-ГХ обоснованы следующие гигиенические нормативы: ПДК в воде водных объектов хозяйственно-питьевого водопользования, а также питьевой воде и воде в системе горячего водоснабжения – 0,1 мг/л (ГН 2.1.5.1315-03), ПДК в воздухе рабочей зоны – 2 мг/м^3 (ГН 2.2.5.1314-03); ОБУВ в атмосферном воздухе населенных мест – 0,03 мг/м^3 (ГН 2.1.6.1339-03); ПДУ на кожных покровах человека – 0,01 мг/см^2.

Одно из преимуществ ПГМГ-ГХ как реагента водоподготовки заключается в том, что полимер совмещает биоцидные и флокулирующие свойства, причем является одним из лучших катионных флокулянтов. При его использовании можно отказаться от введения постороннего флокулянта.

Большой положительный опыт применения ПГМГ-ГХ в очистке и обеззараживании воды накоплен в Украине. Там уже более 15 лет проводятся научно-исследовательские и практические работы по использованию ПГМГ-ГХ в качестве реагента неокислительного действия в технологиях водоподготовки. Активные научные и практические исследования по применению ПГМГ-ГХ в очистке и обеззараживании воды в России стали проводиться в начале текущего столетия. К настоящему времени Министерством здравоохранения РФ ПГМГ-ГХ и ряд реагентов на его основе разрешены для очистки и обеззараживания воды плавательных бассейнов, аквапарков, оборотной воды, питьевой воды, воды в системах горячего водоснабжения, сточной воды.

Большой интерес представляют разработанные российскими учеными и специалистами композиционные реагенты с содержанием ПГМГ-ГХ. К одним из них относятся композиционные флокулянты серии «УНИКО»: «УНИКО-Ф-ОХА» и «УНИКО-Ф-СА», выпуск которых налажен в ОАО «АУРАТ», отличающиеся тем, что в состав первого входит оксихлорид алюминия, в состав второго – сульфат алюминия.

В соответствие с ТУ 2163-001-09871624-2013 флокулянты «УНИКО» представляют собой прозрачную жидкость с массовой долей ПГМГ-ГХ – 20 %, алкилдиметилбензиламмоний хлорида – от 0 до 3,6 %, оксида алюминия – 1,0 %.

Продукты обладают альгицидной, повышенной флокуляционной способностью и антимикробной активностью. По параметрам острой токсичности (ГОСТ 12.1.007-76) продукт относится к 4 классу опасности. Все химические соединения, входящее в реагент, имеют нормативы для

воды. ПДК для ПГМГ-ГХ в воде водоёмов – 0,03 мг/л (санитарный режим) и 0,1 мг/л (санитарно-токсикологический признак вредности) в питьевой и горячей воде. ПДК в воде алкилдиметилбензиламмония хлорида – 0,3 мг/л (по пенообразованию), ПДК алюминия – 0,5 мг/л и ПДК этиленгликоля – 1,0 мг/л.

Эффективность очистки воды, в том числе и от микробиологической загрязненности, определяется дозами реагента и коагулянта, порядком введения реагента, скоростью смешения с водой, равномерностью распределения в воде, условиями формирования хлопьев в камерах реакции. Рекомендуемые дозы флокулянта – 0,05 – 0,2 мг/л по основному действующему веществу ПГМГ-ГХ. В связи с приоритетностью ПГМГ-ГХ, относительно других компонентов попадающих в обработанную воду, именно это вещество следует контролировать в обработанной воде и сравнивать его с ПДК (0,1 мг/л). Вместе с тем, согласно экспертному заключению № 13/2-П от 27.04.2013 г., выданному ФГБУ «НИИ МТ» РАМН, «в связи с тем, что концентрация флокулянов в обработанной воде не может соответствовать внесенной концентрации, т. к. более 80 % обычно выпадает в осадок, сравнение рабочих концентраций полиэлектролита (ПГМГхл) с ПДК не является корректной процедурой». Таким образом, вводимые дозы флокулянтов «УНИКО» с максимально рекомендуемым содержанием ПГМГ-ГХ – 0,2 мг/л всегда будут меньше порога чувствительности существующего метода определения ПГМГ-ГХ – 0,05 мг/л.

Исследования и опыт практического применения в очистке воды флокулянтов серии «УНИКО» показывают, что использование указанных реагентов на этапе их традиционного применения снижает микробиологическое загрязнение воды на 95 – 99 %. Это позволяет отказаться от первичного хлорирования, тем самым исключить или значительно снизить образование хлорорганических соединений.

Практика применения на водоканалах России реагентов с содержанием ПГМГ-ГХ показала, что ПГМГ-ГХ обладает свойствами 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.

Очень важно, что при использовании флокулянтов серии «УНИКО» на объектах водоподготовки при централизованном водоснабжении нет необходимости в существенной реконструкции очистных сооружений – для приготовления и дозирования растворов реагента могут быть задействованы существующие емкости и оборудование, предназначенные для введения флокулянтов и других реагентов.

В отличие от хлора биоцидные композиционные флокулянты «УНИКО» – пожаро- и взрывобезопасное, стабильное вещество; в

герметичной таре может храниться до 3 лет без потери растворимости, биоцидной активности и химических свойств. Флокулянты стабильны при транспортировке и хранении, не вызывают коррозию водопроводных труб и оборудования, предотвращают образование слизи и биообрастание.

Новая технология с отказом от первичного хлорирования позволяет значительно снизить запасы хлора в черте города, улучшить условия труда персонала на станции водоподготовки, отказаться от сброса высокотоксичных хлорорганических соединений в природные водоемы. Хлор и другие реагенты-окислители, обеззараживая воду, делают ее еще более вредной по химическому составу, чем исходная вода за счет взаимодействия с растворенными в воде примесями, которые практически не удаляются из воды на последующих стадиях водоподготовки и определяют, в частности, мутагенные свойства воды. При мутагенезе появляются новые формы неизвестных патогенных штаммов микроорганизмов, действие которых на организм человека, животных и растений предвидеть невозможно.

В отличие от этого ПГМГ-ГХ не индуцирует мутагенез и формирование резистентности микрофлоры воды. Определение суммарной мутагенной активности воды в модельном тесте Эймса выявили существенное снижение уровня мутагенного эффекта в воде, обработанной ПГМГ-ГХ, по сравнению с хлорированной водопроводной водой из поверхностного водоисточника. Продукты химического взаимодействия ПГМГ-ГХ с присутствующими в воде примесями представляют собой высокомолекулярные, трудно растворимые соединения, быстро оседающие на дно в процессе коагуляции. Как правило, продукты химической модификации ПГМГ-ГХ не токсичны и сохраняют присущие ему биоцидные свойства.

ВЫВОДЫ

Сочетание биоцидных, флокулирующих и комплексообразующих свойств с низкой токсичностью, удобной физической формой, экологической безопасностью делает ПГМГ-ГХ весьма перспективным реагентом для водоподготовки, хорошей альтернативой реагентам-окислителям, *применяемым на первом этапе обеззараживания воды*. При любой степени загрязнения воды использование реагентов с содержанием ПГМГ-ГХ обеспечивает нормативное качество воды не только по параметрам эпидемической безопасности, но и по химическим показателям, а саму технологию водоподготовки делает более эффективной и экономичной.

УДК 628.161

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ОЧИСТКИ ВОДЫ МАЛОЗАГРЯЗНЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Л.П. Алексеева, С.Е. Алексеев
ОАО «НИИ КВОВ», г. Москва, Россия
Л.В. Курова
ООО УК «РОСВОДОКАНАЛ», г. Москва, Россия

Представлены результаты применения различных коагулянтов и флокулянтов для очистки воды р. Иртыш. Показано, что наиболее эффективным является использование ОХА в сочетании с органическими коагулянтами.

Введение ПДК на содержание в питьевой воде органических веществ, а также снижение нормативов по микробиологическим показателям, привело к необходимости поддерживать величину мутности и цветности на уровне значений существенно меньше нормативных значений. Самым простым и надежным методом улучшения процесса очистки воды на действующих водопроводных станциях является повышение доз реагентов и проведение коагуляционной очистки воды во все периоды года.

НИИ коммунального водоснабжения и очистки воды выполняет различные работы, связанные с повышением качества питьевой воды до современных требований. Проводит технологическое обследование и при необходимости технологические изыскания по оптимизации процессов коагуляционной обработки и обеззараживания воды с целью повышения качества очищенной воды и сокращения расходов реагентов. В последние годы такие исследования были проведены более чем в 30 городах России.

Основные проблемы на водопроводных станциях связаны с трудностями обеспечения необходимого качества питьевой воды в условиях действующих очистных сооружений. Еще сложнее в этих условиях определить технологические решения, позволяющие уменьшить расходы на очистку воды. Особенно заинтересованы в сокращении расходов на реагенты водоканалы, использующие для водоснабжения населения малозагрязненные водоисточники.

Реки Иртыш и Обь (с низкой цветностью и сравнительно небольшой мутностью) являются малозагрязненными источниками водоснабжения многих больших и малых городов Западной Сибири, таких как Новосибирск, Барнаул, Омск и др. На примере очистки воды р. Иртыш рассмотрим возможные пути оптимизации процесса коагуляции с целью уменьшения доз реагентов и обеспечения стабильного качества питьевой воды на водопроводных станциях. Вода р. Иртыш относится к маломутным, и малоцветным источникам водоснабжения, с низким

содержанием органических веществ и микробиологических загрязнителей..

Очистка воды на водопроводных станциях осуществляется оксихлоридом алюминия (ОХА) и катионным флокулянтом PolyDADMAC серии FLOQUAT™ FL-4540 PWG фирмы SNF FLOERGER. Часто PolyDADMAC FL-4540 PWG называют органическим коагулянтом (отечественный аналог ВПК-402), использовать его можно для очистки воды не только совместно с минеральными коагулянтами, но и в качестве основного коагулянта. Органические коагулянты эффективны при очистке мягких вод, с низким солесодержанием и щелочностью. Эти свойства характерны для воды р. Иртыш. Качество очищенной воды соответствует требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества». Основной целью исследований являлось определение оптимальных условий применения различных коагулянтов и флокулянтов для очистки речной воды в плане обеспечения необходимого качества питьевой воды при минимальных дозах реагентов.

Исследования по интенсификации очистки воды р. Иртыш проводили вовсе характерные периоды года, в данной статье представлены те периоды, когда сооружения работают по двухступенной схеме с отстойниками и фильтрами и в условиях контактной коагуляции на фильтрах. Т.к. мутность речной воды является диктующим показателем качества, от которого зависят дозы реагентов, и определяется эффективность очистки воды, контроль качества воды осуществлялся по показателю мутности. В период проведения исследований мутность речной воды составляла 16,5 – 21,6 мг/л.

Учитывая положительный опыт использования для очистки воды р. Иртыш органического коагулянта FL-4540, первоначально были выполнены исследования по определению влияния доз реагентов на качество очищенной воды. В летний период с увеличением дозы коагулянта от 0,05 до 0,2 мг/л (рис. 1), мутность отстоянной воды уменьшалась от 15,6 до 9,1 мг/л (на 42 %), а мутность фильтрата – от 3,1 до 1,0 мг/л (на 68 %). В осенний период дозы органического коагулянта FL-4540 изменяли от 0,1 до 0,4 мг/л, однако мутность отстоянной воды уменьшилась лишь на 26 % с 8,6 до 6,4 мг/л. Таким образом установлено, что применение одного органического коагулянта не всегда может надежно обеспечивать необходимую степень очистки воды р. Иртыш даже при повышенных дозах реагента.

При совместном применении коагулянтов ОХА и FL-4540 эффективность коагуляционной очистки воды также существенно зависит от доз реагентов (рис. 2). Так, при увеличении дозы ОХА от 0,5 до 1,25 мг/л и FL-4540 от 0,05 до 0,15 мг/л эффективность очистки воды при отстаивании составляла в среднем 72 %. Мутность фильтрата уменьшалась на 90 – 95 %.

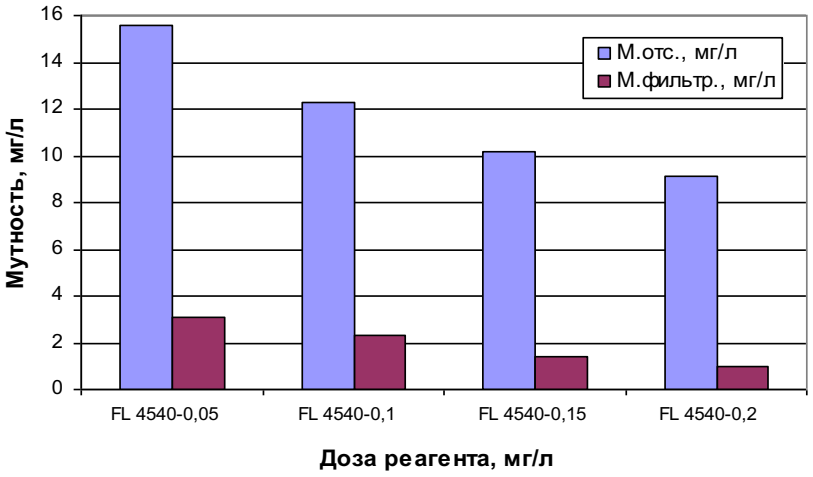
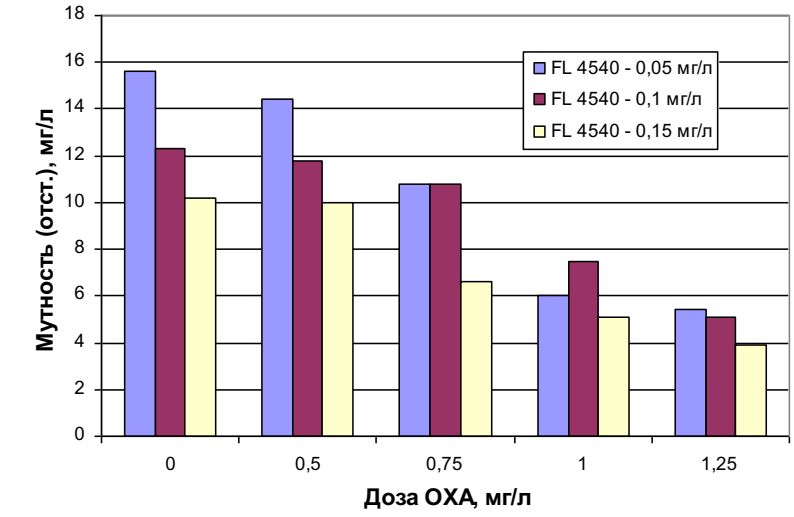


Рисунок 1. **Влияние дозы FL-4540 на мутность отстоянной и фильтрованной воды в летний период**



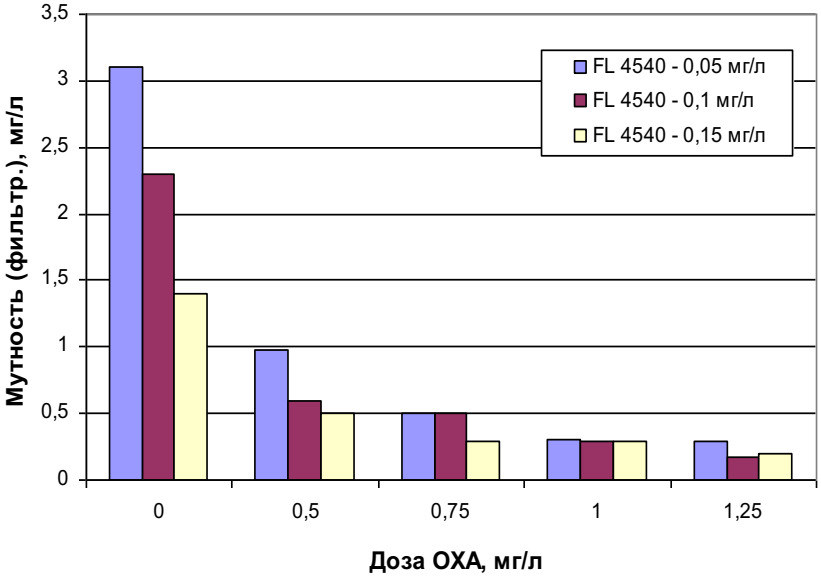


Рисунок 2. **Влияние доз реагентов на качество очищенной воды**

При изучении влияния различных видов коагулянтов и флокулянтов на процесс очистки речной воды и качество очищенной воды применяли минеральные коагулянты (ОХА «Сибресурс», ОХА «АКВА-АУРАТ™30»), органические коагулянты (PolyDADMAC FL-4540, MAGNAFLOC MLT-31 и MLT-35) и анионные и катионные флокулянты (MAGNAFLOC MLT-20, MLT-22, MLT-25, MLT-27, MLT-30, Praestol Pr-2530 и Pr-650, FLOPAM FO-4240). Дозы неорганических коагулянтов изменяли от 0,2 до 0,5 мг/л, органических коагулянтов – от 0,05 до 0,4 мг/л, доза флокулянтов во всех опытах составляла 0,1 мг/л.

Обобщенные результаты исследований показали, что с неорганическими коагулянтами типа ОХА эффективность очистки речной воды выше при использовании в качестве второго реагента органических коагулянтов, чем в случае применения анионных или катионных флокулянтов.

На рисунке 3 видно, что процесс осветления воды при отстаивании проходит эффективно в случае применения ОХА и polyDADMAC FL-4540, а также при использовании органических коагулянтов марки MAGNAFLOC LT-31 и MAGNAFLOC LT-35 фирмы «BASF».

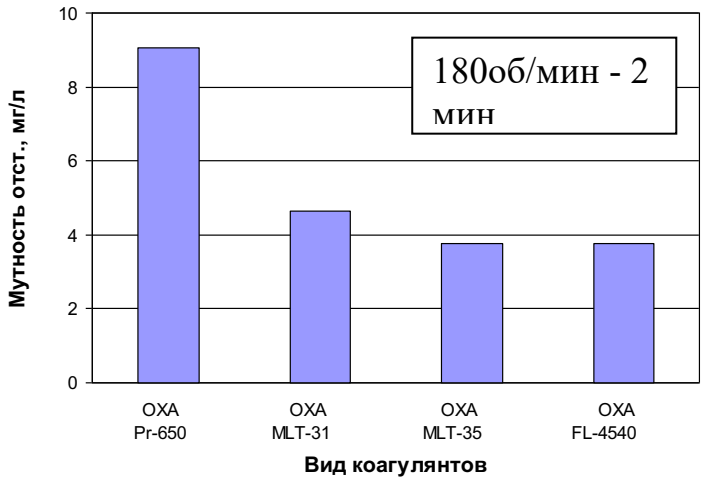


Рисунок 3. **Влияние вида органического коагулянта (0,1 мг/л) на мутность отстоянной воды при совместном их применении с ОХА (0,5мг/л)**

Так как процесс осветления воды при коагулировании зависит от условий перемешивания реагентов с обрабатываемой водой, были определены оптимальные параметры для смесителей и камер хлопьеобразования. Для оценки этих параметров использовали обобщенный показатель – критерий Кемпа. Величина критерия Кемпа смесителя станции, примерно, соответствовала 19800, а камеры хлопьеобразования – 15000.

Результаты исследований в летне-осенний период, представленные на рисунке 4 показывают, что с увеличением интенсивности

перемешивания воды в смесителе существенно уменьшалась мутность отстоянной воды (с 9,2 мг/л до 2,9 мг/л) и фильтрата (с 0,87 до 0,12 мг/л).

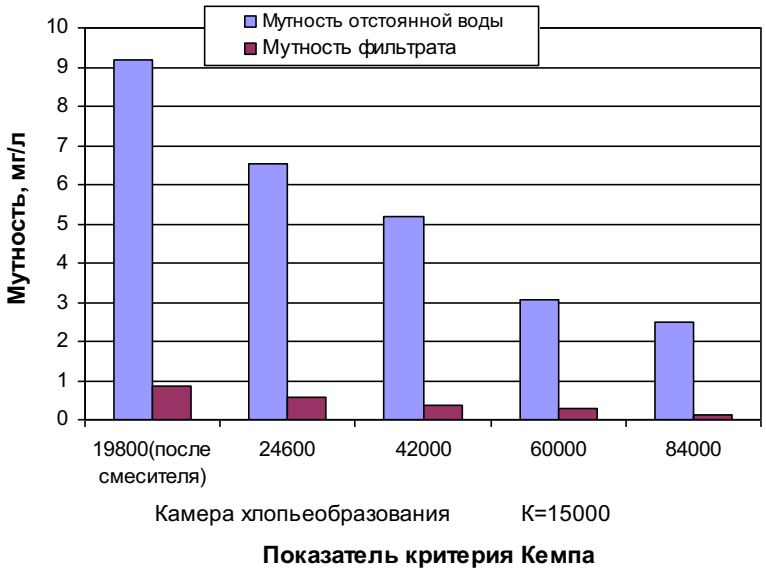


Рисунок 4. **Влияние интенсивности быстрого перемешивания на качество очищенной воды (Д FL 4540 - 0,2 мг/л)**

Влияние интенсивности медленного перемешивания в камере хлопьеобразования, показано на рисунке 5. С увеличением продолжительности перемешивания (и критерия Кемпа) мутность отстоянной воды также снижалась на 35 %, а мутность фильтрата – на 63 %.

Таким образом установлено, что даже в случае проведения коагулирования речной воды при температуре 22 – 12 °С, интенсивность перемешивания воды с реагентами должна быть больше, чем обеспечивают сооружения станции.

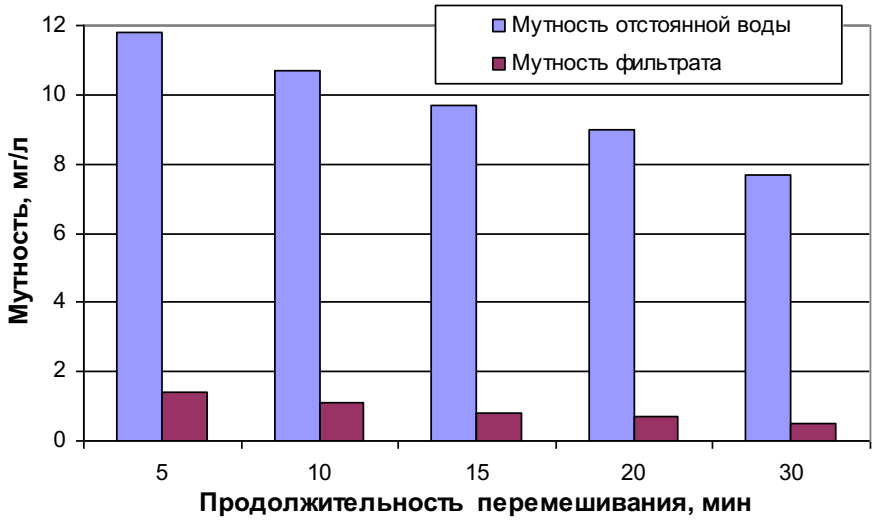


Рисунок 5. **Влияние продолжительности медленного перемешивания ($G = 25с^{-1}$) на качество очищенной воды (Д FL 4540 – 0,2 мг/л)**

Для установления необходимости дополнительного перемешивания воды с реагентами в смесителе в зимний период были проведены специальные исследования с водой, отобранной из смесителя станции, которая подвергалась дополнительному быстрому перемешиванию с различной интенсивностью. При этом медленное перемешивание проводили со всеми пробами в одинаковых условиях ($G = 25^{-1}$, в течение 10 мин). Данные, представленные в таблице (п. 1), показывают, что оптимальные условия быстрого перемешивания реагентов с водой в смесителе (минимальная мутность фильтрата 0,12 мг/л) соответствуют значениям критерия Кемпа 54600, это в 2,7 раза больше, чем обеспечивает смеситель станции.

Таблица. **Влияние интенсивности перемешивания реагентов с водой на качество очищенной воды**

№ опыта	$Д_{К1}$ мг/л ОХА	$Д_{К2}$ мг/л FL-4540	Интенсивность перемешивания, критерий Кемпа		Мутность воды, мг/л	
			в смесителе	в камере хлопьеобразования	отстоянной	фильтрата
Вода из смесителя станции						
1	0,5	0,095	19800	15000	3,26	0,49
			37200	15000	3,23	0,22
			54600	15000	3,23	**0,12**
			72000	15000	3,22	0,2
2	0,5	0,095	34200	0	3,49	0,81
			34200	7500	3,31	0,28
			34200	15000	3,29	0,23
			34200	22500	3,31	0,12
			34200	**30000**	3,2	**0,06**
Речная вода						
3	**0,1**	**0,05**	43200	7500	3,0	0,58
			43500	7500	3,31	**0,33**
			43200	7500	3,5	0,42
			43200	7500	3,5	0,87
			42900	7500	3,46	1,46
4	0,1	0,05	19800	7500	3,35	1,16
			19800	15000	3,49	0,81
			19800	22500	3,35	0,75
			19800	30000	3,3	0,58
			19800	45000	3,17	0,29

Медленное дополнительное перемешивание также способствовало снижению показателя мутности фильтрата (п. 2), с увеличением продолжительности перемешивания мутность воды уменьшалась с 0,8 до 0,06 мг/л. Необходимые значения критерия Кемпа в этом случае составляли 30000, что в 2 раза больше, чем возможности гидравлической камеры хлопьеобразования.

Мутность отстоянной воды во всех опытах практически не изменялась и отмечалась на уровне значений мутности исходной речной воды.

Для установления оптимальных условий перемешивания реагентов с водой в смесителе и камере хлопьеобразования исследования проводили на речной воде с минимальными для данного периода дозами реагентов, которые были в 2 раза меньше, чем применяемые на водопроводной станции. В таблице (п. 3) показаны данные изменения мутности воды при одинаковом значении критерия Кемпа, но при разных значениях интенсивности и продолжительности перемешивания. Минимальная мутность воды (0,33 мг/л) достигалась при градиенте скорости 290 $с^{-1}$ и продолжительности перемешивания 2,5 мин. Оптимальные значения этих показателей могут меняться в зависимости от мутности и температуры речной воды и от дозы реагентов.

С уменьшением доз реагентов повышается необходимость более интенсивного и продолжительного перемешивания воды в камерах хлопьеобразования (п. 4), чем продолжительнее перемешивание, тем меньше мутность фильтрата.

Таким образом установлено, что в зимний период, даже при условии проведения очистки воды в режиме контактной коагуляции, интенсивность перемешивания воды в смесителе и камере хлопьеобразования станции недостаточная.

ВЫВОДЫ

1. Исследования по применению различных коагулянтов и флокулянтов для очистки воды р. Иртыш показали, что наиболее эффективным является использование коагулянта ОХА в сочетании с органическим коагулянтом polyDADMAC FL-4540 фирмы SNF FLOERGER или MAGNAFLOC LT-35 (polyDADMAC) фирмы «BASF».

2. Интенсивность перемешивания реагентов с водой в смесителе и камерах хлопьеобразования на станции недостаточная. В случае применения оптимальных условий смешения реагентов с водой дозу реагентов можно уменьшить минимум в 2 раза, при сохранении необходимого качества очищенной воды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вейцер Ю.И., Минц Д.М. Высокомолекулярные флокулянты в процессах очистки природных и сточных вод. М.: Стройиздат, 1984.
2. Бабенков Е.Д. Режим перемешивания воды в процессах водоподготовки // Химия и технология воды. 1984. Т. 6. № 3.
3. Драгинский В.Л., Алексеева Л.П., Гетманцев С.В. Коагуляция в технологии очистки природных вод. М., 2005.

УДК 628.16.065.2-926

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАССОВОЙ ДОЛИ ПОЛИГЕКСАМЕТИЛЕНГУАНИДИНА В КОМПОЗИЦИОННЫХ КОАГУЛЯНТАХ

С.В. Гетманцев, Г.Б. Рашковский,
Н.А. Сухоносов, Г.С. Старостин
ОАО «АУРАТ», г. Москва, Россия

Предложена методика, обеспечивающая определение полигексаметилен-гуанидина в композиционных коагулянтах.

На ОАО «АУРАТ» организован выпуск композиционных коагулянтов «УНИКО», обладающих коагулирующим, флокулирующим и обеззараживающим действием. Продукты представляют собой композиции на основе солей алюминия (полиоксихлорида алюминия или сульфата алюминия), полигексаметиленгуанидина гидрохлорида (ПГМГ) и алкил$C_{12\text{-}18}$диметилбензиламмоний хлорида (АДМБА). Производятся твердый (гранулированный) и жидкий сульфат алюминия, модифицированные ПГМГ (УНИКО-СА), а также полиоксихлориды алюминия (ПОХА), модифицированные ПГМГ (УНИКО-ОХА 18, УНИКО-ОХА 10). Основные характеристики композиционных коагулянтов «УНИКО» приведены в таблице.

Таблица. **Основные характеристики композиционных коагулянтов «УНИКО»**

Наименование коагулянта	Нормативная документация	Соль алюминия	Массовая доля, %		
			Al_2O_3	ПГМГ	АДМБА
УНИКО-СА раствор	ТУ 2163-074-00205067-2012	Сульфат алюминия	7,4±0,4	0,011–0,16	не более 0,016
УНИКО-СА гранулированный	ТУ 2163-074-00205067-2012	Сульфат алюминия	Не менее 16	0,025–0,35	не более 0,035
УНИКО-ОХА 18	ТУ 2163-075-00205067-2013	ПОХА А-А™18	11,0±1,0	0,011–0,16	не более 0,016
УНИКО-ОХА 10	ТУ 2163-075-00205067-2013	ПОХА А-А™10	9,5±0,5	0,011–0,16	не более 0,016

Стандартная методика определения ПГМГ в воде основана на получении окрашенного комплекса ПГМГ с эозином в слабокислой среде с последующим фотометрическим определением интенсивности поглощения

света при длине волны 540 нм. Для аналитического определения ПГМГ в композиционных коагулянтах эта методика непригодна, так как присутствие солей алюминия и четвертичных аммонийных солей (АДМБА), образующих с эозином окрашенные комплексные соединения, препятствует достоверному анализу. Кроме того, в слабокислой среде окрашенный комплекс ПГМГ с эозином адсорбируется на стенках стеклянной посуды и кювет фотометра, что искажает результаты измерений.

Для фотометрического определения содержания ПГМГ в композиционных коагулянтах нами разработана новая методика, исключающая влияние указанных помех.

Для предотвращения образования окрашенного комплекса солей алюминия с эозином, алюминий связывали в прочное комплексное соединение путем обработки навески коагулянта динатриевой солью этилендиамин – N,N,N',N' – тетрауксусной кислоты 2-водной (ЭДТА). Связывание алюминия в комплекс с ЭДТА широко применяется в аналитической химии, в частности, при титриметрическом определении алюминия в коагулянтах. Так как алюминий присутствует в растворах коагулянтов в виде полиионов, при комнатной температуре комплексообразование с ЭДТА затруднено, и для полного связывания требуется кипячение реакционной смеси в течение 10 – 15 мин. Прочный бесцветный комплекс алюминия с ЭДТА не взаимодействует с эозином и не искажает результаты измерений.

Для исключения влияния АДМБА использовали аммиачный буферный раствор (pH 10). В щелочной среде АДМБА образует слабодиссоциированный гидроксид, который, как было нами установлено, практически не взаимодействует с эозином.

Использование щелочной среды приводит к дополнительному положительному эффекту – предотвращается адсорбция окрашенного комплекса ПГМГ с эозином на стенках посуды и кювет, в результате увеличивается точность измерения. Стекло, будучи силикатной натриевой солью, является слабым катионитом, поэтому в кислой среде оно адсорбирует комплексные катионы ПГМГ. В аммиачной среде происходит депротонирование ПГМГ, что и предотвращает адсорбцию окрашенного комплекса на стекло.

Рабочие градуировочные растворы готовят с концентрацией ПГМГ 0,4, 0,8, 1,2 и 1,6 мкг/см^3. Градуировочный график в указанном интервале концентраций прямолинеен.

Определение оптической плотности выполняют через 20 мин после внесения в пробу эозина Н при длине волны 545 нм в кюветах с толщиной поглощающего слоя 50 мм.

За результат анализа принимают среднее арифметическое трех параллельных определений, абсолютное расхождение между которыми не

превышает допустимое расхождение, равное 0,15 %. Допустимая относительная суммарная погрешность результата анализа ± 6,5 % при доверительной вероятности 0,95.

Разработанная методика, обеспечивающая достоверное определение ПГМГ в композиционных коагулянтах, включена в технические условия на УНИКО-СА и УНИКО-ОХА.

УДК 628.16.065.2-926

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНОСТИ КОАГУЛЯНТОВ

С.В. Гетманцев, Г.Б. Рашковский, А.В. Сычев
ОАО «АУРАТ», г. Москва, Россия

Приведены методики расчета основности коагулянтов для оценки качества расчетов в лабораторных условиях.

Важнейшей характеристикой коагулянтов, представляющих собой полиоксихлориды алюминия, является основность (В) – отношение молярных содержаний гидроксила и алюминия, выраженное в процентах:

$$B = \frac{[OH^-]}{3 \cdot [Al^{3+}]},$$

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.

Для определения основности, как правило, используют титриметрическую методику. Молярное содержание гидроксильных групп определяют следующим образом: к раствору коагулянта добавляют избыток соляной кислоты для нейтрализации гидроксильных групп, связывают ионы алюминия в комплекс фтористым калием, после чего титруют кислоту раствором гидроксида натрия в присутствии фенолфталеина. Комплексонометрическим методом определяют содержание алюминия, после чего рассчитывают основность.

К сожалению, данная методика плохо воспроизводится, поэтому мы рекомендуем использовать для определения основности расчетные методы.

В коагулянтах «АКВА-АУРАТ™8», «АКВА-АУРАТ™30», получаемых путем автоклавного выщелачивания товарного гидрата алюминия в соляной кислоте, содержание посторонних ионов

пренебрежимо мало в сравнении с содержанием алюминия, хлора и гидроксила. Основность этих коагулянтов составляет около 40 %, ее можно определить, исходя из содержаний хлора и алюминия:

$$B = \frac{[Cl^-]}{3 \cdot [Al^{3+}]} \cdot 100,$$

где $[Cl^-]$ – содержание хлора, моль.

В этом случае значение основности может быть вычислено по формуле:

$$B = (1 - \frac{26{,}982 \cdot X_2}{3 \cdot 0{,}5293 \cdot X_1 \cdot 35{,}453}) \cdot 100,$$

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:

$$B = (1 - \frac{0{,}479 \cdot X_2}{X_1}) \cdot 100.$$

Брутто-формула коагулянта $Al(OH)_bCl_{3-b}$ рассчитывается из соотношения: $b = \frac{3 \cdot B}{100}$.

В коагулянте «АКВА-АУРАТ™10» (основность около 70 %) наряду с хлором и алюминием присутствует кальций. Часть хлора связывается с кальцием, и в этом случае:

$$B = (1 - \frac{X_2 / 35{,}453 - 2 \cdot X_3 / 40{,}08}{3 \cdot 0{,}5293 \cdot X_1 / 26{,}9815}) \cdot 100,$$

где X_1 – массовая доля оксида алюминия, %; X_2 – массовая доля хлора, %; X_3 – массовая доля кальция, %; 40,08 – молекулярная масса кальция; 2 – валентность кальция.

После упрощения получим расчетную формулу для вычисления основности:

$$B = (1 - \frac{0{,}479 \cdot X_2 - 0{,}848 \cdot X_3}{X_1}) \cdot 100,$$

Если необходимо составить брутто-формулу коагулянта, то она рассчитывается следующим образом:

$$AlCa_a(OH)_bCl_c,$$

где $a = \frac{26{,}9815 \cdot X_3}{40{,}08 \cdot 0{,}5293 \cdot X_1} = \frac{1{,}27 \cdot X_3}{X_1}$;

$b = \frac{3 \cdot B}{100}$;

$$c = \frac{26{,}9815 \cdot X_2}{35{,}453 \cdot 0{,}5293 \cdot X_1} = \frac{1{,}44 \cdot X_2}{X_1}.$$

Формулы для расчета основности могут быть получены для полиоксихлоридов алюминия, модифицированных любыми ионными добавками. Так, общая расчетная формула для коагулянтов, содержащих полиоксихлорид алюминия, кальций, натрий, трехвалентное железо и сульфаты, имеет следующий вид:

$$B = (1 - \frac{X_2 / 35{,}453 - 2 \cdot X_3 / 40{,}08 - X_4 / 22{,}99 - 3 \cdot X_5 / 55{,}847 + 2 \cdot X_6 / 96{,}062}{3 \cdot 0{,}5293 \cdot X_1 / 26{,}9815}) \cdot 100,$$

где X_4 – массовая доля натрия; X_5 – массовая доля железа; X_6 – массовая доля сульфат-иона; 22,99 – молекулярная масса натрия; 55,847 – молекулярная масса железа; 96,062 – молекулярная масса сульфат-иона.

После упрощения получим расчетную формулу:

$$B = (1 - \frac{0{,}479 \cdot X_2 - 0{,}848 \cdot X_3 - 0{,}739 \cdot X_4 - 0{,}913 \cdot X_5 + 0{,}354 \cdot X_6}{X_1}) \cdot 100.$$

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); массовые доли металлов-примесей – методами атомной спектрометрии (атомно-абсорбционным или эмиссионным спектральным анализом), массовую долю сульфата – гравиметрическим методом.

При регулярном проведении однотипных анализов коагулянтов, в особенности при их крупнотоннажном производстве, целесообразно вести регистрацию результатов аналитического контроля продукции в электронном виде (Exel) с одновременным машинным расчетом основности и статистических характеристик контроля качества коагулянтов (дисперсия, коэффициент вариации, коэффициент точности и т.п.). Это не только обеспечивает минимизацию трудозатрат по обработке данных, но и позволяет оценивать квартальный и годовой тренд выбранных характеристик для принятия управляющих решений в случае необходимости.

Определение основности при входном контроле коагулянтов дает возможность технологам водоканалов оценивать качество реагентов по этому параметру.

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

УДК 628.1.032

ИЗМЕНЕНИЕ КАЧЕСТВА РЕКИ ДОН: МИКРОВОДОРОСЛИ КАК ФАКТОР, ВЛИЯЮЩИЙ НА ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОДЫ

А.Ю. Скрябин, Г.В. Поповьян
АО «Ростовводоканал», г. Ростов-на-Дону, Россия

Предложены методы, повышающие органолептические свойства воды снижением антропогенной нагрузки на водоисточник, биологической очистки водоема, борьбе с продуктами жизнедеятельности и разложения микроводорослей.

Для водоснабжения городов Ростов-на-Дону, Батайск и Аксай 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 кл/мл. К качеству питьевой воды предъявляются жесткие гигиенические требования: вода должна быть безопасна в эпидемиологическом и радиационном отношении, безвредна по химическому составу и иметь благоприятные органолептические свойства. Действующие нормативные документы, предъявляющие требования к качеству питьевой воды, регламентируют целый ряд показателей, однако, кроме них существуют параметры, также существенно влияющие на

безопасность и пригодность воды для питьевых целей. В частности к таким показателям относится количество микроводорослей в питьевой воде. В СанПиН 2.1.4.1074-01 [2] имеется лишь оговорка: «Не допускается присутствие в питьевой воде различимых невооруженным глазом водных организмов и поверхностной пленки». Массовое развитие микрофитов в водах поверхностных источников водоснабжения в периоды цветения воды создает значительные трудности при водоподготовке и существенно влияет на такие нормируемые параметры как «запах» и «привкус».

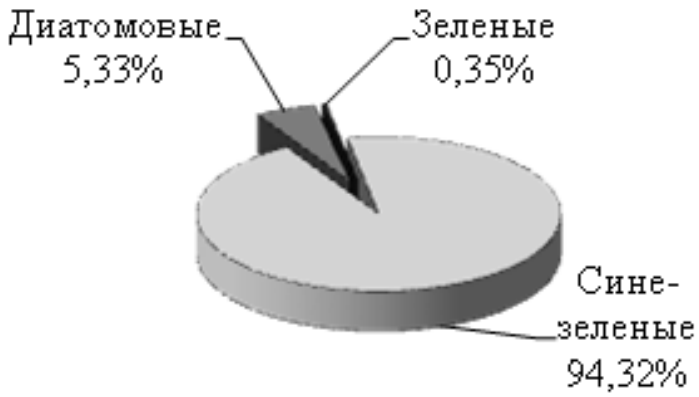
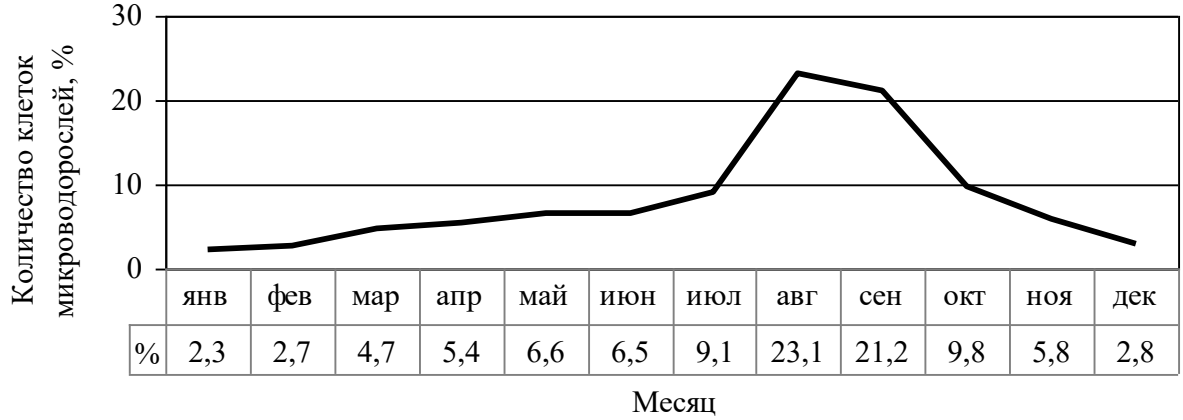


Рисунок 1. **Видовой состав микроводорослей в реке Дон в районе водозаборов АО «Ростовводоканал»**

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). Из отдела сине-зеленых водорослей в донской воде присутствуют в основном виды Synechocystis, Microcystis, Anabaena, Oscillatoria, Aphonizomenon; из отдела диатомовых водорослей – Melosira, Navicula, Diatoma, Synedra, Nitzschia, Asterionella, Cyclotella, Pinnularia; из отдела зеленых водорослей – Scenedesmus, Chlamidomonas, Pediastrum.



	янв	фев	мар	апр	май	июн	июл	авг	сен	окт	ноя	дек
%	2,3	2,7	4,7	5,4	6,6	6,5	9,1	23,1	21,2	9,8	5,8	2,8

Рисунок 2. **Среднемесячное распределение количества клеток микроводорослей в реке Дон в районе водозаборов**

АО «Ростовводоканал» за 34 года наблюдений

Наблюдения за развитием микрофитов в донской воде лабораторией АО «Ростовводоканал» ведутся на протяжении 34 лет с 1981 года. За этот период наблюдается рост количества клеток микроводорослей в водоисточнике, а также изменение их видового состава. Так до 1995 г. среднегодовая концентрация микрофитов в донской воде была 4 000 – 6 000 кл/мл, в отдельные дни до 25 000 кл/мл, а начиная с 1995 г. наблюдается интенсивное развитие фитопланктонов. Микроводоросли являются индикаторами качества водоисточника, в зависимости от степени загрязненности водоисточника могут развиваться различные организмы. Так до 1995 г. видовой состав микроводорослей водоисточника был очень разнообразен, с преобладанием микроводорослей рода Synechocystis, которые свидетельствовали о принадлежности реки Дон по уровню загрязнения к олигасопробной зоне, то есть водоисточник с незначительными загрязнениями, с высоким содержанием кислорода в воде. Начиная с 2000 годов возрастает количество микроводорослей родов Oscillatoria, Microcystis, Anabaena, микроорганизмов-индикаторов β-мезасопробной зоны, а с 2007 г. начинают интенсивно развиваться в теплые периоды года микроорганизмы-индикаторы α-мезасопробной зоны, такие как Aphanizomenon flos-aqua. В период интенсивного «цветения» водоема в августе-сентябре 2013, 2014 г. вид микроводорослей Aphanizomenon flos-aqua был преобладающим. Снижение количества доминирующих микроорганизмов при значительном развитии определенного вида в мезотрофных водоемах является признаком эвтрофикации последнего [3].

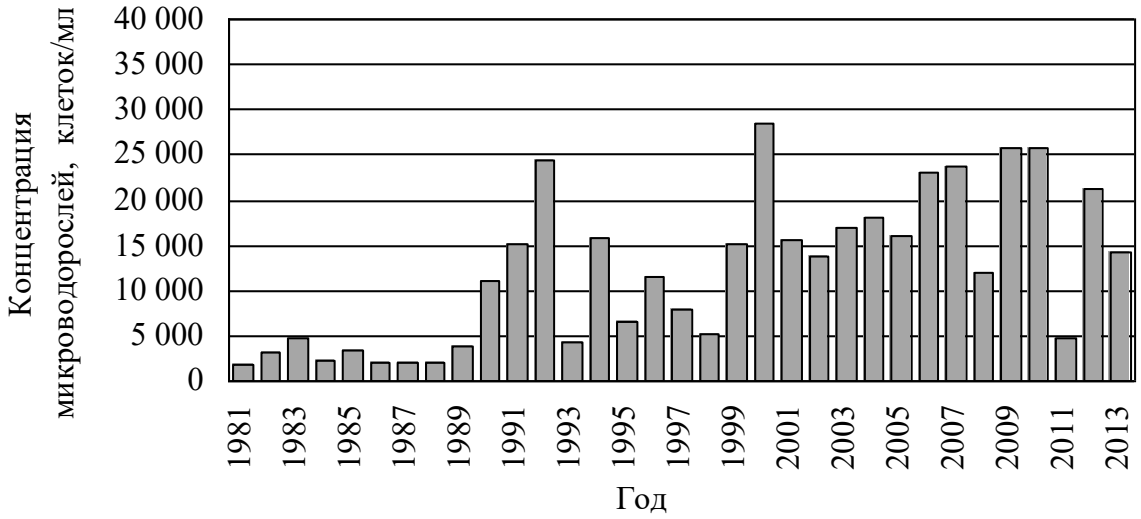
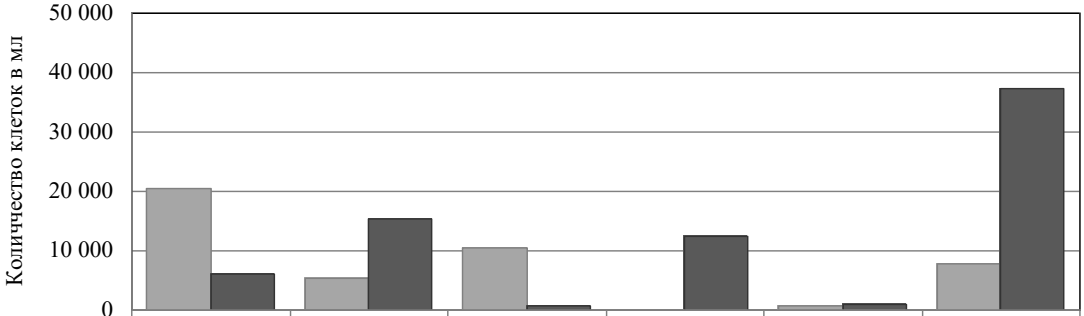


Рисунок 3. Среднегодовое количество микроводорослей в реке Дон в районе водозаборов АО «Ростовводоканал» за 34 года наблюдений



	Synechocystys	Microcystis	Oscillatoria	Oscillatoria agardhii	Anabaena	Aphanizomenon flos-aqua
2007 г.	20 467	5 387	10 400	0	811	7 867
2013 г.	6 130	15 420	719	12 558	972	37 309

Рисунок 4. **Среднемесячное количество сине-зеленых микроводорослей в реке Дон в районе водозаборов АО «Ростовводоканал» по видам**

Некоторые виды микроводорослей в результате своей жизнедеятельности, а также при отмирании и разложении являются продуцентами «пахнущих» веществ, к таким микроводорослям могут относится виды: Oscillatoria agardhii, Aphanizomenon flos-aqua, Anabaena flos-aqua, Melosira granulate, Nodularie и другие. На интенсивность образования одорирующих веществ в процессе жизнедеятельности микроводорослей влияет их стадия роста, а также условия среды обитания: освещенность, температура окружающей среды, причем при снижении последних двух параметров интенсивность образования одорирующих веществ увеличивается. В результате развития различных микроводорослей наиболее часто встречаются следующие запахи: гнилостно-землистый, гнилостный, землисто-гнилостный, гнилостно-тинистный, травянисто-гнилостный, землистый, навозный, гнилостно-сточный, рыбный. Обуславливают данные запахи такие выделяемые микроводорослями и актиномицетами летучие природные органические вещества как геосмин, 2-метилизоборнеол и др. [4].

Как уже было отмечено выше, пик развития водорослей в водоисточнике реке Дон приходится на август-сентябрь месяцы, именно в эти периоды вода приобретает специфический запах, интенсивность которого превышает 2 балла, характер запаха определяется как «травянисто-гнилостный», «гнилостно-сточный». Анализ воды методом газовой хроматографии с масс-селективным детектированием показал наличие летучего органического вещества «геосмин», являющегося продуцентом ряда микроводорослей, в количестве 0,0022 ÷ 0,0045 мкг/л, оказывающем влияние на органолептический показатель «запах» [5].

Методы борьбы с факторами, способствующими ухудшению органолептических свойств воды в результате активного развития отдельных видов микроводорослей и актиномицетов, могут быть условно

разделены на 2 направления:

1. *методы предотвращения чрезмерного развития водорослей*, к данным методам относятся: снижение антропогенной нагрузки на водоисточник, применение биологических методов очистки водоема (восстановление естественного биоценоза водоемов с помощью заселения в водоем определенных видов микроводорослей – Chlorella различных штаммов, а также определенных сортов растительноядных рыб, например, таких как белый толстолобик [5]);
2. *методы борьбы с продуктами жизнедеятельности и разложения микроводорослей*: окисление, коагуляция, сорбция, аэрация. Однако не один из этих методов не позволяет извлечь одорирующие вещества полностью, но эффективность методов различна.

Метод окисления, независимо от вида окислителя: озон, перекись водорода, хлор, способствует незначительному снижению запаха воды, его маскировке и изменению характера запаха [4]. Исследования по выбору оптимальной дозы обеззараживающего реагента показали, что с увеличением дозы хлора запах Донской воды трансформировался из «землисто-гнилостного» в «гнилосно-химический», причем при увеличении дозы обеззараживающего реагента интенсивность запаха увеличивалась и смещалась в сторону «химического». Обеззараживание воды свободным хлором, то есть без применения сульфата аммония, способствовало более эффективному снижению интенсивности запаха, однако при этом в воде образовывались высокотоксичные хлорорганические соединения, такие как хлороформ, дихлорбромметан, хлордибромметан, концентрации которых жестко нормируются в питьевой в воде. Оптимальные дозы хлорреагента и реагента для связывания хлора – сульфата аммония для минимизации запаха с условием недопущения образования хлорорганических соединений составляли на 1 единицу введенного аммиака 7 единиц хлора.

Способ борьбы с одорирующими веществами – коагуляция, так же является малоэффективным. Исследовались различные типы и марки реагентов путем проведения пробной коагуляции с помощью лабораторного флокулятора, существенного влияния на интенсивность и характер запаха реагенты не оказывали.

Наиболее эффективным методом снижения интенсивности запаха воды, обусловленного продуктами жизнедеятельности и разложения микроводорослей, является сорбция. В условиях крупных очистных сооружений целесообразно применение порошкообразного активированного угля [4]. В настоящий момент проводятся исследования по подбору дозы и марка сорбента, точки дозирования для наибольшей эффективности снижения запаха.

Метод аэрация воды позволяет удалять запахи, обусловленные летучими органическими соединениями биологического происхождения.

Для удаления запаха требуется высокая интенсивность и продолжительность аэрации, т. е. применение дополнительных емкостей-аэротенков, размещение которых в условиях действующих сооружений невозможно, кроме того, применение данного метода значительно повышает энергозатраты. Однако был найден способ аэрации воды на скорых фильтрах в условиях действующих очистных сооружений. Конструкция скорых фильтров позволяла создать эффект естественной аэрации воды путем поддержания определенного уровня воды в фильтре, при этом обеспечивался более длительный контакт воды с воздухом и часть летучих веществ извлекалась из воды. Применение данного метода позволяло снизить интенсивность запаха более чем на 1 балл.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 2761-84 Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Гигиенические, технические требования и правила выбора. М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. 10 с.
2. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем водоснабжения. Контроль качества. М.: Минздрав России, 2002. 103 с.
3. Садчиков А.П. Методы изучения пресноводного фитопланктона: методическое руководство. М.: Университет и школа, 2003. 157 с.
4. Гусев Е.Е. Одорирующие вещества биологического происхождения в природных водах и способы их удаления при водоподготовке. Автореферат. М., 2007. 23 с.
5. Страхова Н.М.,. Кудрякова З.Н., Пирогов Н.О. Определение органических соединений, придающих запах воде, методом газовой хроматографии с масс-селективным детектированием // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. № 7. 2006.
6. Богданов Н.И. Биологическая реабилитация водоемов / 3 изд., доп. и перераб. Пенза: РИО ПГСХА, 2008. 152 с.

УДК 628.316

МЕТОДЫ ФТОРИРОВАНИЕ ВОДЫ ГОРОДСКИХ ВОДОПРОВОДОВ

В.И. Щербаков
Воронежский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Воронеж, Росси́я,
З.С.А. Аль-Амри
Ирак

Представлены рекомендации по фторированию воды на водопроводных станциях с учетом сезонных и климатических условий.

Фтор, изначально содержащийся в воде источников городского водоснабжения или добавляемый в процессе кондиционирования воды, содержится в виде свободного фторид-иона. Жесткость воды до 10 мг-экв/дм^3 влияет на ионную диссоциацию, что в свою очередь незначительно изменяет биодоступность фтора.

Обессоливание морской воды для питьевых нужд удаляет фактически весь фтор, поэтому если опреснённую воду (дистиллят и пермеат) не подвергнуть реминерализации, она будет содержать явно недостаточное количество фтора и других минералов [1, 2].

Фтор относится к числу микроэлементов, для которых характерен относительно резкий переход от физиологически полезных концентраций до концентраций, вызывающих токсикоз.

Учитывая зависимость водопотребления населения от сезонных и климатических условий, в мировой практике принят региональный принцип нормирования фтора в питьевой воде – оптимальная его концентрация определяется максимальной дневной температурой воздуха (табл. 1), так как от этого зависит количество потребляемой человеком воды.

Таблица 1. **Оптимальная концентрация фтора в питьевой воде**

Наименование определений	Температура воздуха, ^{o}C					
	10-12	12-14,6	14,6-17,7	17,7-21,4	21,4-26,2	26,2-32,5
Оптимальная концентрация фтора, мг/дм^3	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7
Допустимые пределы, мг/дм^3	0,9-1,7	0,8-1,5	0,8-1,3	0,7-1,2	0,7-1,0	0,6-0,8

Существуют различные способы дозирования фтора в питьевой воде: поддержание постоянной (принятой для данной местности) концентрации фтора в течение всего года; изменение оптимальной концентрации фтора по сезонам года. Метод посезонного дозирования фтора обладает гигиеническими преимуществами, поскольку достигается более высокий противокариозный эффект [3 – 5].

В практике РФ используется в основном способ дозирования растворов фторсодержащего реагента. Этот метод отличается надежностью и простотой в эксплуатации. Он основан на подаче определенного объема жидкости (рабочего раствора реагента) в единицу времени в виде насыщенных или неконцентрированных растворов. При содержании в воде, используемой для растворения фторсодержащих реагентов, высоких концентраций солей кальция (свыше 100 мг/дм^3) образуются нерастворимые соединения (фтористый кальций и магний), выпадающие в осадок в трубопроводах и конструктивных элементах фтораторной установки. Для предупреждения этого явления жёсткую воду

рекомендуется умягчать.

Насыщенные растворы фторсодержащего реагента приготавливают на установках сатураторного типа. В основу работы установки этого типа положен принцип объемного вытеснения. Исходная водопроводная вода, поступающая в установку в определенном объеме, вытесняет такой же объем насыщенного раствора реагента. Этот процесс регулируется автоматически в зависимости от производительности водопроводной станции. Дозирование насыщенного раствора обеспечивается системой устройств, включающих эжектор, регулирующий вентиль, расходомер и клапан, поддерживающий постоянное давление [6, 7].

Дозирование неконцентрированных растворов осуществляется насосами-дозаторами, шаровыми и игольчатыми дозаторами. Применяют жидкостные дозаторы двух типов: пропорциональные и непропорциональные. Предпочтение отдают пропорциональным дозаторам, поскольку они позволяют автоматически регулировать подачу рабочего раствора реагента в зависимости от колебаний производительности насосов или содержания фтора во фторируемой воде.

Концентрацию рабочих растворов принимают: для кремнефторида натрия до 0,25 % при 0 °С и до 0,5 % при 25 °С; для фторида натрия до 2,5 % и для кремнефторида аммония до 7 %. В последнем случае концентрация раствора может быть доведена до 15 %, однако, это приводит к снижению точности дозирования. Если перемешивание в растворных баках осуществляется воздухом, интенсивность его подачи должна быть равной 8 – 10 л/(с·м^2).

За рубежом в США предпочитают сухой (весовой) способ дозирования фторсодержащих реагентов: реагент флюраль $A1FSO_4 \cdot H_2O$ вводится в обрабатываемую воду в виде тонкоизмельченного порошка. Он не обладает коррозионной активностью и не токсичен.

В Германии, в качестве фторсодержащего продукта используется кремнефтористый натрий, дозируемый в обрабатываемую воду в виде 0,45 %-ного раствора.

При использовании фторсиликата натрия применяют технологические схемы установок с приготовлением ненасыщенного раствора реагента в расходных баках, а насыщенного раствора реагента – в сатураторах одинарного насыщения. В случае фторида натрия и фторсиликата аммония следует применять технологические схемы установок с приготовлением ненасыщенного раствора в расходных баках [8, 9].

ВЫВОДЫ

Необходимость фторирования воды на водопроводных станциях в каждом конкретном случае устанавливается органами санитарно-эпидемиологической службы и рекомендуется при концентрации фтора в

исходной воде менее 0,5 мг/дм^3 и пораженности кариесом зубов свыше 25 – 30 % населения. Оптимальная доза фтора в питьевой воде зависит от сезонных и климатических условий, что обусловлено количеством потребляемой человеком воды. Для фторирования воды рекомендовано применять растворы фтористого натрия с содержанием фтора 45,3 % и кремнефтористого натрия или аммония с содержанием фтора 64 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методические указания по осуществлению государственного санитарного надзора за фторированием питьевой воды. №3.05.040-97.
2. Патент РФ 2179957 опубл. 27.02.2002.
3. Прончева Л.Е. Разработка новой технологии дефторирования природных вод / Сб. науч. тр. Вологодского политехнического института. Вологда, 1998. Т.2, 290 с.
4. Кульский Л.А. Основы физико-химических методов обработки воды. М, 1982.
5. Патент РФ 2092451 опубл. 10.10.1997.
6. Патент РФ 2164498 опубл. 27.03.2001.
7. А.С. SU №1412232, 1990.
8. Ивлева Г.А. Гидрохимические основы технологии приготовления питьевой опресненной воды // Сборник материалов Всесоюзной конференции по опреснению. Шевченко, 1990.
9. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения: СНиП 2.04.02-84*. М., ГУП ЦПП. 2000. 131 с.

УДК 628.161.3

ПОВТОРНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕГЕНЕРАЦИОННЫХ РАСТВОРОВ В ТЕХНОЛОГИИ ОБЕСКРЕМНИВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

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

Рассмотрена возможность повторного использования регенерационных растворов в технологии обескремнивания подземных вод. Приведены результаты экспериментальных исследований химического состава отработанных регенерационных растворов и образующихся осадков.

Около половины населения России вынуждены использовать для питья воду, не отвечающую по ряду показателей гигиеническим

требованиям. При этом дополнительное вовлечение в хозяйственный водооборот ранее разведанных запасов подземных вод зачастую ограничивается повышенным содержанием солей жесткости, а также железа, марганца, фтора, бора и других нормируемых микроэлементов. Водоносные горизонты некоторых районов Тюменского Севера, Сибири, Дальнего Востока, Терско-Кумского прогиба характеризуются наличием кремния в концентрациях, превышающих санитарный норматив, а кондиционирование воды по этому компоненту, как правило, не проводится.

История развития методов и технологий обескремнивания воды предпочтительно проходила в рамках удовлетворения потребностей промышленности (теплоэнергетика, химико-фармацевтическая, целлюлозно-бумажная промышленность). В настоящее время наиболее распространенными из них являются ионный обмен на высокоосновных анионитах и реже – обратный осмос. Однако и мембранное разделение, и ионообмен, помимо высокой стоимости установок, приводят к существенному изменению исходного качества воды (глубокое обессоливание), к необходимости предочистки с целью предотвращения засорения обратноосмотических модулей и обрастания мембран, либо «отравления» ионообменных смол марганцем или железом, а также образованию большого количества стоков, требующих затрат на их переработку и ликвидацию, соизмеримых с процессом обескремнивания воды.

Применительно к питьевому водоснабжению для удаления из воды соединений кремния возможны методы осаждения или фильтрования с применением извести, солей железа и алюминия, магнезиальных реагентов. Однако данные методы отличаются значительным расходом дорогостоящих реагентов (доза сульфата алюминия или железа до 300 – 400 мг/л по безводному веществу, по оксиду магния – 5 – 7 мг/мг SiO_2), высокими энергозатратами, связанные с подогревом воды, необходимостью полной замены магнезиального сорбента при исчерпании его обменной емкости.

Поскольку рассмотренные технологии удаления кремния высокозатратны и мало эффективны при очистке значительных объемов воды с высоким содержанием кремния, была предложена и исследована технология обескремнивания воды фильтрованием через модифицированную загрузку. Данный метод является разновидностью реагентных технологий водоподготовки, однако имеет свою специфику. При модификации на поверхность фильтрующих материалов наносят новые молекулярные группы, в результате чего материалы приобретают новые свойства, не характерные для них ранее [1]. Извлечение микроэлементов на модифицированных сорбентах происходит за счет образования труднорастворимых комплексных соединений и закрепления

их на сорбенте. Реагент-модификатор должен удовлетворять двум требованиям – сорбироваться на применяемой загрузке и давать малодиссоциируемые соединения с извлекаемыми из воды загрязнениями.

Исследования технологии обескремнивания фильтрованием через модифицированную загрузку показали, что наибольшая глубина обескремнивания и продолжительность фильтроцикла достигаются при использовании в качестве фильтрующей загрузки активного оксида алюминия, модифицируемого раствором алюмината натрия (по типу регенерации ионообменных смол) [2]. Ёмкость фильтрующего материала по оксиду кремния при этом составляет 15 – 16 кг/м^3, что сопоставимо с емкостью анионита АВ-17 в отсутствие анионов сильных кислот.

Поскольку применение того или иного метода обескремнивания воды следует рассматривать совместно с вопросами последующей утилизации образующихся при водоочистке сточных вод, был исследован качественный и количественный состав отработанного регенерационного раствора, образующегося в процессе модификации оксида алюминия.

Исследования показали, что в отработанном регенерационном растворе концентрации кремния и алюминия составляли соответственно 1,307 г/л (по Si^{4+}) и 0,93 г/л (по Al^{3+}), весь объем отработанного регенерационного раствора был равным 3 объемам фильтрующего материала (взрыхляющая и отмывочная воды отводились в отдельный сток).

Получаемый после регенерации (модификации) раствор в течение первых 5 – 10 мин остается прозрачным. В дальнейшем, при пропускании света через отработанный регенерационный раствор наблюдался эффект Тиндаля, что свидетельствует о микрогетерогенности системы. Наблюдения показали, что при стоянии раствора на дне и частично стенках приёмной емкости начинает образовываться все более уплотняющийся светлый студенистый (желеобразный) осадок, внешне напоминающий по своей структуре жидкое стекло.

В течение времени отстаивания из отработанного регенерационного раствора отбирали пробы, отфильтровали через бумажный фильтр (для удаления взвешенных веществ) и определяли концентрации ионов Ca^{2+}, Mg^{2+}, Al^{3+}, Si^{4+}, водородный показатель. Изменение качественного состава отработанного регенерационного раствора во времени стояния приведены на рисунках 1, 2.

Величина pH свежеполученного отработанного регенерационного раствора была равной 11,46. При дальнейшем стоянии pH раствора незначительно снижался (до pH = 10,92).

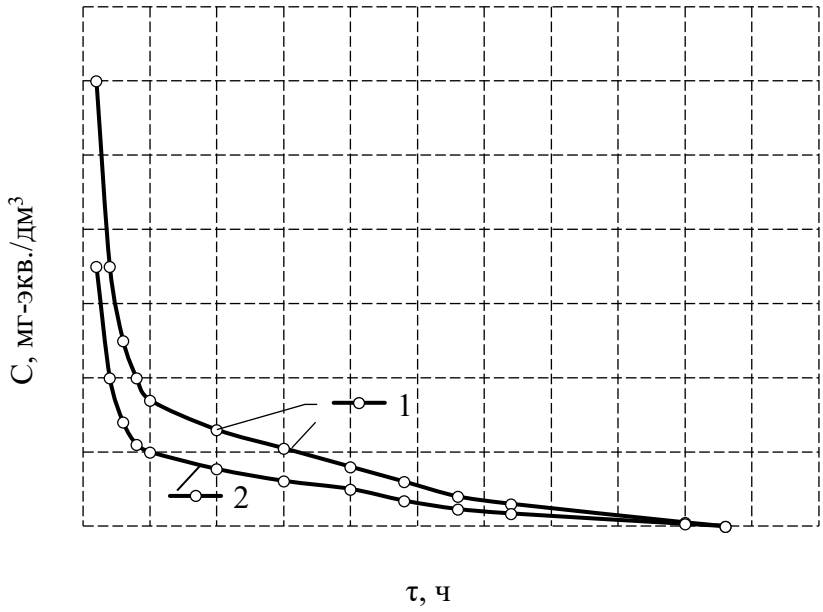


Рисунок 1. **Динамика изменения во времени жесткости (1) и концентрации ионов Ca^{2+} (2) в отработанном регенерационном растворе**

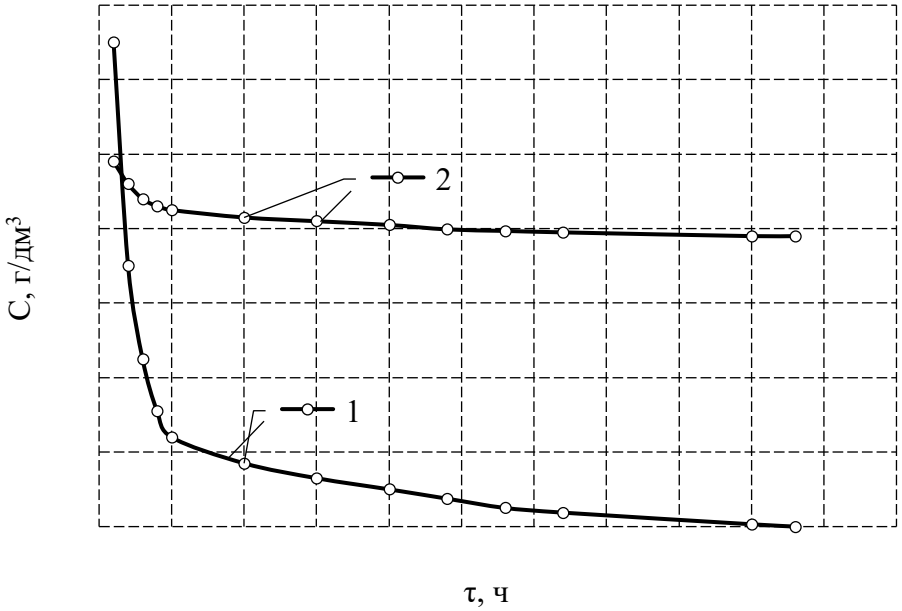


Рисунок 2. **Динамика изменения во времени концентрации кремния (1) и алюминия (2) в отработанном регенерационном растворе**

Полученные результаты показали, что в течение первых пяти часов в отработанном регенерационном растворе происходит интенсивное снижение концентраций всех измеряемых показателей. При этом наблюдается значительное помутнение исследуемого раствора, вследствие полимеризации мономера кремниевой кислоты с образованием нерастворимых в воде алюмосиликатных соединений, в построении которых принимают участие кальций и магний (например, образование $Ca_{10}Mg_2Al_4[SiO_4]SiO_2O_7(OH)_4$). В последующие часы снижение концентраций происходит гораздо с меньшей скоростью и спустя 35 – 40 ч

в водном растворе обнаруживаются только следовые концентрации ионов Ca^{2+}, Mg^{2+} и Si^{4+}. По истечение двух суток отработанный регенерационный раствор становится прозрачным, при этом на дне и частично стенках приёмной емкости, образуется все более уплотняющийся светлый студенистый осадок, напоминающий по своей структуре жидкое стекло. Образующийся рыхлый гелеобразный алюмосиликатный осадок занимает менее 1 % в общем объеме отработанного раствора модификатора, легко отдает влагу и кристаллизуется в процессе обычного тканевого фильтрования с образованием чешуйчатых кристаллических структур по типу слюды. На рисунке 3 представлена фотография отфильтрованного через бумажный фильтр и высушенного в течение 30 мин при комнатной температуре осадка, образовавшегося в отработанном модифицирующем растворе алюмината натрия.

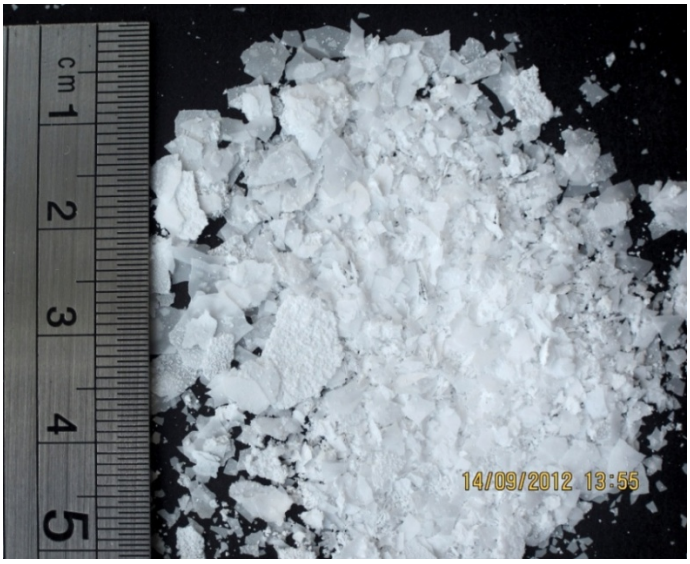


Рисунок 3. **Отфильтрованный и высушенный при комнатной температуре алюмосиликат из отработанного модифицирующего раствора алюмината натрия**

Рентгеноэлементарный анализ, проведенный на кафедре «Технологии керамики, стекла и вяжущих веществ» ЮРГТУ (НПИ) показал, что осадок содержит около 70 % Al_2O_3 и 16 % SiO_2, на основании чего были предложены следующие рекомендации по его возможному последующему применению:

– осадок, без удаления из него отработанного модифицирующего раствора, можно использовать для приготовления пластичной массы при производстве строительной конструкционной керамики;

– в фарфорово-фаянсовой промышленности;

– в качестве добавки при приготовлении пластичных масс, поскольку содержание соединений железа в продукте минимально.

Применение получаемого продукта обосновано тем, что при произведении обжига в строительно-конструкционной керамике будет

образовываться первичный муллит, а в тонкокерамических изделиях – первичный и вторичный муллит, отличающийся непостоянством химического состава: от $Al_6Si_2O_{13}$ до Al_4SiO_8 (то есть от $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ до $2Al_2O_3 \cdot SiO_2$). Муллит в керамической промышленности является основной кристаллической фазой, которая придает керамической продукции такие важные физико-химические свойства, как прочность и термостойкость [3, 4].

Для оценки возможности повторного использования надосадочной жидкости отработанного модифицирующего раствора была проведена отдельная серия экспериментов.

Согласно полученным данным (рисунок 2), при полимеризации и последующем осаждении алюмосиликатных соединений концентрация ионов алюминия в растворе снижается примерно в 2 раза и составляет 0,8 г/л. Для восстановления начальной активности в отработанный раствор добавляли свежий алюминат натрия с доведением его концентрации до 1,6 г/л по Al^{3+} (0,5 % р-р $NaAlO_2$), после чего полученной раствор пропускали через фильтрующий слой в соотношении: 5 объемов раствора $NaAlO_2$ на 1 объем загрузки фильтра.

Исследования показали, что применение вновь полученного раствора не оказывает негативного влияния на качество фильтрата и продолжительность фильтроцикла, а, следовательно, позволяет практически вдвое сократить материальные затраты на приобретение $NaAlO_2$, используемого при модификации активной окиси алюминия.

ВЫВОДЫ

Отработанный регенерационный раствор алюмината натрия возможно использовать повторно для модификации поверхности фильтрующего материала в технологии обескремнивания.

В схеме обескремнивания воды фильтрованием её через модифицированную загрузку выделенный из отработанного регенерационного раствора шлам может быть использован в строительно-конструкционной керамике и тонкокерамическом производстве.

ЛИТЕРАТУРА

1. Оводова Н.В. Модификация молекулярных групп на поверхности зерен фильтрующего материала для увеличения его грязеемкости / Безреагентная очистка воды для сельскохозяйственного водоснабжения. Новочеркасск, 1977. Т.XIII. Вып. 6.
2. Фесенко Л.Н., Игнатенко С.И., Скрябин А.Ю., Федотов Р.В. Обескремнивание питьевой воды фильтрованием через модифицированную загрузку // Водоснабжение и сан. техника. 2012. № 11. С. 20–29.

3. Бутт Ю.М., Тимашев В.В. Химическая технология вяжущих материалов. М.: Высшая школа. 1980.
4. Кравченко И.В., Кузнецова Т.В., Власова М.Т. Химическая технология специальных цементов. М.: Стройиздат. 1979.

УДК 628.161:627.221.2(282.247.36)

ОЧИСТКА ВОДЫ ОТ СИНЕ-ЗЕЛЕНЫХ ВОДОРОСЛЕЙ НА ЕРШОВОЙ ЗАГРУЗКЕ

Е.Д. Хецуриани, А.Н. Богачёв, А.Ю. Душенко, Р.С. Бечвая, А.В. Пельчер, В.Э. Завалюев
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им М.И.Платова,
г. Новочеркасск, Россия

Представлены результаты технологических испытаний опытно-производственной пилотной установки очистки водоёмов от сине-зелёных водорослей

На водозаборных сооружениях в Ростовской области в теплые периоды года возникает чрезвычайная ситуация – цветение воды, вызванное цианобактериями. Это влечет за собой не только ухудшение качественных показателей воды, но и попадание цианобактерий в водопроводную сеть [1 – 2].

Цветение воды вызывает ряд нежелательных последствий и негативно отражается на животных водной экосистемы. Это летние ночные заморы рыб, массовая гибель бентосных, планктонных и нейстонных животных, а также водоплавающих птиц и млекопитающих. Цианобактерии в периоды массового развития образуют на водоеме поверхностную пленку. Она экранирует проникновение солнечной радиации, и вызывает световое «голодание» эукариотических водорослей – конкурентов цианобактерий и основной пищи организмов зоопланктона и зообентоса [3 – 6].

Нами были проведены опыты по удалению сине-зелёных водорослей на фильтрах с ершовой загрузкой. Для этого была изготовлена пилотная установка, моделирующая контактный фильтр. Исследования проводились на цветущей донской воде, которую заполняли в экспериментальный бассейн.

Пилотная установка представляла собой колонку из органического стекла диаметром 110 мм и высотой 1,6 м, загруженную мягкими ершами. Колонка была оборудована рядом подводящих и отводящих трубопроводов с запорно-регулирующей арматурой, обеспечивающих эксплуатационные параметры (производительность, дозирование раствора

коагулянта, переключение режимов работы: рабочий, регенерационный и д). Схема экспериментальной установки представлена на рисунке 1.

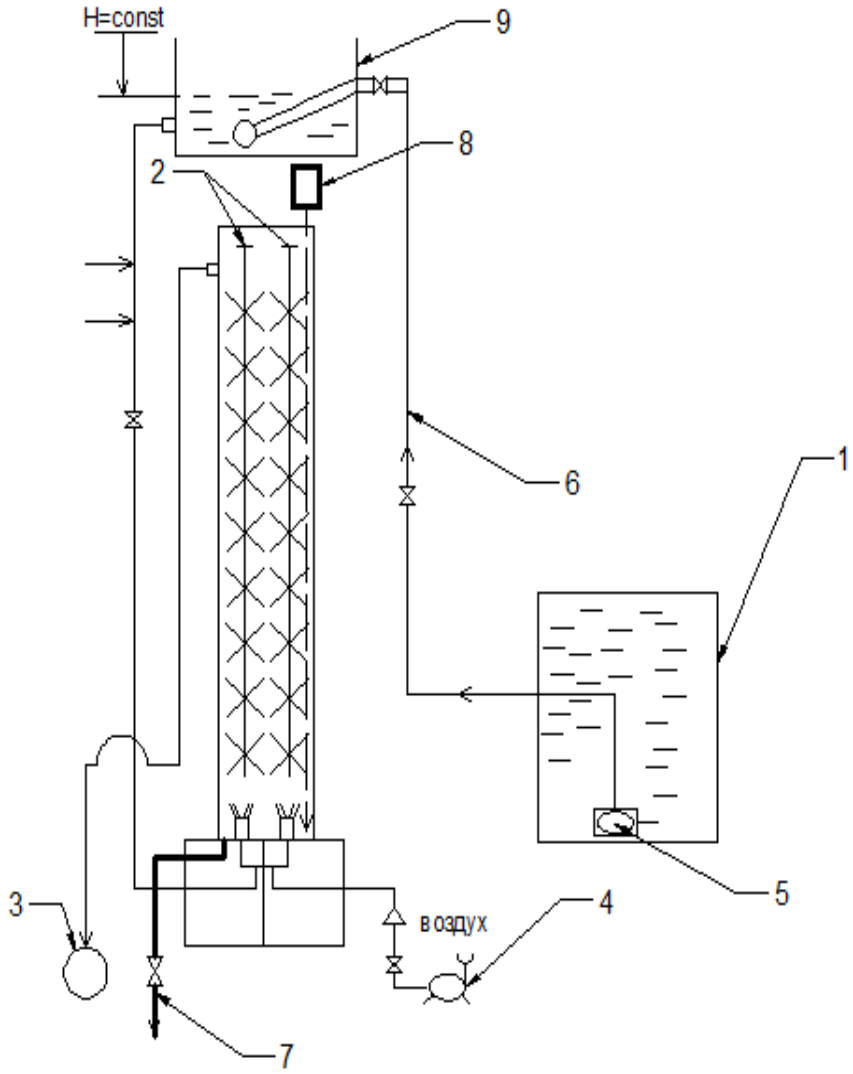


Рисунок 1. **Схема экспериментальной установки:**
1 – экспериментальный бассейн; 2 – ершовая загрузка; 3 – место отбора проб профильтрованной воды; 4 – компрессор для регенерации фильтра; 5 – фонтанный насос; 6 – подача исходной цветущей воды; 7 – отвод воды после промывки фильтра; 8 – насос-дозатор раствора коагулянта; 9 – регулятор расхода для равномерной подачи воды.

Для оценки эффективности работы исследуемого метода проводили опыты в два этапа. На первом – фильтрацию вели на ершовой загрузке, на втором – с добавлением коагулянтов: УНИКО-СА, КМП-30, оксихлорид Al(B).

После соответствующей статистической обработки и обобщений результаты исследований представлены в таблице и в виде графиков на рисунках 1 – 4.

Таблица 1. **Результаты исследований по обработке донской цветущей воды контактной фильтрацией на ершовой загрузке (без отстаивания)**

Показатели качества воды			Температура, °С	pH	Мутность, мг/л	Цветность, град
Донская цветущая вода до обработки			27	8,9	72,2	829
Фильтрация на пилотной установке с ершовой загрузкой без коагулянта	Время отбора проб от начала эксперимента, ч	0	25	8,9	36,1	450
		3	26	7,93	34,3	430,1
		8	28	7,89	30,3	410,2
		13	27,5	8,1	29,8	409,3
Контактная коагуляция на ершовой загрузке	Доза коагулянта по УНИКОСА, мг/л	20	27,5	8,53	18,5	367,8
		30	28	8,43	15,8	315,3
		40	28,5	8,13	13,9	310,8
		60	28	8,19	13,3	310,3
		80	27,5	8,03	12,3	295,3
Контактная коагуляция на ершовой загрузке	Доза коагулянта по оксихлориду Al(B), мг/л	20	27,5	8,7	11,2	207,2
		30	28	8,39	9,03	201
		40	27	8,13	8,57	191,7
		60	28,5	7,93	8,37	183,1
		80	27	7,97	8,13	179,3
Контактная коагуляция на ершовой загрузке	Доза коагулянта по оксихлориду Al(B), мг/л	20	27	7,93	10,6	160,6
		30	27,5	7,98	8,12	155,4
		40	28	8,05	6,77	139,1
		60	27,5	8,13	6,34	137,3
		80	27	8,0	6,13	133,3

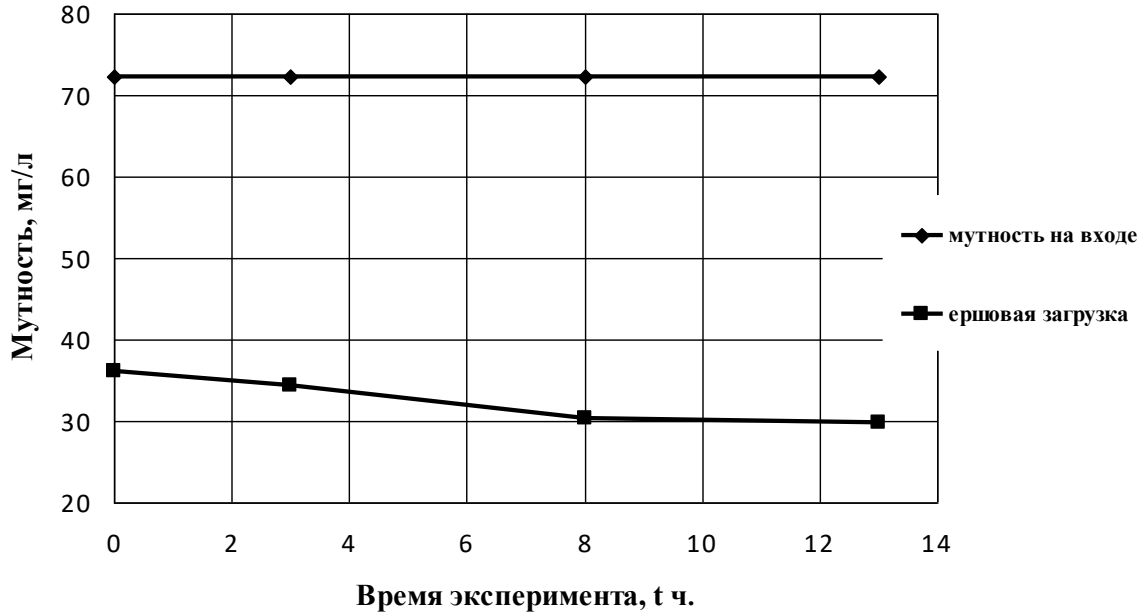


Рисунок 1. **Изменение мутности воды при её фильтраций на пилотной установке с ершовой загрузкой без коагуляции**

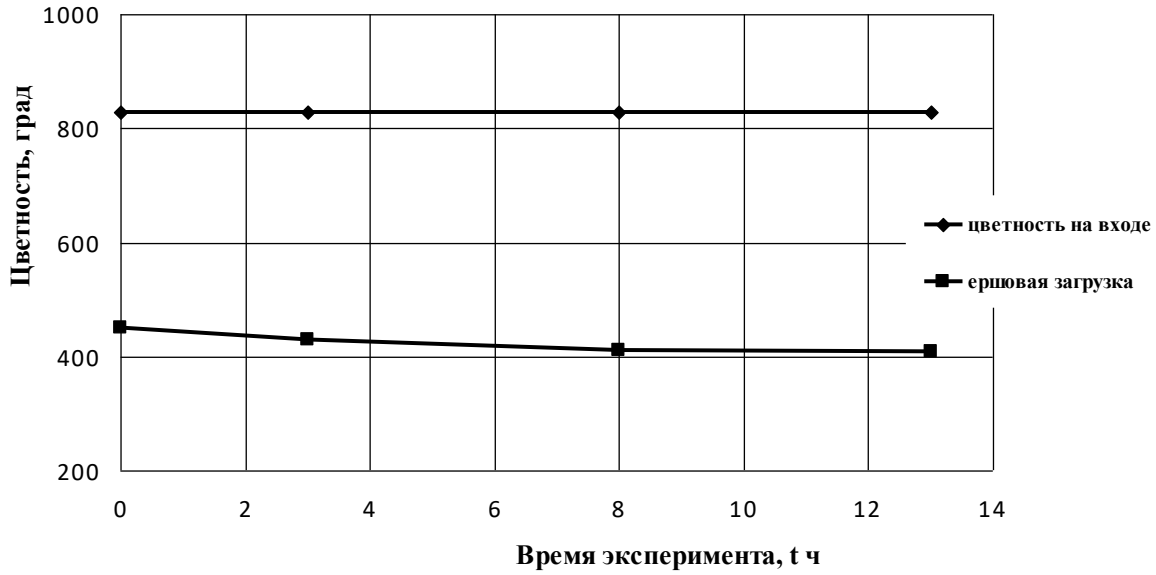


Рисунок 2. **Изменение цветности воды при её фильтраций на пилотной установке с ершовой загрузкой без коагуляции**

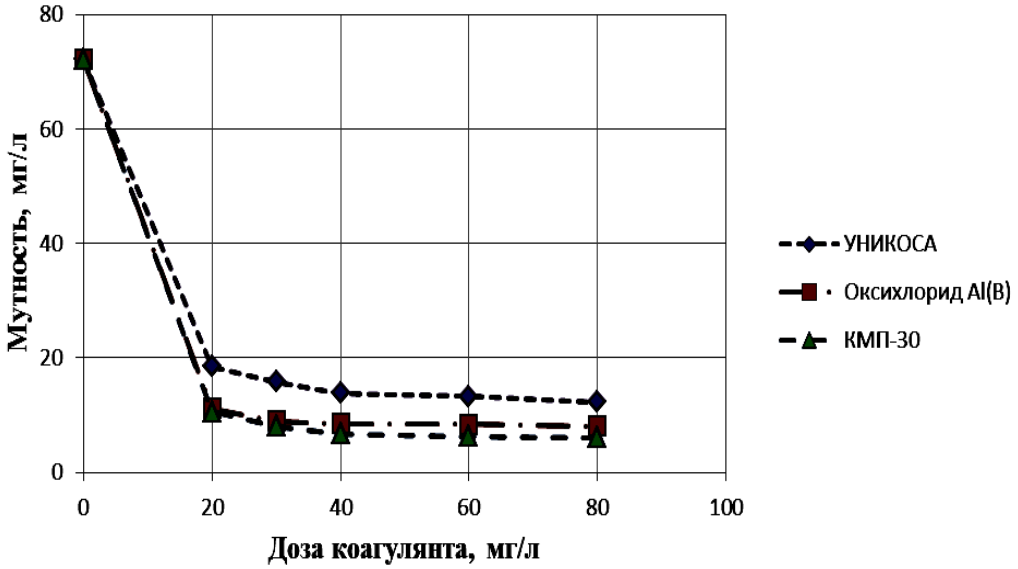


Рисунок 3. **Изменение мутности воды при её фильтрации на пилотной установке с ершовой загрузкой с использованием коагулянтов:**
1 – фильтрация с коагулянтом УНИКО-СА; 2 – фильтрация с коагулянтом КМП-30; 3 – фильтрация с коагулянтом – оксихлорид Al(B).

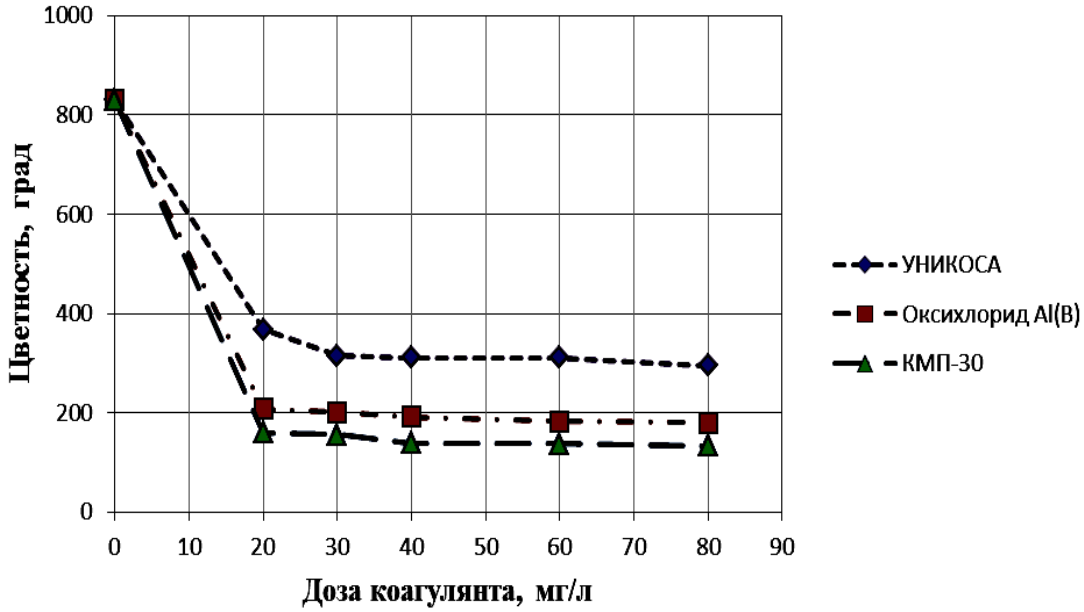


Рисунок 4. **Изменение цветности воды при её фильтраций на пилотной установке с ершовой загрузкой с использованием коагулянтов:**
1 – фильтрация с коагулянтом УНИКО-СА; 2 – фильтрация с коагулянтом КМП-30; 3 – фильтрация с коагулянтом – оксихлорид Al(B).

Результаты проведенных исследований позволяют сделать следующие выводы:

– при коагуляционной обработке донской цветущей воды с использованием коагулянта КМП-30 были отмечены более высокие показатели качества воды, чем при коагуляции её с использованием коагулянта УНИКО-СА и Оксихлорида Al(B);

– эффект снижения мутности донской цветущей воды в процессе её коагуляции с использованием коагулянта КМП-30 составляет 85,3 – 91,5 % при дозе коагулянта 20 – 80мг/л.

– эффект снижения цветности донской цветущей воды в процессе её коагуляцией с использованием коагулянта КМП-30 составляет 81,3 – 83,9 % при дозе коагулянта 20 – 80 мг/л;

– использование ершовой загрузки без коагулянтов удаляет более 50 % водорослей, а вместе с коагулянтом – более 90 %. Под действием минеральных коагулянтов, применяющихся также для осветления и очистки воды, идущей в водопроводную сеть, водоросли эффективно слипаются в комки и задерживаются на ершах. Хорошо удаляется и запах после регенераций;

– применение в предлагаемом методе фильтрации на ершовой загрузке с использованием коагулянта марки КМП-30 позволяет отказаться от первичного обеззараживания воды хлором, что сократит стоимость очистки воды от сине-зеленых водорослей во время цветения водоёмов.

ЛИТЕРАТУРА

1 СанПиН 4630-88. Санитарные Правила и Нормы охраны поверхностных вод от загрязнения.
2 Федеральный закон от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды».
3 Riitta Niemela, Anna-Mari Auniola, Helena Jansson, Yevgeny Ponomarenko, Felix Stolberg and Rikard Thurdin. De-eutrophication of northern rivers and lakes - experiences from ProAQUA – project. Large Rivers, No.3–4, Arch. Hydrobiol.. 435 P. December, 2002.
4 Определение токсинов сине-зеленых водорослей в воде и рыбе, диагностика отравления рыб в период интенсивного цветения воды: [Метод. рекомендации]. Киев. 1986. С. 39–40.
5 Горюнова С.В., Демина Н.С. Водоросли – продуценты токсических веществ. М.: Наука. 1974.
6 Матишов Г.Г., Матишов Д.Г., Фуштей Т.В., Руднев М.И., Сойер В.Г., Зимаков Д.В. Обнаружение токсинов цианопрокариот в планктоне Нижнего Дона методом масс-спектрометрии / Вестник ЮНЦ РАН. Т. 2 № 2, 2006.

УДК 628.166.094.3(477.75)

ПЕРЕДОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ НА БАЗЕ МЕСТНЫХ РЕСУРСОВ ДЛЯ НУЖД ВОДОСНАБЖЕНИЯ КРЫМА

В.В. Гутенев
Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ; Государственная корпорация «Ростехнология», г. Москва, Россия
В.В. Денисов, Л.Н. Фесенко, А.В. Денисова
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия
А.Ю. Скрябин
АО «Ростовводоканал», г. Ростов-на-Дону, Россия

Показано, что наличие морской воды и источников соленых вод на равнинной части Крымского полуострова, и возможности применения «сотовой» системы распределения дезинфектанта делают широкомасштабное внедрение электрохимического производства низкоконцентрированного гипохлорита натрия экологически и экономически целесообразным.

При решении проблем водоснабжения и водоотведения Крыма с населением около 2,5 млн. человек следует учитывать, что большая его часть проживает в городах и поселках, расположенных в относительно узкой прибрежной полосе и связанных между собой железнодорожным, автомобильным и морским транспортом. Остальное население проживает на более значительной по площади равнинной территории полуострова.
Степной Крым всегда испытывал острый недостаток воды, что в первую очередь обусловлено небольшим количеством осадков и относительно высокими летними температурами. Вдоль степных низких берегов моря и залива Сиваш насчитывается свыше 30 соленых водоемов лиманного типа. На юге полуострова, от мыса Фиолент на западе до города Феодосия на востоке, протянулась цепочка гор. В целом они невысокие, имеют длину около 150 км и ширину 50 км. Формирующиеся там реки вносят значительный вклад в водоснабжение прибрежных поселений. Гуще всего заселены Южный берег, предгорья и полоса Степного Крыма вдоль железной дороги Джанкой-Симферополь.

Основные трудности с водоснабжением современного Крыма обусловлены дефицитом питьевой воды, низкой санитарной надежностью систем водоподготовки, отсутствием достаточного количества обеззараживающих установок в сельской местности, неудовлетворительным санитарно-техническим состоянием водопроводных сетей [1]. Все это осложняет эпидемиологическую

обстановку в курортных центрах полуострова, особенно в период массового наплыва отдыхающих. Неудовлетворительное, даже критическое состояние инфраструктуры водоснабжения городов и поселений Крыма затрудняет предоставление надлежащих по качеству услуг водоснабжения (и водоотведения) населению.

Согласно [1, 2], централизованное водоснабжение Крыма обеспечивается из 2100 подземных и 30 поверхностных источников. При этом основными источниками водоснабжения служат 12 водохранилищ, наполняемых из Северо-Крымского канала и за счет стока горных рек. Под контролем республиканской санитарно-эпидемиологической службы находятся 50 коммунальных, 79 ведомственных и 650 сельских водопроводов. Из них, согласно крымским источникам, санитарным требованиям не отвечают 46 (или 5,9 %), а 38 сельских водопроводов не удовлетворяют гигиеническим требованиям. Серьезную эпидемиологическую опасность представляет вторичное микробное загрязнение питьевой воды в разводящих сетях из-за ветхости и неудовлетворительного санитарно-технического состояния водопроводов.
Уникальность Крыма с его рекреационными ресурсами способна в перспективе превратить его в оздоровительно-лечебный центр мирового уровня. Для этого требуется особо бережный подход при любой крупномасштабной хозяйственной деятельности и принятие обоснованных с экологической и приемлемых с экономической точки зрения решений в области водоснабжения и водоотведения. При их разработке и реализации необходимо учитывать особенности Южного Крыма и Степного Крыма.

Водоснабжение в сельской местности развивается, как известно, в основном по двум направлениям:

– создаются системы относительно большой производительности, предназначенные для обслуживания группы населенных мест, с сооружениями для очистки и обеззараживания воды (подобно очистным сооружениям водопровода городов);

– устраиваются локальные системы малой производительности для отдельных населенных пунктов, фермерских хозяйств, животноводческих комплексов и т. п. В некоторых районах используются установки для опреснения засоленных подземных или морских вод, а где-то осуществляется подвоз питьевой воды.

Учитывая специфику села, особого внимания требует проблема выбора оптимального окислителя-дезинфектанта. Он должен удовлетворять следующие требования: малая токсичность, хорошая растворимость в воде, высокая бактерицидная активность в небольших концентрациях (или дозах), широкий спектр и быстрота действия, отсутствие отрицательного влияния на обрабатываемый объект, обеспечение бактерицидного последействия, экологичность при изготовлении и применении, стабильность при хранении, удобство и

безопасность транспортирования, приемлемая цена. Полностью удовлетворить указанные требования не сможет ни один из применяемых ныне бактерицидов. В наибольшей степени по соотношению «цена/качество/простота и безопасность обслуживания» требованиям соответствуют: обеззараживание низкоконцентрированным (~ 0,7 %) гипохлоритом натрия и ультрафиолетовое излучение [3]. Эти способы начали широко применяться в практике подготовки и очистки сточных вод в городах.

Гипохлорит натрия (ГХН) существует в виде кристаллогидратов: $NaClO \cdot H_2O$, $NaClO \cdot 2{,}5H_2O$ и $NaClO \cdot 5H_2O$. Чистый сухой NaClO содержит 95,2 % активного хлора [4]. Наиболее устойчивым из указанных кристаллогидратов является пентагидрат натрия $NaClO \cdot 5H_2O$, содержащий чуть более 41 % активного хлора.

Тем не менее, обработка воды привозным жидким хлором остается пока самым распространенным способом обеззараживания воды в мире, поскольку хлор, в отличие от озона и ультрафиолета, является дезинфектантом пролонгированного действия. Его присутствие даже в долях грамма на кубометр воды снижает опасность ее повторного заражения при транспортировке потребителям по распределительным сетям.

В то же время известно, что жидкий хлор весьма токсичен (второй класс опасности). Так, в годы первой мировой войны его использовали в качестве боевого отравляющего вещества. Применение жидкого хлора при подготовке воды требует неукоснительного соблюдения «Правил по производству, транспортированию, хранению и потреблению хлора» (ПБ 09-594-03), в связи с чем затраты на обеспечение мер безопасности при его использовании многократно превышают затраты на само хлорирование. При этом необходимо напомнить, что за последние 30 лет вышеуказанные Правила четырежды корректировались в сторону ужесточения. Это понятно: террористические акты и техногенные катастрофы становятся, к сожалению, одной из главных проблем современного мира, а затраты на ликвидацию последствий возможных разрушений контейнеров и баллонов с жидким хлором (на некоторых очистных сооружениях хранится не один десяток тонн) вообще не предсказуемы.

В настоящее время в качестве альтернативы жидкому хлору выступает низкоконцентрированный (0,6 – 0,8 %) раствор гипохлорита натрия, производимый практически в любом количестве на месте последующего потребления обычно путем электролиза водного раствора (~3 %-ной) поваренной соли. Подобно жидкому хлору гипохлорит натрия обладает пролонгированным бактерицидным действием, обеспечивает защиту практически от всех известных патогенных бактерий, вирусов, грибковых инфекций и простейших. Переход на использование

низкоконцентрированного раствора гипохлорита натрия (малоопасное вещество, четвертый класс) позволяет ликвидировать высокотоксичное хлорное хозяйство, обеспечить экологическую и технологическую безопасность производства питьевой воды, исключить риски, связанные с производством, транспортированием, хранением и использованием жидкого хлора.

В России накоплен большой опыт применения гипохлорита натрия в процессах водоподготовки и очистки стоков, налажено производство установок различной производительности. НПП «ЭКОФЕС», объединив усилия новочеркасских и ростовских ученых и практиков, разработало технологии, по ряду показателей превышающие зарубежные аналоги. В выпускаемых электролизных установках «Хлорэфс» электролиз осуществляется в проточном и циркуляционном режимах с получением раствора гипохлорита натрия с концентрацией по эквивалентному хлору 6,5 – 7,5 г/л. Обеспечение требуемой производительности по готовому продукту достигается количеством типовых модулей (электролизеров), работающих одновременно и независимо друг от друга. Производительность единичного модуля установки составляет от 0,5 до 1000 кг/сут эквивалентного хлора (таблица).

Таблица. **Типоряд установок «Хлорэфс»**

Тип электролизера	Марка электролизера	Производительность по хлору, кг/сут		Объем очищаемой воды (в среднем), $м^3$/сут	Число потребителей*, тыс. чел	Примечание
		нормальная	максимальная			
Погружной периодического действия	УГ-0,5МК	0,75	1	150	0,75	–
	УГ-7	3	4,5	600	3	Ручное или автоматическое управление
Циркуляционный периодического действия	УГ-7М	10	12	2 000	10	Ручное управление
Проточный	УГ-7МК	10	12	2 000	10	АСУ ТП
	УГ-25	54	60	10 800	54	
	УГ-25М	108	120	21 600	108	
	УГ-25МК	250	330	50 000	250	
	УГ-25МК	450	530	90 000	450	
	УГ-25МК	1 000	1 250	200 000	1 000	

Примечание: * Из расчета потребления 0,2 $м^3$ воды на человека в сутки.

Для очистных сооружений Центрального водопровода г. Ростова-на-Дону в 2008 г. смонтирована электролизная станция производительностью 1000 кг/сут. В 2014 г. будет введена в эксплуатацию крупнейшая в Европе станция по производству гипохлорита натрия производительностью 7000 кг/сут на Александровских очистных сооружениях водопровода Ростовской области. Право на проведение работ ООО НПП «ЭКОФЕС» добилось в конкурентной борьбе с такими известными фирмами, как *Wallece & Tiernan* (Англия), *Newtec* (Германия). Среди преимуществ – существенно (в 2 раза) меньшая стоимость, возможность использования соли любого качества, комплектация отечественным оборудованием. Достоинством установок «Хлорэфс» является их способность работать на морской воде и подземных рассолах. Все это позволило внедрить указанные установки на более чем 300 объектах, в том числе в курортных комплексах и санаториях, плавательных бассейнах, медицинских и других учреждениях.

Полуостров Крым, практически со всех сторон омываемый Черным морем, обеспечен основным сырьем для получения гипохлорита натрия – поваренной солью. Морская вода может использоваться в качестве рабочего раствора при электролитическом способе производства низкоконцентрированного раствора гипохлорита натрия. При необходимости повышения эффективности электролиза и соответственно увеличения концентрации раствора возможно добавление относительно небольшого количества поваренной соли (из расчета ~10 кг/м^3 морской воды), тем более что в Крыму имеются предприятия по производству соли из морской воды.

Еще один фактор в пользу крупномасштабного внедрения технологии с использованием гипохлорита натрия в питьевом водоснабжении Крыма: если будет реализован крупный проект по опреснению морской воды, то для электролитического гипохлорита натрия сырьем могут служить образующиеся после выпарки рассолы.

Учитывая, что многие приморские города и поселки находятся недалеко друг от друга, нецелесообразно сооружать гипохлоритные установки в каждом из них. Доставка низкоконцентрированного гипохлорита натрия на расстояние 15 – 20 км вполне экономически приемлема [3]. Целесообразно оптимизировать расположение некоторого количества установок вдоль побережья с последующей периодической поставкой гипохлорита натрия потребителям, используя железнодорожный, автомобильный или морской транспорт. Тем самым создаются своеобразные «соты», в центре которых – установки по производству гипохлорита натрия. Эти «соты» частично перекрывают друг друга, в их пределах можно получить необходимое количество окислителя-дезинфектанта. Преимущества такой схемы очевидны: существенное упрощение установки (практически это приемный бак с

дозатором); снижение эксплуатационных затрат (прежде всего на соль и электроэнергию); экологичность; возможность расположения установки непосредственно в населенном пункте, на территории санатория и т. д.
Рассчитаем, какое количество гипохлорита натрия (в пересчете на чистое вещество) потребуется для обеспечения систем водоснабжения и водоотведения. Для этого используем следующие данные: число проживающих в приморских городах и поселениях – 1,5 млн. чел.; норма потребления воды – 0,2 $м^3$/(сут·чел.); общее количество гипохлорита натрия в расчете на 1 $м^3$ воды (водоснабжение и канализация) – 10 г/$м^3$. Рабочим раствором для получения гипохлорита натрия служит морская вода. Согласно расчетам, ежесуточное производство дезинфектанта должно составить около 4 тонн, необходимый для электролиза объем морской воды ~ 1000 $м^3$. Затраты электроэнергии на производство указанного количества гипохлорита натрия – 18 тыс.кВт·ч/сут (4,5 кВт·ч/кг гипохлорита натрия).

В последние годы, по мере накопления положительного опыта использования гипохлорита натрия на ряде муниципальных систем водоснабжения (больших и малых по производительности), появились предложения по широкомасштабному внедрению этой технологии для подготовки питьевой воды на селе. Вескими аргументами в ее пользу являются: высокая устойчивость воды, содержащей гипохлорит натрия, к повторному бактериальному загрязнению (этого нет при обработке воды озоном и УФ-излучением); относительно небольшое количество гипохлорита натрия для гарантированного обеззараживания воды. Так, для поселения с числом жителей 1000 чел. ежегодная потребность в гипохлорите натрия составит 120 – 130 кг (в пересчете на чистое вещество), а для животноводческого комплекса – 400 – 420 кг (на 5 тысяч животных).

Однако существуют некоторые сложности для широкомасштабного внедрения низкоконцентрированного раствора гипохлорита натрия в практику водоснабжения сельских населенных пунктов. Его производство, как правило, включает: солевое хозяйство – склад поваренной соли, растворный бак, емкости с рассолом (~30 %-ный раствор NaCl) и рабочим солевым раствором (3 %-ный NaCl); узел водоподготовки; электролизные модули с блоками электропитания и автоматизированными системами управления технологическими процессами; узел промывки электродов, резервуары для готового раствора и его резервного запаса; вытяжную вентиляцию.

Очевидно, что для строительства таких предприятий потребуются достаточно крупные инвестиции, поэтому для многих сельских поселений весьма сложно обзавестись собственным производством. Добавим к этому постоянно повышающиеся тарифы на электроэнергию, цены на сырье и материалы. Учитывая вышеизложенное, нецелесообразно создавать

множество мелких предприятий по производству гипохлорита натрия (появление неизбежных проблем поиска дешевого сырья и материалов, их хранения, обеспечения квалифицированным персоналом, потребностей в электроэнергии, выполнения требований экологической безопасности и т. п.).

Можно пойти по иному пути: наладить выпуск требуемого для равнинного Крыма количества гипохлорита натрия на 2 – 3 предприятиях и доставлять его в специализированные хранилища (терминалы) с последующим распределением дезинфектанта среди потребителей по мере поступления заказа от них (такой путь в свое время обеспечил повсеместное распространение жидкого хлора). При этом можно производить электролитический гипохлорит натрия как в виде низкоконцентрированного раствора (для ближних потребителей), так и в виде кристаллогидрата или концентрированного раствора (для отдаленных потребителей), используя соответствующую технологию с последующим разбавлением до рабочей концентрации на месте потребления. Очевидно, чем выше содержание гипохлорита натрия в растворе или кристаллогидрате, тем ниже транспортные расходы в расчете на единицу массы активного хлора. Так, согласно расчетам, 5 кг $NaClO \cdot 5H_2O$ достаточно для обеззараживания воды для поселения 300 чел. в течение недели при норме 0,2 $м^3$/(сут·чел.).

С целью улучшения экономических показателей производства гипохлорита натрия, некоторые авторы предлагают организовать его на базе теплоэлектростанции [5]. Аргументы в пользу этого предложения: наличие дешевой и доступной («ночной») электроэнергии, воды, пара; возможность использования производимого продукта на самой станции, например для профилактики развития сине-зеленых водорослей в системе охлаждения; электростанция-производитель гипохлорита натрия может получать прибыль от его реализации.

Согласно расчетам, для обеспечения поселений Степного Крыма гипохлоритом натрия достаточно производить его ежесуточно в количестве 4 – 5 тонн (в пересчете на активный хлор). В расчетах учтены потребности животноводческих комплексов, а также расходы на очистку сточных вод. Распределение гипохлорита натрия может осуществляться через сеть терминалов.

Для сельских потребителей дезинфектанта, централизованно производимого и доставляемого в готовом виде, существенно упрощается технология водоподготовки – отсутствует солевое хозяйство, электролизная станция, узел промывки электродов и системы принудительного удаления водорода (отхода процесса электролиза). Сама установка включает в себя лишь приемную емкость и емкость для хранения запаса гипохлорита натрия (на 15 суток). Дозирование

необходимого количества дезинфектанта в воду может осуществляться полностью в автоматическом режиме (рис. 1).

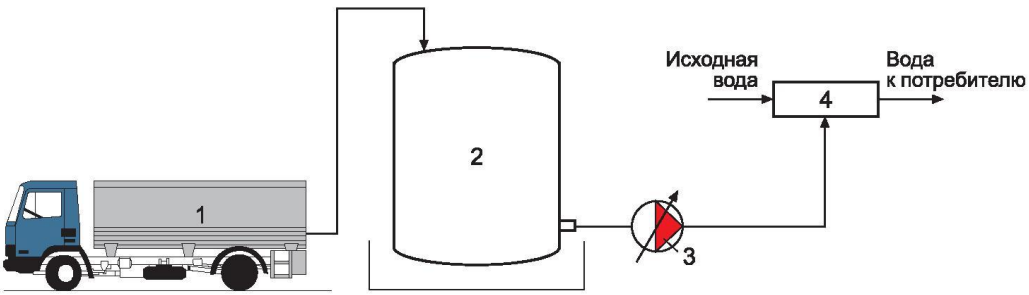


Рисунок 1. **Аппаратно-технологическая схема химико-биоцидной обработки воды привозным низкоконцентрированным раствором гипохлорита натрия:**
1 – автоцистерна с раствором гипохлорита натрия;
2 – приемно-рабочая емкость; 3 – дозирующее устройство; 4 – смеситель

При вводе в эксплуатацию большого количества малых водоочистных установок на селе возникает необходимость уделять особое внимание вопросам не только технологически эффективной, но и экономически оправданной их эксплуатации. Зарубежный и отечественный опыт указывает на целесообразность организации сервисного обслуживания многочисленных малых водоочистных установок, размещенных на относительно большой территории, специализированными централизованными службами. Такие сервисные центры удобно организовать при распределительных терминалах или в административных центрах сельских районов. В их состав могут входить: диспетчерская служба, ремонтный участок, технологические бригады и химико-аналитическая лаборатория (рис. 2).

Диспетчерская служба создается в целях оперативного мониторинга работы очистных сооружений водопровода и канализации, находящихся в зоне ответственности сервисного центра, приема заказов и своевременного обеспечения заказчиков гипохлоритом натрия. Ремонтный участок предназначен для проведения на обслуживаемых объектах ремонта механического и электротехнического оборудования, средств автоматики и т. д. Мобильно-технологическая бригада создается для доставки гипохлорита натрия, обслуживания на месте объектов водоснабжения и водоотведения, химико-аналитического и бактериологического анализа. Химико-аналитическая лаборатория при терминале служит для контроля качества отпускаемого заказчику раствора (или кристаллогидрата) гипохлорита натрия, а также комплексного анализа питьевых и сточных вод.

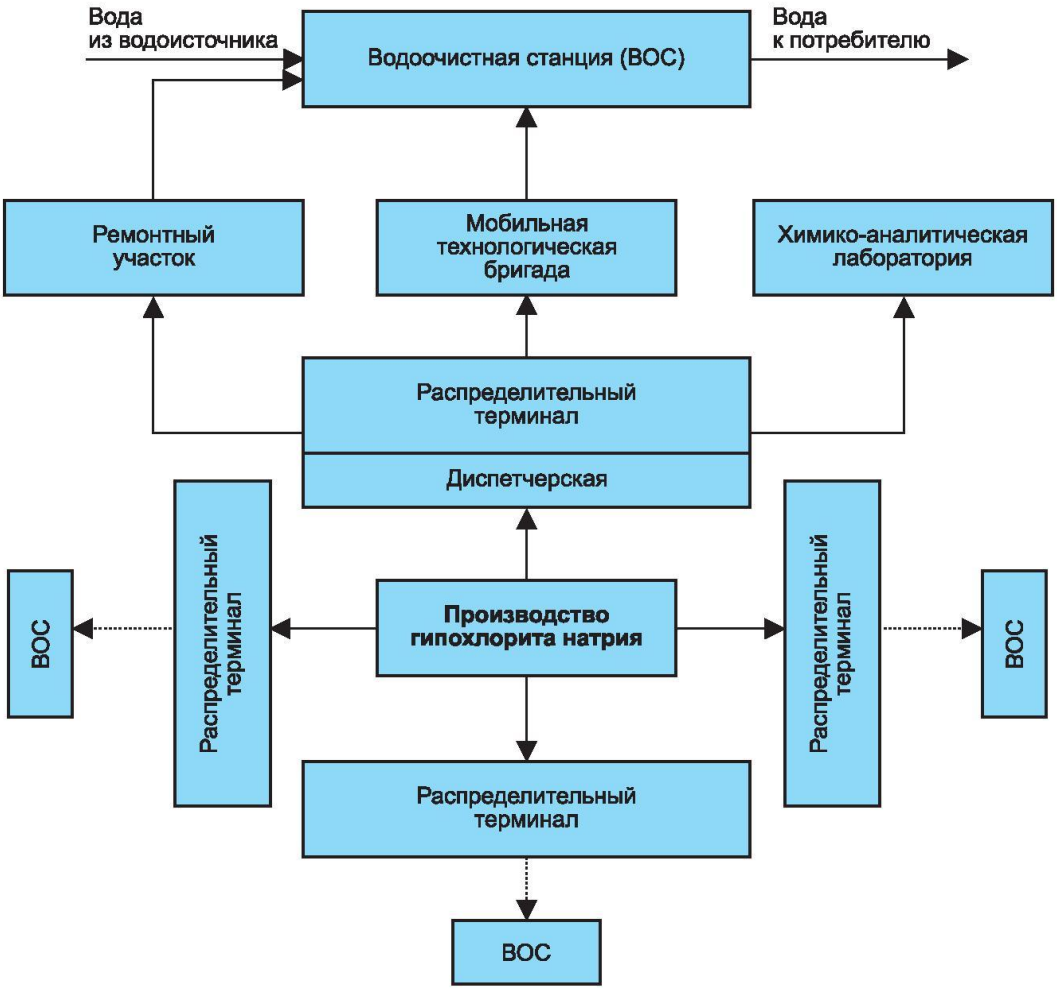


Рисунок 2. **Примерная технологическая схема обеспечения сельских поселений гипохлоритом натрия**

Предлагаемая схема централизованного производства и последующего распределения концентрированного раствора (кристаллогидрата) окислителя-дезинфектанта среди потребителей будет способствовать оперативному и менее затратному переводу сельского водоснабжения и водоотведения на перспективную, экологически безопасную технологию водоподготовки.

Следует отметить, что кроме водоподготовки, гипохлорит натрия находит широкое применение и в других областях: для отбеливания тканей, бумаги, безусадочной обработки шерстяных изделий при хлорировании и окислении органических соединений и т. д. (рис. 3).

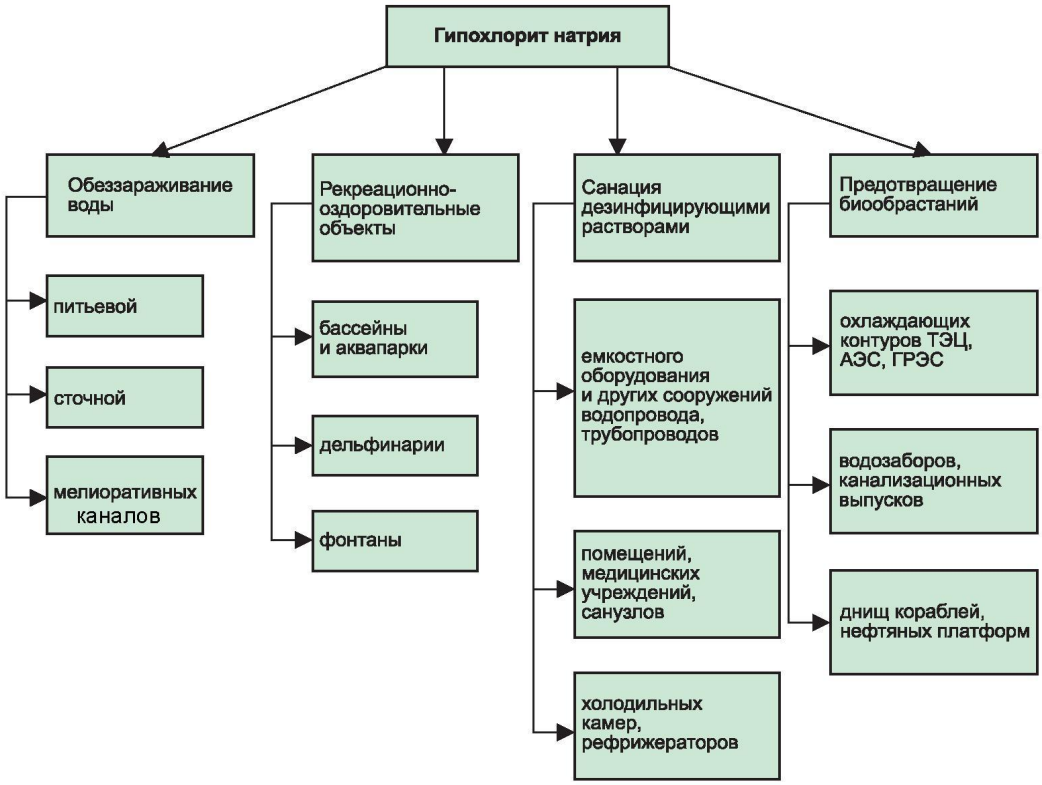


Рисунок 3. **Области применения гипохлорита натрия**

В зарубежной практике гипохлорит натрия, будучи сильным окислителем, широко используется в природоохранных целях, поскольку он переводит опасные вещества (например, CN^-, NO_2^-, H_2S) в менее опасные или даже нейтральные. Известно, что к концу XX века объем годового производства гипохлорита натрия, например в Японии, составлял 400 тыс. т (в пересчете на 80 %-ный раствор).

ВЫВОДЫ

Разработки ученых и специалистов Ростовской области в сфере питьевого водоснабжения и водоотведения, эффективность реализованных при этом форм государственно-частного партнерства способствовали внедрению в регионе передовых технологий обеззараживания воды. С учетом местных особенностей они могут быть реализованы и при решении острой проблемы обеспечения доброкачественной водой населения Крыма, рекреационно-оздоровительных объектов, а также воинских частей и подразделений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шибанов С.Э. Проблемы водоснабжения курортов Крыма и пути их решения // Вода: гигиена и экология. 2013. № 1 (1). С. 113–117.

2. Кровякова М.Т., Шибанов С.Э. Перспективы дальнейшего развития курортного дела в Крыму с учетом рекреационной емкости и санитарно-экологической оценки различных курортных зон // Вестник физиотерапии и курортологии. 2004. № 2. С. 102–103.
3. Фесенко Л.Н., Денисов В.В., Скрябин А.Ю. Дезинфектант воды – гипохлорит натрия: производство, применение, экономика и экология: Под ред. В. В. Денисова. Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦ ВШ ЮФУ, 2012. 246 с.
4. Химическая энциклопедия: в 5 т. Т. 1. М.: Советская энциклопедия, 1988. 632 с.
5. Денисова И.А., Гутенев В.В., Ляшенко Н.В. Получение гипохлорита натрия на электростанциях и его возможное применение // Проблемы региональной экологии. 2006. № 4. С. 44–49.

УДК 628.16

БЕЗРЕАГЕНТНАЯ ОЧИСТКА НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ВОД РЕГУЛИРУЕМОГО ЭШКАКОНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

В.С. Алешин, А.В. Алешин, Л.Г. Акын, С.Н. Джукаев
Ростовский государственный строительный университет,
г. Ростов-на-Дону, Россия

Показана возможность исключения коагуляционной обработки воды при определенных гидрологических условиях.

В связи с ростом в стране потребностей в высококачественной питьевой воде, достаточно высоких цен на реагенты предпочтительным является безреагентный способ обработки. [1]

Сложность этого метода состоит в необходимости исследования механизмов формирования взвешенных частиц, как в русле реки, так и в регулируемом водохранилище. Подобные исследования представляют собой весьма сложный процесс, обусловленный рядом факторов: а) неравномерность движения воды в водохранилище, как по длине, так и по глубине, вследствие турбулентности потока и изменчивости профиля русла в водохранилище; б) влияние донных течений; в) неоднородность составов взвешенных наносов по крупности; г) влияние восходящих и нисходящих потоков и плотности воды в водохранилище.

Вследствие вышеперечисленных факторов взвешенные вещества распределяются в потоке воды водохранилища неравномерно. Наибольшие отклонения от средней мутности наблюдаются у берегов, поверхности воды и дна. Мутность увеличивается от поверхности ко дну за счет фракций взвешенных веществ, как малых, так и крупных.

Частицы дисперсной фазы испытывают удары молекул дисперсионной среды, находящихся в непрерывном и хаотическом тепловом движении. Мелкие частицы перемещаются в различных направлениях, в то время как более крупные, обладая большей массой, способствующей компенсации ударов с разных сторон, совершают лишь небольшие колебательные движения со скоростью доли миллиметра в секунду. Частицы диаметром более 5 мкм практически не подвержены броуновскому движению [2]

Коэффициент диффузии сферических частиц определяется из уравнения Энштейна, применяемого для практических расчетов:

$$D = \frac{RT}{N} \cdot \frac{1}{6\eta\pi r}, \quad (1)$$

где D – коэффициент диффузии; R – газовая постоянная; T – абсолютная температура; N – число Авогадро; η – динамическая вязкость; r – радиус частиц.

Для молекул и ионов неорганических веществ в водной среде величина D равна приблизительно $1 \cdot 10^{-5}$ см^2/с, а для коллоидных частиц она ниже на $2-4$ порядка. Скорость диффузии макромолекул высокомолекулярных веществ при одинаковых условиях близка к скорости диффузии коллоидных частиц.

Течение дисперсных систем отличается от течения истинных растворов, поскольку в дисперсных системах наблюдается ранняя турбулизация потока при меньших, чем для истинных растворов, числах Рейнольдса. Вязкость разбавленного коллоидного раствора описывается уравнением Энштейна:

$$\eta = \eta_0(1 + 2{,}5C_0), \quad (2)$$

где η – вязкость дисперсионной среды, C_0 – объемная концентрация дисперсной фазы.

Уравнение (2) справедливо для случая, когда частицы шарообразны и не взаимодействуют друг с другом. Объемная концентрация частиц, покрытых гидратным слоем толщиной h_r, вычисляется по уравнению:

$$C_0 = C_0\left(1 + \frac{h_r}{h}\right), \quad (3)$$

а в случае эллипсоидных частиц:

$$\eta = \eta_0(1 + AC_0 + BC_0^2), \quad (4)$$

где A и B – коэффициенты, зависящие от степени ассиметрии частиц.

Вязкость золей, содержащих заряженные частицы, зависит от степени дисперсности частиц и величины их заряда и может быть определена из соотношения:

$$\frac{\eta - \eta_0}{\eta_0} = 2{,}5C_0\left[1 + 1/\lambda_1\eta_0 r^2(\zeta E/2\pi)^2\right], \quad (5)$$

где λ_l – удельная электропроводность, Е – диэлектрическая постоянная, ξ – электрокинетический потенциал двойного электрического поля.

Вязкость растворов высокомолекулярных веществ (ВМВ) выше вязкости коллоидных растворов той же концентрации, что объясняется способностью макромолекул к образованию ассоциатов. С молекулярным весом (МВ) полимера вязкость связана соотношением:

$$\eta = K[MB]^{\alpha}, \qquad (6)$$

где К – коэффициент, постоянный для раствора данного ВМВ в данном растворителе, α – коэффициент, зависящий от формы и гибкости макромолекул.

Существует два типа устойчивости дисперсных систем: агрегативная и кинетическая.

Под кинетической устойчивостью понимается способность частиц противостоять действию силы тяжести.

Каждая частица дисперсной фазы подвержена действию двух противоположных сил: сил тяжести, вызывающих седиментацию, и сил диффузии, им препятствующим. Соотношение сил тяжести и диффузии зависит от степени дисперсности частиц: чем крупнее частицы, тем меньше они подвержены броуновскому движению и тем интенсивнее седиментируют.

Суспензии, в которых диффузия отсутствует, являются кинетически неустойчивыми системами: их частицы осаждаются в течение сравнительно небольшого отрезка времени. К абсолютным кинетически устойчивым системам относятся истинные растворы. Коллоидные растворы составляют промежуточный тип систем. В этих растворах в результате взаимодействия между силами тяжести и диффузии устанавливается равновесие, характеризующееся постепенным уменьшением концентрации частиц в направлении снизу вверх. Кроме того, установлению равновесия мешают колебания температуры в системе, толчки и сотрясения, поэтому практически все золи обнаруживают одинаковую концентрацию дисперсной фазы по высоте слоя.

Для скорости осаждения сферических частиц, не подверженных тепловому движению, применимо уравнение Стокса:

$$U = \left(\frac{g(\rho_T - \rho_B)}{18\eta} \right) d^2, \qquad (7)$$

где g – ускорение силы тяжести, ρ_T, ρ_B – плотность вещества дисперсной фазы и дисперсионной среды соответственно, d – диаметр частиц.

Если осаждающиеся частицы многокомпонентны, то величина ρ_T определяется с учетом плотности и относительного объема каждого компонента. С увеличением температуры от 5 до 20 °С вязкость воды уменьшается вдвое, а плотность – лишь на 2 %. Таким образом, повышение температуры способствует седиментации частиц, не

подверженных тепловому движению. Формула Стокса справедлива для идеальных систем. Истинная скорость осаждения ($U^{/}$) всегда отличается от расчетной (U) вследствие теплового движения частиц, их неправильной формы и гидратации, объединения их в агрегаты. В зависимости от объемной концентрации частиц и их агрегатов (C_0) изменяется соотношение между истиной и расчетной скоростями осаждения:

$$U' = U(1 - C_0)^n, \qquad (8)$$

где n = 5.

Влияние на устойчивость взвешенных веществ в воде оказывает наличие электрокинетических сил взаимного отталкивания частиц.

Причем, чем больше величина дзета-потенциала частиц взвеси в воде, тем с большей силой эти частицы отталкиваются друг от друга, а, следовательно, больше устойчивость этих частиц в воде.

Для исследования характера влияния концентрации взвеси в воде на электрокинетическую подвижность и дзета-потенциал частиц этой взвеси были проведены эксперименты на незамутненной воде, по качеству близкой к воде Эшкаконского водохранилища. На основании полученных опытных данных были построены графические зависимости величины дзета-потенциала от концентраций взвешенных частиц в воде: M = f (ξ) (рис. 1).

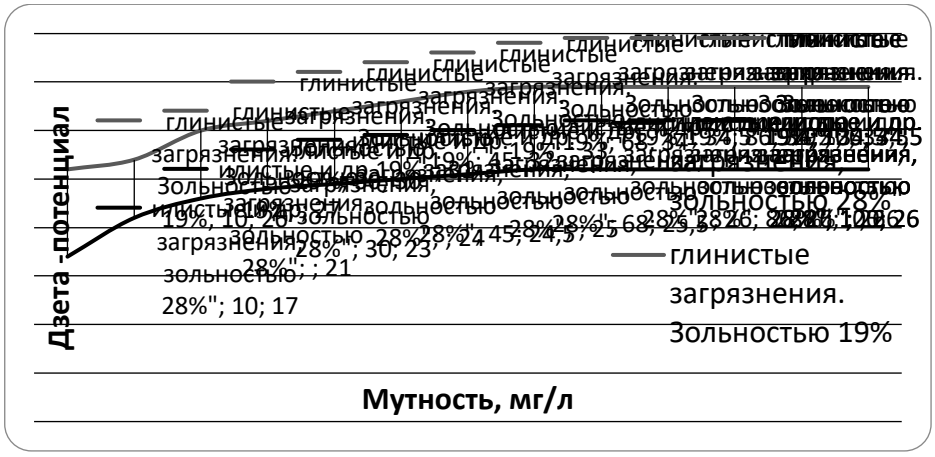


Рисунок 1. **График зависимости ξ от концентрации взвешенных веществ в воде с различным минералогическим составом**

Кривые имеют классический характер, т.е. с увеличением концентрации взвеси в воде на одинаковые величины во всех случаях дзета-потенциал частиц этой взвеси также изменяется приблизительно на равные величины. Таким образом, можно выразить единую зависимость электрокинетического показателя мутности от концентрации взвеси.

Исследования показали, что с увеличением концентрации взвешенных веществ наблюдается интенсивное возрастание величины дзета-потенциала.

Изменение температуры в пределах 1 – 20 °С практически не влияет на дзета-потенциал частиц бетонита и каолинита в дистиллированной воде.

Влияние pH среды на величину дзета-потенциала не всегда носит однозначный характер. Так при обработке глинистых суспензий щелочью происходит сначала повышение, а затем снижение дзета-потенциала частиц вплоть до перезарядки. Повышение потенциала объясняется, вероятно, замещением противоионов Al^{3+} диффузного слоя на катион щелочи и увеличение толщины слоя. Когда же катионов Al^{3+} остается мало, они уже не препятствуют вхождению катионов щелочных металлов в адсорбционный слой: толщина диффузного слоя уменьшается, и величина дзета-потенциала падает.

Существенное влияние на дзета-потенциал минетальных коллоидов оказывает присутствие в воде ПАВ, ВМВ и активного хлора.

С точки зрения теории, если рассматривать зависимость $Э_м = f(M)$ (рис. 2), то для вод из различных поверхностных источников, а также для проб из одного и того же источника, исследуемых в различные периоды года, эти кривые должны отличаться друг от друга. Однако, расхождения для различных вод источников настолько малы, что можно пользоваться единой кривой зависимости $M = f(M_э)$.

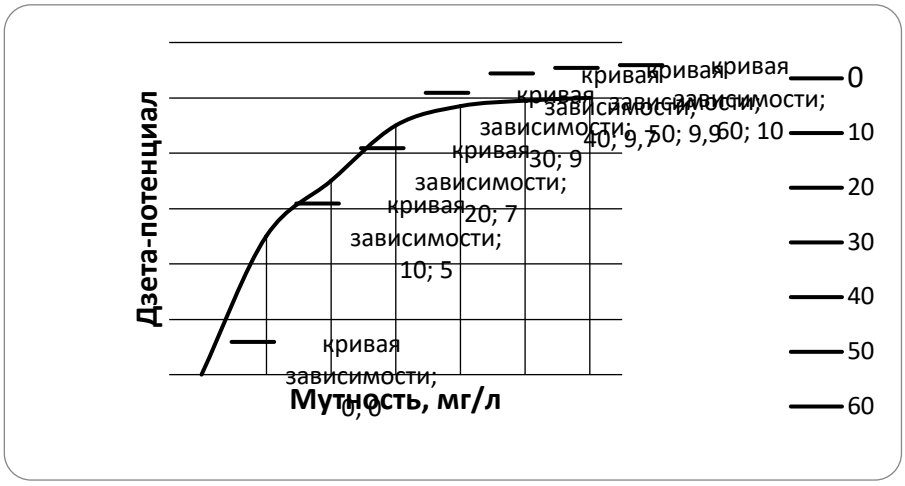


Рисунок 2. **График зависимости электрокинетического потенциала от концентрации взвеси в воде**

ВЫВОДЫ

1. В естественных условиях без применения специальных технологий и различных реагентов, происходит самопроизвольное осаждение частиц взвеси, отстаивание и естественное осветление воды при определенных гидрологических условиях;

2. Регулируемое водохранилище можно использовать как естественный огромный отстойник, в котором, при соблюдении правильных режимов эксплуатации водохранилища, может быть достигнут

требуемый уровень осветления природной воды, не требующей последующей реагентной обработки, за исключением обеззараживания.

3. На основании экспериментальных исследований низкотемпературной воды Эшкаконского водохранилища можно рекомендовать ее безреагентную очистку в течение семи-восьми месяцев в весенне-летний и, иногда, в осенний период, что даст экономию электроэнергии и реагентов при эксплуатации очистных сооружений Эшкаконского водопровода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Турянский И.П., Сапрыкин Д.В. Исследование эффективности очистки питьевой воды // Мат. межд. научн.-практ. конф. «Строительство-2008», Ростов-н/Д: РГСУ, 2008.
2. Бутко Д.А., Михайлов В.А., Рахнин С.А. О влиянии гидродинамического режима смешения и перемешивания воды с реагентами на эффективность осветления ее в отстойниках // Мат. межд. научн.-практ. конф. «Строительство-2012», Ростов-н/Д.: РГСУ, 2012.

УДК 628.16.

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ОЧИСТКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

А.Н. Ким
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Санкт-Петербург, Россия
О.А. Штейнмиллер
ЗАО «Промэнерго», г. Санкт-Петербург, Россия
Е.О. Графова
Петрозаводский государственный университет,
г. Петрозаводск, Россия

Показана возможность очистки подземных вод от железа, марганца, бария, растворенных газов, а также радиоактивных загрязнений.

Традиционные методы очистки подземных вод от железа, марганца, растворенных газов и др. достаточно хорошо изучены и применяются. Выбор методов очистки воды, расчетных параметров сооружений, а также вида и доз реагентов надлежит осуществлять на основе результатов технологических изысканий, проводимых непосредственно у источника водоснабжения. Выбор конкретного метода очистки подземной воды, технологической схемы и водоочистных сооружений и устройств зависит от формы железа, pH среды, щелочности, содержания сероводорода, свободной углекислоты и других ингредиентов в обрабатываемой воде, а также производительности установки.

В ряде случаев, наряду с указанными загрязнениями, в подземных водах содержатся и другие ингредиенты, в частности, барий, в концентрациях, превышающих нормативы в питьевой воде.

Обезжелезивание подземных вод обычно осуществляют безреагентными методами с предварительной аэрационной обработкой воды (упрощенной аэрацией или аэрацией на специальных устройствах: вакуумно-эжекционный аппарат, брызгальный бассейн и др.) с последующим фильтрованием на зернистых осветлительных фильтрах с инертной или сорбционной загрузкой.

В аэрационном устройстве происходит насыщение воды кислородом, удаление части углекислоты и частичное окисление железа (II) в трехвалентное (III), и образуется хлопьевидный осадок гидроокиси железа в результате гидролиза трехвалентного железа. В свою очередь осветлительные фильтры служат для извлечения из воды гидроксида железа.

В случае, если безреагентный метод не обеспечивает требуемую степень очистки, следует предусматривать обработку воды реагентами-окислителями (хлор и его производные, озон, перманганат калия, технический кислород).

Для удаления из воды растворенных газов применяются физические и химические методы. В практике коммунального водоснабжения применяются главным образом физические методы, сущность которых заключается в следующем: дегазируемая вода приводится в соприкосновение с воздухом, если парциальное давление удаляемого газа в воздухе близко к нулю; обеспечивают условия, при которых растворимость газа в воде становится близкой к нулю. С помощью первого метода – аэрации воды, обычно удаляют свободную углекислоту, метан и сероводород, поскольку парциальное давление этих газов в атмосферном воздухе близко к нулю.

Следует отметить, что подземные воды в рассматриваемых регионах (в частности, в Тверской и Ленинградской областях, республики Карелия) содержат радиоактивные загрязнения, носителями которых, при наличии в воде железа/марганца, являются их гидроксиды/диоксиды, а также присутствующие в воде механические примеси в виде взвешенных веществ.

Предварительная оценка качества питьевой воды по показателям радиационной безопасности может быть дана по удельной суммарной альфа – (A_α) и бета активности – (A_β). При значениях A_α и A_β выше 0,2 и 0,1 соответственно проводится анализ содержания радионуклидов в воде. Приоритетный перечень определяемых при этом радионуклидов в воде устанавливается в соответствии с санитарным законодательством.

Критическим путем облучения людей за счет ^{222}Rn, содержащегося в питьевой воде, является переход радона в воздух помещения и

последующее ингаляционное поступление дочерних продуктов радона в организм. Уровень вмешательства для ^{222}Rn в питьевой воде составляет 60 Бк/кг. Определение удельной активности ^{222}Rn в питьевой воде из подземных источников является обязательным.

Рассмотренные выше методы очистки подземных вод, включающие аэрацию-фильтрацию, являются достаточно эффективными для удаления из воды микродозы радионуклидов, в том числе и радона. Эффективными для очистки радиоактивно-загрязненной питьевой воды являются также основные методы водоподготовки, применяемые на городских очистных сооружениях:

– очистка методом объемной коагуляцией (солями алюминия / железа);

– фильтрация через песок: эффект суммарной очистки воды коагуляцией и фильтрацией.

Причины, вызывающие соосаждение радиоактивных изотопов с тем или иным нерастворимым осадком, а также механизм происходящих при этом процессов могут быть самыми различными. Чаще всего соосаждение обусловлено сокристализацией, адсорбцией, колоидно-химическими причинами, окклюзией и прямым осаждением.

Наряду с коагуляцией одним из самых распространенных является сорбционный способ очистки воды, в основе которого лежит как ионообменное, так и неионнообменное поглощение радиоактивных элементов различными сорбентами. Характер поглощения зависит от природы сорбента, а также от состояния радиоактивного элемента в питьевой воде. Среди многочисленных природных неорганических сорбентов наибольший интерес представляют природные цеолиты, обладающие значительной катионообменной емкостью: 4 – 5 мг-экв/г.

На кафедре водоснабжения СПбГАСУ были проведены исследования показателей природного цеолита Холинского месторождения в Бурятии (ТУ 2163-002-12763074-97). Товарный продукт ООО «Минерал-Трейдинг» – плотная мелкозернистая крошка (2,3 – 2,4 г/см^3) фракции 0,5 – 3 мм серого цвета, содержание клиноптилолита – не менее 60 %. Было установлено, что исследованный материал, в основном, отвечает требованиям, предъявляемым к зернистым материалам водоочистных фильтров, за исключением измельчаемоости, которая превышает в 2,5 раза нормативное значение для зернистых материалов. Данный показатель должен учитываться при использовании цеолита в фильтрах, а именно: за счет небольшой грязевой нагрузки продолжительность фильтроцикла должна быть не менее 24 ч, а, следовательно, нечастая обратная промывка фильтров (с интенсивностью 14 – 16 л/с·м^2 в течение 10 – 8 мин) должна производиться только водой без воздуха. При этом потеря загрузки может быть принята в пределах 15 – 20 % за год эксплуатации.

Опытно-промышленные исследования очистки подземных вод проводились в Северо-Западном регионе (Ленинградская обл., Карелия), в частности, в п. Шапки Тосненского района Ленобласти. В подземных водах межморенного водоносного горизонта содержится избыточное количество железа (10 мг/л), бария (до 1 мг/л), а также наблюдался слабый запах сероводорода. В то же время, согласно требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01, содержание указанных загрязнений в воде не должно быть более 0,3 и 0,1 мг/л, соответственно.

Исследования проводились на опытно-производственной установке производительностью 100 м^3/сут (м^3/ч), основными элементами которой являются аэрационная колонна (бак-аэратор) и напорные фильтры с цеолитовой загрузкой. Технологическая схема представлена на рисунке. Удаление из воды бария производится посредством введения в исходную воду реагента – сульфата натрия, для чего станция водоподготовки дооборудуется реагентным хозяйством с автоматическим дозированием реагента.

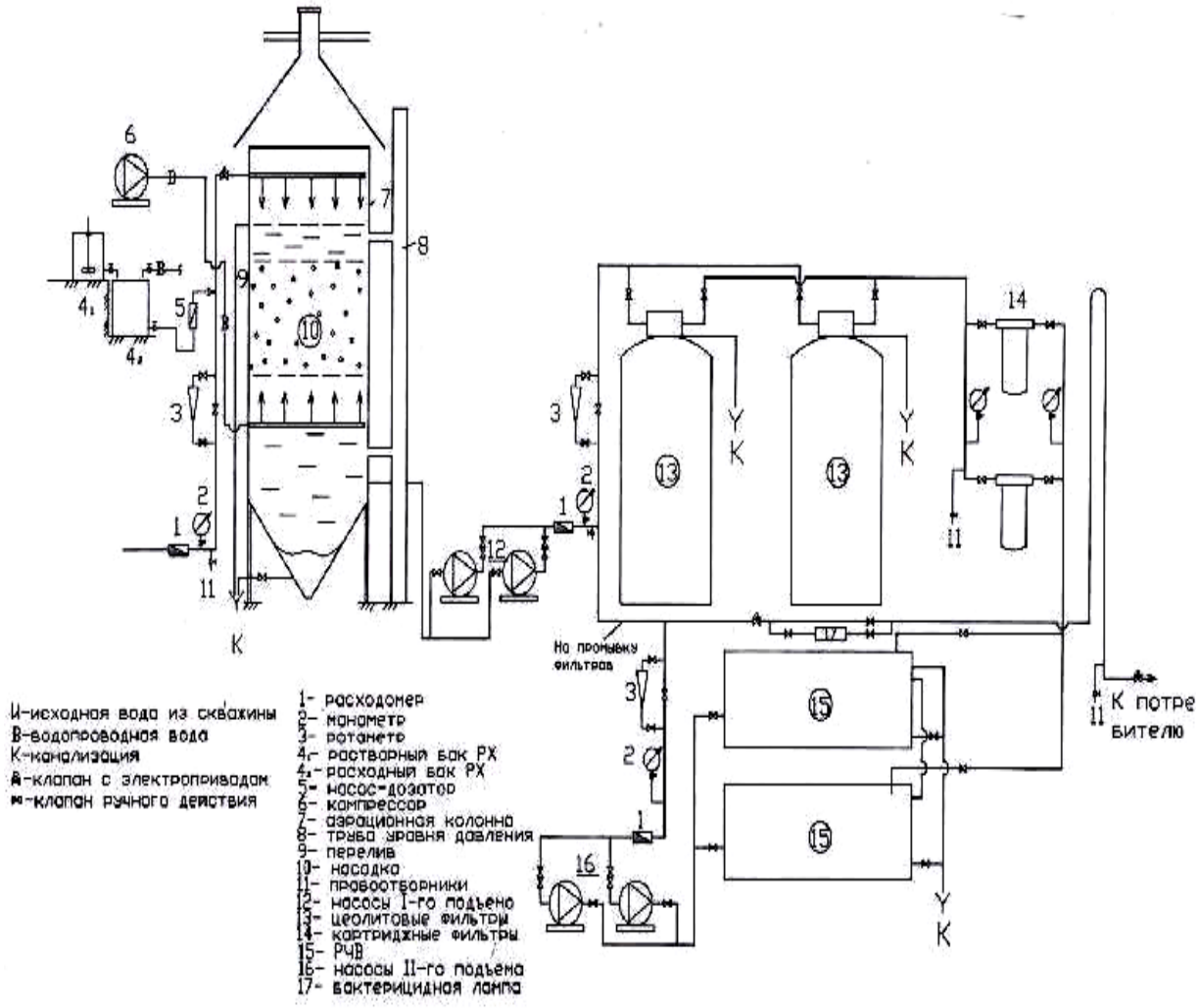


Рисунок. **Технологическая схема водоочистной установки**

Результаты очистки подземных вод на опытно-промышленной установке, мг/л: железо с 10,0 до 0,16; марганец с 0,12 до 0,001; барий с 0,9 до 0,02 (по данным Центра исследований и контроля воды СПб, протокол № 1927 от 11.10.2004).

Как указывалось выше, подземные воды содержат радиоактивные загрязнения. Так, в Ленинградской области в воде из скважин, пробуренных в гранитах, содержится радон, концентрация которого превышает допустимый уровень. По нашим данным подобное имеет место и в подземных водах г. Твери. Но особенно остро стоит данная проблема в Карелии, где в ряде районов подземные воды содержат радон в концентрациях сотни и даже тысячи Бк/кг.

Поэтому весьма актуальными являются вопросы очистки подземных вод от железа, марганца, бария, растворенных газов и других ингредиентов, а также радиоактивных загрязнений.

Исходя их накопленного опыта по рассматриваемой проблеме, предлагается следующая технология очистки подземных вод.

Технология водоподготовки: исходная вода из скважины поступает в бак-аэратор (аэрационную колонну) с пластмассовой насадкой, куда от компрессора подается сжатый воздух. В верхней части аэрационная колонна снабжена системой вентиляции. В аэрационной колонне достигается полная отдувка радона и практически решается проблема микрорадиации. Далее вода насосами подается на напорные фильтры (с цеолитовой загрузкой) с универсальными головами управления, в т.ч. для промывки их очищенной водой из РЧВ. Насосы II подъема с частотным регулированием подают воду потребителям в соответствии с режимом водопотребления. В составе установки предусмотрено реагентное хозяйство, состав которого зависит от вида загрязнений в исходной воде. В частности, при наличии в воде бария для его удаления применяется в качестве реагента сульфат натрия. Обеззараживание воды предусмотрено при помощи бактерицидной лампы.

Предлагаемая технология защищена патентом на изобретение № 2377194.

На сооружениях очистки подземных вод необходимо учитывать появление радиационного фактора. Как показал опыт работы одной крупной водоочистной станции, в процессе обезжелезивания воды на поверхности фильтрующего материала происходит осаждение и накопление нерастворимых солей, в том числе соединений природных радионуклидов ^{226}Ra из ряда ^{238}U и ^{228}Ra, ^{224}Ra из ряда ^{232}Th. Накопление природных радионуклидов в материале фильтрующей загрузки происходит практически равномерно во времени, при этом удельная активность ^{226}Ra в материале фильтрующей загрузки может составить 1500 – 10000 Бк/кг и более. В результате этого порядок обращения с фильтрующим материалом определяет СП 2.6.1.2800-10 как

производственным отходам, содержащим природные радионуклиды.

Величина эффективной удельной активности* ($А_{эфф}$) природных радионуклидов в материале загрузки находится в непосредственной зависимости от продолжительности его (материала) использования. При сроке эксплуатации 150 – 200 дней $А_{эфф}$ достигает 1500 Бк/кг, т.е. образующийся при выгрузке производственный отход относится к 2-ой категории по радиационному фактору. При сроке эксплуатации более 600 – 800 дней содержание природных радионуклидов в материале загрузки может достигать 10 000 Бк/кг. Таким образом, максимальный срок службы материала фильтрующей загрузки определяют интенсивность осаждения преимущественно имеющегося ^{226}Ra и принятые схемы утилизации образующихся промышленных отходов.

Из приведенного выше видно, что одним из самых больших проблем при использовании зернистых фильтров при обезжелезивании подземных вод, содержащих радиоактивные элементы, является накопление с течением времени остаточной радиоактивности в фильтрующей загрузке. Количество этих загрязнений может достигать такой величины, когда вопросы замены и утилизации отработанной загрузки создадут трудноразрешимые проблемы эколого-экономического характера, требующие поиск адекватных технологических решений..

УДК 628.16

ОСОБЕННОСТИ РЕЖИМОВ ОЧИСТКИ ПРИРОДНЫХ ВОД В СУХОЙ И ВЛАЖНЫЙ ПЕРИОД ГОДА В СТРАНАХ ЗАПАДНОЙ АФРИКИ

Куасси Бру Гийом
г. Абиджан, Республика Кот д’Ивуар

Показано, что технология обработки природных вод для хоз-питьевого водоснабжения в республике Кот д’Ивуар отличается в «сухой» и «мокрый» сезоны года, что следует учитывать при проектировании. При этом технологию очистки можно принимать по СП 31.13330 (РФ).

В феврале 2014 г. в г. Абиджан (республика Кот д’Ивуар) состоялся XVII съезд Африканской Водной Ассоциации (Association Africaine de l’Eau – AAE), темой которого было «Привлечение ресурсов и руководство системой водоснабжения и водоотведения в Африке».

На этом съезде Африканские страны обсудили следующие вопросы:

– прогноз наводнений и защита водных ресурсов в Африке;

– оценка и моделирование эффектов климатического изменения;

– стратегия интенсификации работы водных служб и оздоровления;

– технологии очистки вод;

– применение адаптированных для Африки технологий;

– службы распределения воды малоимущим слоям населения;

– научное исследование и развитие технологий очистки сточных вод;

– оплата воды: дотации малоимущим слоям населения;

– экологическое управление и борьба против загрязнения;

– создание отделов для контроля качества воды;

– финансирование проекта «Вода»;

– разработка новых способов очистки воды для малонаселенных пунктов;

– введение финансирования программы развития системы водоснабжения и водоотведения, а также партнерство между частными и государственными инвесторами;

– новые методы защиты бассейнов;

– новый метод для очистки отработанных вод.

Главная цель съезда – это совершенствование системы водоснабжения и водоотведения.

Одним из аспектов совершенствования систем водоснабжения является метод обезжелезивания и обесцвечивания воды при очистке природных вод для целей водоснабжения с учетом климатических циклов времен года и, соответственно, периодов выпадения и отсутствия дождей, что характерно для всех стран западной Африки.

Исследования проведены на примере системы водоснабжения г. Димбокро, республики Кот д'Ивуар, являющегося типичным представителем данного региона [1].

В связи с изменениями периода дождя в городе Димбокро можно выделить четыре основных сезона: «сухой» сезон (декабрь – март и август – сентябрь); сезон дождей – «мокрый» сезон (апрель – июль и октябрь – ноябрь) [1, 2].

Поэтому задачей данной статьи является определение расчетных доз реагентов станции очистки воды города Димбокро в течение года, т. е. в «сухой» и «мокрый» сезоны, поскольку при этом существенно различаются и климатические условия, и качество исходной воды; суточная производительность станции Q = 2500 $м^3$/сут = 0,0289 $м^3$/с [3].

Качественные физико-химические показатели состава необработанных вод из реки N'Zi и питьевых были выполнены профильной компанией SODECI [3]. Результаты анализов вод представлены в таблице 1 сухого и таблице 2 мокрого сезонов.

Таблица 1. **Показатели состава исходной воды реки N'Zi и питьевой воды из водопровода г. Димбокро в сухой сезон**

№	Показатель	Единицы	Исходная вода	Нормы ВОЗ питьевой воды (2011г.)	Питьевая вода
1	Цвет	UCV	61	≤ 15	1
2	Мутность	NTU	4,76	≤ 5	0,48
3	pH	–	7,18	6,5≤ pH ≤8,5	6,92
4	Проводимость	µS/cm	114,1	–	121,1
5	Температура	°C	27,4	*	28,2
6	Общее железо (F_e)	mg/l	0,12	≤ 0,3	0,04
7	Марганец (Mn^{2+})	mg/l	0,03	≤ 0,5	0,0
8	Перманганатная окисляемость	mg.O_2/l	*	≤ 5	*

Примечания: * – показатели не определялись; «NTU – Unité de Turbidité Nephelometrique» - это Нефелометрическая единица мутности [4; 1и 2]; 1 NTU = 1ЕМ/дм^3 = 0,58 мг/дм^3 [5]; «UCV- Unité de Couleur Vraie» – это Единица измерения цвета воды; UCV или Pt-Co или градус цветности воды;

Сравнивая показатели речной воды в сухой и мокрый сезоны (рис., табл. 1 и 2), можно видеть расхождения концентраций в десятки раз, что, соответственно, предполагает разные технологические приемы очистки, в основном, разные дозы коагулянтов.

Таблица 2. **Показатели состава исходной воды реки N'Zi и питьевой воды из водопровода г. Димбокро в мокрый сезон**

№	Показатель	Единицы	Исходная вода	Нормы ВОЗ питьевой воды (2011)	Питьевая вода
1	Цвет	UCV	780	≤ 15	11
2	Мутность	NTU	124	≤ 5	2,05
3	pH	–	6,9	6,5≤ pH≤8,5	6,6
4	Проводимость	µS/cm	51	–	106
5	Хлор (Cl^-)	mg/l	8,9	≤ 250	4
6	Температура	°C	27,1	*	*
7	Общее железо (F_e)	mg/l	2,32	≤ 0,3	0,08
8	Марганец (Mn^{2+})	mg/l	0,1	≤ 0,5	0,03
9	Перманганатная окисляемость	mg.O_2 /l	*	≤ 5	*

Примечания: * – показатели не определялись;

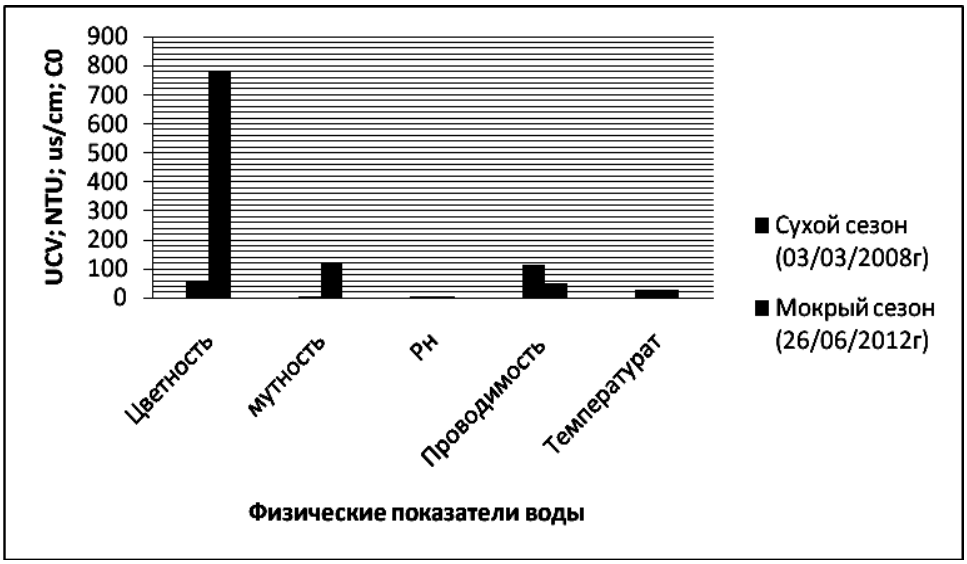


Рисунок. **Показатели речной воды в сухой и мокрый сезоны**

Переведем NTU и UCV необработанной воды в расчетные мутности и цветности, принятые в Российской практике (табл. 3).

Согласно принятой в РФ классификации [6], вода реки N'Zi в сухой сезон имеет среднюю цветность и высокую – в мокрый; соответственно, маломутная вода в сухой сезон, а среднемутная вода в мокрый.

Таблица 3. **Расчетные показатели мутности и цветности воды реки N'Zi**

Показатели	Сухой сезон	Мокрый сезон
Цветность, град	61	780
Мутность, мг/л	2,73	71,92

Следует отметить, что цветность воды имеет сезонный характер [7]: в мокрый сезон ее цветность больше, чем в сухой. Следовательно, удаляя железо из воды, тем самым ее также и обесцвечиваем.

Рассмотрим процесс очистки вод: в качестве реагентов используют гипохлорит кальция ($Ca(ClO)_2$) или хлор (Cl_2); перманганат калия ($KMnO_4$); сульфат алюминия ($Al_2(SO_4)_3$) и известь (CaO) [3].

Сначала в приемном резервуаре происходит процесс предварительного окисления органических и неорганических веществ (железо, марганец) с помощью перманганата калия или гипохлорита кальция; доза $Ca(ClO)_2$ = 3,5 г/м^3 [3].

Согласно [6] расчетные дозы реагентов-окислителей надлежит принимать следующие:

– хлора $Д_х$, мг/л: $Д_х = 0{,}7(Fe^{2+})$;

– перманганата калия $Д_п$, мг/л, считая по $KMnO_4$: $Д_п = (Fe^{2+})$.

Таблица 4. **Расчетные дозы реагентов-окислителей для очистки воды реки N'Zi**

Дозы, мг/л	Сухой сезон	Мокрый сезон
хлора $Д_х$	0,084	1,624
перманганата калия $Д_п$, по $KMnO_4$	0,12	2,32

Итак, для процесса предварительного окисления, в любой сезон, SODECI [3] использует больше дозу $Ca(ClO)_2$ = 3,5 мг/л, чем расчетную дозу хлора или перманганата калия по Российским нормам [6].

После этапа окисления вода поступает в флокуляторы, где происходит процесс коагуляции с применением сульфата алюминия $Al_2(SO_4)_3$ дозой 35 мг/л (по товарному продукту) [3].

По актуализированному СНиП 2.04.02-84 дозу коагулянта ($Д_к$) определяют по мутности или цветности воды и принимают большую из полученных величин.

Для мутных вод дозу коагулянта принимают по таблице 16 [6]: при мутности до 100 мг/л доза составит 25 – 35мг/л. Итак, мы видим, что для сухого и мокрого сезона, доза применяемого $Al_2(SO_4)_3$ на водопроводе г. Димбокро соответствует СНиП [6]. Далее вода направляется в отстойники, где происходит процесс осаждения, скорость осаждения $V_{от}$ = 0,5 м/ч (0,13 мм/с) [3]. Затем вода подается на песчаные фильтры (количество фильтров – 4; площадь фильтра $S_ф$ = 15 $м^2$; скорость фильтрования $V_ф$ = 1,95м/ч. В качестве загрузки фильтра используется морской песок, с гранулометрическим составом 0,2 – 1,2 мм [3]. По нормам РФ такие параметры относятся к режиму медленного фильтрования [6].

Вода после фильтров проходит через аэрационную камеру, в которую вводится для обеззараживания хлор или гипохлорит кальция дозой $Ca(ClO)_2$ = 2,5 мг/л. В основном $Ca(ClO)_2$ применяют для обеззараживания, а также для сдерживания развития водорослей, мидий, ракушек.

Для регулирования величины pH используют известь CaO дозой 19 мг/л, чтобы pH очищенной воды соответствовал нормам ($6,5 \leq pH \leq 8,5$) [3].

ВЫВОД

Из проведенных исследований можно сделать общий вывод, что для процесса предварительного окисления в разные сезоны года («сухой» и «мокрый») рекомендуется использовать реагенты хлор или перманганат калия согласно по СП 31.13330 (РФ). Учитывая практически полное отсутствие технической литературы по водоснабжению в республике Кот д'Ивуар, также рекомендуется использование СП в практической

деятельности республиканских специалистов после дополнительной проверки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Серпокрылов Н.С., Куасси Б.Г., Яковлева Е.В. Анализ процессов флокуляции при очистке природных вод в сухой и мокрый периоды года в странах западной Африки / «Строительство-2013»: Материалы межд. научн.-практич. конф. Ростов н/Д: РГСУ, 2013. С. 62–64.
2. Mahamadou KOITA, these: «Caractérisation et modélisation du fonctionnement hydrodynamique d'un aquifère fracturé en zone de socle. Régionde Dimbokro-Bongouanou (Centre Est de la Côte d'Ivoire)»; Universite Montpellier II ; le 13 juillet 2010. Page 72.
3. Société de Distribution d'Eau de Cote d'Ivoire (SODECI); 19/04/2006 г; 03/03/2008 г.; 26/06/2012 г.
4. Degrémont. Технический справочник по обработке воды; Т. 1, Т. 2; С-Петербург, 2007.
5. ГОСТ 3351-74. Вода питьевая. Методы определения вкуса, запаха, цветности и мутности.
6. Свод правил 31.13330 2012. Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. М.: Стройиздат, 2012.
7. Мовчан Н.П. Метод гальванокоагуляции при очистке природных вод от цветности и солей ионов железа //Водоснабжение и канализация; март-апрель, 2011.

УДК 628.11

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ УСЛОВИЙ ОСАЖДЕНИЯ ВЗВЕСИ В НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ВОДЕ ЭШКАКОНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

В.С. Алешин, А.В. Алешин, Л.Г. Акын, С.Н. Джукаев
Ростовский государственный строительный университет,
г. Ростов-на-Дону, Россия

Получены теоретические и экспериментальные зависимости кривых выпадения взвеси по длине водохранилища и в поперечниках.

В природных водах взвешенные вещества могут быть агрегативно-устойчивыми, т.е. состоящими из неизменных по форме и свойствам частиц, или агрегативно-неустойчивыми, свойства и форма частиц которых со временем изменяются. Агрегативно-устойчивые монодисперсные системы, как правило, могут быть получены лишь

искусственным путем. К агрегативно-устойчивым полидисперсным системам можно отнести, с некоторыми допущениями, некоагулированную речную воду. Агрегативно-неустойчивой системой является вода, подвергшаяся обработке коагулянтом [1, 2].

Водный режим реки Эшкакон определяется продолжительным весенне-летним половодьем и ливневыми дождями. Основной сток проходит в весенне-летний период и образуется за счет выпадения твердых и жидких осадков и таяния высокогорных снегов в верхней части бассейна реки. Исследования качества воды проводились по всей длине водохранилища и в поперечниках. Для этой цели были намечены специальные створы проб воды в них, изображенные на рисунке 1.

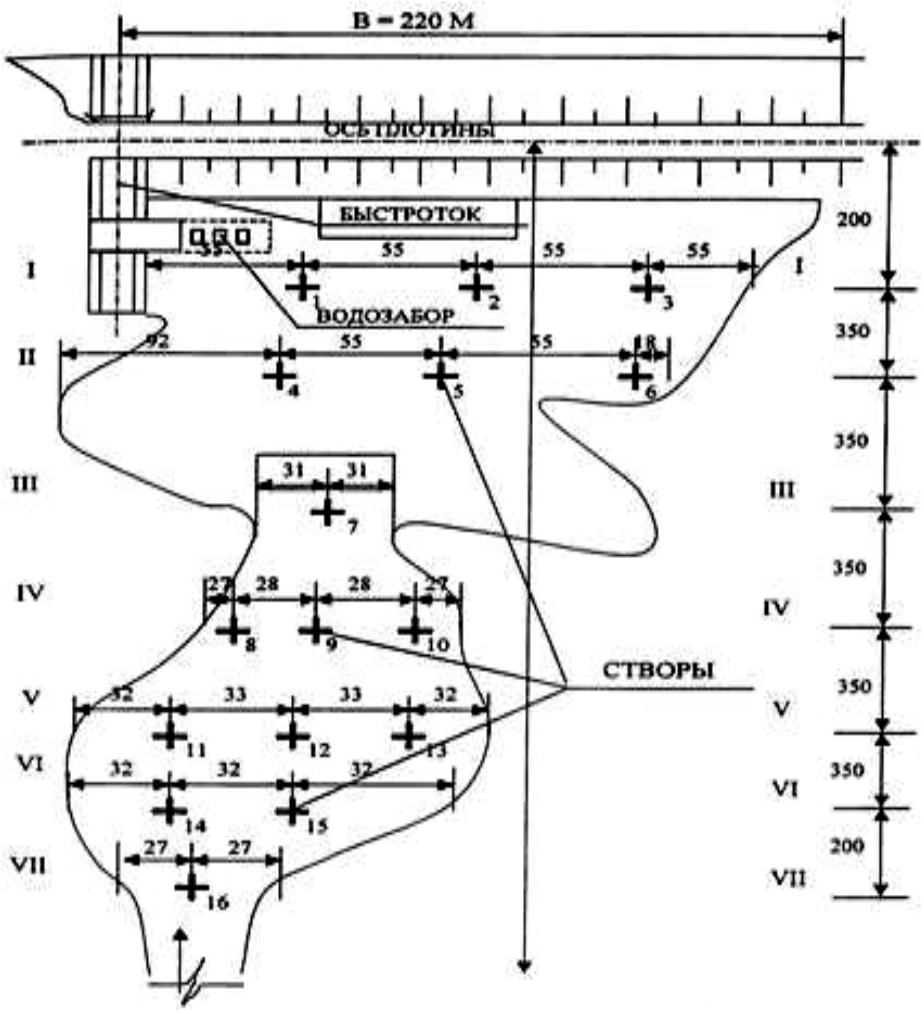


Рисунок 1. **Створы на поверхности водохранилища для отбора и исследований проб воды:**
I-VII – поперечные сечения водохранилища; 1–16 – номера отбора проб по створам

Мутность в меженный период составляла 10 мг/л, а в период паводка достигала максимального значения в 100 – 170 мг/л (рис. 2). Поэтому в

период малой мутности в течение 7 – 9 месяцев в году очистка воды происходит только прямым фильтрованием на водопроводе.

Одним из главных показателей, характеризующих осветление воды в любых очистных сооружениях, является величина выпадения частиц или их гидравлическая крупность.

Частица взвеси, находящаяся в воде отстойного сооружения, движется не по горизонтали, а по равнодействующей, образованной горизонтальной скорости потока и скоростью осаждения самой частицы, обусловленной ее силой тяжести. Движение частиц в объеме водохранилища под действие силы тяжести происходит равномерно и направлено вертикально вниз.

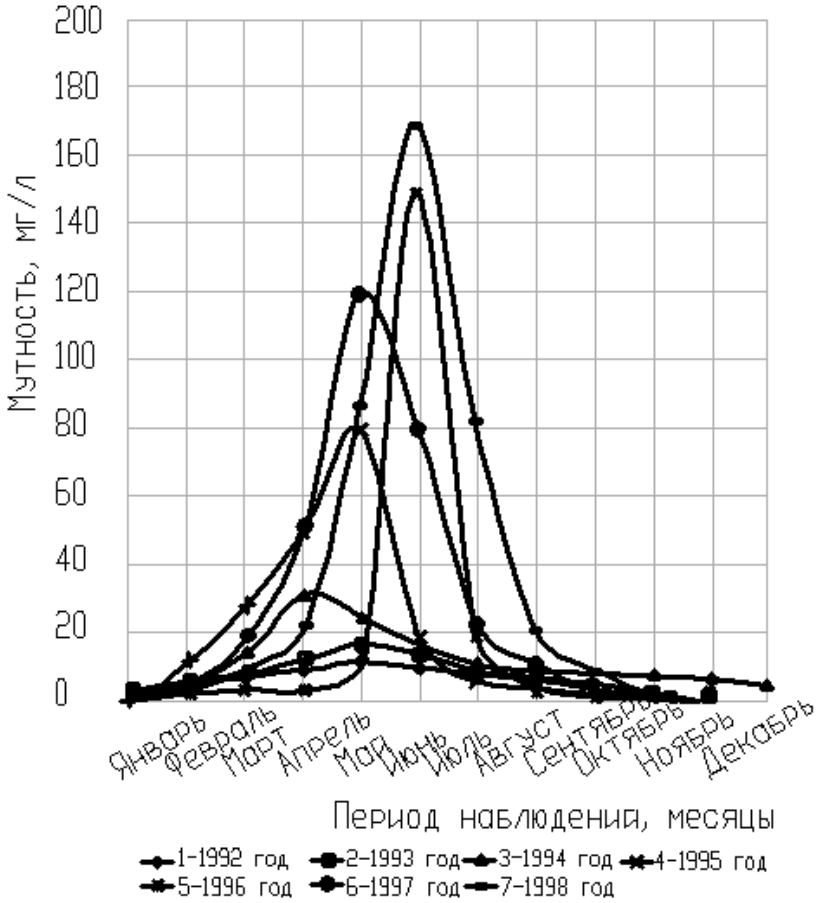


Рисунок 2. **Мутность в водохранилище по годам наблюдений**

На рисунках 3 и 4 приводятся концентрация взвешенных веществ и соответствующая скорость потока по сечению I-I в створе 1 и по сечению II-II в створе 4.

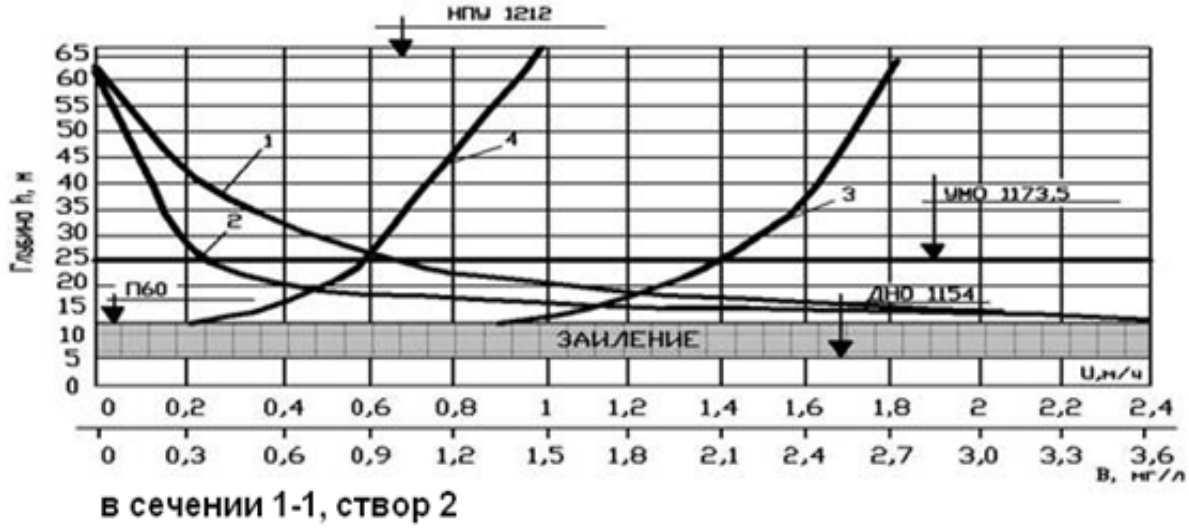


Рисунок 3. **Изменение концентрации взвешенных веществ и скорости потока в водохранилище по сечению I-I в створе 1:**
1 – взвешенные вещества в период паводка, 2 – взвешенные вещества в период межени, 3 – скорость в водохранилище в период паводка, 4 – скорость в водохранилище в период межени

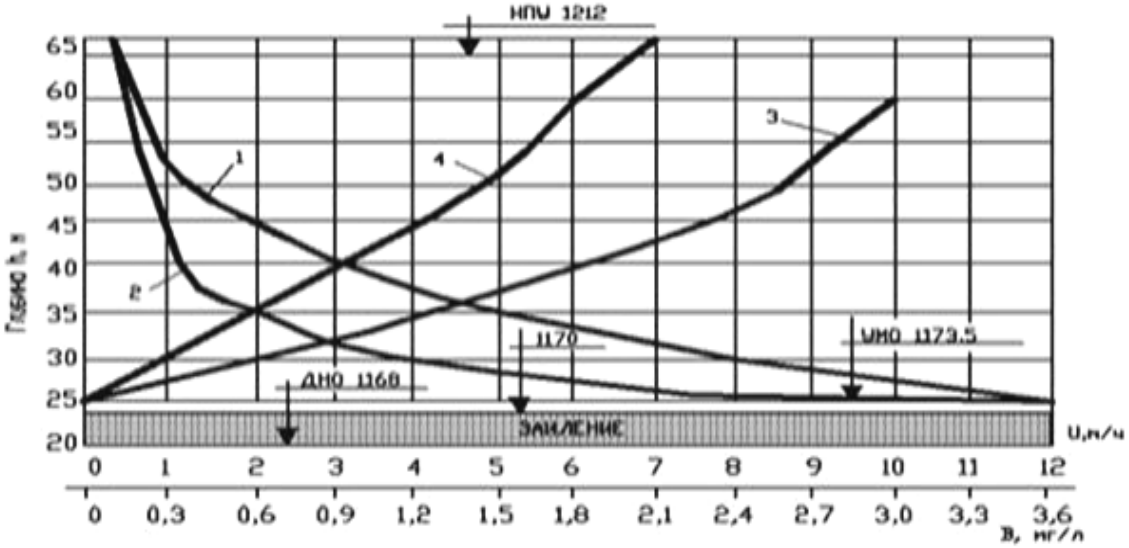


Рисунок 4**. Изменение концентрации взвешенных веществ и скорости потока в водохранилище по сечению II-II в створе 4:**
1 – взвешенные вещества в период паводка, 2 – взвешенные вещества в период межени; 3 – скорость в водохранилище в период паводка; 4 – скорость в водохранилище в период межени

Величина скорости осаждения взвеси в водной среде определяется размерами, формой, плотностью частиц, шероховатостью их поверхности и другими факторами.

Для всех перечисленных случаев в общем виде сопротивление жидкости выразится уравнением, полученным Релеем:

$$F = \rho \cdot \phi \cdot u^2 \cdot d^2, \quad (1)$$

где F – сопротивление, которое испытывает частица, осаждаясь в воде; ρ – плотность воды; ф – коэффициент сопротивления; u – скорость осаждения частиц.

Для случая осаждения мелких частиц Стоксом выведена формула, отражающая линейную зависимость между сопротивлением жидкости и скоростью выпадения частиц:

$$F = 3\,\pi\mu \cdot u \cdot d, \quad (2)$$

где μ – вязкость воды.

Если сравнить формулы (1, 2), то выражение для коэффициентного сопротивления при линейном законе будет иметь вид:

$$\phi = {}^{3\pi\mu}/_{\rho_1 ud} = 3\,\pi/Re, \quad (3)$$

где

$$Re = {}^{\rho_1 ud}/_{\mu}. \quad (4)$$

Следовательно, при линейном законе ф = f (Re). При равномерном осаждении частиц взвеси в воде силы, действующие на частицу, уравновешенны. Значит, сила тяжести должна быть равна силе сопротивления.

Силы тяжести в воде определяются по формуле:

$$F = {}^{(\rho - \rho_1) \cdot g \cdot (\pi d^3)}/_{6}, \quad (5)$$

где ρ – плотность частицы.

Тогда в общем случае для частиц всех размеров имеем:

$${}^{(\rho - \rho_1) \cdot g \cdot (\pi d^3)}/_{6} = \rho_1 \cdot \phi \cdot u^2 \cdot d^2. \quad (6)$$

Откуда:

$$u = \sqrt{(({}^{\pi}/_{6} \cdot \left({}^{\rho - \rho_1}/_{\rho}\right) \cdot g \cdot \left({}^{d}/_{4}\right)}. \quad (7)$$

А для случая линейной зависимости:

$$u = {}^{g}/_{18\mu} \cdot (\rho - \rho_1) \cdot d^2. \quad (7)$$

Как показали экспериментальные исследования многих авторов, верхняя граница линейной зависимости определяется числом Рейнольдса, и равна единице. В зоне квадратичной зависимости коэффициент сопротивления ф становится величиной постоянной, не зависящей от Re.

Эта формула применима лишь для частиц, имеющих эквивалентный диаметр не более 0,12 мм при скорости осаждения менее 1 см/с и t = 10 °С. Осаждение взвеси в виде зависимости между относительным количеством выпавшей и продолжительностью осаждения графически характеризуется

«кривой выпадения взвеси», которая для монодисперсной взвеси будет иметь вид наклонной прямой линии.

Взвешенные частицы в речной воде полидисперсны с большим диапазоном размеров частиц, поэтому кривые выпадения взвеси получали только экспериментально, отстаивая исследуемую воду в группе цилиндров с различным временем отстаивания, с последующим отбором осадка из цилиндров через равные промежутки времени с определением его весового количества. В этом случае кривая выпадения взвеси будет иметь вид плавной кривой (рис. 5).

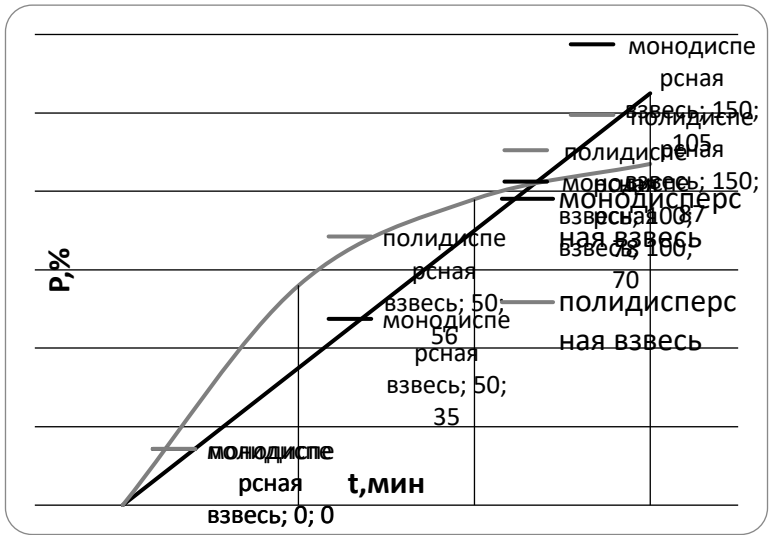


Рисунок 5. **Кривые выпадения взвеси**

На основании полученных зависимостей для агрегативно-устойчивых взвесей можно также определить расчетные скорости ее осаждения и процент задержания взвешенных частиц или заданный эффект осветления воды.

ВЫВОДЫ

1. Эксперименты показали, что при осаждении частиц средних размеров, сопротивление жидкости можно выразить уравнением Дж.У.Рэлея.

2. В речной воде взвешенные частицы полидисперсны, имеют различные размеры, поэтому кривые выпадения взвеси можно получить только экспериментами, выраженными в виде плавной кривой.

3. На основании экспериментальных данных для агрегативно-устойчивых взвесей можно определить расчетные скорости ее осаждения, процент выпадения взвешенных частиц и заданный эффект осветления низкотемпературной воды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лысов В.А., Бутко Д.А., Родионова А.Б. Выбор реагентов для осветления промывных вод фильтров // Мат. межд. научн.-практ. конф.

«Строительство-2008», Ростов-н/Д: РГСУ, 2008.
2. Турянский И.П., Сапрыкин Д.В. Исследование эффективности очистки питьевой воды // Мат. межд. научн.-практ. конф. «Строительство-2008», Ростов-н/Д: РГСУ, 2008.

УДК 628.16.081.32

НОВЫЙ СПОСОБ ДООБРАБОТКИ ВОДОПРОВОДНОЙ ВОДЫ

А.Н. Ким, Н.А. Грун, С.В. Мурашев, Ю.В. Романова
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Санкт-Петербург, Россия

Установлена возможность повышения эффективности очистки воды по цветности, содержанию железа и окисляемости на березовом угле модифицированном фуллеренами.

Централизованная обработка воды на современных водопроводных очистных сооружениях позволяет обеспечить на выходе технологического цикла качество воды, соответствующее принятым санитарным нормам. Однако наличие в водопроводной воде соединений железа, железобактерий и других загрязнений, формирующихся вследствие транспортировки по трубам, находящимся в неудовлетворительном техническом состоянии, высокий остаточный уровень вредных веществ, а также опасность занесения в воду патогенной микрофлоры являются причинами несоответствия качества водопроводной воды требованиям нормативных документов. Вследствие того, что конечный потребитель не всегда получает воду питьевого качества, целесообразна дообработка (доочистка) водопроводной воды. Как правило, функцию дообработки водопроводной воды выполняют фильтры с сорбционной загрузкой, при этом наиболее эффективным являются активированные угли.

Одним из направлений повышения сорбционной активности углеродных адсорбентов является введение в их состав модифицирующих добавок, характеризующихся специфическим электронным строением, что приводит к изменению электронного строения сорбентов и повышению их сорбционной активности. Известно, что введение фуллеренов в сорбенты приводит к значительному повышению их эффективности при поглощении растворенных в воде соединений. Помимо сорбционных свойств фуллерены обладают бактерицидными свойствами. Технология введения фуллеренов в активированные угли, разработанная в СПбГТИ(ТУ), позволила получить новый сорбент – активированный модифицированный уголь (АУМ), обладающий повышенной сорбционной емкостью по органическим соединениям и катионам цветных металлов, растворенным в воде [1].

Известно, что наиболее эффективными для удаления из воды молекулярно–растворимых веществ являются адсорбционные методы. С момента открытия фуллеренов в конце XX в в сорбционной технике созданы новые, фуллеренсодержащие материалы. Фуллерены являются молекулярными соединениями, принадлежащими к классу аллотропных форм углерода. Они представляют собой замкнутые сферы (C_{60}) или сфероиды (C_{70}, C_{84}). В вершине каждого пяти- и шестигранника находятся атомы углерода. Из ряда фуллеренов наибольший интерес представляют молекулы C_{60}, имеющие наибольшую симметрию, и потому наибольшую стабильность. Одним из способов повышения сорбционной емкости материалов является введение в их состав фуллеренов.

При выборе активированного угля для проведения исследований учитывались требования, предъявляемые к углям, применяемым в очистке питьевой воды. В водоподготовке широко применяются березовый активированный дробленый уголь марки БАУ-А ($АУ^{берез}$) и кокосовый уголь ($АУ^{кокос}$).

Исследования проводились на фильтрационной установке в лаборатории очистки воды кафедры водоснабжения СПбГАСУ. Стандартные стеклянные фильтрационные колонки диаметром 43 мм и высотой 600 мм засыпались активированным углем на высоту слоя 320 мм.

В процессе фильтрования воды периодически производились одновременные отборы проб объемом 300 мл. В качестве контролируемых показателей исходной и очищенной воды были приняты наиболее характерные и оперативно определяемые показатели: pH, железо общее, окисляемость перманганатная и цветность водопроводной воды.

На стадии поисковых исследований для оперативного получения опытных данных эффективности применения $АУМ^{берез}$ предусматривалось фильтрование на колонках со скоростью 2,5 м/ч и 1,5 м/ч. Было проведено 3 фильтроцикла, общая продолжительность каждого фильтроцикла составляла 20 – 22 часа. Усредненные результаты проведенных фильтроциклов представлены в таблице 1.

Результаты исследования доочистки водопроводной воды показали, что, как правило, качество исходной водопроводной воды не соответствует требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01.

Для определения эффективности работы березового модифицированного активированного угля в режиме реального водопотребления был проведен продолжительный фильтроцикл по обработке воды $АУМ^{берез}$ и $АУ^{берез}$. Фильтрование производилось со скоростью 2,5 м/ч. Общий объем воды, обработанной на колонках с $АУМ^{берез}$ и $АУ^{берез}$ без замены сорбента, составил 4265 л, при этом общая продолжительность фильтроцикла была 1175 ч. Получены результаты содержания железа, цветности и окисляемости исходной воды и воды, обработанной $АУМ^{берез}$ и $АУ^{берез}$, а также зависимости эффективности

очистки по содержанию железа, цветности и окисляемости исходной воды и воды, обработанной АУМ^{берез} и АУ^{берез}.

Таблица 1. **Сводные показатели качества воды, обработанной кокосовым и березовым исходным и модифицированным активным углем**

Проба воды	Усредненные показатели качества воды		
	железо общее, мг/л	окисляемость, мг/л	цветность, град
Исходная водопроводная воды	0,23–0,65	3,2–4,6	10,0–29,3
Вода, обработанная АУ^{кокос}	0,005	0,74	7,80
Вода, обработанная АУМ^{кокос}	0,10	0,91	7,00
Вода, обработанная АУ^{берез}	0,04	3,70	11,20
Вода, обработанная АУМ^{берез}	0,005	2,50	7,40

Результаты, полученные при проведении фильтроциклов по обработке исходной водопроводной воды АУМ^{берез}, позволили определить осредненные показатели эффекта очистки воды по окисляемости при высоте фильтрующего слоя 320 мм и скорости фильтрования 2,5 м/ч.

На основании полученных данных определен также эффект очистки исходной воды по окисляемости при различной высоте фильтрующего слоя и различных скоростях фильтрования, при этом эффективная продолжительность работы модифицированного фуллеренами активированного угля определялось предъявляемыми требованиями к качеству очищенной воды.

Аппроксимация зависимостей технологических параметров доочистки водопроводной воды на фильтрах с активированным углем, модифицированным фуллеренами, производилась в стандартном пакете Excel-2010. Построение линий тренда и выбор вида функций проводились с учетом коэффициента детерминации.

Расчеты показали, что для полиномиальной функции 3-й степени коэффициент детерминации $R^2 = 1$. Зависимость эффекта очистки исходной воды по окисляемости на АУМ^{берез} при различной высоте фильтрующей загрузки и скорости фильтрования имеет вид:

$$\left.\begin{array}{ll} y = -0{,}083x^3 + 1{,}417x^2 - 10{,}667x + 86{,}333 & (\text{для } h = 0{,}32 \text{ м}) \\ y = -0{,}029x^3 + 0{,}604x^2 - 7{,}758x + 91{,}333 & (\text{для } h = 0{,}50 \text{ м}) \\ y = -0{,}089x^3 + 1{,}778x^2 - 14{,}311x + 107{,}220 & (\text{для } h = 1{,}00 \text{ м}) \\ y = -0{,}069x^3 + 1{,}431x^2 - 12{,}306x + 110{,}440 & (\text{для } h = 1{,}50 \text{ м}) \\ y = -0{,}099x^3 + 2{,}035x^2 - 16{,}064x + 119{,}780 & (\text{для } h = 2{,}0 \text{ м}) \end{array}\right\} \quad (1)$$

где y – эффект очистки по окисляемости на АУМ^{берез}, %; x – скорость фильтрования в диапазоне 2 – 10 м/ч.

Получено, что зависимость продолжительности фильтроцикла от скорости фильтрования и времени контакта обрабатываемой воды с АУМ^{берез} выражается по формулам:

$$\left.\begin{array}{ll} y = 0{,}083\,x^3 - 4{,}0\,x^2 + 72{,}917\,x - 243{,}0 & (\text{для } V = 2 \text{ м/ч}) \\ y = 0{,}059\,x^3 - 3{,}189\,x^2 + 65{,}264\,x - 260{,}60 & (\text{для } V = 3 \text{ м/ч}) \\ y = 0{,}018\,x^3 - 1{,}525\,x^2 + 46{,}782\,x - 319{,}14 & (\text{для } V = 5 \text{ м/ч}) \end{array}\right\} \quad (2)$$

где y – продолжительность фильтроцикла на АУМ^{берез}, ч; x – продолжительность контакта обрабатываемой воды с АУМ^{берез} в диапазоне 10 – 20 мин.

Для регенерации активных березовых углей с целью восстановления их сорбционной емкости в качестве окислителя был применен гипохлорит натрия, вводимый в воду перед его подачей на колонки с адсорбентами. Доза активного хлора в воде с гипохлоритом натрия для регенерации определялась экспериментально. Для этого через колонки с АУМ^{берез} и АУ^{берез} было пропущено 160 л исходной водопроводной воды со скоростью 2,5 м/ч для снижения сорбционной емкости углей.

Снижение эффекта очистки по окисляемости до 30 % свидетельствовало о необходимости проведения регенерации; затем адсорбенты обрабатывались гипохлоритом натрия с заданной дозой активного хлора; после чего производилась обратная промывка загрузки колонок. Доза активного хлора варьировалась от 1 мг/л до 70 мг/л. Применение окислителя с малыми дозами активного хлора не оказало влияния на сорбционную емкость загрузки. Показатели качества обрабатываемой воды после регенерации АУМ^{берез} и АУ^{берез} позволили установить, что только после обработки загрузки водным раствором гипохлорита натрия с дозой активного хлора 70 мг/л, удалось добиться снижения цветности в водопроводной воде в режиме сорбции по сравнению с результатами ранее проведенных исследований.

Снижение эффективности очистки, получаемое при пропускании воды с гипохлоритом натрия через фильтрующие колонки, обусловлено окислением гуматов и других органических соединений, задержанных в порах углей на стадии сорбции и их выбросом в фильтрат, что, по сути, является регенерацией отработанных на стадии сорбции углей. Показано, что применение гипохлорита натрия в «классической» окислительно-сорбционной схеме обработки воды является менее эффективным, чем применение этого же реагента для регенерации углей периодически в больших дозах и кратковременно.

Известно, что активированные угли представляют собой богатую питательную среду для микроорганизмов, что является причиной невозможности длительного использования углей для доочистки питьевой воды. Вместе с тем есть данные о наличии бактерицидных свойств фуллеренов [1, 4]. Для определения эффекта очистки воды АУ^{берез} и

$АУМ^{берез}$ от возможных бактериальных загрязнений проводилось исследование по следующей методике: в исходную водопроводную воду вводился заранее приготовленный раствор, содержащий кишечную палочку; после перемешивания вода подавалась на фильтровальные колонки. Через каждую колонку пропускалось по 5 л воды, содержащей кишечную палочку, затем отбирались пробы, исследуемые кафедрой сорбентов СПбГТУ. Результаты бактериологического анализа (КОЕ): исходная вода – 100 шт/л; вода после $АУ_{исх}^{берез}$ – 460 шт/л; вода после $АУМ^{бер}$ – 5 шт/л.

ВЫВОДЫ

1. Результаты исследований показали, что для доочистки воды модифицирование фуллеренами наиболее целесообразно для березовых активированных углей, имеющих крупнопористую структуру.

2. Установлено, что применение модифицированного фуллеренами активированного березового угля для доочистки водопроводной воды позволяет увеличить до 30 % эффективность очистки по цветности, содержанию железа и окисляемости по сравнению с исходным углем.

3. Разработана оригинальная методика периодической регенерации активированного угля, модифицированного фуллеренами, заключающаяся в применении водных растворов гипохлорита натрия с дозой активного хлора 70 мг/л при снижении эффекта очистки исходной воды по окисляемости до 30 %. При этом исследования показали, что регенерация гипохлоритом натрия для модифицированных фуллеренами углеродных адсорбентов на 15 – 20 % выше, чем для исходных углей.

4. Изучены бактерицидные свойства активированного угля, модифицированного фуллеренами, при доочистке водопроводной воды, подтверждено наличие бактерицидных свойств у АУМ по сравнению с $АУ_{исх}$.

5. Получены аналитические зависимости технологических параметров доочистки водопроводной воды на фильтрах с активированным углем, модифицированным фуллеренами.

На способ дообработки питьевой воды получено решение Роспатента о выдаче патента на изобретение по заявке № 2012113161/05 от 05.04.2012 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Самонин В.В., Подвязников М.Л., Никонова В.Ю., Спиридонова Е.А., Шевкина А.Ю. Сорбирующие материалы, изделия, устройства и процессы управляемой адсорбции. СПб.: Наука, 2009. 271 с.
2. Грун Н.А., Ким А.Н. Исследование активированного угля, модифицированного фуллеренами, применяемого для

кондиционирования водопроводной воды // Вестник гражданских инженеров. СПбГАСУ, 2010. № 2 (23) С. 146–150.
3. Ким А.Н., Грун Н.А. Проблемы кондиционирования водопроводной воды, пути их решения // Сборник материалов IV международного семинара «Методы повышения ресурса городских инженерных инфраструктур» ХГТУСА. Харьков, 2010. С. 264–270.
4. Самонин В.В., Никонова В.Ю., Ким А.Н., Грун Н.А. Модифицирование активных углей фуллеренами и их исследование в процессах кондиционирования водопроводной воды в режиме сорбция-регенерация // Известия СПбГТУ. СПбГТУ(ТИ), 2010. № 8 (34) С. 77–80.
5. Грун Н.А., Ким А.Н. Вопросы питьевого водоснабжения и пути их решения методом доочистки водопроводной воды на фильтрах с березовым активированным углем, модифицированным фуллеренами // Вестник СГАСУ. Самара, 2013. Вып. № 4 (12). С. 28–32.

УДК628.16.087-021.465(282.247.36)

ВОДОПОДГОТОВКА В ПЕРИОД ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

С.Н. Линевич, С.А. Бреус
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова,
г. Новочеркасск, Россия

Предложена конструкция установки для очистки поверхностной воды, включающая электрокоагулятор и контактный фильтр.

В период чрезвычайных ситуаций приоритетной задачей является инженерное обеспечение населения питьевой водой. Необходимо в кратчайшие сроки определить: источник водоснабжения, способ забора и метод очистки природной воды, хранение и транспортировку (подвоз) питьевой воды. Такими техническими характеристиками должны обладать компактные мобильные установки по водоподготовке.

В настоящее время мобильные установки, находящиеся на вооружении МЧС [1, 2], обладают рядом недостатков: небольшая производительность (2 – 8 $м^3$/ч); громоздкое реагентное хозяйство (баки для разведения и хранения коагулянта, насосы-дозаторы); использование осветлителей со взвешенным осадком и напорных фильтров; завышенный показатель энерго- и трудоресурсов и т.д.

В данной работе предложена пилотная установка [3], состоящая из электрокоагулятора с электродной системой и контактного фильтра.

Предложенное техническое решение позволило последовательно выполнять два технологических процесса: электрокоагуляцию и контактную фильтрацию. Использование контактного фильтра снижает расход алюминийсодержащего реагента и позволяет отказаться от ряда промежуточных технологических операций: смешение, хлопьеобразование и осветление. Это позволяет уменьшить габаритные размеры установки (см. рисунок).

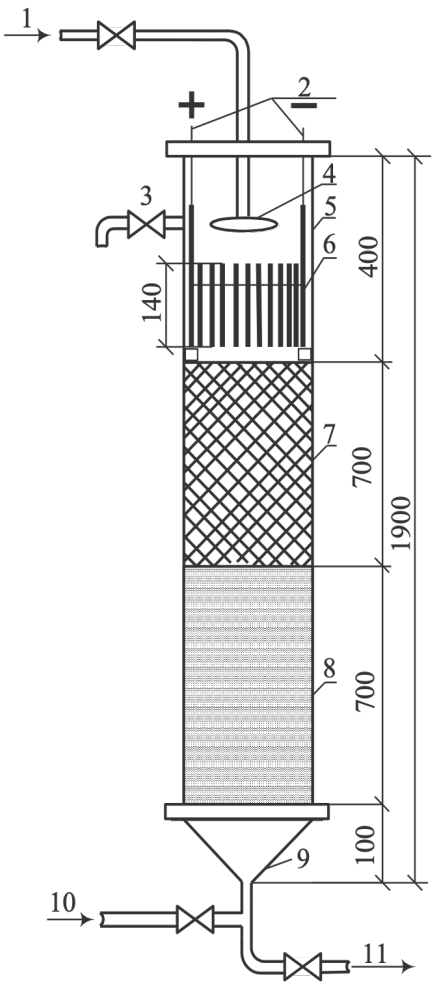


Рисунок. 1. **Схема экспериментальной установки:**
1 – подача воды на обработку; 2 – подача электроэнергии на электроды; 3 – отвод воды после промывки; 4 – распределительная насадка; 5 – колонка из оргстекла; 6 – электрокоагулятор с алюминиевыми электродами; 7 – верхний слой фильтрующей загрузки (опоки дробленные, модифицированные марки ОДМ-2Ф d = 2,1 – 3,5 мм); 8 – нижний слой (кварцевый песок d = 0,7 – 1,8 мм); 9 – конусный поддон для сбора и отвода обработанной воды; 10 – подача воды на промывку; 11 – отвод обработанной воды

Результаты исследований, полученные при работе установки с использованием донской воды приведены в таблице.

Таблица. **Показатели качества воды в зависимости от метода ее обработки**

Показатели	Исходная вода (р. Дон)	Вода после коагуляции с использованием различных методов:		
		I	II	III
		Объемная коагуляция с использованием $Al_2(SO_4)_3$ + отстаивание 1,5 ч	Контактная коагуляция с использо-ванием А-А™30	Электродис-табилизация + контактная коагуляция
Доза коагулянта (по Al_2O_3), мг/л	-	7	6	4,5
Температура, ^{0}С	15	16	16	16
Мутность, мг/л	6	1,8	0,96	0,34
Цветность, град	12,6	7,8	5,0	7,4
Окисляемость, мг/л	4,8	3,65	3,46	4,64
pH	7,85	7,63	7,68	7,75
Остаточный алюминий, мг/л	0,046	0,166	0,106	0,19
ОМЧ	240	20	15	7

ВЫВОДЫ

Метод III обеспечивает наибольший эффект удаления из воды: коллоидно-дисперсных взвесей, минеральных, органических веществ и биологических загрязнений. Этот метод позволяет сократить дозу вводимого в воду коагулянта в 1,4 раза.

Результаты испытания свидетельствуют о повышении в 2 – 3 раза эффекта обеззараживания донской воды по сравнению с методами I и II.

Предложенная мобильная установка компактна по сравнению с известными техническими решениями, применяемыми на практике.

ЛИТЕРАТУРА

1. Способы и средства инженерного обеспечения ликвидации чрезвычайных ситуаций. Кн. 1. / Под общ. ред. С.К. Шойгу. М.: 1998. 393 с.
2. Гражданская защита. Энциклопедия в 3 т. (МЧС России) / Под общ. ред. С.К. Шойгу. М.: Московская типография. Т. 2, 2006. 568 с.
3. Пат. 2464235 РФ, МПК C02F1/463, C02F1/28, B01D24/00 Установка очистки природных и сточных вод. / С.А. Бреус, С.Н. Линевич; заявл. 18.11.2010; опубл. 27.05.2012; Бюлл. № 15.

УДК 628.16

ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЛЬТРУЮЩЕГО ЗЕРНИСТОГО МАТЕРИАЛА В ФИЛЬТРАХ ЭШКАКОНСКОГО ВОДОПРОВОДА

В.С. Алешин, А.В. Алешин, Л.Г. Акын, С.Н. Джукаев
Ростовский государственный строительный университет,
г. Ростов-на-Дону, Россия

Исследованы фильтрующие материалы из кварцевого песка, дробленого керамзита, гранита и отходов фарфора. Показано, что гранит и фосфор увеличивают производительность действующих фильтров в 1,5 – 2 раза.

Зернистая фильтрующая загрузка на водоочистных фильтрах является одним из важных рабочих элементов при конечной очистке природных вод. В настоящее время в системе водоснабжения РФ используются десятки различных фильтрующих материалов. Поэтому при наличии на местах нескольких видов таких материалов их выбор производится на основе технико-экономических расчетов. При этом принимаются во внимание такие факторы, как возможность повышения производительности, действующей в фильтровальных сооружениях, сокращение расходов воды на собственные нужды очистной станции и затрат на транспортные расходы по доставке фильтрующего материала, а также долговечность и фильтрационная способность материалов [1, 2].

В течение многих лет применяются сегодня такие зернистые материалы как: кварцевый песок, дробленый керамзит, полистирол, антрацит, шунгизит, горные породы – все они прошли длительную лабораторную и технологическую проверку.

За последние 10 – 15 лет появилось большое количество разнообразных зернистых фильтрующих материалов. Они представляют собой отходы горно-обогатительных фабрик и строительных материалов, шлаки металлургических комбинатов и разработок горных пород, прошедшие соответствующие испытания [3, 4].

Нами на Эшкаконском водопроводе проводились исследования местных фильтрующих материалов. Это отходы фарфора от фабрики «Феникс» в г. Кисловодске и гранита в районе очистных сооружений Эшкаконского водопровода на территории Карачаево-Черкесской республики.

Опыты проводились с осветленной водой после горизонтальных отстойников очистной станции на специальной установке (рис. 1), состоящей из четырех колонок диаметром 150 мм и высотой 3,5 м, загруженных разными фильтрующими материалами: кварцевым песком, керамзитом, гранитом и отходами фарфора. Полученные опытные данные выявили скорости фильтрования, кинетику осветления, прирост потерь

напора и фильтроциклы в вышеперечисленных фильтрующих материалах. Работа слоя загрузки продолжалась пока относительная концентрация суспензии не достигала значения C/C_0.

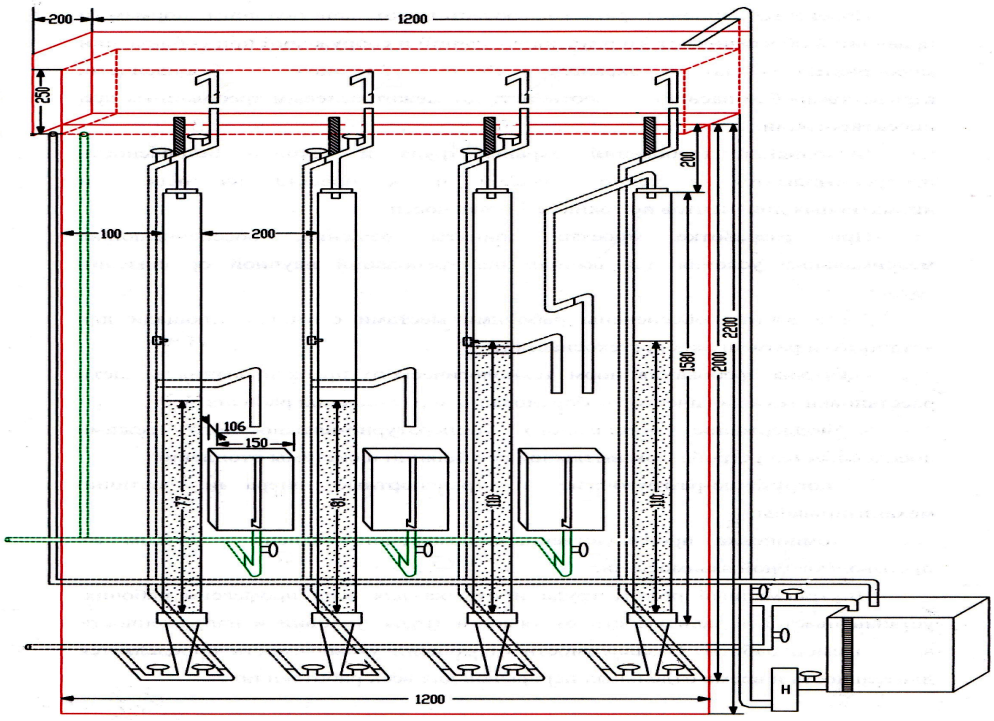


Рисунок 1. **Экспериментальная установка фильтров с различными загрузками**

Нами проведены исследования на опытной установке (рис. 1) с определением показателей при фильтровании низкотемпературной воды Эшкаконского водохранилища (табл. 1).

Таблица 1. **Показатели работы опытной фильтровальной установки при загрузке из различных фильтрующих материалов**

Фильтрующий материал	Диаметр зерен, мм	Скорость фильтрования, м/ч	$t_{час}$, x = 150 см	h, см	i_0	b, $м^2$	a/b, м/ч	A F(A)	C/C_0
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Кварцевый песок	0,8	7,4	14,6	5,26	0,6	9,9	0,0218	3,5 0,45	0,1
	0,8	10,6	8,6	6,8	0,9	8,15	0,0354	2,1 0,36	0,1
	1,0	15,1	5,06	5,14	0,8	2,09	0,0846	0,7 0,18	0,1
	1,45	15,1	2,63	1,96	0,4	1,6	0,096	0,48 0,11	0,1

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Дробленый керамзит	1,43	7,4	109	6,9	0,1	16,2	0,008	48 0,81	0,1
	1,43	10,6	65	10,5	0,2	13,3	0,013	30 0,77	0,1
	1,43	15,1	38	18	0,3	10,6 10,5	0,021	22 0,73	0,1
Дробленый фарфор	1,34	7,4	73	3,8	0,1		0,011	21 0,72	).1
	1,34	10,0	43	7,1	0,2	9,01	0,018	16 0,67	0,1
	1,34	15,1	24,6	10,2	0,3	7,79	0,030	9,4 0,61	0,1
Дробленый гранит	0,93	8,9	27,0	7,3	0,4	10,6	0,037	4,7 0,50	0,1
	1,0	9,1	77	3,6	0,9	20,4	0,013	3 0,42	0,1
	1,15	10,1	66	2,7	0,6	1,58	0,019	2,3 0,38	0,1
	1,25	14,0	40	1,2	0,4	1,20	0,024	1,2 0,28	0,1

Для учета структурных особенностей фильтрующей среды, на основании опытных данных таблицы 1 производим связь параметров b, a/b и A.

$$\left.\begin{aligned} b_{крм} &= 2{,}46 \cdot b_{кварц} \\ \left(\frac{a}{b}\right)крм &= 0{,}4\left(\frac{a}{b}\right)кварц \\ \left(1 - A_{крм}\right) &= 0{,}46 \cdot \left(1 - A_{кварц}\right) \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

$$\left.\begin{aligned} b_{фар} &= 1{,}7 \cdot b_{кварц} \\ \left(\frac{a}{b}\right)фар &= 0{,}57\left(\frac{a}{b}\right)кварц \\ \left(1 - A_{фар}\right) &= 0{,}68 \cdot \left(1 - A_{кварц}\right) \end{aligned}\right\} \quad (2)$$

$$\left.\begin{aligned} b_{кр} &= 1{,}15 \cdot b_{кварц} \\ \left(\frac{a}{b}\right)гр &= 0{,}85\left(\frac{a}{b}\right)кварц \\ \left(1 - A_{гр}\right) &= 0{,}92 \cdot \left(1 - A_{кварц}\right) \end{aligned}\right\} \quad (3)$$

Полученные зависимости дают возможность сократить объем фильтрационных анализов, также на их основе представляется возможным использовать накопленные ранее результаты фильтрационных анализов.

На рисунке 2 приведены графики прироста потери напора по высоте загрузки. Качество фильтрата на протяжении опытов оставалось постоянным при исходной концентрации C_0 = 10 мг/л.

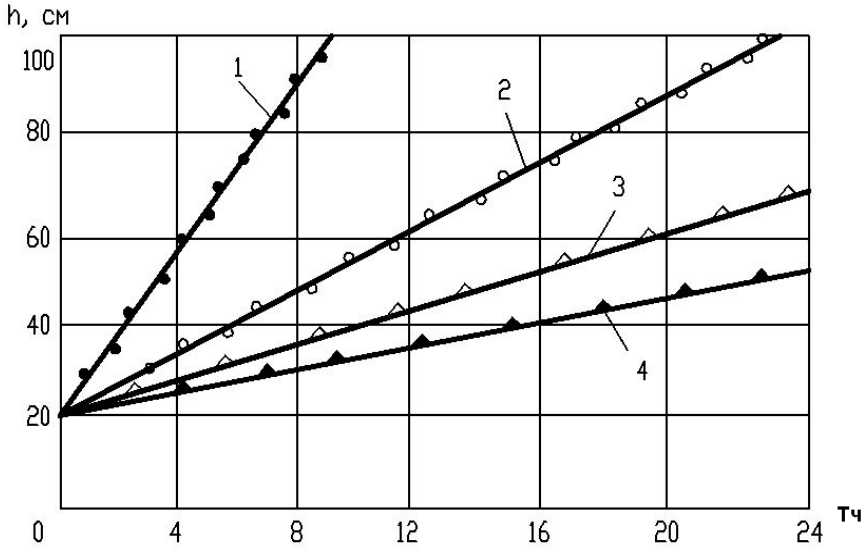


Рисунок 2. **Прирост потери напора по высоте загрузки:**
1 – кварцевый песок; 2 – гранит; 3 – фарфор; 4 – керамзит

Из графика видно, что потери напора в кварцевом песке больше, чем в граните, фарфоре и керамзите, поэтому и фильтроцикл в кварцевом песке ниже, чем в вышеперечисленных фильтрующих материалах (табл. 1).

В таблице 2 приведены данные производственных исследований. Из таблицы 2 и рисунка 3 видно, что применение местных материалов – дробленого гранита или фарфора в качестве фильтрующих материалов вместо кварцевого песка, позволяет увеличить производительность существующих очистных сооружений водопровода в 1,5 – 2,0 раза при сохранении высокого качества очистки.

Таблица 2. **Показатели параллельной работы скорых фильтров с различной загрузкой**

Вид загрузки	Скорость фильтрования, м/ч		Продолжительность фильтроцикла, ч	Производительность фильтра, W $м^3/м^2$	Взвешенные вещества, мг/л		Грязеемкость, $кг/м^2$
	начало	средняя			После отстойника	Фильтрат	
1	2	3	4	5	6	7	8
Кварц	15,00	10,80	5,10	54,80	20,00	1,28	1,16
Керамзит	15,00	10,70	31,00	115,00	20,00	0,69	8,52

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8
Фарфор	15,00	9,20	17,20	99,00	20,00	0,71	8,10
Гранит	15,00	8,90	10,20	82,20	20,00	0,79	7,30
Кварц	10,00	7,40	18,30	128,00	25,00	0,98	3,08
Керамзит	10,00	7,40	44,20	256,00	25,00	0,45	8,18
Фарфор	10,00	7,30	27,50	229,20	25,00	0,52	7,90
Гранит	10,00	7,00	17,70	192,00	25,00	0,61	7,00

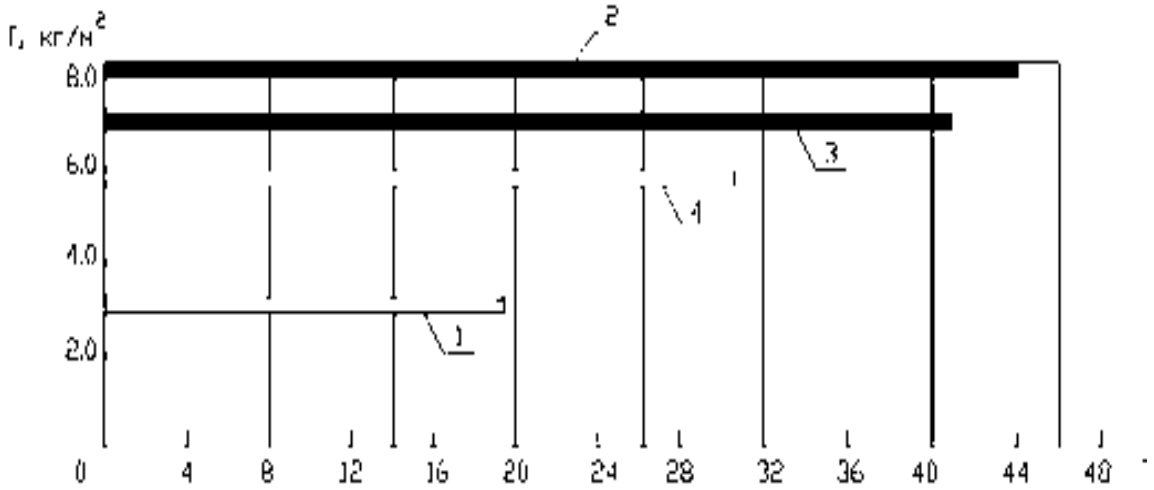


Рисунок 3. **Величина грязеемкости при максимальных фильтроциклах:**
1 – кварцевый песок; 2 – керамзит; 3 – фарфор; 4 – гранит.

ВЫВОДЫ

1. Экспериментально и теоретически обоснована кинетика процесса осветления воды при ее фильтровании на различных фильтрующих материалах: кварцевый песок, керамзит, фарфор и гранит.

2. Выполнены исследования на опытной полупроизводственной установке на осветленной низкотемпературной воде Эшкаконского водопровода и проведено сравнение четырех фильтрующих материалов: кварцевого песка, дробленого керамзита, гранита и отходов фарфора.

3. Опыты показали, что применение местных фильтрующих зернистых материалов: дробленого гранита и отходов фарфора вместо кварцевого песка, позволяет увеличить производительность действующих фильтров в 1,5 – 2,0 раза при сохранении высокого качества очистки и экономии эксплуатационных затрат.

4. Ранее полученные результаты исследований с кварцевым песком после проведения нами технологического моделирования позволяют сократить объем фильтрационных анализов и расчетов при применении других фильтрующих зернистых материалов (формулы 1–3).

ЛИТЕРАТУРА
1. Журба М.Г. Очистка воды на зернистых фильтрах. Львов: Вица школа, 1980, 220 с.
2. Мартенсен В.Н. Дробленый керамзит – новый фильтрующий материал для водоочистных фильтров. Куйбышев: КИСИ, 1976, 168 с.
3. Петросян Г.Г. Фильтрующие элементы для очистки вод на базе туфов Армении // Мат. межд. научн.-практ. конф. «Строительство-2012», Ростов-н/Д.: РГСУ, 2012.
4. Турянский И.П., Сапрыкин Д.В. Исследование эффективности очистки питьевой воды // Мат. межд. научн.-практ. конф. «Строительство-2008», Ростов-н/Д: РГСУ, 2008.

УДК 69.003.13

РЕЗЕРВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИПОХЛОРИТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ВОДОПОДГОТОВКИ

А.В. Денисова, Л.Н. Фесенко
Южно-Российский государственный политехнический университет
(НПИ) имени М.И. Платова,
г. Новочеркасск, Россия
А.Ю. Скрябин,
АО «Ростовводоканал»,
г. Ростов-на-Дону, Россия

Рассчитаны и приведены статьи эксплуатационных затрат на производство низкоконцентрированного раствора гипохлорита натрия (ГХН), получаемого электролизом поваренной соли. Выявлены резервы повышения энергоэффективности ГХН-технологии на предприятиях водоснабжения.

В последние годы на многих МУП водоснабжения происходит замена привозного жидкого хлора на низкоконцентрированный (0,6 – 0,8 %) раствор гипохлорита натрия (ГХН), получаемый электролизом поваренной соли. В условиях реального предприятия – Центральных очистных сооружений водопровода (ЦВОС) г. Ростова-на-Дону – расходные коэффициенты на выпуск 1 кг ГХН (100 % активного или эквивалентного хлора) составили: соль поваренная – 4,5 кг, вода – 0,145 м^3, электроэнергия – 4,5 кВт·ч [1].

В таблице 1 приведены рассчитанные статьи эксплуатационных расходов на годовую программу выпуска ГХН для МУП водоснабжения, близкого по производительности ЦВОС г. Ростова-на-Дону (~273 т/г). В отличие от прототипа была использована соль «Экстра» (5 руб./кг оптом) вместо соли 1 сорта (1,2 руб./кг), а стоимость электроэнергии принята 2 руб./кВт·ч. Указанные цены, очевидно, более отвечают реалиям сегодняшнего времени.

Таблица 1. **Эксплуатационные расходы на производство ГХН**

Статья расходов	Количество	Затраты, тыс. руб.	Примечание
1. Поваренная соль «Экстра» (4,5 кг/кг хлора)	1 232 100 кг	6 160,5	5 руб./кг оптом
2. Вода подготовленная	39 800 т	198,9	–
3. Электроэнергия (4,5 кВт·ч/кг хлора)	1 232 100	2 464,2	По льготному тарифу для водоканалов, 2 руб./кВт
4. Отопление	–	1 000,0	–
5. Реагенты (HCl)	–	347,5	Цена снижена за счет качества соли и воды
6. Газоанализаторы, противогазы, воздушно-дыхательные аппараты (ВДА), костюмы	–	49,7	–
7. Зарплата 9-ти операторов	–	1 296,0	–
8. Перепокрытие электродов	–	400,0	Сохранены качество соли и воды
9. Сервисное (внешнее) обслуживание оборудования	–	150,0	–
10. Охрана ночная и вахтер (3 чел)	–	360,0	–
Итого эксплуатационных затрат	–	12 426,8	273,8 т ГХН в год
Эксплуатационные затраты в расчете на 1 кг ГХН (100 % вещества), руб.	–	45,38	–
Себестоимость производства на 1 кг ГХН (100 % вещества), руб.	–	60,80	–

Как следует из таблицы 1, среди рассмотренных статей эксплуатационных расходов на первом месте стоят затраты на соль (49,6 %), что объясняется высокой ценой закупки (5 руб./кг) соли «Экстра», которая отличается пониженным содержанием солей жесткости. Последние способствуют образованию плотной корки на поверхности электродов, что, в свою очередь, заставляет проводить дорогостоящие операции по их очистке или предварительной подготовке технологической воды. Велики затраты и на электроэнергию, необходимую для процесса электролиза (19,8 %). Далее следуют затраты на содержание операторов и охраны (в целом 13,3 %).

Известно, что стоимость электроэнергии варьируется в широких пределах в зависимости от того, из какого вида топлива она производится. То же самое можно сказать и о стоимости поваренной соли: она зависит от

месторождений, качества продукции, предназначения, торговой наценки и других факторов. Это означает, что значения стоимости электроэнергии и соли могут колебаться в широких пределах – это надо учитывать при реализации той или иной технологии.

В соответствии с вышеизложенным и на основании данных таблицы 1, была проведена оценка эксплуатационных расходов при производстве низкоконцентрированного (~ 0,7 %) ГХН в случае изменения стоимости соли (при постоянной цене приобретаемой электроэнергии 2 руб./кВт·ч) и стоимости электроэнергии (при постоянной цене соли 5 руб./кг). Результаты соответствующих расчетов приведены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2. **Влияние изменения стоимости поваренной соли на эксплуатационные затраты при производстве 0,7 % ГХН (стоимость электроэнергии 2 руб./кВт·ч)**

Показатели	Стоимость соли, руб./кг							
	1	2	3	4	5	6	7	10
Стоимость соли, тыс. руб.	1232,1	2464,2	3696,3	4928,4	6160,0	7392,6	8624,7	12321,0
Эксплуатационные расходы, тыс. руб.	7497,9	8730,0	9962,1	11194,2	12426,8	13658,4	14890,5	18586,8
Доля стоимости соли в эксплуатационных расходах, %	16,4	28,2	37,1	44,0	49,6	54,1	57,9	66,3
Вклад в формирование себестоимости продукта, руб./кг	4,5	9,0	13,5	18,0	22,5	27,0	31,5	45,0

Из анализа таблиц 2 и 3 следует, что основными резервами для снижения эксплуатационных расходов при данной технологии производства низкоконцентрированного расхода гипохлорита натрия являются: поиск путей снижения расходного коэффициента поваренной соли, а также энергосбережение. В этом аспекте рациональным является использование подземных водоисточников, содержащих повышенные количества хлорида натрия, а также соответствующих сточных вод некоторых промышленных предприятий. Несомненно, представляет экономический интерес кооперация производства электролизного гипохлорита натрия с электростанциями, которые часто используют этот дезинфектант для обеззараживания охлаждающей воды [2]. Так, при стоимости электроэнергии 1 руб./кВт·ч и сохранении остальных статей расхода удельные эксплуатационные расходы снизятся с 45,38 руб./кг до 40,9 руб./кг, т.е. на 9,8 %.

Таблица 3. **Влияние изменения стоимости электроэнергии на эксплуатационные затраты при производстве 0,7 % ГХН (стоимость соли 5 руб./кг)**

Показатели	Стоимость электроэнергии, руб./кВт·ч							
	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	10,0
Стоимость электроэнергии, тыс. руб.	616,0	1232,1	2464,2	3696,3	4928,0	6160,5	7392,6	12321,0
Эксплуатационные расходы, тыс. руб.	10578,0	11194,0	12426,8	13658,9	14890,8	16123,1	17355,2	24747,8
Доля стоимости электроэнергии в эксплуатационных расходах, %	5,8	11,0	19,8	27,1	33,1	38,2	42,6	49,8
Вклад в формирование себестоимости продукта, руб./кг	2,2	4,5	9,0	13,5	17,9	22,5	27,0	45,0

Другим резервом повышения энергоэффективности ГХН-технологии является использование водорода – отхода производства электролитического гипохлорита натрия. Известно, что на каждую тонну ГХН выделяется около 27 кг водорода, который, как правило, после многократного разбавления воздухом (для чего, очевидно, затрачивается электроэнергия) отводится в атмосферный воздух. Между тем теплотворная способность чистого водорода составляет около 140 тыс. кДж, т.е. в 2,5 раза выше, чем у метана. Энергетический потенциал выделяемого водорода эквивалентен почти 20 % энергии, затрачиваемой на электролиз.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фесенко Л.Н., Денисов В.В., Скрябин А.Ю. Дезинфектант воды – гипохлорит натрия: производство и применение: монография / Под ред. проф. В.В. Денисова; ООО НПП «ЭКОФЕС», Юж.-Рос. гос. техн. ун-т., Новочеркасск: «Лик», 2012. 237 с.
2. Денисова И.А., Гутенев В.В., Ляшенко Н.В. Получение гипохлорита натрия на электростанциях и его возможное применение // Проблемы региональной экологии. 2006. № 4. С. 44–49.

УДК 519.246.8

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИСТОЧНИКА ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Д.С. Бубырь, Е.М. Булыжев, Ю.А. Грехов, В.Н. Клячкин, Ю.Е. Кувайскова, Г.А. Орлов
Ульяновский государственный технический университет,
г. Ульяновск, Россия

Показано, что с целью раннего предупреждения возможной аномальной ситуации, при которой показатели качества питьевой воды выходят за допустимые пределы, необходимо прогнозирование состояния источника водоснабжения. Физико-химические показатели водоисточника контролируются регулярно, результаты измерений образуют систему временных рядов. Предлагается технология прогнозирования состояния источника водоснабжения на основе подхода векторной авторегрессии.

Качество питьевой воды определяется состоянием источника водоснабжения и надежностью работы станции очистки. С целью раннего предупреждения о возможной аномальной ситуации [1 – 4], при которой показатели качества питьевой воды выходят за допустимые пределы, необходимо прогнозирование физико-химических показателей источника водоснабжения. Показатели водоисточника контролируются ежедневно: это температура, цветность, мутность, щелочность и другие. Измеренные значения этих показателей образуют систему временных рядов. По результатам мониторинга физико-химических показателей за определенный период необходимо разработать математическую модель процесса и на ее основе спрогнозировать значения показателей водоисточника на несколько дней вперёд. Для этого предлагается использовать метод векторной авторегрессии.

Численные расчеты проведены на примере водозабора на реке Неве. На качество воды источника оказывают влияние штормы на Ладожском озере, увеличивающие мутность. Сильные дожди, быстрое таяние снега вызывает кратковременное возрастание показателей мутности и окисляемости. Повышенный уровень загрязнения связан также со сточными водами промышленных предприятий, сельскохозяйственных угодий, водного транспорта.

Векторная авторегрессия. Для моделирования и прогнозирования процесса изменения физико-химических факторов водоисточника применяется модель векторной авторегрессии (VAR). Векторная авторегрессия – это модель динамики нескольких временных рядов, в которой текущие значения контролируемых показателей зависят от прошлых значений этой же группы взаимосвязанных показателей. Модель предложена Кристофером Симсом как альтернатива системам

одновременных уравнений, которые предполагают существенные теоретические ограничения: VAR-модели свободны от ограничений структурных моделей [5 – 6].

В модели векторной авторегрессии несколько зависимых переменных, и зависят они от собственных лагов и от лагов других переменных. В отличие от модели обычной регрессии, в VAR-модели нет необходимости делить переменные на исследуемые параметры и независимые факторы. Любая переменная модели VAR по умолчанию включается в состав исследуемых величин.

Каждое из уравнений содержит одни и те же регрессоры, и нет взаимных ограничений между уравнениями. Таким образом, эффективная оценка (метод максимального правдоподобия с полной информацией) упрощается до обычного метода наименьших квадратов.

Фактически VAR – это система эконометрических уравнений, каждая из которых представляет собой модель авторегрессии и распределенного лага.

Пусть y^i, $i = 1 \ldots k$ – i-й временной ряд. Модель для этого ряда имеет вид:

$$y_t^i = a_0^i + \sum_{j=1}^{k} a_{1j}^i y_{t-1}^j + \sum_{j=1}^{k} a_{2j}^i y_{t-2}^j + \ldots + \sum_{j=1}^{k} a_{pj}^i y_{t-p}^j + \varepsilon_t^i, \quad (1)$$

где t, $t-1$, … , $t-p$ – моменты времени; k – количество временных рядов; p – порядок авторегрессии; a^i_{mj} – оцениваемые коэффициенты модели ($m = 1, 2, \ldots, p$).

Более удобной и компактной является векторно-матричная запись модели. Для этого вводится вектор временных рядов $y_t = (y_t^1, y_t^2, \ldots, y_t^k)$. Вышеприведенные уравнения для каждого временного ряда можно записать в виде одного уравнения в векторной форме:

$$y_t = a_o + A_1 y_{t-1} + A_2 y_{t-2} + \ldots + A_p y_{t-p} + \varepsilon_t =$$

$$a_0 + \sum_{m=1}^{p} A_m y_{t-m} + \varepsilon_t \quad (2)$$

где A_m – матрицы элементов a^i_{mj}.

Еще более простую форму имеют модели векторной авторегрессии в операторной форме с использованием лагового оператора (с задержкой) L: $Lx_t = x_{t-1}$:

$$A(L) y_t = a_0 + B(L) x_t + \varepsilon_t,$$

$$A(L) = I - \sum_{m=1}^{p} A_m L^m, \quad B(L) = \sum_{n=0}^{q} B_n L^n \quad (3)$$

Если корни характеристического полинома $\det(A(z))$ лежат вне единичного круга (в комплексной плоскости), то такой процесс векторной авторегрессии является стабильным. Для стабильного процесса допустимо следующее представление VAR-моделей:

$$\begin{aligned} y_t &= A^{-1}(L)a_0 + A^{-1}(L)B(L)x_t + A^{-1}(L)\varepsilon_t = y_t \\ &= A^{-1}(1)a_0 + C(L)x_t + A^{-1}(L)\varepsilon_t \end{aligned} \quad (4)$$

Матричный полином $C(L)$ в данном представлении называется передаточной функцией.

Система прогнозирования состояния водоисточника обеспечивает обработку данных по физико-химическим параметрам водоисточника. Программа решает задачи моделирования и прогнозирования параметров, характеризующих состояние водоисточника, а также визуализации полученных результатов и их сохранения в файл электронных таблиц Excel.

Система использует описанную выше методику. При моделировании в автоматическом режиме осуществляется поиск оптимального порядка модели векторной авторегрессии. В качестве критерия оптимальности выступает минимальное усреднённое значение внешнего среднеквадратического отклонения (СКО) используемых характеристик водоисточника:

$$\frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k}\sigma_{\Delta i} \to \min\ , \quad (5)$$

где k – количество временных рядов; $\sigma_{\Delta i}$ – внешнее СКО для i-го ряда;

$$\sigma_{\Delta} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n_0}\Delta_i{}^2/(n_0 - p)}, \quad (6)$$

(n_0 – объём контрольной выборки; p – число слагаемых в модели; $\Delta_i = y_i - \widehat{y}_i$; y_i – результат i-го наблюдения, $\widehat{y}_i$ – прогнозируемое значение по построенной модели.

Построенные модели с учетом найденного порядка авторегрессии применяются для дальнейшего прогнозирования.

Точность аппроксимации оценивалась по стандартному отклонению (для всей совокупности данных):

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \widehat{y}_i)^2/(n - p)}, \quad (7)$$

На рисунке 1 показан алгоритм работы системы прогнозирования.

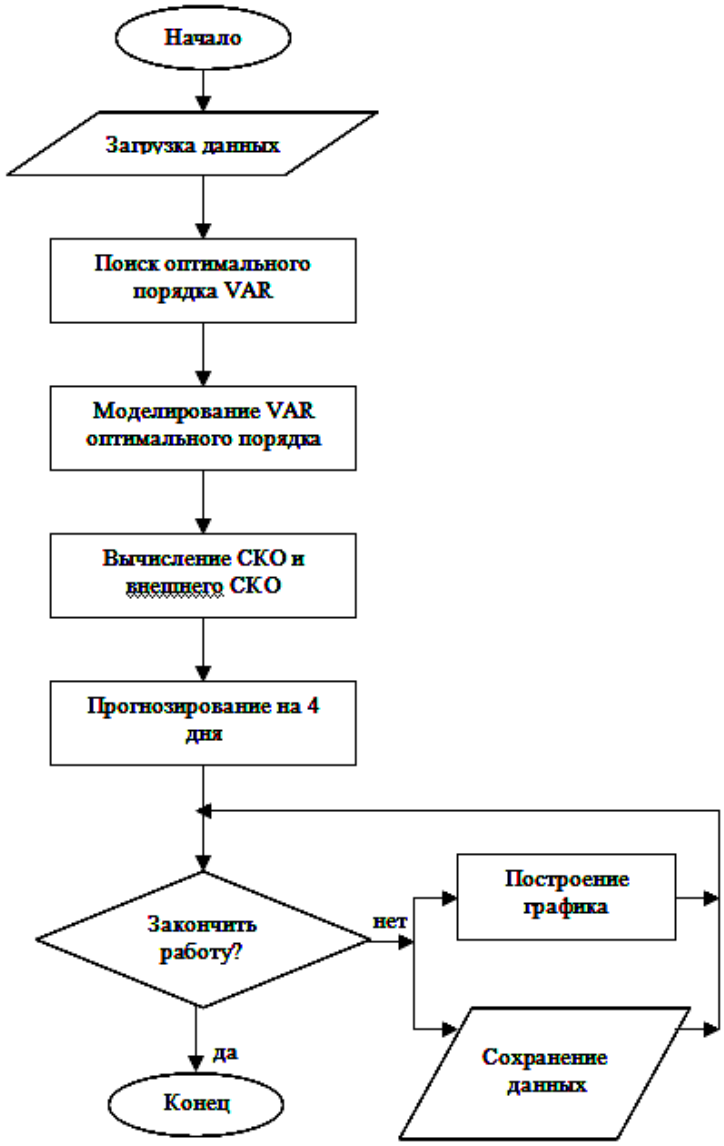


Рисунок 1. **Алгоритм работы системы**

Моделирование состояния водоисточника. В качестве исходных данных использовались результаты наблюдений шести физико-химических показателей водоисточника «Западный Кронштадт» за 45 дней: X_1 – температуры, X_2 – цветности, X_3 – мутности, X_4 – уровня pH, X_5 – щелочности, X_6 – окисляемости.

С использованием системы прогнозирования состояния водоисточника были построены модели векторной авторегрессии оптимальных порядков, а также выполнен прогноз на четыре дня вперед. Ниже представлены полученные модели:

$$X_1(t) = 12{,}425 + 0{,}484X_1(t-1) + 0{,}486X_1(t-2) + 0{,}043X_2(t-1) - 0{,}012X_2(t-2) + 0{,}079X_3(t-1) + 0{,}122X_3(t-2) - 0{,}404X_4(t-1) - 0{,}200X_4(t-2) - 6{,}330X_5(t-1) - 5{,}836X_5(t-2) - 0{,}284X_6(t-1) - 0{,}104X_6(t-2);$$

$X_2(t) = 39{,}857 - 0{,}505X_1(t-1) + 0{,}249X_1(t-2) + 0{,}495X_2(t-1) - 0{,}048X_2(t-2) - 0{,}016X_3(t-1) - 0{,}134X_3(t-2) - 3{,}353X_4(t-1) - 0{,}254X_4(t-2) + 13{,}861X_5(t-1) + 7{,}217X_5(t-2) + 0{,}064X_6(t-1) - 0{,}179X_6(t-2);$

$X_3(t) = 1{,}935 + 0{,}080X_1(t-1) - 0{,}246X_1(t-2) - 0{,}137X_2(t-1) + 0{,}157X_2(t-2) - 0{,}074X_3(t-1) + 0{,}047X_3(t-2) - 1{,}050X_4(t-1) - 1{,}530X_4(t-2) + 11{,}303X_5(t-1) + 15{,}950X_5(t-2) + 1{,}011X_6(t-1) - 0{,}281X_6(t-2);$

$X_4(t) = 7{,}389 - 0{,}002X_1(t-1) - 0{,}015X_1(t-2) - 0{,}007X_2(t-1) - 0{,}001X_2(t-2) + 0{,}001X_3(t-1) + 0{,}001X_3(t-2) - 0{,}022X_4(t-1) - 0{,}024X_4(t-2) + 0{,}335X_5(t-1) + 0{,}604X_5(t-2) + 0{,}048X_6(t-1) - 0{,}005X_6(t-2);$

$X_5(t) = 0{,}496 + 0{,}000X_1(t-1) - 0{,}006X_1(t-2) - 0{,}001X_2(t-1) - 0{,}000X_2(t-2) - 0{,}001X_3(t-1) + 0{,}003X_3(t-2) + 0{,}017X_4(t-1) + 0{,}018X_4(t-2) - 0{,}148X_5(t-1) - 0{,}069X_5(t-2) + 0{,}008X_6(t-1) - 0{,}004X_6(t-2);$

$X_6(t) = 7{,}092 - 0{,}008X_1(t-1) + 0{,}065X_1(t-2) + 0{,}029X_2(t-1) + 0{,}022X_2(t-2) - 0{,}030X_3(t-1) - 0{,}004X_3(t-2) - 0{,}001X_4(t-1) + 0{,}085X_4(t-2) - 0{,}163X_5(t-1) - 0{,}566X_5(t-2) - 0{,}003X_6(t-1) - 0{,}254X_6(t-2).$

На рисунок 2 показаны графики исходных данных (тонкая линия) и аппроксимации по соответствующей модели (жирная линия).



Рисунок 2. **Графики исходных данных (тонкая линия) и их аппроксимации (жирная линия)**

Сравнение векторной авторегрессии с ARCH-подходом. Для сравнительного анализа эффективности разработанной методики использовался ARCH-подход (авторегрессионной условной гетероскедастичности [7]), реализованный в программном комплексе «Автоматизированная система динамического регрессионного

моделирования» [8].

В таблице представлены результаты сравнения по точности аппроксимации (внутреннее СКО σ) и по точности прогнозирования (внешнее СКО σ_Δ) для всех временных рядов, полученных по шести физико-химическим параметрам состояния водоисточника.

Таблица. **Результаты сравнения по точности аппроксимации и точности прогнозирования для временных рядов**

Параметр водоисточника	Модель			
	ARCH		VAR	
	σ	σ_Δ	σ	σ_Δ
Температура	0,465	2,720	0,543	0,552
Цветность	1,616	2,384	1,993	2,116
Мутность	2,094	0,253	1,770	0,555
pH	0,065	0,138	0,061	0,325
Щелочность	0,035	1,284	0,031	0,465
Окисляемость	0,600	0,335	0,653	0,087

Результаты численного исследования свидетельствуют об эффективности использования векторной авторегрессии при моделировании и прогнозировании временных рядов состояния водоисточника. Исходя из полученных данных, можно видеть, что векторная авторегрессия дает результаты, близкие к результатам ARCH-подхода, причем в ряде случаев (например, для щелочности) обеспечивается более высокая точность по обоим критериям, что обусловлено учётом совместной динамики переменных. Стабильность контролируемых параметров водоисточника может быть оценена с использованием многомерных контрольных карт [9].

Работа выполнена в рамках задания Минобрнауки России №2014/232.

ЛИТЕРАТУРА

1. Валеев С.Г., Булыжев Е.М. Системы раннего предупреждения аномальной ситуации при анализе состояния СОЖ // Справочник. Инженерный журнал. 2011. № 10. С. 39–42.
2. Клячкин В.Н., Кувайскова Ю.Е., Алешина А.А. Моделирование вибраций гидроагрегата на основе адаптивных динамических регрессий // Автоматизация и современные технологии. 2014. № 1. С. 30–34.
3. Клячкин В.Н., Кувайскова Ю.Е., Алёшина А.А., Кравцов Ю.А. Информационно-математическая система раннего предупреждения об

аварийной ситуации // Изв. Самарского научного центра РАН. 2013. № 4(4). С. 919–923.
4. Кувайскова Ю.Е., Клячкин В.Н., Бубырь Д.С. Прогнозирование состояния технического объекта на основе мониторинга его параметров / XII Всероссийское совещание по проблемам **управления: Труды. М.:** Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2014. С. 7616–7626.
5. Sims C.A. Macroeconomics and Reality // Econometrica, 1980. Vol. 48. P. 1–48.
6. Stock J.H., Watson M.W. Vector Autoregressions // Journal of Economic Perspectives, 2001. Vol. 15, pp. 101–115.
7. Bollerslev T. Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity // Journal of Econometrics, 1986. Vol. 31. P. 307–327.
8. Валеев С.Г., Кувайскова Ю.Е. Программное обеспечение обработки временных рядов техногенных характеристик // Обозрение прикладной и промышленной математики. 2009. Т. 16. Вып. 6. С. 1037–1038.
9. Клячкин В.Н., Кравцов Ю.А. Повышение эффективности статистического контроля многопараметрического технологического процесса на основе карты Хотеллинга с предупреждающей границей // Автоматизация и современные технологии, 2013. № 10. С. 35–37.

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

УДК 628.161:665.61:504.55.054:667.3.081.3

ОЧИСТКА НЕФТЕСОДЕРЖАЩЕГО ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА ОТХОДАМИ ПРОИЗВОДСТВА

Л.Н. Фесенко
ООО НПП «ЭКОФЕС», г. Новочеркасск, Россия
Л.Г. Мирошниченко
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия
К.С. Тер-Матиосова
Минераловодский колледж железнодорожного транспорта, г. Минеральные воды, Россия

Рассмотрена возможность использования отходов производств переработки шерсти и пера в качестве сорбентов при аварийных разливах нефти. Определены параметры химической модификации сорбентов с целью увеличения сорбционных характеристик и гидрофобности.

Разливы нефти и нефтепродуктов (НП) происходят в производстве, транспортировке, переработке, хранении, приеме, отпуске, а также при использовании товарных продуктов. Особенно актуальна эта проблема в России, где в связи с изношенностью оборудования, несоблюдением

технологической дисциплины на территориях промышленных предприятий, а также в местах прохождения технологических эстакад, трубопроводов имеют место значительные разливы данных продуктов. По оценкам специалистов от 5 до 15 млн. тонн нефти попадает ежегодно в воду в результате аварий танкеров, при добыче нефти в шельфовых зонах, слива балластных и моечных вод, при нарушениях подводных и наземных нефтепроводов. По данным МЧС РФ только в России происходит от 20 до 30 тысяч больших и малых аварий в год, связанных с попаданием нефтепродуктов в гидросферу. Ликвидация разливов продуктов нефтехимии является актуальной проблемой в настоящее время. Причем, самым трудоемким остается сбор разливов на поверхности воды.

В мировой практике для ликвидации разливов и утечек нефтепродуктов получили широкое распространение методы поглощения (сорбции) [1]. Но, как отмечают некоторые специалисты [2], вопрос по выбору наиболее технологически, экономически и экологически эффективного сорбента до сих пор не решен. Достаточно пустующей остается ниша использования в качестве сорбентов отходов местной промышленности, в частности, птицеводческой и животноводческой. Это позволит разрешить как проблемы ликвидации разливов нефтепродуктов, так и утилизации отходов некоторых производств, например, пера и шерсти.

Качество сорбентов определяется, главным образом, их емкостью по отношению к нефти и НП, степенью гидрофобности, плавучестью после сорбции и возможностью десорбции НП, регенерации или утилизации сорбента [3]. В работе [4] показана привлекательность естественного органического сырья и отходов животноводческого производства как нефтяных адсорбентов. К тому же, они являются органической частью существующих экосистем и в большой степени соответствуют экологическим требованиям. В большинстве случаев используют древесную щепу и опилки, модифицированный торф, древесный мох, высушенные зернопродукты, шерсть, лигнин, сапропель, макулатуру.

Одним из лучших природных сорбентов является шерсть: 1 кг последней может поглотить до 8 – 10 кг нефти, при этом природная упругость шерсти позволяет отжать большую часть легких фракций нефти. Именно этим сорбционным материалом предложено поглощать розлив нефти в Мексиканском заливе после аварии на нефтедобывающей платформе [5]. Однако высокая цена шерсти и строгие требования к хранению (шерсть очень привлекает грызунов, насекомых, претерпевает биохимические превращения) не позволяют считать ее сколько-нибудь перспективным сорбентом. С учетом вышеизложенного, перспективным видится использование в качестве сорбентов нефти и НП отходов от переработки шерстяного сырья.

Цель работы состояла в разработке комплексного, экологически безопасного решения для предупреждения и ликвидации последствий загрязнения окружающей среды в зоне нахождения промышленных объектов

В данной работе в качестве адсорбентов нефти и НП исследовали отходы от переработки козьей и овечьей шерсти, а также перо куриное и водоплавающей птицы (ВП). Таким образом, в работе комплексно решается экологическая задача: отход производства переводится в ранг вторичных материальных ресурсов, что также определяет актуальность исследования в экологическом плане.

На предварительном этапе работы было предположено, что модификация кислотами аминокислот шерсти, приводящая к образованию соответствующих солей по аминогруппам и освобождению карбоксильных групп от участия во внутримолекулярном солеобразовании, например, соляной кислотой, согласно реакции:

$$HCl + NH_2CHRCOOH \rightarrow HCl \cdot NH_2CHRCOOH$$

будет способствовать увеличению сорбционной способности. Для получения наиболее полной картины воздействия химической модификации на шерсть и перо исследовано влияние различных кислот: соляной, серной, сульфаниловой, азотной.

В ходе эксперимента было выяснено, наибольший эффект очистки воды от нефти наблюдается при обработке исследуемых сорбентов таким модификатором, как серная кислота.

Далее проводили исследования, направленные на выявление оптимальной концентрации серной кислоты при модификации шерсти и пера, а также выяснение влияния содержания кислоты на нефтеемкость сорбционного материала (СМ). Для этого исследовали роль концентрации серной кислоты на сорбционные свойства шерсти. Образцы козьей и овечьей шерсти по окончанию взаимодействия с растворами серной кислоты промывали несколько раз дистиллированной водой, подвергали сушке и исследовали на изменение нефтеемкости по отношению к нефти (табл. 1). Нефтеемкость в статистических условиях вычисляли как отношение массы поглощенного НП к массе СМ.

Таблица 1. **Значения нефтеемкости шерсти в зависимости от концентрации раствора серной кислоты при температуре 20 °С**

Концентрация серной кислоты, %	Масса сорбированной нефти, г/г	
	на козьей шерсти	на овечьей шерсти
1	10,75	8,62
5	11,88	9,43
7	12,06	9,89

10	12,40	10,54
13	11,34	9,29

Из анализа результатов таблицы 1 очевидно, что наибольшее значение нефтеемкости у шерсти, модифицированной 10 %-ным раствором серной кислоты. При контакте волокна шерсти с растворами более 10 %-ной серной кислоты выяснили, что волокна подвергаются сильному разрушению и даже частичному гелеобразованию. При химической модификации использовали только 10 %-ную серную кислоту, которая рекомендована в работе казанских ученых Шайхиева, Низамова и т.д. [6].

После химической обработки модификаты шерсти и пера использовали для исследования сорбции нефти с водной поверхности.
Эксперимент по определению нефтеемкости СМ в статических условиях проводили следующим образом. В чашку Петри наливали по 35 мл нефти и помещали медные сетки известной массы. Затем на поверхность сорбата равномерно сплошным слоем наносился исследуемый СМ в количестве 5 г. Через 15 мин с помощью сетки снимали исследуемый образец СМ с поглощенным сорбатом и взвешивали на лабораторных весах после стекания избыточного количества нефти. Исследования проводили как с исходными сорбентами, так и обработанными 10 %-ной серной кислотой. Результаты опыта приведены в таблице 2.

Таблица 2. **Значения нефтеемкости СМ сорбционных материалов в статических условиях**

СМ	Нефтеёмкость г/г
Шерсть овечья	8,6
Перо куриное	22,6
Перо ВП	31,1
Модифицированная шерсть козья	12,4
Модифицированная шерсть овечья	10,5
Модифицированное перо куриное	28
Модифицированное перо ВП	31,4

Из результатов эксперимента видно, что перо куриное и ВП имеет гораздо большую нефтеемкость, чем шерсть. Так же данные подтвердили, что обработка сорбентов серной кислотой увеличивает их сорбционные свойства.

При ликвидации разливов нефти на водных поверхностях имеет важную эксплуатационную характеристику влагоемкость СМ [6]. Этот показатель исследовали аналогично определению нефтеемкости (табл. 3).

Таблица 3. **Значения влагоемкости сорбционных материалов в статических условиях**

СМ	Влагоёмкость сорбента, г/г
Модифицированная шерсть козья	1,60
Модифицированная шерсть овечья	2,14
Модифицированное перо куриное	9,22
Модифицированное перо ВП	10,05

Как видно из таблицы 3, влагоемкость перьев в несколько раз превышает аналогичный показатель шерсти, поэтому использование шерсти как сорбента более рационально.

На основании проведенных исследований насыщаемости СМ нефтью с течением времени при температуре 20 °С построены зависимости сорбции от вида СМ (рис. 1) в статистических условиях.

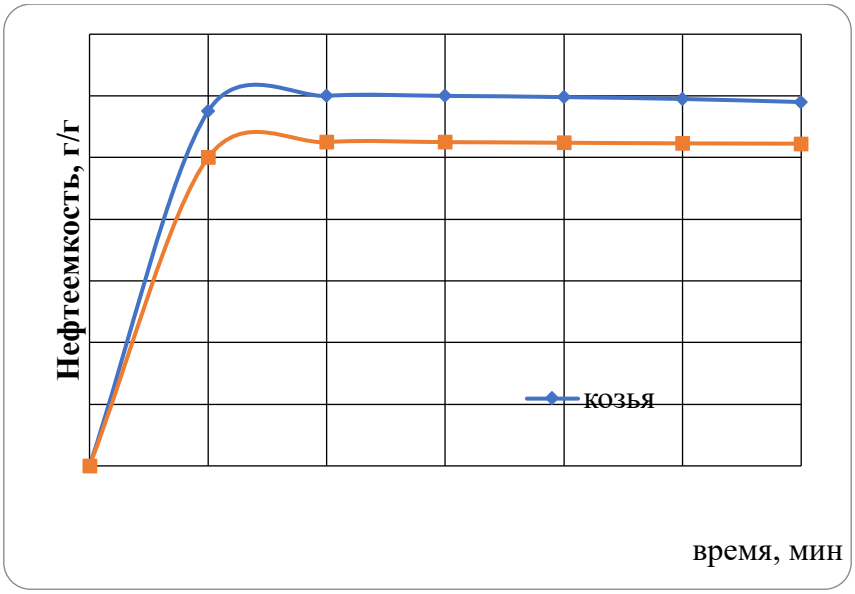


Рисунок 1. **Зависимость нефтеемкости от времени контакта с нефтью**

Анализ данных рисунка 1 показал, что они имеют гиперболический вид и сорбция нефти происходит в течение первых 10 мин контактирования СМ с нефтью. Отмечено, что наибольшая нефтеемкость достигается при использовании козьей шерсти. Через 10 мин после начала эксперимента фактически не наблюдалось увеличение значения

нефтеемкости, это можно объяснить насыщением СМ и равенством значения скоростей процессов сорбции и десорбции.

При изучении процесса десорбции нефтепродуктов из отработанного сорбента использовали 2 %-ную водонефтяную эмульсию. Исследуемые сорбенты помещали в приготовленную эмульсию на определенное время. Далее определяли массу нефти, поглощенную сорбентом. После этого сорбент помещали в водопроводную воду на некоторое время (до 1 ч) и определяли концентрацию НП в воде. Результаты этого исследования представлены на рисунке 2.

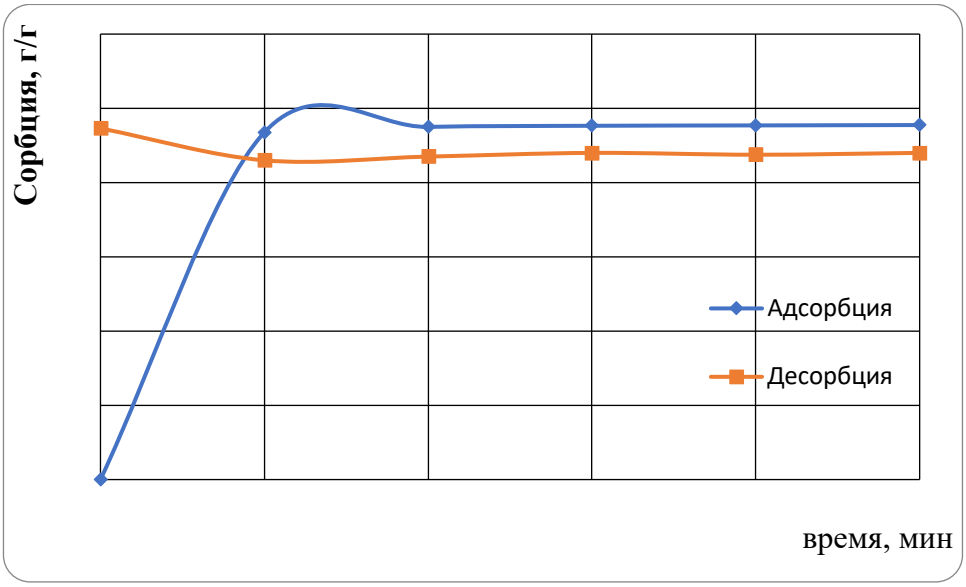


Рисунок 2. **Кинетическая кривая процесса сорбции-десорбции нефти модифицированной козьей шерстью при 20 °С**

Исследование кинетики сорбции-десорбции нефти показывает, что наибольшая степень поглощения наблюдается за первые 10 – 15 мин., а максимальная – достигается за 60 мин. Дальнейшее поглощение происходит с небольшой скоростью. Интенсивная десорбция с поверхности сорбента идет за первые 10 мин, по-видимому, за счет ослабления механического взаимодействия между сорбентом и нефтепродуктом происходит так называемая механическая десорбция под действием силы тяжести. Дальнейшая экспозиция сорбента приводит к незначительной потере поглощенного нефтепродукта.

Аналогичные результаты величин сорбции-десорбции были получены и для всех остальных модифицированных адсорбентов – овечьей шерсти и пера (куриного и ВП). В среднем десорбция из шерсти составляла 2 %, а из пера 4 %. Это говорит о том, что десорбция нефти из исследуемых нами сорбентов не значительна, однако величина десорбции из пера в два раза превышает этот показатель из шерсти. Данный фактор дает шерсти преимущество над пером.

Важным фактором, влияющим на процесс сорбции, является температура. Для получения информативных данных по механизму сорбции использовали сорбцию нефти в статических условиях при разных температурах. Исследования проводили при температурах 293, 313 и 333 °К. На рисунке 3 показана изостера сорбции нефти шерстью. Изостера отражает взаимосвязь равновесных температур и концентраций при постоянной емкости сорбента.

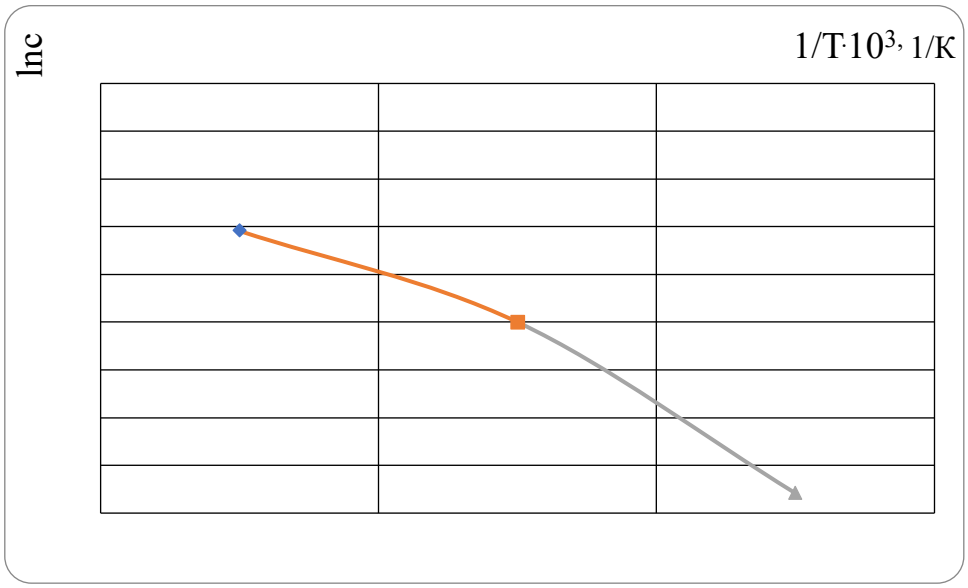


Рисунок 3. **Влияние температуры на равновесие сорбции эмульгированной нефти**

Тепловой эффект в интервале изменения степени заполнения адсорбционного пространства характеризуется дифференциальной теплотой адсорбции. Изостерический метод расчета теплоты адсорбции основан на применении уравнения Клаузиуса–Клапейрона (при $A = const$):

$$\frac{\Delta \ln C}{\Delta(1/T)} = -Q/R,$$

где C – равновесная концентрация нефтепродуктов в растворе, моль/дм^3; T – температура, °К; Q – изостерическая дифференциальная теплота сорбции, Дж/моль; R – универсальная газовая постоянная Дж/моль·°К; A – сорбционная емкость, моль/г.

Изостерическая дифференциальная теплота адсорбции определяется согласно уравнению:

$$Q = -R\frac{\Delta \ln C}{\Delta(1/T)}.$$

Согласно последнему уравнению, используя данные рисунка 3, дифференциальная теплота адсорбции нефти на модифицированной козьей шерсти составила 39,726 кДж/моль.

Таким образом, повышение температуры приводит к уменьшению емкости эмульгированной нефти (степень очистки снижается на 15 – 30 %), что характерно для экзотермического процесса сорбции, и свидетельствует о физической природе сил, удерживающих сорбированные нефтепродукты на поверхности адсорбента.

ВЫВОДЫ

1. На основании проведенных экспериментов по сорбции нефти с водной поверхности отходами животноводческого производства показана возможность увеличения гидрофобных свойств волокон шерсти и пуха путем модификации их 10 %-ной серной кислотой.

2. Найдено, что оптимальная продолжительность модификации кнопа 10 %-ным раствором кислоты для увеличения нефтеемкости составляет 10 мин.

3. Исследования кинетики сорбции-десорбции нефти шерстью и пером показали, что наибольшая интенсивность поглощения наблюдается за первые 10 – 15 мин, а максимальная – достигается за 60 мин. Интенсивная десорбция с поверхности сорбента в количестве ~ 25 % происходит за первые 15 мин из-за испарения наиболее легких фракций нефти и ослабления механического взаимодействия между сорбентом и нефтепродуктом, т. е. «механическая десорбция» под действием силы тяжести. Сорбент обладает ~ 90 % удерживающей способностью, которая сохраняется во времени.

4. Анализ влияния температуры нефти на способность к поглощению модифицированной козьей шерсти показал, что наибольшее воздействие оказывает вязкость сорбата. Чем ниже температура испытания и выше вязкость, тем большей сорбционной способностью обладает шерсть.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зеленько Ю.В. Ликвидация экологических последствий транспортных аварий с нефтепродуктами, Дис. … канд. техн. наук. Днепропетровск, 2005.
2. Plachotnik W., Sirakow W., Jaryschkina L. Ökologische aspekte von havarien der eisenbahnen der OSShD – mitgliedsländer // Zeitschrift der OSShD. 1997. № 6. P. 7–9.
3. Артемов А.В., Пинкин А.В. Сорбционные технологии очистки воды от нефтяных загрязнений // Вода: химия и экология. 2008. № 8. С. 18–24.
4. Аренс В.Ж., Гридин О.М., Яншин А.Л. Нефтяные загрязнения: как решить проблему // Экология и промышленность России. 1999. С. 33–36.
5. Артемов А.В. Современные технологии очистки нефтяных загрязнений // Нефть, Газ, Промышленность. 2004. № 4. 38 с.

6. Шайхиев И.Г., Низамов Р.Х., Степанова С.В. Отходы от переработки шерсти для очистки водных акваторий от нефти // Экспозиция. Нефть. Газ. 2010. № 4. С. 11–14.

УДК 628.386

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ФОСФОРА ИЗ СТОЧНЫХ ВОД МЕТОДОМ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ.

Д.Е. Белых, В.И. Щербаков
Воронежский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Воронеж, Россия

Раскрыты перспективные возможности извлечения фосфора из сточных вод методом кристаллизации с использованием гидрата силиката кальция в качестве субстрата, что позволяет упростить и удешевить технологию.

В современном обществе всё большую актуальность набирают технологии защиты водных ресурсов и уменьшения антропогенного воздействия на них. Одним из основных факторов такого воздействия являются бытовые и промышленные воды и степень их очистки перед сбросом в водоёмы. Наряду с этим необходимо уделить особое внимание технологическим решениям с минимальными побочными продуктами, а также возможностью дальнейшего использования извлечённых из сточных вод компонентов. Важной проблемой, вызванной влиянием человеческого общества на окружающую среду, является проблема эвтофикации водоёмов. Основной причиной такой эвтофикации является повышенное содержание в воде биогенных элементов, таких как фосфор и азот. Одновременно с переизбытком существует опасность нехватки фосфора, как одного из основных элементов удобрений, необходимых для поддержания высокой урожайности сельскохозяйственных культур и обеспечения потребностей человека и животноводства необходимым количеством растительной пищи [1].

По оценкам учёных запасы фосфорной руды будут исчерпаны в ближайшие 60 – 240 лет [2]. Возникает потребность в создании технологии повторного использования фосфора из сточных вод [1]. Кроме того, существующие технологии удаления фосфора из сточных вод в большей степени связаны с использованием химического осаждения солями железа и алюминия, что приводит к образованию большого количества осадка и возникает необходимость его утилизации.

Таким образом, приоритетом является создание таких технологий удаления фосфора из сточных вод, которые с одной стороны будут

производить как можно меньше побочных отходов, а с другой – предоставлять ресурс для повторного использования фосфора в промышленности.

Сточные воды являются пересыщенным раствором соединений фосфора с кальцием. В соответствии с растворимостью гидроксил-апатита, концентрация фосфора в воде не должна превышать 0,002 мг/л. Суть процесса кристаллизации заключается в смещении равновесия системы путём добавления центров кристаллизации для удаления фосфора из сточной жидкости. Кристаллизация осуществляется в фильтрах или во взвешенном слое. В качестве центров кристаллизации могут быть использованы минералы, содержащие фосфат кальция, костяной уголь, шлак доменных печей и др. [3]. В большинстве сточных вод составляющие фосфата кальция находятся в пересыщенном состоянии, при этом самопроизвольное осаждение кинетически затруднено. Однако, наличие подходящего субстрата способствует отложению соединений фосфатов кальция на его поверхности, приводящее к равновесию между ионами кальция и фосфатами [4].

Известна также реализация метода кристаллизации на пилотной установке Crystalactor® с использованием песка в качестве субстрата в реакторе с псевдосжиженным слоем [5, 6]. Согласно проведённым исследованиям возможно получение концентрации фосфора в воде после очистки 0,5 мг/л или менее, при этом не образуется избыточный осадок [5]. Удалённый из воды фосфор в форме фосфат-содержащих гранул может быть в последствии повторно использован в фосфатной промышленности. Однако, для реализации данной технологии требуется удаление углекислого газа с подкислением воды, продувкой и последующей регулировкой уровня pH с использованием щёлочи для протекания процесса кристаллизации. Таким образом, использование технологии Crystalactor® сопряжено с применением большого количества химикатов, что вызывает сомнения об её экономической целесообразности.

Немецкими учёными поведены экспериментальные исследования по прямому осаждению кальций фосфатов с использованием кальцита в качестве субстрата [7]. Регулирование уровня pH производилось путём добавления щёлочи или оксида магния (II). Результаты исследований показали возможность применения метода, как при низких концентрациях растворённого фосфора так и при высоких (до 400 мг/л). В ходе лабораторного эксперимента с использованием реактора с мешалкой при работе в непрерывном режиме подачи сточных вод автомобильного завода с концентрацией ортофосфатов около 40 мг/л концентрация ортофосфатов после очистки составила около 1,4 мг/л. Промышленная установка по удалению фосфора из сточных вод, производительностью 160 $м^3$/ч, была запущена. При входной концентрации ортофосфатов в 11,6 мг/л на выходе в воде было обнаружено 1,1 мг/л.

Многообещающими были результаты японских исследователей, применивших гранулы тоберморита (гидрата силиката кальция $5CaO \cdot 6SiO_2 \cdot 5H_2O$) в качестве субстрата в реакторе с псевдосжиженным слоем для извлечения фосфора из сточных вод методом кристаллизации в среде с контролируемым уровнем pH [8, 9]. В ходе экспериментов было установлено отсутствие необходимости в декарбонизации воды перед удалением фосфора. Была зафиксирована степень удаления фосфора в 80 % при использовании жидкости с концентрацией ортофосфатов 50 мг/л [8]. Эксперимент проводился при времени гидравлического удержания в 1 ч и контролируемом уровне pH 8,0 – 8,5. Концентрация ионов кальция поддерживалась на уровне 80 мг/л за счёт добавления гашеной извести. Исследователями отмечается не соответствие уровня кристаллизации фосфатов на поверхности субстрата и степени удаления ортофосфатов из жидкости [8]. Данное явление объясняется механизмом образования пылевидных кристаллов фосфатов кальция вследствие процессов коагуляции.

Однако, повышение значения уровня $pH > 9,5$ на выпуске, вследствие растворения гранул, приводит к необходимости дополнительной обработки воды, перед её выпуском в природные водоёмы. Японскими исследователями было определено, что содержание вредных веществ в продукте метода ниже требований, предъявляемых к удобрениям [8]. В ходе эксперимента на тестовых растениях, было показано, что скорость роста растений с использованием в качестве удобрения субстрата после реакции не сильно отличается от скорости роста растений с обычными удобрениями.

ВЫВОДЫ

Развитие технологий удаления фосфора из сточных вод должно включать в создание способов утилизации образующихся при этом отходов и создания вторичного фосфорсодержащего сырья для аграрной и химической промышленности.

Технология извлечения фосфора из сточных вод методом кристаллизации отличается высокой эффективностью, но может быть реализована с использованием различных субстратов и технологических приёмов. Наиболее многообещающим выглядит применение гидрата силиката кальция в качестве субстрата, что позволяет упростить и удешевить технологию.

При использовании технологии удаления фосфора из сточных вод методом кристаллизации отработанный субстрат может служить силикатным и фосфатным удобрением для применения в аграрной промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Heffer P., Prud'homme M. World agriculture and fertilizer demand, global fertilizer supply and trade 2007–2008, Summary Report // Int. Fertil. Ind. Assoc. (IFA), 33rd IFA Enlarg. Counc. Meet. Doha. 2007. P. 27–29.
2. Cornel P., Schaum C. Phosphorus recovery from wastewater: Needs, technologies and costs // Water Sci. Technol. 2009. Vol. 59. P. 1069–1076.
3. Воронов Ю.В., Яковлев С.В. Водоотведение и очистка сточных вод. Изд-во АСВ, М., 2006. 704 с.
4. Berg U. et al. Phosphorus removal and recovery from wastewater by tobermorite-seeded crystallisation of calcium phosphate // Water Sci. Technol. 2006. Vol. 53. P. 131–138.
5. Eggers E., Dirkzwager A.H., Van der Honing H. Full-scale experiences with phosphate crystallisation in a crystalactor // Water Sci. Technol. 1991. Vol. 24. P. 333–334.
6. Giesen A., de Boer R., Gaillard A. Practical Experience with Recovery of Phosphates from Wastewater using Crystallization Technology. 75 // Darmstädter Semin. Abwassertechnik. Schriftenr. WAR. 2005. Vol. 167. P. 2005.
7. Donnert D., Salecker M. Elimination of phosphorus from waste water by crystallization // Environ. Technol. 1999. Vol. 20, № 7. P. 735–742.
8. Moriyama K. et al. Development of artificial seed crystal for crystallization of calcium phosphate // Environ. Technol. 2001. Vol. 22, № 11. P. 1245–1252.
9. Moriyama K. et al. Crystallisation process using calcium silicate hydrate for phosphorus removal // Env. Eng. Res. 2003. Vol. 40. P. 389–394.

УДК 628.316.12

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ СУЛЬФИДОВ МЕТОДОМ ЖЕЛЕЗО-КАТАЛИТИЧЕСКОГО ОКИСЛЕНИЯ КИСЛОРОДОМ ВОЗДУХА

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

Разработаны рекомендации по выбору схем удаления сульфидов методом железо-каталитического окисления. Предложены и опробированы технологии очистки сульфидных вод сернисто-щелочных сточных вод ООО «Томскнефтехим».

В области водоочистки сероводородные воды представлены как природными подземными водами, используемыми для питьевых, технологических (геотермальные теплоноситель) и лечебных целей, так и сточными: коммунальными, послепроцедурными бальнеотехническими, производственными; отработанными сульфидными растворами ряда технологических циклов, побочными продуктами химпроизводств и т.д.

Сероводород является токсичным веществом, его содержание в воде строго регламентируется. Высокие концентрации сероводорода (до 1 г/дм^3 и более) характерны для предприятий кожевенной промышленности, газо-, и нефтехимической отрасли. Применяемые сегодня в РФ методы очистки не всегда удовлетворительны с точки зрения экологической безопасности, технологической надежности и эффективности. Наиболее актуальным остается вопрос очистки высококонцентрированных сульфидных вод – загрязненные сульфидными соединениями отработанные поглотительные щелочные растворы, образующие крайне токсичные с неприятным запахом сернисто-щелочные сточные воды (СЩС), попадание которых в водоемы должно быть полностью исключено.

В настоящее время СЩС большинства отечественных предприятий отводятся без предварительной локальной очистки в сернисто-щелочную канализацию, затем смешиваются с остальными стоками второй системы канализации, проходят механическую и физико-химическую очистку и подаются на сооружения биологической очистки (ПДК по сульфидам составляет 0,45 мг/л, pH – 6,5 – 8,5) либо сбрасываются в водоемы (ПДС для рыбо-хозяйственных водоемов – 0,003 мг/л).

Очистка или регенерация отработанного щелочного поглотительного раствора (СЩС) представляет определенные трудности, связанные, прежде всего, с высоким содержанием сульфидов (до 10 и более г/л) и высокой щелочностью (до 15 – 20 % мас.), обусловленной присутствием щелочных карбонатов и сульфидов, а также остаточного количества непрореагировавшей свободной щелочи. Величина pH таких сточных вод составляет 13 – 14.

Несмотря на обширный материал исследований, в области очистки воды от сульфидов [1–3], интерес к этой проблеме не снижается и продолжается поиск новых решений, приоритетными среди которых являются технологии, исключающие загрязнение окружающей среды сероводородом и сернистым газом в процессе водоочистки, наиболее экономичные и сравнительно простые и надежные в эксплуатации.

Перспективным направлением в развитии технологии очистки воды с высокой концентрацией сульфидов считается метод связывания сероводорода в нерастворимый сульфид металла. Для реализации метода более предпочтительны к применению соединения железа, как наименее токсичные и дешевые реагенты [4, 5]. В этой связи интересен метод очистки сероводородных вод, впервые предложенный Д. Андерсеном,

Д.П. Козыревым и П.Г. Купцовым [6]. Его суть заключается в связывании сероводорода в нерастворимый сульфид при добавлении к воде гидроксида железа (III):

$$3H_2S + 2Fe(OH)_3 \rightarrow 2FeS + S + 6H_2O, \quad (1)$$

$$3HS^- + 2Fe(OH)_3 + 3H^+ \rightarrow 2FeS + S + 6H_2O, \quad (2)$$

$$3HS^- + 2Fe(OH)_3 + 3H^+ \rightarrow Fe_2S_3 + 6H_2O, \quad (3)$$

$$3S^{2-} + 2Fe(OH)_3 + 6H^+ \rightarrow Fe_2S_3 + 6H_2O. \quad (4)$$

В слабокислой и нейтральной средах протекают реакции (1) и (2) с образованием сульфида железа FeS и серы, в нейтральной и щелочной – реакции (3) и (4) с образованием трисульфида железа Fe_2S_3. Образующийся сульфид железа отделяют от воды отстаиванием и регенерируют продувкой воздухом:

$$4FeS + 3O_2 + 6H_2O \rightarrow 4Fe(OH)_3 + 4S, \quad (5)$$

$$2Fe_2S_3 + 3O_2 + 6H_2O \rightarrow 4Fe(OH)_3 + 6S \quad (6)$$

Как следует из реакций (5, 6), может быть осуществлен замкнутый процесс с многократным использованием одного и того же гидроксида железа путем попеременного перевода его в FeS (Fe_2S_3) и $Fe(OH)_3$. Параллельно этому протекают и реакции каталитического окисления сероводорода кислородом воздуха в присутствии железа:

$$H_2S + 1/2O_2 \rightarrow S + H_2O,$$

$$HS^- + 1/2O_2 \rightarrow S + OH^-,$$

попеременно принимающего двух- и трехвалентное состояние:

$$4Fe^{2+} + O_2 + 2H^+ - \bar{e} \rightarrow 4Fe^{3+} + 2OH^-, \quad (7)$$

$$2Fe^{3+} + H_2S + \bar{e} \rightarrow 2Fe^{2+} + S + 2H^+.$$

При этом железо (II) вновь окисляется кислородом воздуха до трехвалентной формы с последующим взаимодействием с сероводородом.

Для протекания реакций (1–4) необходимо присутствие в растворе ионов Fe^{3+}, концентрация которых определяется произведением растворимости гидроокиси железа:

$$Пр_{Fe(OH)_3} = [Fe^{3+}] \cdot [OH^-]^3. \quad (8)$$

Совместным решением выражения (8) с уравнением ионного произведения воды (для 25 °С):

$$[H^+] \cdot [OH^-] = 10^{-14}$$

и с учетом, что $Пр_{Fe(OH)_3} = 3{,}8 \cdot 10^{-38}$ и $[H^+] = 10^{-pH}$ получим:

$$[Fe^{3+}] = 3{,}8 \cdot 10^{4-3pp} \quad (9)$$

Из формулы (9) видно, что концентрация ионов железа значительно зависит от pH растворов и при величине pH ≈ 11 – 14, характерного для СЩС, составляет 10^{-38} моль/л.

Для перевода Fe^{2+} в окисленную форму Fe^{3+} по реакции (7) (в условиях сильно сдвинутого в восстановительную сторону ред-окс потенциала системы Fe_2S_3–O_2 в щелочной среде СЩС) необходимо присутствие в воде протона, т.е. подкисление среды.

Из изложенного следует, что процессы связывания сульфидов железом и регенерации FeS (Fe_2S_3) в гидроксид следует проводить при значениях pH значительно меньших, чем, в исходном СЩС. Проведение процесса в среде с pH = 7,5 ÷ 8,5 увеличивает концентрацию железа в растворе по сравнению с условиями щелочной среды СЩС в 10^{+17} раз, что значительно увеличивает скорость и степень связывания сульфидов.

Метод железо-каталитическим окисления сероводорода, описанный Козырев Д.П. и Купцовым И.Г., основанный на осаждении сульфидов (изначально предложенного В.И. Петрашенем для качественного анализа в аналитической химии [7]), широко цитируется в научной литературе [8 – 10], однако, так и не получил практического применения. Последнее, по-видимому, связано с тем, что научные основы теории процесса до конца не изучены, а, следовательно, и не найдены технологические решения по его реализации.

Изучение, теоретическое обоснование [11, 12], разработка и лабораторно-производственные исследования на пилотной установке [13, 14] технологии очистки сернисто-щелочных сточных вод методом железо-каталитического окисления сульфидов с регенерацией циркулирующего в технологии очистки гидроксида железа кислородом воздуха подтвердили, что в производственных условиях этот метод может быть реализован рядом технологических схем, имеющих определенные области рационального применения. Окончательный выбор схемы осуществляется с учетом особенностей образования и последующего применения (сброса) сульфидных вод, их карбонатно-щелочного состава, концентрации сульфидов, а также необходимости повторного использования очищенной воды (раствора).

Определяющим фактором при назначении железо-каталитической технологии является химический состав сульфидных вод. Активная реакция среды (pH) указывает на количество сульфидов, связываемых железом, тем самым определяет возможность проведения процесса железо-каталитического окисления по одной из схем: отделение осадка Fe_2S_3 (FeS) и его регенерация в гидроксид в выносном регенераторе, расположенном отдельно от основного потока очищаемой воды; или корректировка pH в реакторе-смесителе и регенерация Fe_2S_3 (FeS) в $Fe(OH)_3$ в основном потоке. Для создания слабощелочной среды (pH ≈ 7,5 – 8,5), необходимой для протекания реакций (2 – 4), следует нейтрализовать ионы OH^- и

перевести карбонатную щелочность в бикарбонатную. При высокой щелочности исходной воды подкисление приводит к нежелательному росту концентрации сульфатов (при использовании серной кислоты в качестве подкислителя) в очищенной воде. Это обстоятельство определяет необходимость отказаться от применения кислоты, а процесс железо-каталитического окисления сульфидов кислородом воздуха проводить в условиях бикарбонатной среды путем корректировки pH карбонизацией исходной воды свободной углекислотой. Применение карбонизации стабилизирует pH очищаемой воды на уровне 8 – 8,5 ед., т.е. обеспечивает оптимальные условия процесса железо-каталитического окисления сульфидов кислородом воздуха. Очищенная жидкость, в этом случае, представляет собой нейтральный раствор бикарбоната натрия, который при последующем восстановлении гидратной щелочности может быть возвращен в производство на повторное использование, организуя тем самым бессточный, замкнутый технологический процесс. Восстановление гидратной щелочности осуществляется упариванием в декарбонизаторе с переводом бикарбоната натрия в карбонат с последующей каустификацией кальцинированной соды негашеной известью.

В зависимости от pH среды очищаемой воды и концентрации сульфидов ($H_2S + HS^- + S^{2-} = \Sigma H_2S$) выбирается технологический режим установки очистки. При $pH \leq 8,5$ и $[\Sigma H_2S] \leq 0,05$ г/л более экономичны и просты известные методы удаления сероводорода путем его окисления хлором, озоном, перекисью водорода и т.д. [3]. Когда $[\Sigma H_2S] \geq 0,05$ г/л рекомендуется применять метод железо-каталитического окисления сульфидов кислородом воздуха в присутствии гидроксида железа (III).

Варианты принципиальных схем удаления сульфидов методом железо-каталитического окисления представлены в таблице и на рисунках 1 – 3.

При $pH \leq 8,5$ и $[\Sigma H_2S] \geq 0,05$ г/л рекомендуется применение технологической схемы со связыванием сероводорода в сульфид железа и выводом образующегося осадка Fe_2S_3 (FeS) из основного потока очищаемой воды и его последующая регенерация в гидроксид железа в выносном регенераторе (схемы I). Если $8,5 \leq pH \leq 10$ рекомендуется технологическая схема с регенерацией $Fe(OH)_3$ в основном потоке очищаемой воды (схема II).

При $pH \geq 10$ и карбонатной щелочности ($Щ_{CO3}$) меньше или примерно равной гидратной ($Щ_{OH}$) (но не превышающей её), рекомендуется предварительная карбонизация очищаемой воды и проведение процесса каталитического окисления сульфидов с регенерацией $Fe(OH)_3$ в основном потоке. Данная технологическая позволяет вернуть очищенную воду в производственный цикл на повторное использование при условии восстановления гидратной щелочности, необходимой для поглощения CO_2 (схема III).

Концентрация карбонатной щелочности ($Щ_{CO3}$) большей или равной гидратной ($Щ_{OH}$) наблюдается в сернисто-щелочных сточных водах (СЩС) от установок щелочной очистки углеводородных газов (или пирогаза) от H_2S и CO_2.

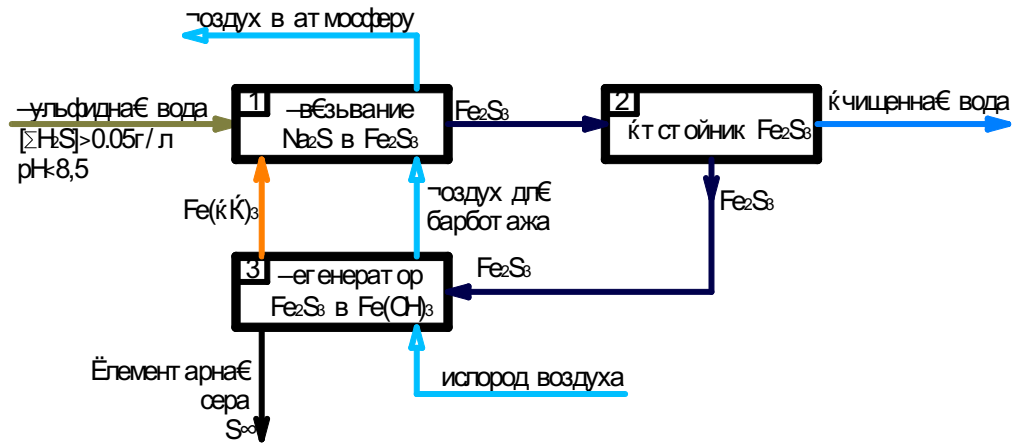
Таблица. **Схемы удаления сульфидов железо-каталитическим методом в зависимости от параметров очищаемых раствором и необходимости их повторного использования**

Рекомендуемая принципиальная схема	Область применения метода	Концентрация сульфидов (по H_2S), г/дм^3	Карбонатная щелочность	pH растворов	Повторное использование очищаемых вод (растворов)
Существующие методы очистки	Хоз-питьевое водоснабжение	≤ 0,05	-	pH ≤ 8,5	-
I	Очистка сульфидных вод	≥ 0,05	-	pH ≤ 8,5	-
II	Очистка сульфидных вод. Очистка углеводородных конденсатов. Очистка щелочных поглотительных растворов от сульфидов. Очистка зольных жидкостей кожевенного производства при дублении кожи	> 0,05	$Щ_{CO3} << Щ_{OH}$	8.5 < pH pH ≤ 10	Повторное использование очищенного раствора в качестве поглотительного возможно при восстановлении гидратной щелочности до pH=9-11
III	Очистка поглотительных растворов (например, при щелочной очистке от сероводорода углеводородного сырья (нефти, газа))	> 0,05	$Щ_{CO3} < Щ_{OH}$	pH > 10	Повторное использование очищеного раствора в качестве поглотительного возможно после проведения процесса каустификации

IV	Щелочная очистка углеводородных газов от H_2S и CO_2	> 0,05	$Щ_{СОЗ} \approx Щ_{ОН}$ или $Щ_{СОЗ} > Щ_{ОН}$	pH > 10	Очищенный раствор используется в качестве поглотительного на этапе щелочной очистки углеводородных газов (организация замкнутого цикла газоочистки)

В этом случае безотходность технологии со значительно меньшими затратами (в сравнении со схемой III) возможно обеспечить заменой традиционной щелочной очистки углеводородных газов на селективное поглощение H_2S и CO_2 (схема IV) путем ступенчатого противоточного контактирования газа на первом этапе с водным раствором бикарбоната натрия $NaHCO_3$ с pH = 7,5 – 8,5 и на втором – водным раствором карбоната натрия с $pH \geq 10$. При этом на первой стадии процесса происходит связывание только сероводорода с образованием гидросульфида натрия NaHS. Содержащийся в пирогазе CO_2 в реакцию с $NaHCO_3$ не вступает и проходит через абсорбционную колонну транзитом на вторую ступень, где оставшийся в пирогазе CO_2 абсорбируется в устройстве для мокрой очистки (противоточном абсорбере) водным раствором карбоната натрия с образованием бикарбоната.

—хема I



—хема II

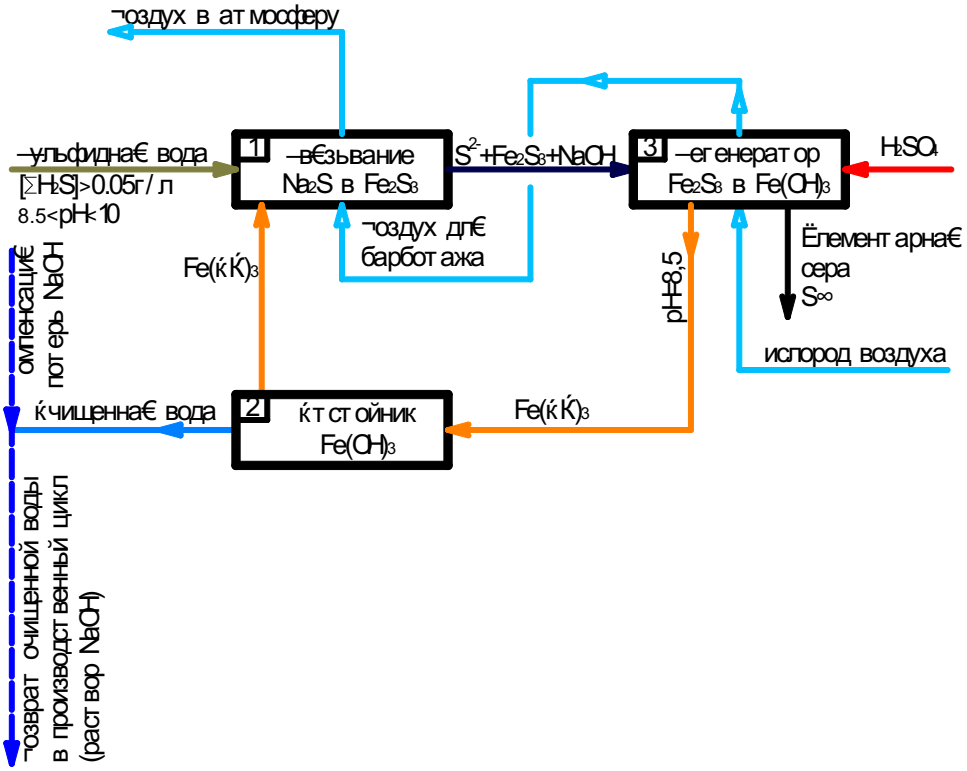


Рисунок 1. **Принципиальные схемы I и II удаления сульфидов методом железо-каталитического окисления:**
1 – реактор-смеситель; 2 – отстойник; 3 – реактор-регенератор

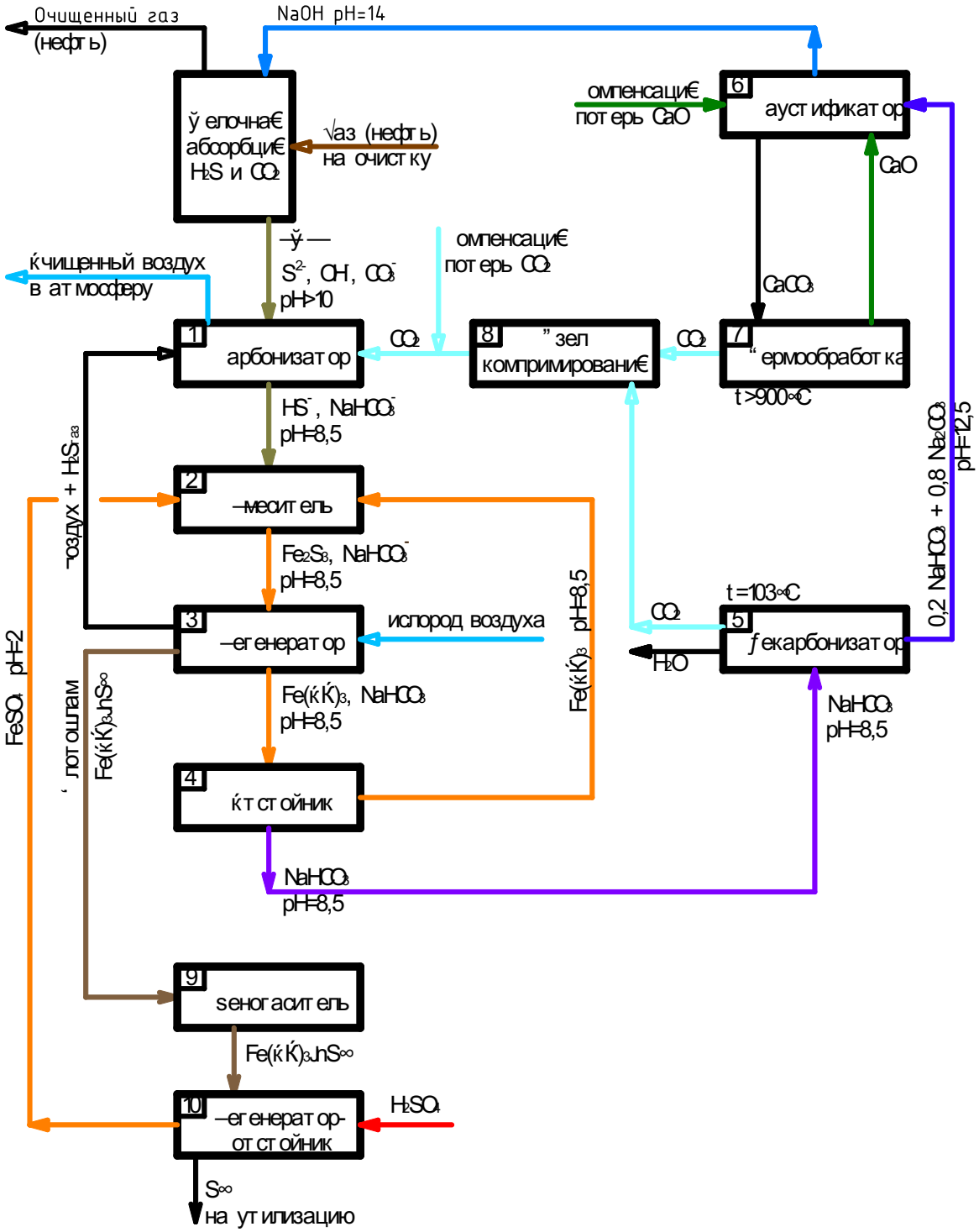


Рисунок 2. **Принципиальная схема III удаления сульфидов методом железо-каталитического окисления**

Разъединяя поглощение сероводорода бикарбонатсодержащим раствором на первой стадии процесса и поглощение оставшейся двуокиси углерода щелочным карбонатным раствором на второй, в итоге можно получить два раздельных поглотительных стока – бисульфидного (сернисто-щелочного) и карбонатного, которые более удобны и

значительно менее затратные при их последующей очистке и регенерации в отличие от смеси этих стоков, образующихся при едконатровой щелочной очистке пирогаза. Данное технологическое решение защищено патентом Российской Федерации на изобретение №2515300 «Способ селективной очистки пирогаза от сероводорода и двуокиси углерода».

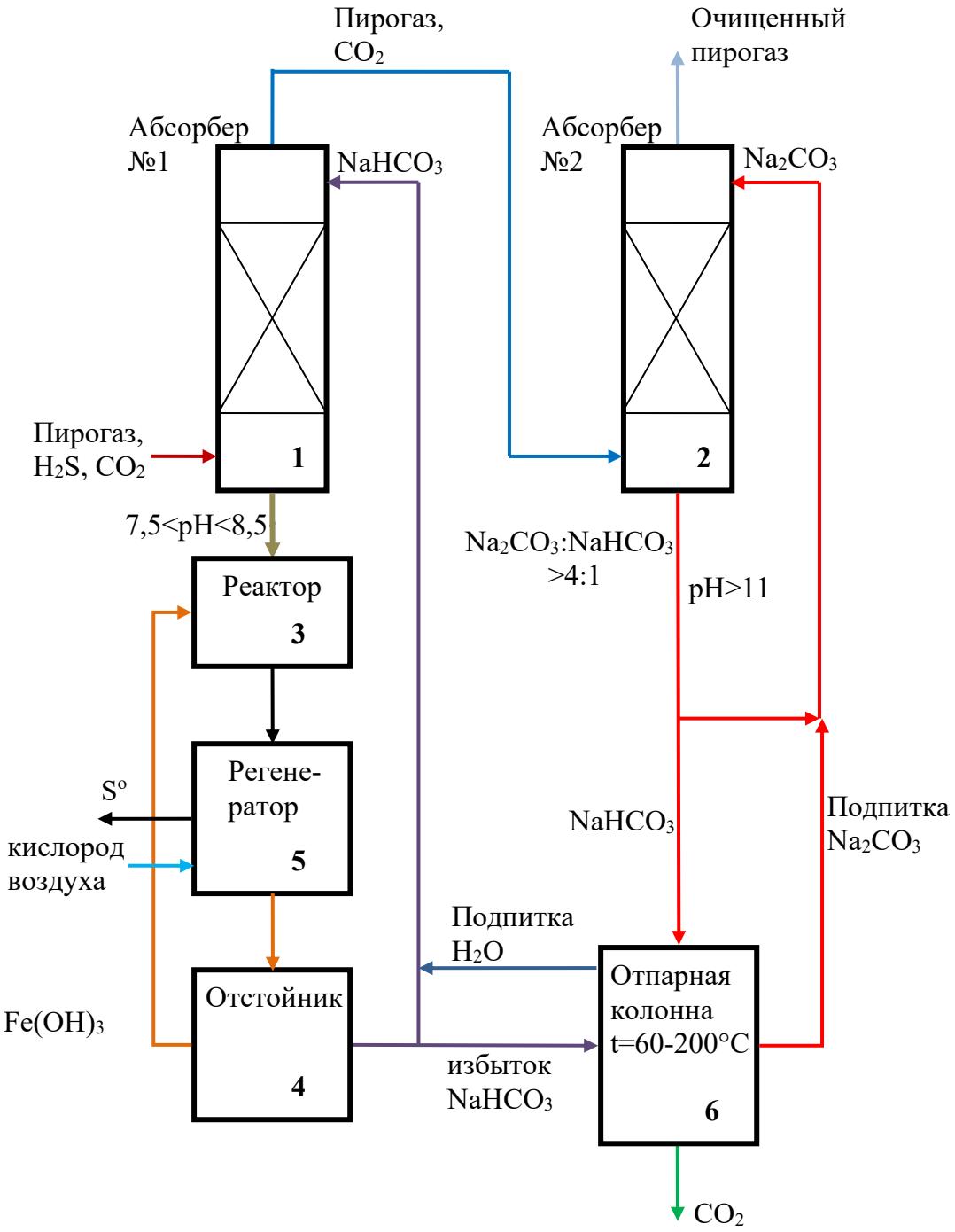


Рисунок 3. **Принципиальная схема IV удаления сульфидов методом железо-каталитического окисления с регенерацией циркулирующих гидроокиси железа, бикарбоната и карбоната натрия**

ВЫВОДЫ

Разработанные рекомендации по выбору оптимальных параметров процесса и технологических схем удаления сульфидов метода железо-каталитического окисления и утилизацией извлекаемой из воды серы в виде товарного продукта, являются новым практическим направлением совершенствования методов удаления сероводорода из концентрированных растворов (содержание ΣH_2S более 50 мг/л). Предложены и апробированы в производственных условиях новые экологически безопасные технологические схемы удаления сульфидов, внедрение которых в практику водоподготовки позволит исключить загрязнение окружающей среды выбросами H_2S и SO_2, получить очищенную воду, удовлетворяющую нормативным требованиям приема в городскую систему канализации с минимальными затратами.

На основании данных рекомендаций совместно с ООО «ПНИИВиВ» (г. Ростов-на-Дону) разработана и внедряется безотходная и экологически безопасная технология очистки высокоцентрированных сульфидных вод (сернисто-щелочных сточных вод) ООО «Томскнефтехим» (ОАО «СИБУР Холдинг»), образующихся в производстве мономеров в результате щелочной отмывки пирогаза от соединений серы и кислых газов (CO, CO_2).

ЛИТЕРАТУРА

1. Плешаков В.Д. Удаление сероводорода из артезианских вод. М., 1965. 44 с.
2. Клячко В.А., Асс Г.Ю. Левентон О.Д. Очистка от сероводорода природных и сточных вод // Водоснабжение и сан. техника. 1973. № 10. С. 29– 34.
3. Линевич С. Н. Комплексная обработка и рациональное использование сероводородсодержащих природных и сточных вод. М.: Стройиздат, 1987. 88 с.
4. Фесенко Л.Н.,. Игнатенко С.И., Черкесов А.Ю., Тамадаева М.В, Новосельцева И.В. Выбор и обоснование метода очистки высококонцентрированных сероводородосодержащих вод // Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2006»: Мат. III Межд. науч.-практ. конф., посвящ. 10-летию промышленного производства и использования оксихлоридного коагулянта «ОХА» в России, г. Кисловодск, 2–5 окт. 2006 г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ) Новочеркасск: ООО НПО «Темп», 2006. С. 60–65.
5. Черкесов А.Ю., Игнатенко С.И. Расчет доз реагентов при окислительной обработке сероводородных вод // Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2006»: Мат. III Межд. науч.-практ. конф., посвящ. 10-летию промышленного производства и использования оксихлоридного коагулянта «ОХА» в России, г. Кисловодск, 2–5 окт.

2006 г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ), Новочеркасск: ООО НПО «Темп», 2006. С. 105–107.
6. Козырев Д.П., Купцов И.Г. Удаление сероводорода из артезианских вод посредством гидрата окиси железа с последующей их регенерацией. М.: Гостоптехиздат, 1946. 28 с.
7. Петрашень В.И. Качественный химический анализ. М.-Л.: Госхим-издат, 1948. 572 с.
8. Золотова Е.Ф., Асс Г.Ю. Очистка воды от железа, марганца, фтора и сероводорода. М., Стройиздат, 1975. 176 с.
9. Агаев Г.А., Настека В.И., Сеидов З.Д. Окислительные процессы очистки сернистых природных газов и углеводородных конденсатов. М.: Недра, 1996. 301 с.
10. Гриценко А.И., Галанин И.А., Зиновьева Л.М., Мурин В.И. Очистка газов от сернистых соединений при эксплуатации газовых месторождений. М.: Недра, 1985. 270 с.
11. Фесенко Л.Н., Игнатенко С.И., Черкесов А.Ю. Применение солей железа в технологии очистки сернисто-щелочных стоков от сероводорода и серы // Водоснабжение и водоотведение: качество и эффективность: тр. IX Межд. науч.-практ. конф. / Кемеров. ин-т пищевой пром-сти, Кемерово, 2007. С. 75–77.
12. Фесенко Л.Н., Игнатенко С.И., Черкесов А.Ю. Технология очистки сернисто-щелочных сточных вод // Совершенствование систем водоснабжения и водоотведения по очистке природных и сточных вод: межвуз. сб. науч. тр. / Самарск. гос. арх.-строит. ун-т, Самара. 2008. С. 300–306.
13. Фесенко Л.Н., Игнатенко С.И., Черкесов А.Ю. Применение солей железа в технологии очистки сернисто-щелочных стоков от сероводорода и серы // Водоснабжение и водоотведение: качество и эффективность: тр. IX Межд. науч.-практ. конф. Кемеров. ин-т пищевой пром-сти, Кемерово. 2007. С. 75–77.
14. Черкесов А.Ю. Экспериментально-производственные исследования железо-каталитической технологии очистки сернисто-щелочных стоков производства мономеров // Яковлевские чтения. Сборник докладов научно-практической конференции, посвященной памяти академика РАН С.В. Яковлева, 15–16 марта 2012 г., г. Москва / Моск. гос. строит. ун-т». Москва: МГСУ, 2012. С. 152–163.

УДК 628.316.13

ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ЧАЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Е.В. Вильсон
Ростовский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Ростов-на-Дону, Россия
А.М. Лагода
ООО «АЭМ Ростов»,
г. Ростов-на-Дону, Россия

Показано, что для очистки сточных вод чайного производства целесообразно применение физико-химические методов, предусматривающие использование, как коагулянта, так и совместное применение коагулянта и флокулянта. Дозы реагентов определяются при пробном коагулировании.

Современное формирование рынка чая в России происходило в начале – середине 90-х годов. Собственное производство чая в России незначительно, более чем 90 % потребляемого в РФ чая импортируется, при этом около 20 % чая фасуется на российских фабриках. Наиболее крупные предприятия по фасовке чая это: уфимская чаеразвесочная фабрика «Теастан», московская чаеразвесочная фабрика – Торговый дом «Никитин», чаеразвесочная фабрика «Амтел» (г. Королев, Московской области), «Московский чай» (г. Видное), грязинский пищевой комбинат. Производство чая в Краснодарском крае с начала XXI в. стало возрождаться: там выращивают и производят «самый северный в мире чай». Общая производительность чаеразвесочных предприятий составляет около 60 тыс. т в год [1].

Сточные воды при фасовке чая формируются в результате смыва отхода производств – чайной пыли, замасленного и загрязненного чая и сметок чая, при этом сточные воды насыщаются содержащимися в чае дубильными веществами, которые представляют собой смесь более трех десятков полифенольных соединений и их производных, эфирными маслами, алкалоидами, пигментами, придающими окраску сточным водам. Основной спецификой сточных вод можно считать их окрашенность, которая оценивается показателем цветность и может достигать нескольких тысяч град. ПКШ. Ориентировочный состав сточных вод может быть охарактеризован следующими показателями: pH около 8,0; концентрация взвешенных веществ – 250 – 500 мг/л; цветность – 600 – 2000 град ПКШ; ХПК – 700 – 900 мгО/л; $БПК_п$ – 50 – 400 мгO_2/л; аммоний (NH_4^+) – 10,0 – 15 мг/л; азот органический – 8 – 10 мг/л; фосфаты (PO_4^3) – 2 – 5 мг/л. Количество сточных вод не велико и составляет ориентировочно 4 м^3 на 1 т произведенной продукции, что в общем годовом объеме составляет

200 – 300 тыс. м^3. Однако специфические особенности сточных вод делают невозможным их сброс в городской коллектор без предварительной очистки. Сточную воду после очистки рекомендуется использовать на предприятии повторно для мытья полов, мокрого удаления пыли и полива территории, в этом случае качество воды по показателю «цветность» не должно превышать 40 град. ПКШ.

Целью настоящих исследований являлось определение эффективности коагуляции сточных вод с высокими показателями цветности образующихся в технологических процессах чайного производства. Для лабораторных исследований использовали имитат сточных вод с цветностью 960 град ПКШ. Для коагуляции лабораторных образцов сточных вод чайного производства использовали коагулянт «АКВА-АУРАТ™18» на основе полиоксихлорида алюминия с содержанием активной части 16 – 18 % по Al_2O_3. Технические характеристики коагулянта приведены в таблице 1 [2].

Таблица 1. **Технические характеристики коагулянта «АКВА-АУРАТ™30»**

Формула продукта	$Al_n(OH)_mCI$, водный раствор
Массовая доля оксида алюминия (Al_2O_3), %	17,0 ± 0,5
Массовая доля хлора (Cl), %, не более	21,0 ± 2,0
Плотность (при 25 °С), г/см^3	1,36 ± 0,02
pH	1,0 ± 0,5
Массовая доля железа (Fe), %, не более	0,01
Массовая доля свинца (Pb), %, не более	0,001
Массовая доля кадмия (Cd), %, не более	0,001
Массовая доля мышьяка (As), %, не более	0,001

Лабораторные исследования проводили при помощи следующего оборудования и реагентов:

- флокулятор с 6 мешалками и регулировкой частоты вращения;
- стакан мерный лабораторный объемом 1000 мл (6 шт.);
- лабораторные пипетки 1000, 2000 и 5000 мкл;
- колбы стеклянные объемом 200 мл (6 шт.);
- воронки стеклянные (6 шт.)
- набор фильтров «красная лента»;
- образец коагулянта «АКВА-АУРАТ™18» (раствор 2,5 % концентрации по оксиду алюминия);
- анионный флокулянт SuperflocA110 (раствор 0,1 %).

На первом этапе исследований пробную коагуляцию проводили по стандартной методике, включающей быстрое смешение раствора коагулянта с обрабатываемой водой, перемешивание, способствующее агломерации хлопьев и отстаивание. Результаты исследований показали

неэффективность стандартного метода коагуляции в данном случае, так как уже на первой минуте перемешивания образовывались объемные хлопья, включающие большое количество воды, которые, в процессе дальнейшего перемешивания не становились более компактными, а легко разрушались, что препятствовало процессу седиментации хлопьев на стадии отстаивания. На этом этапе определение дозы коагулянта представлялось затруднительным.

В процессе анализа экспериментально исследованных режимов коагуляции предложена методика коагулирования сточных вод производства чая, которая использована для определения оптимальной дозы коагулянта. В мерные стаканы помещают модельную воду (1 л), по качественному составу идентичную сточной воде чайного производства, Ц = 960 град ПКШ; pH = 7,8; в режиме быстрого перемешивания (250 об/мин) производят ввод коагулянта и продолжают перемешивание в течение 20 с; затем оставляют пробу в покое в течение 60 мин. В отстоянной пробе определяют остаточную цветность. Так как в осветленной воде наблюдали мелкие хлопья, влияющие на величину оптической плотности анализируемой пробы, осветленную пробу перед определением цветности фильтровали через бумажный фильтр «красная лента», который задерживал дисперсную фазу, но не снижал цветности. После отбора пробы разбавляли в аликвотное количество раз, обусловленное диапазоном измерения оптической плотности прибора КФК-2. Результаты пробного коагулирования представлены в таблице 2.

Таблица 2. **Определение оптимальных доз коагулянта**

N, п/п	Коагулянт	Доза коагулянта по активной части, мг/л	Цветность, фильтрата, град ПКШ;	Эффективность очистки, %
1	Исходная проба	-	960	0,0
2	АКВА-АУРАТ™18	195	156	83,75
3		208	121	87,40
4		220	70	92,70
6		270	50	94,79
7		300	35	96,35

Для исследования кинетики снижения цветности, и определения продолжительности отстаивания, коагуляцию сточных вод проводили по предложенной методике с оптимальной дозой коагулянта – 300 мг/л (по оксиду алюминия). Для отбора проб в цилиндр с обработанной коагулянтом водой опускали и закрепляли сифон на глубине 2/3 от уровня воды в цилиндре и отбирали в течение отстаивания по 25 мл воды, отобранную пробу фильтровали для устранения мешающего влияния мутности, обусловленной мелкими хлопьями флотирующей взвеси. Считали продолжительность отстаивания достаточной, если за два

последних момента времени анализа проб цветность не изменялась. Результаты исследований представлены в таблице 3.

Таблица 3. **Изменение цветности анализируемой пробы в зависимости от продолжительности отстаивания**

Продолжительность отстаивания, t, мин	1	2	5	10	20	40
Цветность, град ПКШ	430	263	70	50	36	34

В процессе визуального анализа седиментационных характеристик проб было установлено, что образующийся коагулят имеет большой объем в результате захвата воды в процессе формирования, при этом в объеме осветленной пробы наблюдаются мелкие хлопья не зависимо от продолжительности ее отстаивания.

Дальнейшие исследования были направлены на поиск условий формирования плотного, не обводненного осадка, а также улучшения седиментационных свойств хлопьев, образующихся в процессе коагуляции. На этом этапе исследований было предусмотрено совместное использование для обработки воды коагулянта и флокулянта. Предварительные исследования позволили установить целесообразный порядок ввода реагентов в обрабатываемую воду. Пробное коагулирование в данном случае рекомендуется проводить следующим образом: в мерные стаканы поместить модельную воду (1 л); затем в режиме быстрого перемешивания (250 об/мин) произвести ввод раствора коагулянта, и продолжать перемешивание еще в течение 25 с, далее ввести раствор флокулянта и продолжать перемешивание в том же режиме еще в течение 5 с; перейти на режим медленного перемешивания (30 об/мин), который продолжать 10 мин.; оставить пробу в покое в течение 40 мин.

В процессе исследований было установлено, что хлопья, образующиеся в обработанной коагулянтом и флокулянтом воде, компактные и эффективно могут быть извлечены как в процессе седиментации так и в процессе флотации, в отличие от пробы воды, обработанной только коагулянтом. Результаты исследований представлены в таблице 4.

В результате исследований по физико-химической очистке сточных вод чайного производства на модельной воде нами были сделаны следующие выводы:

– для очистки сточных вод чайного производства целесообразно использовать физико-химические методы, предусматривающие коагуляцию сточных вод;

– разработаны методы проведения пробной коагуляции, как при использовании коагулянта, так и при совместном применении коагулянта и флокулянта;

– наиболее эффективная доза коагулянта на основе полиоксихлорида алюминия «АКВА-АУРАТ™18» без применения флокулянта составляет 300 мг/л по активной части, при использовании флокулянта (2 мг/л) эффективная доза коагулянта составляет 270 мг/л по активной части. Дозы реагентов необходимо уточнять в процессе пробного коагулирования в каждом конкретном случае, так как концентрации загрязняющих веществ в производственных сточных водах зависят от сорта чая и организации производства.

Таблица 4. **Определение оптимальных доз коагулянта и флокулянта при совместном их применении**

N, п/п	Коагулянт/ флокулянт	Доза коагулянта по активной части, мг/л	Доза флокулянта по активной части, мг/л	Цветность фильтрата, град ПКШ;	Эффективность очистки, %
1	Исходная проба	-		960	0,0
2	АКВА-АУРАТ™18 / Superfloc A110	195	2	140	85,42
3		208	2	115	88,02
		208	1	120	87,50
4		220	2	54	94,37
		220	1	68	92,92
6		270	2	42	95,62
7		300	2	35	96,35

ЛИТЕРАТУРА

1. http://www.promentex.ru/content/id144 / Рынок чая в России. Мировое производство чая.
2. promentex.ru›content/id144 / Коагулянт АКВА-АУРАТ™30, АКВА-АУРАТ™18.

УДК 628.33

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ ВЫБОР ДОЗЫ РЕАГЕНТА ПРИ ДООЧИСТКЕ БИОЛОГИЧЕСКИ ОЧИЩЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД ФИЛЬТРОВАНИЕМ В ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Н.Н. Гризодуб
Ростовский государственный строительный университет,
г. Ростов-на-Дону, Россия

Исследования показали высокую эффективность применения дискового микрофильтрования для доочистки сточных вод после вторичных отстойников.

При проектировании новых или реконструкции существующих очистных сооружений, как правило, необходимо предусматривать

доочистку, что может быть обусловлено различными целями. Например, жесткие требования к концентрации взвешенных веществ в воде предъявляются при обеззараживании очищенных сточных вод ультрафиолетовым излучением или химическим способом, либо очищенные сточные воды предполагается вторично использовать в производственных целях и народном хозяйстве. Кроме этого, содержание взвешенных веществ является одним из основных нормируемых показателей очищенной сточной воды, сбрасываемой в водоемы. В связи с этим на рынке очистного оборудования представлен широкий выбор современных технологий фильтрования. Одной из таких технологий является микрофильтрация на дисковых фильтрах, широко применяемая в мировой практике и характеризующаяся высокой производительностью, надежностью, экономичностью, а также низкой потребностью в количестве промывной воды (1 – 3 % от объема исходной воды).

В промышленных условиях на ПП «Ростовская станция аэрации» ОАО ПО «Водоканал» г. Ростова-на-Дону была отработана технология микрофильтрации на дисковых фильтрах DynaDisc® («Nordic Water Products AB», Швеция). Целью работы стало определение эффективности дискового микрофильтрования для доочистки биологически очищенных сточных вод, а также исследование возможности применения данной установки для разделения иловой смеси непосредственно после аэротенка-нитрификатора.

Фильтр DynaDisc® имеет несколько дисков, подсоединенных к барабану ротора. Каждый диск состоит из легко снимаемых фильтр-кассет, снабженных фильтрующей тканью с обеих сторон. Размер пор фильтрующего материала подбирается в зависимости от назначения фильтра и, как правило, лежит в диапазоне от 10 до 100 мкм.

Схема дискового фильтра DynaDisc® представлена на рисунке 1.

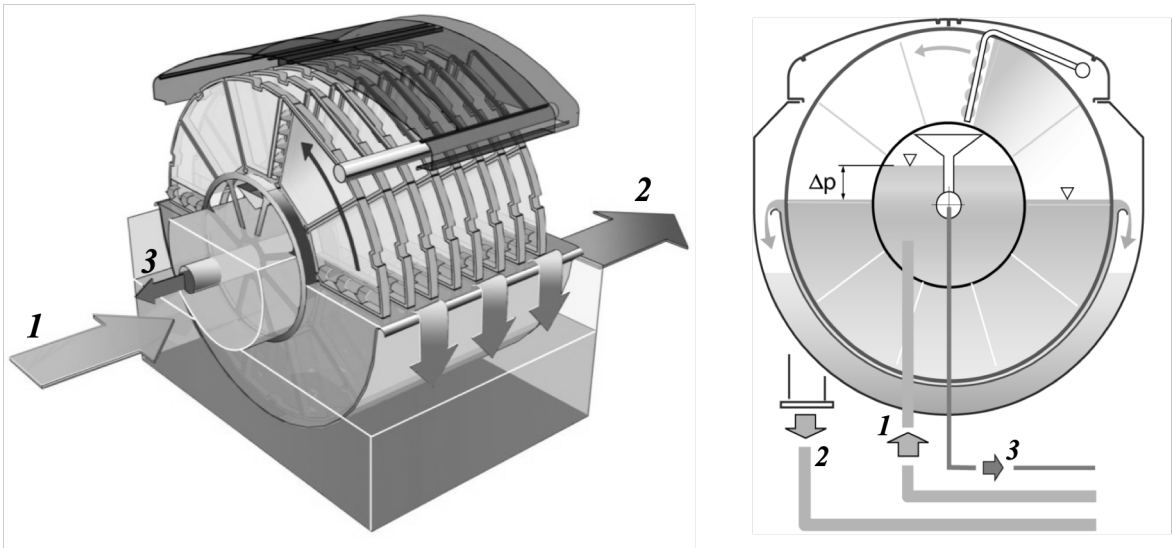


Рисунок 1. **Принципиальная схема работы дискового фильтра DynaDisc®:**
1 – исходная вода, 2 – очищенная вода, 3 – промывная вода

Исходная вода подается в ротор фильтрующего диска. Попадая в диски через отверстия в барабане ротора, вода проходит под действием силы тяжести через фильтрующие элементы дисков. Взвешенные твердые частицы отделяются и собираются на фильтрующей ткани внутри дисков.

Ротор изнутри заполняется водой приблизительно на 60 % своей высоты, снаружи диск погружен на 50 % в бак для сбора фильтрата. Разница уровней (Δ Р) является движущей силой процесса фильтрования. Когда уровень воды внутри ротора фильтра поднимается до определенной отметки, ротор начинает вращаться, и одновременно срабатывает обратная промывка фильтрующего элемента. При обратной промывке происходит удаление скопившихся твердых частиц с поверхности фильтрующего элемента в выпускной желоб, находящийся внутри фильтра, вместе с промывной водой загрязняющие вещества выводятся через выпускную трубу.

Для обратной промывки используется часть фильтрата, который подается насосом высокого давления, проходит через сетчатый фильтр с отверстиями 300 микрон в промывочную головку, и затем поступает в разбрызгивающие сопла.

Оптимальные параметры эффективной работы дискового фильтра определялись в два этапа.

Результаты первой серии испытаний показали, что применение дискового микрофильтрования позволяет значительно снизить содержание взвешенных веществ на стадии доочистки сточных вод после вторичных отстойников. Наибольшая эффективность была достигнута при использовании фильтровального элемента с размером пор 10 мкм (табл. 1).

Таблица 1. **Работа дискового фильтра при доочистке сточных вод**

Размер пор, мкм	Расход, м³/ч	Скорость фильтрования, м/ч	Содержание взвешенных веществ на входе, мг/л	Содержание взвешенных веществ в фильтрате, мг/л	Эффективность очистки, %	Работа насоса промывки фильтра, с	Пауза работы насоса промывки фильтра, с	Расход промывной воды, м³/ч	Доля промывной воды, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
20	17	6	70,5	6,3	91,1	36	634	0,04	0,24
	22,6	8	26,1	5,5	78,9	38,7	467	0,1	0,44
	28,3	10	159	3,4	97,8	44,5	160	0,2	0,71
	34	12	122	8,6	92,9	58	150	0,3	0,88
	39,6	14	45,4	7,4	83,7	81	116	0,4	1,01

Продолжение табл.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	17	6	20,5	5,9	71,2	37	575,3	0,1	0,59
	22,6	8	25,7	4,7	81,7	41	319,3	0,1	0,44
	28,3	10	25,6	4,6	82	46,5	251,5	0,2	0,71
	34	12	22,9	3,3	85,6	58	170,3	0,2	0,59
	39,6	14	17,7	7,5	57,6	94	133,7	0,4	1,00

При скорости фильтрования 8, 10, 12 м/ч содержание взвешенных веществ отвечает нормам сброса очищенных сточных вод в водоемы рыбохозяйственного значения. Доля промывной воды при оптимальном режиме работы установки на стадии доочистки не превышает 1 %.

Применительно к процессу илоразделения (иловая смесь поступала на установку непосредственно после аэротенков) технология дискового микрофильтрования при использовании мембраны с размером пор 20 мкм позволила добиться наибольшего эффекта (табл. 2).

Таблица 2. **Работа дискового фильтра при илоразделении**

Размер пор, мкм	Расход, м³/ч	Скорость фильтрования, м/ч	Содержание взвешенных веществ на входе, мг/л	Содержание взвешенных веществ в фильтрате, мг/л	Эффективность очистки, %	Работа насоса промывки фильтра, с	Пауза работы насоса промывки фильтра, с	Расход промывной воды, м³/ч	Доля промывной воды, %
20	17	6	70,5	6,3	91,1	36	634	0,04	0,24
	22,6	8	26,1	5,5	78,9	38,7	467	0,1	0,44
	28,3	10	159	3,4	97,8	44,5	160	0,2	0,71
	34	12	122	8,6	92,9	58	150	0,3	0,88
	39,6	14	45,4	7,4	83,7	81	116	0,4	1,01
10	17	6	20,5	5,9	71,2	37	575,3	0,1	0,588
	22,6	8	25,7	4,7	81,7	41	319,3	0,1	0,442
	28,3	10	25,6	4,6	82	46,5	251,5	0,2	0,707
	34	12	22,9	3,3	85,6	58	170,3	0,2	0,588
	39,6	14	17,7	7,5	57,6	94	133,7	0,4	1,010

Данные результаты свидетельствуют о том, что использование фильтров DynaDisc® для илоразделения требует доочистки фильтрата в качестве обязательного условия (например, применение фильтров DynaDisc® на втором этапе).

На основе полученных результатов была проведена вторая серия исследований, в ходе которой определялась эффективность дискового микрофильтрования с дополнительной реагентной обработкой, что позволит снизить не только концентрацию взвешенных веществ, но и фосфора [1, 2].

В ходе второго этапа испытаний был смоделирован режим работы, при котором промывная вода дискового фильтра возвращалась в «голову» сооружений (стандартная схема очистки), а также, когда промывная вода, содержащая реагент, отправлялась на вторую ступень фильтрования без возврата в начало.

По результатам первого этапа исследований для обработки сточных вод после вторичных отстойников применялся фильтровальный элемент с размером пор 10 мкм. В исследуемую сточную жидкость с расходом 34 $м^3$/ч был введен раствор сернокислого алюминия дозой 2,6 мг/л (по Al_2O_3). При отборе проб до и после введения реагента отмечено уменьшение концентрации фосфора фосфатов на 47 % (с 1,50 до 0,79 мг/л). В промывной воде до и после введения реагента также измерялось содержание фосфора, снижение – 48 % (с 1,48 до 0,75 мг/л). При режиме, когда промывная вода не возвращается в «голову» сооружений, предполагается направлять ее на вторую ступень очистки на дисковом фильтре.

Для исследования сточных вод после вторичных отстойников была применена фильтровальная ткань с размером пор 20 мкм, расход сточных вод – 8,7 $м^3$/ч. В качестве реагента применялся оксихлорид алюминия дозами 10,3 и 20,5 мг/л (по Al_2O_3).

В результате реагентной обработки при дозе 10,3 мг/л наблюдается снижение концентрации фосфора на 98 % (с 1,50 до 0,03 мг/л), притом увеличение дозы в 2 раза практически не дает результата. К положительным аспектам применения реагента также можно отнести и сокращение время промывки практически в 2 раза.

На окислительную способность были исследованы четыре типа иловых смесей (респирометрия по Варбургу): 1 – активный ил из третьего коридора аэротенка, 2 – смесь из активного ила аэротенка (далее «активный ил») и возвратного активного ила (4 : 1), 3 – активный ил и промывная вода до ввода реагента (смесь 4 : 1), 4 – активный ил и промывная вода после ввода реагента (смесь 4 : 1). Результаты представлены на рисунке 2.

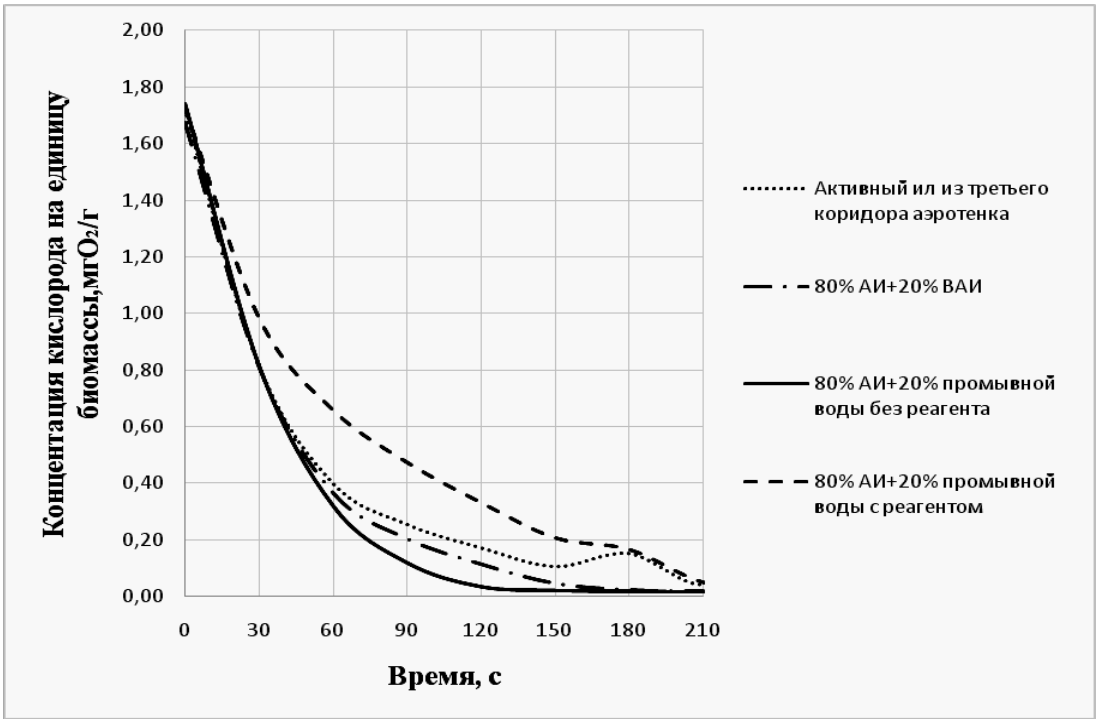


Рисунок 2. **Окислительная способность иловых смесей**

Резюмируя вышесказанное, стоит отметить, что дисковый фильтр DynaDisc® показал свою практическую применимость как на этапе доочистки биологически очищенных сточных вод, так и для илоразделения после аэротенков. Дополнительная реагентная обработка, помимо снижения содержания взвешенных веществ, помогает уменьшить и концентрацию фосфора до норм сброса сточных вод в водоемы рыбохозяйственного значения. Этот факт позволяет исключить из схемы очистки вторичные отстойники, заменив их дисковыми фильтрами, имеющими значительно меньшие габариты. Кроме того, фильтры выступают в роли сгустителей, доза ила в промывной воде – 45 г/л, что по сравнению с традиционным осветлением во вторичных отстойниках дает возможность в несколько раз уменьшить физический объем (расход) возвратного и избыточного ила. При обработке реагентом промывную воду рекомендуется отправлять не в «голову» сооружений, а подвергать очистке на второй ступени фильтрования на дисковых фильтрах. Это позволит избежать нежелательного аккумулирования ионов металлов в аэротенке и угнетения активного ила. Однако эти положения требуют дальнейшей экспериментальной проработки в промышленных условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Серпокрылов Н.С., Вильсон Е.В., Гетманцев С.В., Марочкин А.А. Экология очистки сточных вод физико-химическими методами. М.: АСВ, 2009. 264 с.
2. Гетманцев С.В., Нечаев И.А, Гандурина Л.В. Очистка промышленных сточных вод коагулянтами и флокулянтами. М.: АСВ, 2008. 272 с.

УДК 628.33

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ОЧИСТКИ ХИМИЧЕСКИ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД УГЛЕВАНИЕМ

Е.В. Яковлева, А.В. Никифорова, Г.С. Хачатурян, Е.В. Самсонова
Ростовский государственный строительный университет,
г. Ростов-на-Дону, Россия

Показано, что для очистки химически загрязненных сточных вод возможно использовать углеродсодержащие отходы электродного завода и термически обработанного антрацита. Даны рекомендации для внедрения предлагаемых материалов на очистных сооружениях.

Утилизация отходов является одной из важных проблем промышленных производств. Из множества потенциальных вариантов утилизации представляет интерес возможность применения отходов производств в качестве реагентов для очистки сточных вод. В данной статье представлены результаты экспериментальных исследований очистки производственных сточных вод с применением углеродсодержащего отхода (УСО) электродного завода ООО «НЗСЭ» (г. Новочеркасск) и термически обработанного антрацита обогатительной фабрики шахты «Обуховская» ООО «Флагман», (г. Гуково).

УСО, далее – «шихта», является неотъемлемой частью техпроцесса в ОАО «Новочеркасский электродный завод » – крупнейшего предприятия в России по выпуску графитированных электродов.

Термически обработанный антрацит, далее «уголь», является отходом производства углеродосодержащего материала, который применяется в сталеплавильных агрегатах и помола цемента, в топливной составляющей.

«Уголь» обладает следующими технические характеристиками: иодное число – 76 мг/г; адсорбционная активность по метиленовому голубому – 22 мг/г. Соответственно, «шихты»: 88 мг/мг и 22 мг/г.

В лабораторных условиях были проведены опыты по доочистке после реагентной обработки химически загрязненных сточных вод с использованием углеродсодержащих отходов промышленности.

Исследования проводили в два этапа. Первый представлял собой фильтрование сточных вод через фильтрующую загрузку из «угля» и «шихты» (фракции 1,2 – 2,5 мм).

Ход проведения эксперимента состоял в следующем:

а) промывка «угля» и «шихты» проточной водопроводной водой;

б) загрузка двух моделей фильтров объемом 150 $см^3$ «шихтой» и «углем», соответственно;

в) пропуск химически загрязненных сточных вод объемом 800 мл

через каждый фильтр со скоростью 6,5 м/ч;

г) отбор проб на анализ через 5 и 35 мин фильтрования.

На втором этапе моделировали углевание сточных вод с использованием сорбентов «уголь» и «шихта» фракциями 0,1 – 0,3 мм:

а) в две мерные емкости объемом 1 л каждая с химически загрязненными сточными водами, отобранными из распределительной камеры отстойников, внесено по 2 г «угля» и «шихты» соответственно;

б) перемешивание химически загрязненных сточных вод с сорбентами в течение 3 мин;

в) отстаивание полученных смесей в течение 30 мин;

г) отбор проб на анализ.

По результатам проведенных исследований можно утверждать, что лучшей способностью очистки химически загрязненных сточных вод обладает сорбент «уголь». Эффективность удаления Zn при использовании его составила 60 % от исходной концентрации, а у «шихты» – 25 %. По остальным сравнительным параметрам оба реагента показали приблизительно одинаковые результаты.

Результаты лабораторных исследований данных материалов и получение положительных результатов стали обоснованием для проведения промышленного эксперимента по доочистке химически загрязненных сточных вод завода ООО «Ростсельмаш».

Методика проведения эксперимента.

I часть.

Дозируемый сорбент – «уголь», массой 750 кг.

Расход химически загрязненных сточных вод Q = 110 $м^3$/ч. Доза «угля» – 500 г/$м^3$. Количество «угля», дозируемого в час (110 $м^3$/ч ·500 г/$м^3$) 55 кг/ч. Общее время дозирования реагента: 750 кг/55 кг/ч = 14 ч. Следовательно, продолжительность проведения эксперимента составила 14 ч.

Этап 1. Длительность 7 часов.

1. Перед проведением эксперимента проведена откачка имеющегося в отстойниках шлама, накопленного в обычном режиме очистки.

1. Приготовление рабочего раствора «угля» осуществлялось в баках объемом V = 8 $м^3$, диаметром D = 2 м, ранее предназначавшихся для известкового молока. Перемешивание осуществлялось механическими мешалками. Дозирование приготовленного раствора осуществлялось «по стеклу» q = 1 $м^3$/ч в реакторы, в которых установлены насосы смешения.

2. Дозирование «ПАА» осуществлялось в трубопровод подачи сточных вод после реакторов в распределительную камеру отстойников. Длина пути смешения сточных вод с реагентом L = 24 м (диаметр трубы d = 300 мм).

3. В ходе проведения опыта, в зависимости от качества полученной на выходе осветленной воды и времени отстаивания (объем отстойника

V = 334 м^3), определялся режим отбора проб (разовые/средние). Пробы отбирались в лотке осветленной воды, и проводились анализы на взвешенные вещества, нефтепродукты, металлы (Fe, Zn, Al^{3+}).

4. После проведения 1 этапа опытов отбирался накопленный шлам и вместе со шламом, полученным в результате первичной очистки отстойника, отправлялся на механическое обезвоживание.

5. Для полученного кека определялись зольность и влажность, сравнивались пробы по данным параметрам.

Этап 2. Длительность 7 часов, результаты представлены в таблице 1.

1. После проведения первого этапа эксперимента проводилась откачка образовавшегося в отстойниках шлама.

2. Далее, также как и в ходе первого этапа, осуществлялось приготовление раствора «угля», и происходило дозирование приготовленного раствора в реакторы. Второй этап проводился без добавления реагента «ПАА». Аналогично первому этапу отбирались пробы осветленной воды и проводились анализы на взвешенные вещества, нефтепродукты, металлы (Fe, Zn, Al^{3+}).

3. После проведения 2 этапа опытов отбирался накопленный шлам, который отправлялся на механическое обезвоживание.

4. Для полученного кека определялись зольность и влажность, сравнивались пробы по данным параметрам.

Таблица 1. **Результаты промышленного эксперимента по доочистке химически загрязненных СВ с использованием реагента «уголь»**

Определяемые показатели	«Уголь» (0,1-0,3 мм)									ПДК
	Исх. СВ	отбор проб из отстойника для определения характера осаждения «угля»				перелив. лоток. («уголь»+ ПАА)		перелив. лоток («уголь»)		
	11:25	10:15	11:15	12:15	13:15	13:00	Эф-ть, %	14:15	Эф-ть, %	
pH	9,18					8,78		8,68		6,5-8,5
Температура	14 °С					-		14 °С		
Взвешенные вещества, мг/л	176,0	180,9	196,2	185,1	152,5	196,0	-10,2	165,0	6,2	71
Нефтепродукты, мг/л	12,60					8,02	36	5,92	53	0,2
Железо, мг/л	1,65					0,79	52	0,83	50	0,9
Цинк, мг/л	0,10					0,10	0	0,10	0	0,1
Алюминий, мг/л	0,44					0,39	11	0,39	11	0,2
Медь, мг/л	0,008					0,008	0	0,008	0	0,01

II часть.

Дозируемый реагент – «шихта», массой 750 кг.

Расход сточных вод, доза «шихты», количество «шихты», дозируемой в час, общее время дозирования реагента и продолжительность проведения эксперимента аналогично части I.

Эксперименты проводились в следующей последовательности.

1. Проводилась откачка имеющегося в отстойниках шлама, накопленного в ходе проведения первой части опыта.

2. Далее по аналогии с первой частью проводился эксперимент в два этапа.

3. Также в ходе проведения первого и второго этапов отбирались пробы осветленной воды, и проводились анализы на взвешенные вещества, нефтепродукты, металлы (Fe, Zn, Al^{3+}), отбирался накопленный шлам и отправлялся на механическое обезвоживание. Для полученного кека определялись зольность и влажность, сравнивались пробы по данным параметрам.

4. В ходе проведения второй части промышленного эксперимента были получены следующие результаты (табл. 2).

Таблица 2. **Результаты промышленного эксперимента по доочистке химически загрязненных СВ с использованием реагента «шихта»**

Определяемые показатели	Шихта (0,1–0,3 мм)									ПДК
	Исх. СВ	отбор проб из отстойника для определения характера осаждения «шихты»				перелив. лоток. («шихта» + ПАА)		перелив. лоток («шихта»)		
	10:20	11:15	12:15	13:15	14:45	15:00	Эф-ть, %	16:00	Эф-ть, %	
pH	8,55									6,5–8,5
Температура	16									
Взвешенные вещества, мг/л	60,0	125,0	143,0	186,0	161,5	74,00	-19	88,00	-32	71
Нефтепродукты, мг/л	8,38					8,05	4	7,25	13	0,2
Железо, мг/л	1,90					0,95	50	1,25	34	0,9
Цинк, мг/л	0,10					0,10	0	0,10	0	0,1
Алюминий, мг/л	0,36					0,27	25	0,29	28	0,2
Медь, мг/л	0,008					0,008	0	0,008	0	0,01

Вывод: в ходе опытно-промышленного эксперимента было установлено, что наилучшая очистка химически загрязненных сточных вод достигается при использовании реагента «уголь», чем при использовании реагента «шихта». Эффективность удаления нефтепродуктов реагентом «уголь» составила 36 %, железа – 52 %.

По окончании проведения промышленного эксперимента по доочистке сточных вод с применением отходов производства «шихты» и углеграфитов был проведен опыт по определению адсорбционной емкости отработанных шламов, извлеченных из отстойника (табл. 3).

Ход эксперимента:

1. В 1 л цилиндр вносили 100 мл шлама с доведением объема до одного литра исходной водой (химически загрязненными сточными водами).

2. Перемешивание данной пробы проводили в течение 5 мин.

3. Отстаивание в течение 15 мин.

Таблица 3. **Результаты исследований адсорбционной емкости отработанных шламов**

Определяемые показатели	Исходные химически загрязненные СВ	«УГОЛЬ»		«ШИХТА»	
	п. 4/1	мг/л	эффективность, %	мг/л	эффективность, %
Нефтепродукты	15,62	16,19	-3,63	15,08	3,44
Железо	4,65	4,47	3,94	2,75	40,86
Цинк	0,20	0,22	-11,67	0,18	8,33
Алюминий	0,29	0,28	2,30	0,01	97,36
Медь	0,013	0,010	20,51	0,011	15,38

ВЫВОД

В ходе проведенного опыта удалось определить, что наибольшей адсорбционной емкостью обладает шлам реагента «шихта» по сравнению со шламом реагента «уголь».

По результатам проведенных исследований даны рекомендации локальным очистным сооружениям на реновацию технологической схемы очистки ПСВ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Моктар Адам Али, Михайлов В.А., Гризодуб Н.Н., Серпокрылов Н.С. Исследование процесса физико-химической очистки городских сточных вод г. Буабриан, Канада // Водоснабжение и канализация. 2013. № 3–4.

2. Серпокрылов Н.С., Вильсон Е.В., Гетманцев С.В., Марочкин А.А. Экология очистки сточных вод физико-химическими методами. Изд-во АСВ, 2009. 264 с.
3. Кичигин В.И. Моделирование процессов очистки воды. Учебн. пособие для вузов по спец. «Водоснабжение и водоотведение». Доп. МО РФ. М.: Изд-во АСВ, 2003. 230 с.

УДК 628.733

ПРАКТИКА ИНТЕНСИФИКАЦИИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД ПТИЦЕКОМПЛЕКСОВ

Л.Г. Спиридонова
Ростовский государственный строительный университет,
г. Ростов-на-Дону, Россия

Экспериментально показано, что наиболее эффективным коагулянтом для очистки производственных сточных вод птицефабрик является хлорное железо, которым рекомендуется заменить применяемое на локальных очистных сооружениях сернокислое железо. Это повышает эффективность очистки сточной воды и снижает затраты на технологию.

Исследования, проводимые на очистных сооружениях птицефабрик Юга России, и практика эксплуатации показали, что существует ряд проблем, которые в большинстве своем встречаются на каждом предприятии, и оптимизация которых позволит повысить эффективность очистки сточных вод и снизить эксплуатационные затраты.

Качество сточных вод птицефабрик во многом зависит от технологии переработки мяса птицы. В случае организации безотходного производства перо и кровь, образующиеся при потрошении птиц, собираются и перерабатываются в мясокостную, кровяную и гидролизную муку, что определяет качественные характеристики сточной воды [1].

В таблице приведены сравнительные показатели качества сточных вод птицефабрики, на которой организовано безотходное производство и птицефабрики, где кровь сливается в систему канализации.

Как следует из анализа данных таблицы, изъятие большей части крови из сточных вод ведет к меньшей нагрузке на последующие сооружения очистки по загрязняющим веществам.

В случае организации «небезотходного» производства кровь рекомендуется не сливать в систему канализации и утилизировать как отдельный вид отхода.

На качество сточных вод, поступающих на очистные сооружения, оказывает влияние состояние канализационных сетей и сооружений на них.

Таблица. **Сравнительные показатели качества сточных вод птицефабрик**

N п/п	Показатель	Безотходное производство	Производство, в котором кровь отводится в систему канализации
1	Взвешенные вещества, мг/л	130–2800/1643,3	1490–1953/1721,5
2	Сухой остаток, мг/л	570–1500/996,7	не проводились измерения
3	Фосфаты, мг/л	1,8–23/13,3	не проводились измерения
4	Ион аммония, мг/л	53–60/55,7	3,27–52,67/27,97
5	Нитраты, мг/л	0,1–1,5/0,57	не проводились измерения
6	Нитриты. мг/л	0,02–0,3/0,11	не проводились измерения
7	БПКп, мг/л	320–1880/1166,7	2345–2800/2572,5
8	ХПК. мг/л	490–4700/2796,7	3923–6153,6/5038,3
9	pH-	6,7–7,7/7,2	6,5–7,5/7,0
10	Железо, мг/л	0,67–23/8,36	0,5–28,54/14,52
11	Нефтепродукты. мг/л	0,27–1,8/1,26	не проводились измерения
12	Жиры, мг/л	10–52/33	600–756/678

Примечание: в таблице до знака «/» указаны минимальное и максимальное значение, после – среднее.

Основная технология физико-химической очистки сточных вод птицефабрик не позволяет снизить содержание веществ группы азота, поэтому основное внимание следует уделить тому, чтобы минимизировать их образование в результате гниения органических веществ.

Гниение органических веществ может происходить в трубах канализации, в колодцах, в усреднителе, в самом напорном флотаторе.

В сетях канализации должны быть обеспечены незаиливающие скорости движения сточной воды. Необходимо периодически производить прочистки сетей и колодцев от осевших загрязнений.

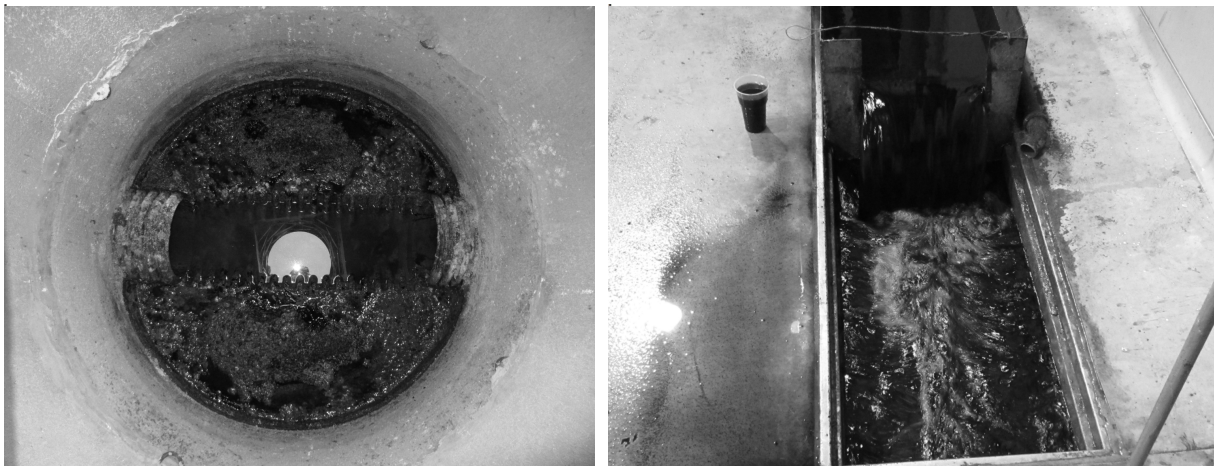
Не следует завышать объем усреднителя, поскольку это создает благоприятные условия для процессов разложения органических веществ. В усреднителе необходимо организовать перемешивание сточной воды по всему объему сооружения для исключения образования застойных зон.

В уже существующем усреднителе при наличии в нем застойных зон рекомендуется в этих зонах организовать подачу воздуха, что предотвратит процессы гниения.

Образование азота аммонийного во флотаторе может происходить из-

за несвоевременного удаления осадка из его конусов, а также в случае его периодической работы. При двухсменной работе предприятия, флотатор останавливается на ночь, что и приводит к застаиванию воды в нем. Учитывая это, необходимо планово производить опорожнение флотатора и промывку его стенок или обеспечить непрерывную работу сооружения.

Примеры неправильной эксплуатации сетей и сооружений приведены на рисунке 1.



а) б)

Рисунок 1. **Примеры неправильной эксплуатации сетей и сооружений:**
а – процессы гниения в колодце перед усреднителем;
б – вода при опорожнении флотатора

Недопустимо также возвращать осадок из флотатора в усреднитель, необходимо отводить его на сооружения для совместного обезвоживания с флотационной пеной.

В качестве реагентов при физико-химической очистке сточных вод птицефабрик применяют хлорное железо $FeCl_3$, сернокислое железо $Fe_2(SO_4)_3$; корректировку водородного показателя сточной воды производят с помощью щелочи, для ускорения хлопьеобразования используют флокулянты анионного типа [2].

Рабочие дозы хлорного или сернокислого железа достигают 150 – 450 мг/дм^3, доза флокулянта – 6 – 10 мг/дм^3. Щелочь вводят для поддержания pH сточной воды на уровне 6,5 – 7,5.

Общепринятый порядок ввода реагентов следующий: сернокислое или хлорное железо, затем щелочь для корректировки pH и далее – флокулянт.

В результате исследований было выявлено, что изменение порядка ввода реагентов позволит повысить эффективность очистки производственных сточных вод птицефабрик.

Изменение порядка ввода заключается в том, чтобы щелочь дозировать после флотатора в трубопровод очищенной воды для поддержания значения pH на требуемом уровне.

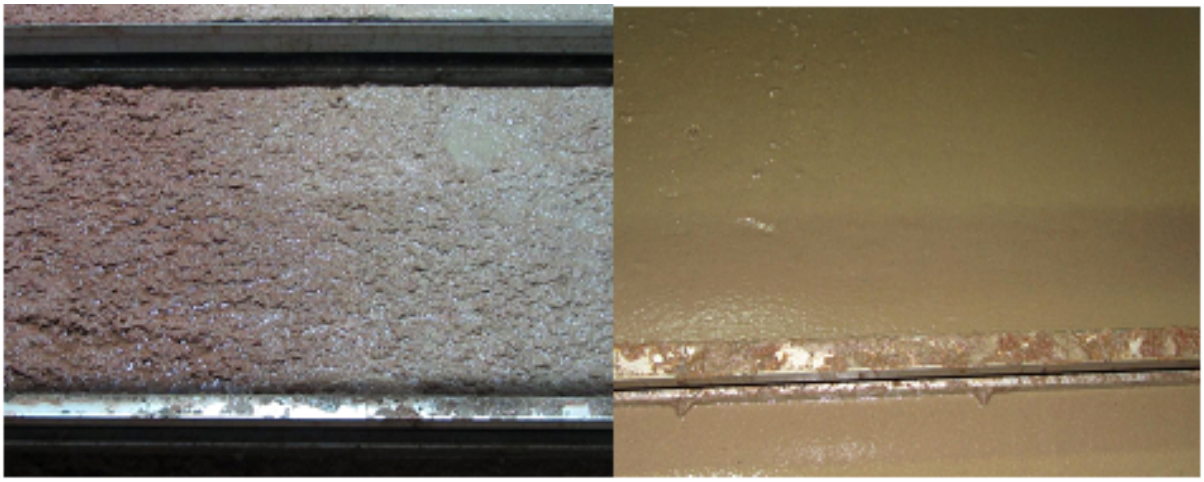
Введение коагулянта (сернокислого или хлорного железа) снижает pH

очищаемой воды до 3,5 – 5,5. Согласно справочным данным в диапазоне pH 4,0 – 5,5 находится изоэлектрическая точка большинства белковых соединений, основных загрязняющих веществ в сточных водах птицефабрик. В изоэлектрическом состоянии растворимость белков обычно снижена, поскольку отсутствует электростатическое отталкивание между молекулами, и они склонны образовывать многомолекулярные агрегаты, не способные удерживаться в растворе [3].

Применение щелочи сразу после введения коагулянта приводит к ухудшению процесса извлечения белков из-за повышения значения pH.

В практических условиях (очистные сооружения убойного цеха бройлеров) исключение дозирования щелочи после коагулянта позволило повысить эффективность очистки сточных вод от органических соединений с 71,4 % до 80,4 % (сравнивались показатели ХПК при общепринятом порядке ввода реагентов и при дозировании щелочи после флотатора).

При этом, несмотря на повышение эффективности очистки, при использовании на предприятии в качестве коагулянта сернокислого железа порядок ввода реагентов рекомендуется оставить без изменений, поскольку было выявлено увеличение обводненности флотационной пены и ее текучести, что говорит о невозможности промышленного применения данного режима, несмотря на удовлетворительное качество очищенной воды.



а б

Рисунок 2. **Вид флотационной пены:**
а – при дозировании хлорного железа без последующего введения щелочи;
б – при дозировании сернокислого железа без последующего введения щелочи

На основании сказанного выше следует, что наиболее эффективным коагулянтом для очистки производственных сточных вод птицефабрик является хлорное железо ($FeCl_3$). Кроме того, в хлорном железе содержание иона Fe^{3+} составляет 56 г/моль, в то время как в сернокислом железе – 112 г/моль, поэтому при применении хлорного железа в сточную воду переходит меньше ионов железа, чем при использовании железа сернокислого.

На локальных очистных сооружениях птицефабрик рекомендуется заменить применяемое сернокислое железо на хлорное железо. Использование хлорного железа вместо сернокислого позволит повысить эффективность очистки сточной воды. Дозирование гидроксида натрия для корректировки значения pH сточной воды при применении хлорного железа следует производить в очищенную воду.

ЛИТЕРАТУРА

1. Птицефабрики России: [Электронный ресурс] // Wiki-prom.ru – энциклопедия современной промышленности России. Режим доступа: http://www.wiki-prom.ru/75otrasl.html (дата обращения 21.11.2013 г.).
2. Меншутин Ю.А., Потанина В.А., Керин А.С., Богатеев И.А., Фомичева Е.В., Сахно А.П., Керин К.А. Модернизация технологии очистки жиросодержащих сточных вод и образующегося осадка предприятия по переработке мяса птиц // Материалы 11-го Международного конгресса «Вода: экология и технология» «ЭКВАТЭК-2011» [электронный ресурс]. М.: ЗАО «Фирма СИБИКО Интернэшнл», 2011. 1 эл. опт. диск (CD- ROM).
3. Степанов В.М. и др. Молекулярная биология. Структура и функции белков / Под ред. А.С. Спирина. М.: Высш. Шк

УДК 628.316.12

РЕАГЕНТНЫЙ МЕТОД ОЧИСТКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЙ ВЫДЕЛКИ МЕХА

С.Ю. Теплых, Е.Г. Носова
Самарский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Самара, Россия

Показана возможность достижения высокой степени очистки сточной воды от хромовых соединений при использовании коагулянтов – хлористых бария и магния.

По оценкам Всемирной организации здравоохранения 80 % заболеваний в мире вызваны низким качеством и антисанитарным состоянием воды.

Ежегодно в водные источники попадают тысячи химических веществ с непредсказуемым действием на окружающую среду, сотни из которых представляют собой новые химические соединения.

В воде могут быть обнаружены повышенные концентрации токсичных ионов тяжелых металлов (например: кадмия, ртути, свинца, хрома), пестициды, нитраты и фосфаты, нефтепродукты, поверхностно-активные вещества.

Определенный вклад в повышение концентрации некоторых показателей в водоеме вносят стоки промышленных предприятий.

Ежегодно при обработке кожевенного и мехового сырья на предприятиях выделки меха образуется огромное количество стоков, основными показателями качества сточных вод данных предприятий являются примеси сырья и отходы применяемых химических веществ, красителей и отделочных материалов. Такие как: формальдегид, сульфаты, СПАВ, аминокислоты, жиры, взвешенные вещества, хлориды, хром и другие.

Особую опасность представляют концентрированные растворы от процессов золения, пикелевания и хромирования, от клееварочных и шерстомойных цехов, а также стоки от непроточной отмоки.

Сточные воды на предприятиях выделки меха образуются в результате следующих операций: отмока, мездрение, пикелевание, дубление и крашение.

Наиболее негативно влияющими на окружающую среду и организм человека являются стоки с содержанием ионов тяжелых металлов, на предприятиях выделки меха – это стоки с содержанием хрома. Хром относится к высоко токсичным веществам, обладает мутагенным и канцерогенным воздействием на организм человека. Поэтому очистка воды от хрома – это одно из главных мероприятий по очистке, наряду с обезжелезиванием, деманганацией, очисткой воды от хлора, аммиака, нитратов и прочих.

Очистка воды от хрома необходима, в первую очередь, потому, что избыток этого вещества оказывает пагубное влияние на здоровье человека, как собственно и избыток соли, во-вторых – для возможности последующей биологической очистки, в-третьих – для получения вторичного продукта.

В связи с вышесказанным возрастают требования к очистке сточных вод, сбрасываемых в водные объекты, а, следовательно, появляется необходимость устройства сооружений по очистке и глубокой доочистке сточных вод на предприятиях меховой промышленности

До настоящего момента для удаления трёх- и шестивалентного хрома, в основном применяют химические и физико-химические методы, такие как: коагулирование, взаимная нейтрализация, реагентная обработка, ионообменный метод.

Изучив возможные методы очистки сточных вод мехового производства, предпочтение следует отдавать тем, где используется комплексная очистка сточных вод, а также реагентному методу, который позволяет эффективно очищать сточные воды.

С целью достижения высокой степени осаждения хрома из стоков меховых производств, было принято решение о проведение экспериментов на модельном растворе. Модельный раствор приготавливался с помощью

хромового ангидрида, концентрация хрома в нем составляла 1800 мг/л. Модельный раствор окрасился в оранжевый цвет, что свидетельствует об образовании дихромовой кислоты ($H_2Cr_2O_7$).

В качестве коагулянта использовались хлористый магний ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$) и хлористый барий ($BaCl_2 \cdot 2H_2O$).

Были проведены исследования по методу однофакторного анализа. Все данные в таблицах представлены по сухому веществу в г/л.

Таблица 1. **Результаты эксперимента № 1**

№ п/п	Коагулянт, г/л	Концентрация хрома в очищенной воде C_{Cr}, мг/л	Эффект очистки, %.
$MgCl_2 \cdot 6H_2O$			
1	4	590	67,2
2	6	470	73,8
3	8	450	75
4	10	440	75,5
5	12	420	76,6
$BaCl_2 \cdot 2H_2O$			
1	0,5	220	89
2	1	220	89
3	5	120	94
4	10	32	98,4
5	15	92	95,4
6	20	42	72,9

Первым этапом исследований очистки модельного раствора от инонов хрома является добавление реагентов-коагулянтов, при этом предварительного подщелачивания модельного раствора сточных вод не производилось. Дозу коагулянтов варьировали в интервале от 0,5 – 20 г/л (по безводному чистому продукту). По результатам исследований были построены графики зависимостей и подсчитаны эффекты очистки.

Так как в первой серии экспериментов полного удаления ионов хрома не было достигнуто, то дальнейшие исследования проводились с дополнительным подщелачиваем. Для подщелачивания использовались гидрокарбонат натрия ($NaHCO_3$) и оксид кальция (CaO).

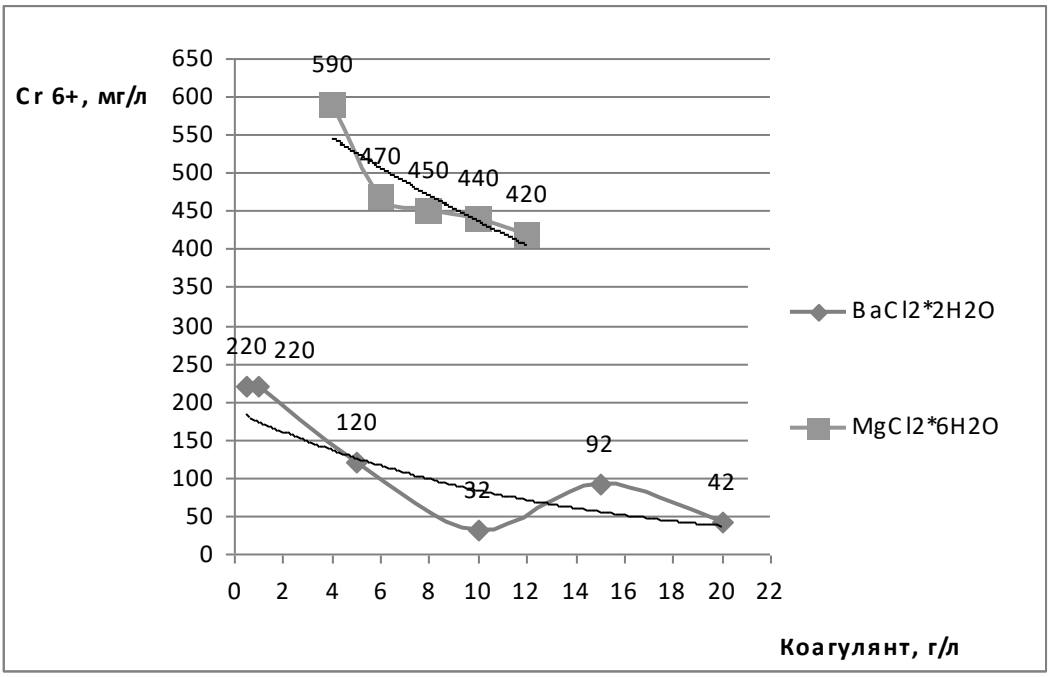


Рисунок 1. **Результаты эксперимента № 1**

Вторым и третьим этапами очистки являлись исследования при дополнительном подщелачивании очищаемой жидкости гидрокарбонатом натрия и оксидом кальция, реагенты для коагуляции использовались те же. По результатам, также были построены графики зависимостей и подсчитаны эффекты очистки.

Таблица 2. **Результаты эксперимента № 2**

№ п/п	Коагулянт, г/л	$NaHCO_3$, г/л	Концентрация хрома в очищенной воде C_{Cr}, мг/л	Эффект очистки, %
$MgCl_2 \cdot 6H_2O$				
1	0,5	10	560	68,89
2	2	10	460	74,44
3	5	10	350	80,55
4	10	10	320	82,22
5	15	10	345	80,83
6	20	10	296	83,55
$BaCl_2 \cdot 2H_2O$				
1	6	10	0,03	99,99
2	7	10	0,02	99,99
3	8	10	0	100
4	9	10	0	100
5	10	10	0	100

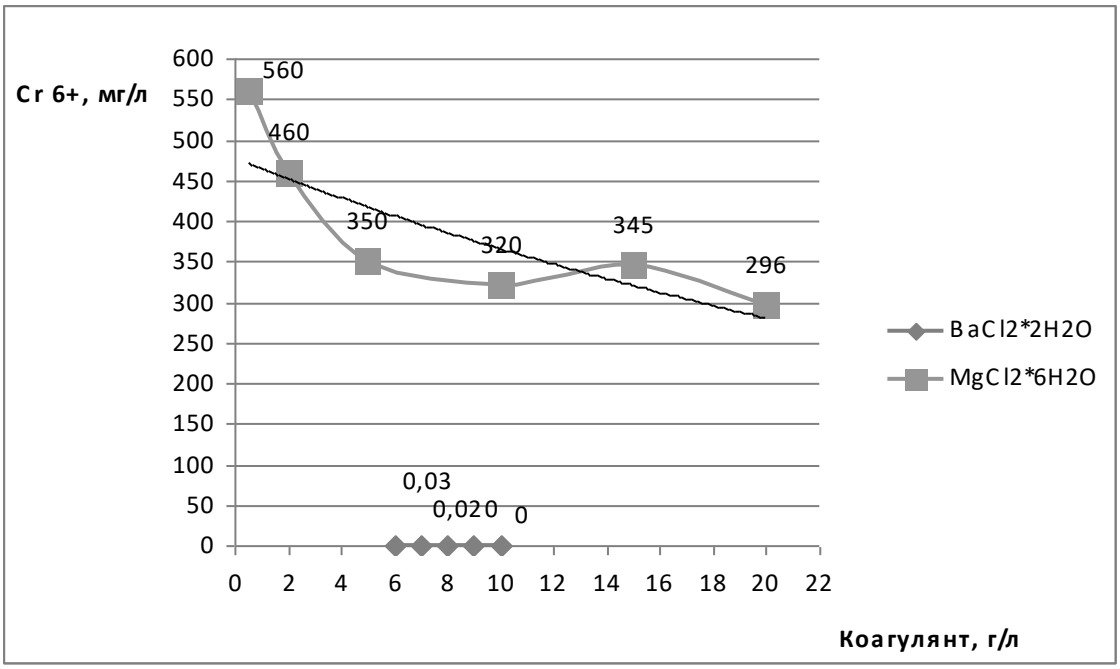


Рисунок 2. **Результаты эксперимента № 2**

Таблица 3.- **Результаты эксперимента № 3**

№, п/п	Коагулянт, г/л	CaO, г/л	Концентрация хрома в очищенной воде C_{Cr}, мг/л	Эффект очистки, %
$MgCl_2 \cdot 6H_2O$				
1	4	5	300	83,3
2	6	5	270	85,0
3	8	5	270	85,0
4	10	5	255	85,8
5	12	5	240	86,6
$BaCl_2 \cdot 2H_2O$				
1	1	5	97,0	94,61
2	2	5	67,0	96,27
3	3	5	68,0	96,14
4	4	5	29,0	98,38
5	5	5	11,6	99,35
6	6	5	0,53	99,97
7	7	5	0,04	99,99

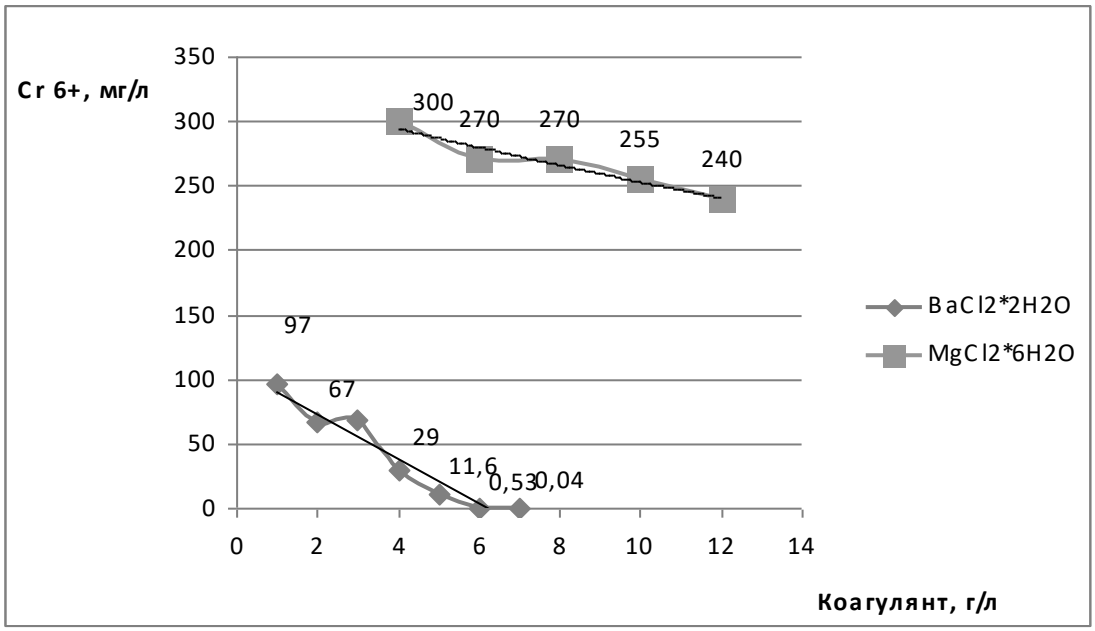


Рисунок 3. **Результаты эксперимента № 3**

ВЫВОДЫ

1. Серии опытов при введении хлорида магния 2-водного до концентрации 20 г, привели к необходимому эффекту очистки. Максимальный эффект очистки составил 86,6 %, этот результат был достигнут при подщелачивания модельного раствора негашеной известью.

2. Серии опытов при введении хлорида бария 6-водного до концентрации 20 г привели к необходимому эффекту очистки. Максимальный эффект очистки составил 100 %, этот результат был достигнут при подщелачивании модельного раствора гидрокарбонатом натрия и оксидом кальция.

УДК 628.386

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПОГЛОТИТЕЛЬНЫХ СВОЙСТВ СЕРНИСТО-ЩЕЛОЧНОГО РАСТВОРА

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

Представлены результаты исследований по регенерации промывных сточных вод очистки пирогаза.

Работа ряда предприятий нефтехимической промышленности связана с процессами пиролиза. Последующая очистка газов пиролиза производится, как правило, щелочным способом. Данный способ включает

абсорбцию из пиролизных газов сероводорода и углекислого газа водным раствором гидроксида натрия в промывной колонне. В результате промывки образуется сернисто-щелочной сток. Химизм процесса протекает по следующим уравнениям:

$$2NaOH + H_2S \rightarrow Na_2S + 2H_2O;$$
$$2NaOH + CO_2 \rightarrow Na_2CO_3 + H_2O.$$

После стадии окисления сульфидов, которые являются наиболее токсичным компонентом, основным препятствием для сброса сернисто-щелочных сточных вод в систему коммунального водоотведения является высокая минерализация, представленная катионами натрия Na^+, анионами карбонатов CO_3^{2-} и гидрокарбонатов HCO_3^-.

В тоже время известен известковый метод получения каустической соды декарбонизацией содового раствора:

$$Na_2CO_3 + CaO + H_2O \rightarrow CaCO_3 \downarrow + 2NaOH$$

Осуществлению известкового метода регенерации щёлочи непосредственно после стадии извлечения сульфидов препятствует высокое содержание гидрокарбонатов. Для перевода гидрокарбонатов в карбонаты рассматривается наиболее оптимальный способ температурного воздействия:

$$2NaHCO_3 \xrightarrow{t} Na_2CO_3 + CO_2 + H_2O$$

Реализация данного метода позволит восстановить щёлочность сернисто-щелочных сточных вод и довести их качество до качества поглотительного раствора, направляемого в колонну промывки пирогаза. Одновременно исключается необходимость сброса сернисто-щелочных сточных вод в систему коммунального водоотведения.

Задачей исследований являлось определение полноты термической декарбонизации раствора гидрокарбоната натрия, оптимальной дозы извести для каустификации рабочего раствора, достигаемой степени каустификации.

Экспериментальные исследования проводили на модельной сточной воде, которая представляла собой 10 % раствор гидрокарбоната натрия. Исследования проходили в два этапа: термическая декарбонизация раствора гидрокарбонат натрия на первом этапе и химическая каустификация – на втором.

Приготовленный раствор гидрокарбоната натрия объёмом 500 мл подвергали трёхкратному упариванию, периодически восстанавливая исходный объём дистиллированной водой. В растворе после упаривания определяли карбонатную и гидрокарбонатную щёлочность известным методом. В процессе упаривания наблюдался переход гидрокарбонатов в карбонаты до 85 %.

После этого моделировали процесс каустификации, добавляя в содовый раствор негашёную известь. Дозу извести рассчитали стехиометрически по уравнению реакции:

$$Na_2CO_3 + CaO + H_2O \rightarrow CaCO_3 + 2NaOH$$

Добавили расчётную дозу извести 19,5 г, кипятили пробу в течение часа при температуре 100 ºС, поддерживая общий объём 300 мл. После кипячения пробу отстояли и определили щёлочность в надосадочной жидкости.

Результаты, полученные в ходе эксперимента, отражены в таблице.

Таблица 1. **Результаты анализов и расчётов**

Исходный раствор $NaHCO_3$		До каустификации		После каустификации	
V, мл	M, г	CO_3^{2-}, моль/м^3	HCO_3^{2-}, моль/м^3	CO_3^{2-}, моль/м^3	OH^-, моль/м^3
500	45	2459,5	339,5	1479,5	1820

ВЫВОДЫ

В ходе эксперимента установлено, что эффект декарбонизации в колонне составляет 85 %. Доза извести соответствует теоретически рассчитанному по уравнению реакции значению, что позволяет исключить дополнительное внесение извести сверх расчётной дозы и оседание её в колоне промывки. Эффект каустификации достигает 65 %.

Полученные результаты свидетельствуют о возможности применения описанного метода для восстановления гидратной щёлочности промывного раствора и возврата его в основное производство.

УДК 628.35

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ИНТЕНСИФИКАЦИИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

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

Проведены исследования процессов очистки сточных вод в аэротенках при освещении биоценоза активного ила. Получены экспериментальные зависимости параметров биологического окисления, на основании которых разработаны рекомендации по интенсификации окислительных процессов в аэротенках в темное время суток.

Со времени первых успешных результатов очистки активным илом, полученных в начале XX в, предложено много различных технологических решений. Из всего многообразия можно выделить традиционную схему «аэротенк-вторичный отстойник», в которых азот и фосфор удаляются за счет их включения в биомассу гетеротрофных бактерий. Однако эффективность очистки невелика.

Известны технологии пропуска сточных вод через фотобиореакторы с водорослями. Водоросли будут поглощать азотные и фосфорные соединения из воды, так как они нужны им для роста (для синтеза их белков и ДНК).

Для этого применяются специальные фотобиореакторы, построенные из полых волокон. Полые волокна сделаны из полупроницаемой мембраны. Вода и небольшие молекулы свободно проходят через мембрану полых волокон, клетки же, в связи с их размерами, не могут проходить через мембрану. Таким образом, биореакторы с полыми волокнами позволяют быстро отделять очищенную воду от клеток водорослей. Они иммобилизованы на полых волокнах. Считается, что иммобилизация повышает физиологические функции водорослей. Преимуществом фотобиореактора с полыми волокнами является увеличение поверхности контакта водорослей с загрязненной водой, что позволяет значительно увеличить эффективность работы сооружения [1].

Так же в процессе фиторемедиации – очистке сточных вод с помощью растений, важную роль играет взаимодействие между растением и перифитоном. Кислород и метаболиты, выделенные растениями, стимулируют развитие и деятельность перифитона, с участием которого процесс окисления и разрушения веществ происходит намного быстрее [2].

В состав активного ила входят водоросли-макрофиты, которые являются составной частью гидробиологического механизма самоочищения воды. Представляет научный интерес взаимодействие макрофитов с различными поллюантами в водной среде.

Известно, что лучший спектр частот для фотосинтеза лежит в диапазонах 400 – 450 нм и 650 – 700 нм [3]. Волны, лежащие в диапазоне около 550 нм, мало востребованы растениями. Наиболее длинноволновый спектр – красный – оказывает тепловое воздействие, но химических превращений не вызывает, синий же цвет, наоборот, стимулирует деление клеток (табл. 1).

Было выявлено, что из всех спектров сообществу активного ила наиболее подходят красные и синие световые лучи, т.к. зеленые «жители ила» отражают, другие цвета не воспринимают.

Контролируемыми показателями очистки сточных вод, так называемыми параметрами оптимизации являлись rH_2 – отрицательный логарифм молекулярного давления газа, который зависит от окислительно-

восстановительного потенциала системы еН, ХПК – химическое потребление кислорода [4].

Таблица 1. **Влияние спектра света на модельные аэротенки**

Спектр света	Длина волны, нм	Окислительно-восстановительный потенциал еН, мв	
		Аэротенк № 1 (освещаемый)	Аэротенк № 2 (темный)
Красный	630–770	90	-40
Синий	440–480	110	90
Зелёный	520–560	–10	–20

Значения уровней и интервалов факторов, от которых зависит эффект очистки, представлены в таблице 2.

Таблица 2. **Факторы, влияющие на процесс биологической очистки сточных вод в лабораторных условиях**

Обозначение	Факторы, размерность	Уровни			Интервал
		-1	0	1	
X_1	Доза питания, мг/л	25	62,5	100	37,5
X_2	Длина волны, нм	485	612,5	740	127,5
X_3	Время обработки, ч	1	2,5	4	1,5

На основании экспериментальных данных были получены зависимости, которые описывают биологическую очистку сточных вод с использованием освещения в зависимости от различных факторов: дозы питания, времени обработки, частоты освещения, длины волны света:

$$rH_2 = 15{,}26 - 0{,}1 \cdot X_2 + 0{,}131 \cdot X_3 + 0{,}131 \cdot X_{23} =$$

$$15{,}26 - 0{,}1 \cdot \left[\frac{(\lambda - 612{,}5)}{127{,}5}\right] + +0{,}131 \cdot \left[\frac{(T - 2{,}5)}{1{,}5}\right] + 0{,}131 \cdot \quad , \quad (1)$$

$$\left[\frac{(\lambda - 612{,}5)(T - 2{,}5)}{127{,}5 \cdot 1{,}5}\right] = 16{,}5936 - 0{,}0026\lambda + 1{,}1592 \cdot T + 0{,}0007 \cdot \lambda T$$

где λ – длина волны света, нм; Т – температура, °С.

Уравнение для ХПК:

$$ХПК = Y_{расч} = 1125 + 225\frac{Д - 62,5}{37,5} + 300\frac{\lambda - 612,5}{127,5} +$$
$$+150\frac{(Д - 62,5)(\lambda - 612,5)}{37,5 \cdot 127,5} + 75\frac{(Д - 62,5)(T - 2,5)}{37,5 \cdot 1,5} + 50\frac{(\lambda - 612,5)(T - 2,5)}{127,5 \cdot 1,5} \quad (2)$$
$$ХПК = 1096,7 - 16,24Д - 0,29\lambda - 240,6T + 0,031Д\lambda + 1,3ДT + 0,026\lambda T$$

где λ – длина волны света, нм; Т – температура, °С; Д – доза питания, мг/л.

Анализ полученных зависимостей параметров биологического окисления показал, что для увеличения rH_2 требуется уменьшение длины волны X_2 и увеличение времени обработки X_3. Но так же их совместное действие положительно влияет на эффективность очистки воды в линейных взаимодействиях факторов X_{23}, которые одновременно следует увеличивать для увеличения rH_2. Доза питания – фактор X_1, статистически незначима. Для снижения ХПК требуется уменьшение дозы питания (X_1), длины волны (X_2), времени обработки (X_3). Но так же их совместное действие положительно влияет на эффективность очистки воды в линейных взаимодействиях факторов X_{12}, X_{13}, X_{23}, которые одновременно следует увеличивать [5].

Следует отметить, что высокую степень очистки стоков обеспечивают низконагруженные аэротенки с продленной аэрацией. При низких значениях удельной нагрузки на ил, по $БПК_5$ 0,025 – 0,05 г на 1 г БПК сухого вещества ила, и большом его возрасте, 35 – 50 суток, формируется особый биоценоз микроорганизмов. Основная масса микроорганизмов находится в фазе эндогенного дыхания, в которой происходит не только окисление поступающих органических веществ, но и окисление клеточного вещества активного ила водорослями. Поэтому рекомендуется в сооружениях с продленной аэрацией устанавливать светодиодное освещение для интенсификации окислительных процессов в темное время суток [6].

ЛИТЕРАТУРА

1. Марков С.А. Водоросли: водород, биодизельное топливо, углекислый газ и очистка воды // Альтернативная энергетика и экология. 2009. № 4 (72). С. 9–11.
2. Ольшанская Л.Н., Русских М.Л., Арефьева О.А. Фиторемедиационная технология очистка стоков // Экология производства. 2013, № 2. С. 57–61.
3. Голубовская Э.К. Биологические основы очистки воды: учеб. пособие для студентов строит. специальностей вузов. Москва: Высш. шк., 1978. 268 с.
4. Серпокрылов Н.С., Скибина Е.В., Борисова В.Ю. Повышение среднесуточной окислительной способности биоценоза аэротенка //

Вестник ВолгГАСУ. Сер. Стр-во и архит. 2011. № 25 (44). С. 306–310.
5. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976. 212 с.
6. Смирнов В.Б. Интенсификация биологической очистки сточных вод // Экология производства. 2010, № 12. С. 81–86.

УДК 628.33

ОЧИСТКА ДОЖДЕВЫХ СТОЧНЫХ ВОД В МЕСТЕ ИХ ВЫПУСКА

П.О. Банников, Е.Н. Серпокрылов
Ростовский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Ростов-на-Дону, Россия

Изложены и проанализированы результаты экспериментальных исследований очистки модельных дождевых сточных вод с применением различных фильтрующих материалов в лабораторных условиях. На их базе обоснованы конструктивные технические решения, предлагаемые к размещению в предвыпускном колодце сети К2 для повышения степени очистки дождевых вод.

Одной из важных современных экологических проблем является загрязнение поверхностных вод в результате сброса неочищенного дождевого стока [1]. Проблема его очистки в крупных городах заключается в необходимости установки большого количества локальных очистных установок на каждый выпуск, эксплуатации и использовании дорогостоящих технологий, материалов и загрузок.

С вероятностью 0,9 можно утверждать, что в ближайшие годы все (или большинство) выпуски сточных вод из дождевой канализации не будут обеспечены централизованными очистными сооружениями. Поэтому разработка малозатратных технических и технологических решений по очистке дождевого стока в виде конструкций, встраиваемых непосредственно в колодце (в том числе и существующем) сети К2 перед выпуском вод, является актуальной задачей для всех регионов страны. Хотя эта проблема начала решаться уже лет 10 тому назад. Скептикам, не верящим в осуществимость такого подхода, приведем в пример опыт проектирования и строительства систем очистки поверхностных вод с автомобильных дорог на территории России и зарубежных стран. Плюс к этому при автомобильных загородных поездках мы наблюдаем, что новые и ремонтируемые автодороги, оборудованы соответствующими очистными сооружениями поверхностного стока [2].

В данной статье представлены результаты экспериментальных исследований очистки модельных дождевых сточных вод с применением различных фильтрующих материалов в лабораторных условиях и

обоснованы конструктивные технические решения, предлагаемые к размещению в предвыпускном колодце сети К2, для повышения степени очистки воды, если не до нормативных требований, то количественно приближенным к ним.

Принципиально подобные технические решения широко внедряются в Северо-Западном федеральном округе специалистами СПбГАСУ [3]. Очистка стока непосредственно в колодце дождевой сети осуществляется на фильтрующих торфяных модулях, разработанных на кафедре водоснабжения СПбГАСУ.

Модуль предназначен для очистки поверхностных сточных вод от взвешенных веществ и нефтепродуктов с территории населенных пунктов, промышленных и строительных площадок, гаражных автостоянок и других территорий, а также для размещения в существующей дождевой канализации без ее реконструкции.

Он имеет сборную сетчатую конструкцию и состоит из отдельных конструктивных элементов. Монтируется непосредственно в железобетонном дождеприемном колодце на сети через отверстие люка в плите перекрытия колодца. Данный фильтрующий модуль в одну ступень обеспечивает очистку поверхностных стоков по взвешенным веществам до 10 мг/л, по нефтепродуктам – до 0,3 мг/л. Если создать двухступенчатую установку с такой же загрузкой, то показатели очистки составляют, соответственно, мг/л: 5 и 0,05. Периодичность замены фильтрующего материала в модуле в зависимости от грязевой нагрузки составляет 3 – 6 месяцев.

Учитывая, что Ростовская область весьма бедна торфяными месторождениями, при сохранении технологического подхода (в колодце К2), в наших исследованиях в качестве фильтрующей загрузки использовали геотекстиль, поролон и для сравнения – торфяной образец.

Геотекстиль (дорнит) материал плотностью 90 – 900 г/м^2, один из видов геосинтетиков (нового класса строительных материалов) – это тканое и нетканое водо- и воздухопроницаемое геотекстильное полотно с фильтрующими свойствами [4].

В лабораторных условиях были проведены опыты по фильтрованию воды, по степени загрязнённости близкой к дождевому стоку, в фильтровальной колонне через фильтрующие материалы.

Модельная вода включала глину, песок, ПАВ, нефтепродукты; исходная прозрачность (по кольцу – 6.5 см). Загрузку высотой слоя 10 см помещали в фильтровальную колонку диаметром 12 см и поддерживали постоянный уровень воды 20 см.

Эксперименты проводились в два этапа. Первый этап заключался в фильтровании воды через геотекстильное полотно различной плотности (90 – 720 г/м^2) при поддержке постоянного уровня воды.

Установлено, что скорость фильтрования модельных вод составляет, м/ч: при одном слое дорнита 25 – 35; при 2 – (15 – 20); при 4 – (8 – 12); при 8 – (6 – 10).

При этом прозрачность очищенной модельной воды (рис. 1) была максимальной при двух слоях фильтрующей загрузки. С учетом достаточно высокой скорости фильтрования рекомендовано для опытно-промышленной установки использовать двухслойную загрузку из дорнита.

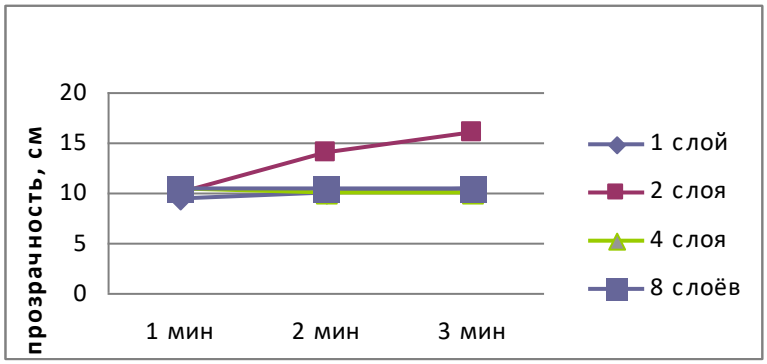
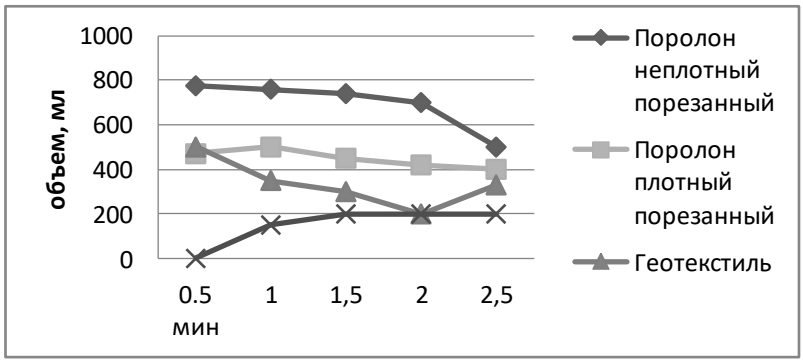
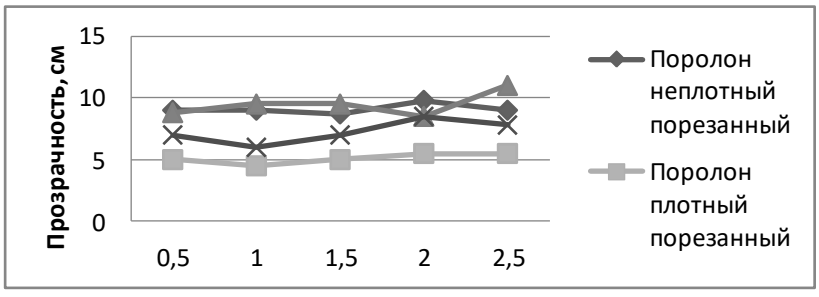


Рисунок 1. **Прозрачность очищенной модельной воды при фильтровании через дорнит**

На втором этапе исследований фильтровали модельную воду через нарезанный геотекстиль, поролон, торф, при поддержке постоянного уровня воды (рис. 2).



а)



б)

Рисунок 2. **Сравнительная оценка фильтрующих загрузок при очистке дождевых вод:**
а – по объему; б – по прозрачности

По результатам исследований сделан вывод о необходимости продолжения исследований в опытно-промышленных условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Серпокрылов Н.С, Вильсон Е.В. Спесивцева А.А. Расчет загрязнений, вносимых поверхностным стоком, с территорий населенных мест (на примере г. Ростова-на-Дону) / В сб. научн. тр. Совершенствование систем водоснабжения и водоотведения по очистке природных и сточных и сточных вод: СГАСУ: Самара. 2008. С. 62–67.
2. Очистные сооружения на автомобильных дорогах // Информационный центр по автомобильным дорогам. Обзор. информ. Вып. № 3, М., 2004.
3. Ким А.Н., Захаревич М.Б., Романова Ю.В. Актуальные проблемы поверхностного стока с территории городов и практические пути их решения / Вестник гражданских инженеров. СПбГАСУ, 2014/1(42). С. 87–93.
4. Есенкова Н.П., Бачерникова С.Г., Михалькова А.И. Нетканые материалы – против загрязнения. Нетканые превентивные средства – новый подход к обеспечению экологической безопасности при эксплуатации дорог и автосервисных комплексов // СтройПРОФИль. 2002. № 5.

УДК 628.3, 628.4, 625.1

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ОБЪЕКТОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА И ЭКОСИСТЕМЫ

А.К. Стрелков, С.Ю. Теплых, П.А. Горшкалев, А.М. Саргсян
Самарский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Самара, Россия

Рассмотрено взаимодействие человека с окружающей средой, в частности, с гидросферой Земли. Рассмотрены вносимые загрязнения в водные объекты вместе с поверхностными сточными водами. Разработкам комплекса мероприятий по сбору, отведению и очистке загрязненных поверхностных сточных вод с автомобильных дорог уделяется немало времени, чего нельзя сказать о поверхностных сточных водах с железных дорог. Вопросам влияния поверхностных сточных вод с объектов железнодорожного транспорта практически не уделялось должного внимания, хотя уровень загрязнения и занимаемые площади не уступают автотранспортным.

Особое внимание в современной экологии уделяется проблемам взаимодействия человека с окружающей средой. Человек создан таким образом, что абсолютно любая его деятельность влечет за собой загрязнение окружающей среды, которое должно быть таким, чтобы это можно было бы исправить. В настоящее время темпы роста антропогенного влияния человека на окружающую среду набирают

обороты, за счет увеличения экономических, социальных и нравственных аспектов, которые влекут за собой негативные последствия посредством научно-технического прогресса. Таким образом, современная экология превращается в междисциплинарную науку, изучающую сложнейшие проблемы взаимодействия человека с окружающей средой.

Человечество постоянно стремилось к увеличению водопотребления, оказывая на гидросферу Земли огромное многостороннее воздействие. Негативное влияние на гидросферу выражается загрязнением поверхностных и подземных водных объектов. Загрязнение вод проявляется в изменении физических и органолептических свойств (нарушение прозрачности, окраски, запахов, вкуса), увеличении содержания сульфатов, хлоридов, нитратов, тяжелых металлов, нефтепродуктов, сокращении растворенного в воде кислорода воздуха.

Одними из основных загрязнителей, оказывающих серьезное влияние на почву и водные объекты, являются поверхностные сточные воды. В решении вопроса по защите почв и водных объектов, основной акцент делается на водонепроницаемые покрытия. При решении вопросов сбора, отведения и очистки поверхностных сточных вод с территорий каких-либо предприятий, самыми распространенными являются промышленные предприятия и автомобильные дороги. Следует обратить внимание еще на один вид объектов, с которых поступают загрязненные поверхностные сточные воды – это железнодорожное полотно, в частности, железнодорожные станции, локомотивные и вагонные депо.

Так, рассмотрим взаимодействие деятельности человека и негативного влияния на водные объекты на примере транспортной инфраструктуры, в частности, Куйбышевской железной дороги. Ее протяженность составляет 11 502,5 км, а площадь 575 км^2 (с учетом полосы отвода – 50 м) без учета частных железнодорожных путей. Участки железнодорожных путей, находящиеся в частном пользовании составляют порядка 20 % от общей протяженности Куйбышевской железной дороги. Тем самым, протяженность всей железнодорожной сети Куйбышевской железной дороги приближается к 14 000 км, а их площадь к 700 км^2. Основное влияние на водные объекты выражено химическими (нефтепродукты, металлы) и физическими (взвешенные вещества) загрязнениями, вносимыми вместе с поверхностным стоком, стекающим с железнодорожных путей. Химическое загрязнение является наиболее стойким и распространяющимся на большие территории, нанося вред грунтовым водам, почвам, зеленым насаждениям и поверхностным водным объектам. При фильтрации в почву, вредные химические вещества сорбируются частицами пород, участвуют в окислительно-восстановительных процессах, выпадают в осадок, однако, как правило, полного самоочищения загрязненных вод не происходит. Механическое загрязнение характеризуется попаданием в воду различных механических

примесей (песок, шлам, пыль и т.д.). Они могут значительно ухудшать органолептические показатели вод.

Так как железные дороги являются линейными сооружениями, то распространение загрязнений от них носит линейный характер. Исключения составляют станции, сортировочные пункты и т.д.

Объекты железной дороги являются стационарными техническими сооружениями, оказывающими постоянное воздействие. Основными объектами-загрязнителями в железнодорожном транспорте являются железнодорожные станции, а не перегоны, расположенные между ними. В большинстве случаев, загрязненный поверхностный сток с путей железнодорожных станций, образующийся, главным образом, в результате выпадения атмосферных осадков, стекает без очистки по рельефу местности, проникает в толщу грунтов, пропитывая их на большую глубину, и, в конечном итоге, через грунтовые воды попадает в ближайшие поверхностные водные объекты.

Рассмотрим концентрации нефтепродуктов в поверхностных сточных водах на примере промывочно-пропарочной станции «Уруссу» (ППС «Уруссу») Куйбышевской железной дороги Республики Татарстан и Абдулинского завода «Ремпутьмаш» по ремонту путевых машин и производству запасных частей города Абдулино Оренбургской области. В результате проведенных экспериментов выяснилось, что средняя концентрация нефтепродуктов в поверхностном стоке ППС «Уруссу» составила порядка 440 – 500 мг/л, а Абдулинского завода «Ремпутьмаш» - 200 – 350 мг/л [1].

Для рассмотрения сложившейся проблемы сбора и очистки загрязненных поверхностных сточных вод с линейных объектов, которыми, в частности, являются железнодорожные пути и другие объекты железнодорожного транспорта, необходимо привести соответствующие аргументы. На сегодняшний день, для получения разрешения на пользование водным объектом (сброс сточных вод) необходимо разработать проект нормативов допустимых сбросов (НДС) в соответствии с [2], определяющий количество загрязняющих веществ в сточных водах, разрешенное к сбросу в водный объект. После установления НДС, будет определен перечень мероприятий, необходимых для снижения сброса загрязненных сточных вод в водные объекты.

Природоохранные мероприятия необходимы на всех этапах деятельности по природопользованию: в ходе проектирования, строительства, эксплуатации хозяйственных объектов. В Федеральном законе от 10.01.2002 № 7-ФЗ (ред. от 25.06.2012г., с изм. от 05.03.2013г.) «Об охране окружающей среды» подчеркивается, что при размещении, проектировании, строительстве, вводе в эксплуатацию, реконструкции объектов природопользования должны учитываться предельно допустимые нормы антропогенного воздействия, применяться

ресурсосберегающие, малоотходные, безотходные и другие современные технологии, способствующие рациональному использованию и воспроизводству естественных ресурсов. В связи с актуальностью проблемы загрязнения окружающей среды и повышением природоохранных требований, необходимо обратить особое внимание на способы сбора, отведения и очистки поверхностных сточных вод с железнодорожных путей. Своевременное отведение поверхностного стока оказывает положительное влияние на состояние железнодорожного пути, и, тем самым, сокращает затраты на его содержание, а также положительно сказывается на экологической обстановке прилегающей территории.

Законодательством РФ не разрешен ввод в эксплуатацию инженерных сооружений и других объектов, не оснащенных техническими средствами и технологиями обезвреживания и безопасного размещения отходов производства и потребления, обезвреживания выбросов и сбросов загрязняющих веществ. В настоящее время, существует множество проложенных путей железнодорожного транспорта, расположенных на расстоянии менее 100 м до водного объекта. Водным кодексом РФ (Статья 65, п. 15.7 от 21.10.2013г.) в границах водоохранных зон запрещен сброс сточных, в том числе дренажных вод, к которым, непосредственно, относится поверхностный сток с железнодорожных путей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горшкалев П.А. Комплексная система определения качественных и количественных показателей поверхностного стока с железнодорожных путей: Дис. ... канд. техн. наук. Самара, 2010. 158 с.
2. Методика разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей [Текст] / Утверждена приказом МПР России от 17. 12. 2007 № 333.

УДК 628.33

ОПТИМИЗАЦИЯ ОЧИСТКИ ХИМИЧЕСКИ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД В ПРОМЫШЛЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Е.В. Яковлева, Г.С. Хачатурян, Е.В. Самсонова
Ростовский государственный строительный университет,
г. Ростов-на-Дону, Россия

Определены оптимальные параметры регулирования процесса очистки от химических веществ сточной воды на установке «Пирамида N».

Возрождение промышленного производства с современным оборудованием, иными технологическими растворами, например:

смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ), электролиты гальванопокрытий и т. п. зачастую вступает в противоречие с очисткой сточных вод на сооружениях, ориентированных на предшественников. Поэтому интенсификация существующих сооружений и технологий очистки производственных сточных вод (ПСВ) и адаптация их к современным техническим регламентам представляет важную социально-экологическую задачу.

В рамках решения данной задачи на одном из заводов машиностроительного профиля г. Ростова-на-Дону смонтирована опытно-промышленная установка, представляющая собой устройство для предварительного выделения фазовых загрязнений ПСВ (нефтепродуктов, взвешенных веществ, жиров, масел, органических примесей, ПАВ и других дисперсных загрязнений) «Пирамида N» (рисунок) перед флотаторами или фильтрами с зернистой загрузкой.

Многовариантность исходного состава ПСВ и технологического регулирования потоков жидкой и твердой фаз, доз реагентов, длительности обработки, гидравлической нагрузки и т.п. требуют нахождения единого, оптимального режима очистки на установке.

При проведении промышленных оптимизационных экспериментальных исследований с получением достоверных расчетных зависимостей, впоследствии составляющих основу алгоритма автоматизированного управления процессом, в том числе и очистке сточных вод, применяют композиционные или последовательные планы, предложенные Боксом и Уилсоном [1]. «Ядро» таких планов составляет полный факторный эксперимент типа 2^n (при $n < 5$ или дробная реплика от него при $n \geq 5$); «звездные» точки, расположенные на координатных осях факторного пространства ($\pm \alpha$, 0, ..., 0); (0, ±, 0,..., 0), ..., (0, 0, ..., $\pm \alpha$). Величина звездного плеча α и количество опытов в центре плана m_0 зависит от выбранного плана

Для оптимизации физико-химической очистки химически загрязненных сточных вод машиностроительного завода проведен ротатабельный план второго порядка.

Цель эксперимента – определить оптимальные параметры регулирования процесса очистки химически загрязненных сточных вод на установке «Пирамида N» в реальных условиях эксплуатации при определенных флуктуациях состава загрязнений, особенно в отсутствии резервуара-усреднителя.

Были заданы параметры оптимизации процесса очистки ПСВ:

$У_1$ – эффективность очистки по взвешенным веществам:

$$У_1 = (С_{взв}^{исх} – С_{взв}^{очищ}) \cdot 100/С_{взв}^{исх}, \%, \quad (1)$$

где $С_{взв}^{исх}$ и $С_{взв}^{очищ}$ – концентрация взвешенных веществ в исходных и очищенных сточных водах соответственно, мг/л.

$У_2$ – эффективность очистки по нефтепродуктам:

$$У_2 = (С_{н/пр}^{исх} – С_{н/пр}^{очищ}) \cdot 100/С_{н/пр}^{исх}, \%$$ (2)

где $С_{н/пр}^{исх}$ и $С_{н/пр}^{очищ}$ – концентрация в исходных и очищенных сточных водах нефтепродуктов соответственно, мг/л.

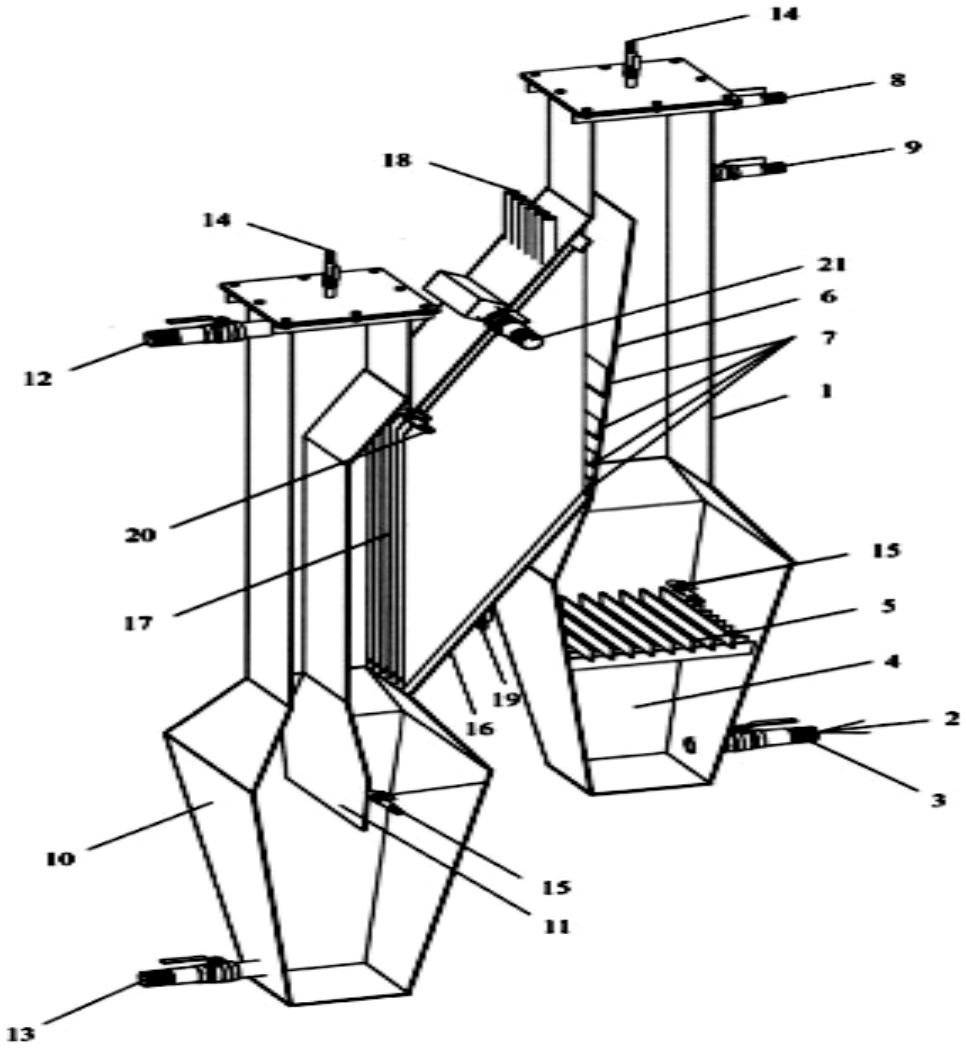


Рисунок 1. **Устройство для разделения фазовых загрязнений сточных вод «Пирамида N»:**:

1 – корпус зоны хлопьеобразования и стабилизации потоков; 2 – трубопровод подачи исходных сточных вод; 3 – ввод реагента; 4 – зона взвешенного фильтра, 5 – струенаправляющая перегородка, 6 – регулируемая перегородка подачи осветленных сточных вод; 7 – впускные распределительные окна; 8, 9 – трубопроводы отвода нефтепродуктов в напорном и безнапорном режимах работы установки; 10 – корпус зоны накопления и уплотнения шлама; 11 – направляющая перегородка отстоянных в тонкослойном модуле сточных вод, 12 – трубопровод отвода очищенных сточных вод; 13 – трубопровод отвода шлама; 14 – трубопроводы отвода газов; 15 – контрольные точки режима очистки; 16 – камера тонкослойного отстаивания; 17 – тонкослойные модули; 18 – штуцеры для промывки межполочного пространства тонкослойных модулей; 19 – трубопровод отвода промывных вод и шлама; 20 – трубопровод отвода газов и нефтепродуктов; 21 – перехватывающее устройство и отвод плавающих веществ

Эксперимент проведен в рамках возможных колебаний процесса: факторы варьирования (табл. 1), величины звездных плеч и количество точек в центре плана для ротатабельного плана при k = 5 [1, 2].

Таблица 1. **Таблица факторов варьирования в ротатабельном плане эксперимента**

Факторы		Уровни варьирования					Интервал варьирования
		-2α	-	0	+	+2α	
X_1	Расход сточных вод, %	20	40	60	80	100	20
X_2	Доза реагента, %	0	25	50	75	100	25
X_3	Степень открытия трубопровода отвода шлама, в % от расхода сточных вод	1	2	3	4	5	1
X_4	Высота подъема трубопровода отвода шлама, см	19	26	33	40	47	7
X_5	Количество точек отвода осветленных сточных вод (1 – отвод обычным способом, 2 – через низ 2-ой пирамиды, 3 – через отвод плавающих)	**1***	**2,25**	**3,5**	**4,75**	**6**	1,25

Примечание: * 1 – отвод ОСВ через трубопровод № 1; **2,25** – через №№ 1 + 2; **3,5** – через № 3; **4,75** – через №№ 2 + 3; **6** – через №№ 1, 2 + 3.

Таблица 2. **Матрица планирования и результаты эксперимента**

№ опыта	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	$У_1$	$У_{1расч}$	$(У_1 – У_{1расч})^2$	$У_2$	$У_{2расч}$	$(У_2 – У_{2расч})^2$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	1	1	1	1	3,20	5,30	4,42	10,22	34,88	608,12
2	–1	1	1	1	-1	20,00	5,30	216,01	36,15	34,88	1,60
3	1	-1	1	1	-1	11,40	5,30	37,18	20,00	34,88	221,48
4	–1	-1	1	1	1	8,80	5,30	12,23	24,44	34,88	108,95
5	1	1	-1	1	-1	12,80	21,26	71,60	24,44	75,81	2638,65
6	–	1	-1	1	1	14,49	21,26	45,81	66,36	75,81	89,44
7	1	-1	-1	1	1	23,19	21,26	3,71	68,22	75,81	57,58
8	–	-1	-1	1	-1	33,33	21,26	145,73	88,79	75,81	168,29
9	1	1	1	-1	-1	21,01	21,26	0,06	78,51	75,81	7,25
10	–	1	1	-1	1	40,58	21,26	373,20	79,44	75,81	13,16
11	1	-1	1	-1	1	21,01	21,26	0,06	84,11	75,81	68,89
12	–	-1	1	-1	-1	33,91	21,26	160,06	86,22	6,76	6313,83

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
13	1	1	-1	-1	1	1,45	5,30	14,85	87,85	34,88	2805,63
14	–	1	-1	-1	-1	5,40	5,30	0,01	16,29	34,88	345,86
15	1	-1	-1	-1	-1	9,86	5,30	20,76	2,55	34,88	1045,73
16	–	-1	-1	-1	1	12,56	5,30	52,65	51,15	34,88	264,48
17	–	0	0	0	0	22,65	17,72	24,38	52,67	65,66	168,61
18	2	0	0	0	0	24,18	17,72	41,78	68,70	65,66	9,28
19	0	-2	0	0	0	29,34	21,14	67,25	74,05	65,66	70,38
20	0	2	0	0	0	31,22	21,14	101,57	78,88	65,66	174,87
21	0	0	-2	0	0	33,58	22,59	120,79	81,68	65,66	256,73
22	0	0	2	0	0	32,78	22,59	103,88	83,72	65,66	326,10
23	0	0	0	-2	0	14,77	17,77	8,97	8,76	24,42	245,23
24	0	0	0	2	0	32,27	17,77	210,38	14,04	24,42	107,64
25	0	0	0	0	-2	47,73	30,59	293,73	33,30	65,66	1047,00
26	0	0	0	0	2	50,68	30,59	403,74	36,45	65,66	853,31
27	0	0	0	0	0	48,64	56,68	64,63	35,20	65,66	927,79
28	0	0	0	0	0	42,27	56,68	207,44	28,61	65,66	1372,23
29	0	0	0	0	0	24,55	56,68	1032,33	23,29	65,66	1795,39
30	0	0	0	0	0	21,36	56,68	1246,92	15,55	65,66	2510,94
31	0	0	0	0	0	31,36	56,68	640,69	31,83	65,66	1144,60
32	0	0	0	0	0	25,23	56,68	988,98	33,21	65,66	1052,68
					∑	785,62		6715,81	1524,64		26821,68

Интерполяционное уравнение расчета эффективности процесса очистки ПСВ (после исключения незначимых факторов и взаимодействий):

– по взвешенным веществам:

$$Y^1_{расч} = 56,68 – 7,98X_3X_4 – 9,74X_1^2 – 8,88X_2^2 – 8,52X_3^2 – 9,73X_4^2 – 6,52X_5^2,\ \%; \quad (3)$$

– по нефтепродуктам:

$$У^2_{РАСЧ} = 65,66 – 20,47X_3X_4 – 10,31X_4^2.\ \%. \quad (4)$$

Перейдя от кодированных факторов к натуральным, получили следующие уравнения:

$$Э_1 = -498,87 + 2,4Q + 1q + 88,74k + 16,62h + 29,26n – 1,14kh – 0,02Q^2 – 0,01q^2 – 8,52k^2 – 0,2h^2 – 4,18n^2, \quad (5)$$

где $Э_1$ – эффективность очистки ПСВ от взвешенных веществ;

$$Э_2 = -452,11 + 22,62h + 96,36k – 2,92kh – 0,21h^2, \quad (6)$$

где $Э_2$ – эффективность очистки ПСВ от нефтепродуктов.

Зависимости (5) и (6) рекомендуются к расчету эффективности процесса очистки ПСВ в практике проектирования и эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА
1. Ахназарова С.Л., Кафаров В.В. Оптимизация эксперимента в химии и химической технологии. М.: Высшая школа, 1978. 319 с.
2. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976. 279 с.

УДК 628.16:628.33:622.331

ОЧИСТКА ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА НА ТОРФЯНЫХ ФИЛЬТРАХ

А.В. Михайлов
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»,
г. Санкт-Петербург, Россия.
А.Н. Ким
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Санкт-Петербург, Россия.
О.А. Продоус
ООО «Компания ИНКО»,
г. Санкт-Петербург, Россия.

Показана эффективность торфяных фильтрующих материалов при очистке воды от взвешенных и химических веществ, микробиологических загрязнений. Даны схемы фильтрующих моделей для дождеприемных колодцев.

Одной из ключевых задач в реализации концепции устойчивого развития общества является замена традиционных технологий производства на безотходные, ресурсо- и энергосберегающие технологии. Особенно важно реализовать такой подход в горнодобывающей отрасли и в системе защиты окружающей среды.

Водным законодательством РФ запрещается сбрасывать в водные объекты неочищенные до установленных нормативов дождевые, талые и поливомоечные воды, организованно отводимые с селитебных территорий и площадок предприятий.

Для решения вопроса очистки поверхностного стока сегодня важно выбрать наиболее оптимальную и экономически целесообразную технологию очистки. Основные контролируемые параметры, определяющие необходимую эффективность очистки – это взвешенные вещества и нефтепродукты.

Для повышения эффективности очистки сточных вод от грубодисперсных и коллоидных загрязнений часто применяют природные материалы. Они позволяют интенсифицировать процессы очистки сточных вод, уменьшить затраты на эксплуатацию очистных сооружений, уменьшить себестоимость очистки.

Многолетний опыт, полученный при применении торфяного фильтрующего материала, показал его высокую эффективность по задержанию загрязняющих веществ. При этом, учитывая, что материал натуральный и доступен для применения в больших масштабах, внедрение торфяных фильтрующих материалов является актуальным для решения вопросов очистки поверхностных стоков.

Торфяной фильтрующий материал является упруго-пластичным, капиллярно-пористым, состоящим из натуральных волокон, пневмо-гидравлически предварительно обработанных и соединенных в фильтр-пластине за счет переплетения и сил сцепления. В производстве торфяных фильтрующих материалов в качестве сырья используется натуральный торф слабой степени разложения с волокнистой структурой. В качестве вспомогательного материала применяется только вода и воздух [1].

Торф один из наиболее дешевых источников сырья, свойства которого можно надежно регламентировать в процессах получения продукции. Природоохранное направление использования торфяной продукции основано на характеристиках торфа как натурального адсорбента. Органический состав, низкая плотность и сопротивляемость разложению дают возможность торфяным фильтрам обрабатывать сточные воды посредством комбинации физических (фильтрация и абсорбция), химических (адсорбция и ионный обмен) и биологических (микроорганизмы) взаимодействий. Применение торфяных материалов не вызывает проблем с повторным загрязнением окружающей среды, т.к. в большинстве случаев конечный продукт может быть использован в качестве вторичного топлива. Торфяной фильтрующий материал применяется в системах доочистки сточных и поверхностных вод от нефтепродуктов, взвешенных веществ и ионов железа. Продукт не токсичен на всех этапах производства и применения.

Свойства торфяных фильтрующих материалов определяются областью их применения, особенностью эксплуатации, а специфика требований, предъявляемых к торфяным фильтрующим материалам, соответствующими техническими условиями на продукцию.

Высокая обменная способность, пористость, большая удельная поверхность определяют характер применения торфяного фильтрующего материала. Во-первых, торф отфильтровывает взвешенные твердые частицы и микробиологические загрязнители. Во-вторых, химические компоненты адсорбированы или сохранены в пределах фильтрующего материала. Биологическая инактивация происходит в результате быстрого увеличения микробного населения в слое материала.

Процесс фильтрования обусловлен, прежде всего, свойствами фильтровальной перегородки как пористой среды. Пористая структура и поверхностные свойства фильтра определяют производительность и задерживающую способность.

Функции торфяного фильтрующего материала:

- физическая фильтрация;
- химическая адсорбция / поглощение;
- биологическое преобразование органических загрязнений.

Структурные свойства:

- высокая пористость;
- развитая макроструктура и микроструктура торфа при упругой деформации до 50 кПа;
- максимальный размер водопроводящих пор – 75,0 мкм.

Торфяной фильтрующий материал под названием «Элемент фильтрующий торфяной» (ЭФТ) изготавливается в соответствии с ТУ 0391-018-02997983-98 из природного торфяного сырья в виде пористой волокнистой сухой плиты (рис. 1) без применения иных компонентов (таблица), применяется без предварительной подготовки и допускается к производству и реализации на территории РФ.



Рисунок 1. **Вид элемента фильтрующего торфяного ЭФТ**

Таблица. **Технические характеристики ЭФТ**

Параметры	Величина
Длина, мм	520–540
Ширина, мм	340–360
Толщина, мм	40–50
Пористость, % не менее	0,95
Скорость фильтрации, м/ч	5–20
Грязеемкость, кг/кг не менее	4,0
Влага, % не более	40
Масса плиты, кг	0,8
Срок хранения, мес.	36

Для очистки поверхностного стока на территории города наиболее действенными и реализуемыми являются следующие подходы [2]:

1. строительство локальных очистных сооружений (ЛОС) поверхностного стока, обеспечивающих очистку до требуемых норм, для сброса в водоемы на территории города (рис. 2);

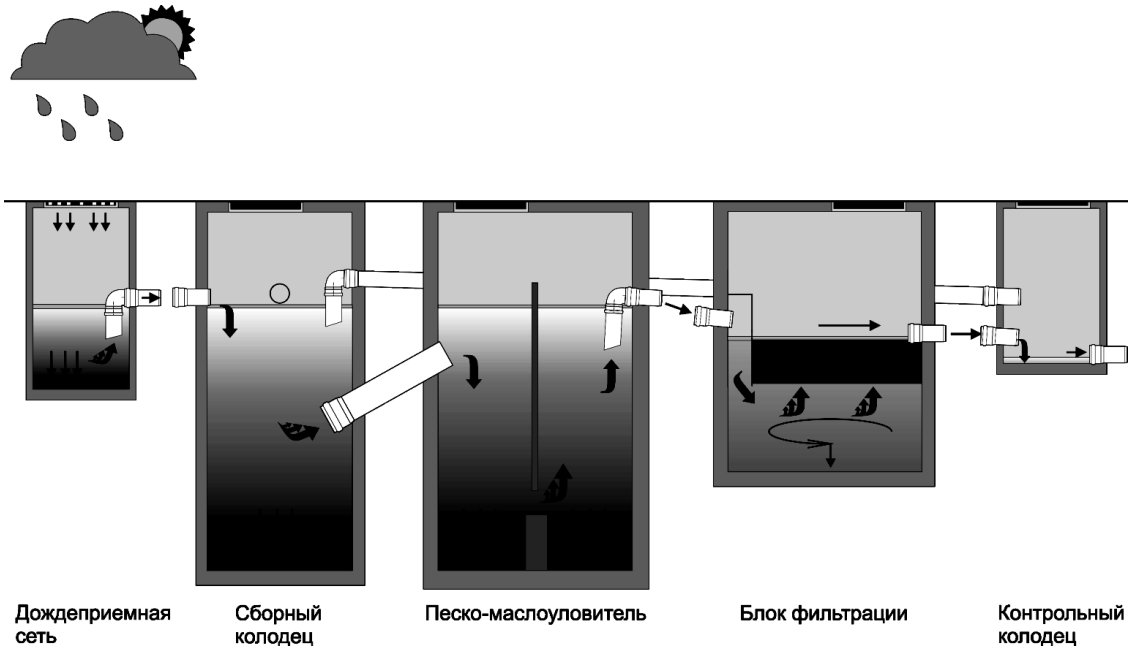


Рисунок 2. **Схема локальных очистных сооружений**

2. реконструкция (модернизация) действующих ОС, стоки от которых отводятся на городские ОС или сбрасываются в водоемы на территории города;

3. очистка поверхностного стока непосредственно в дождеприемном колодце (рис. 3) для оснащения малых площадок водосбора [3].

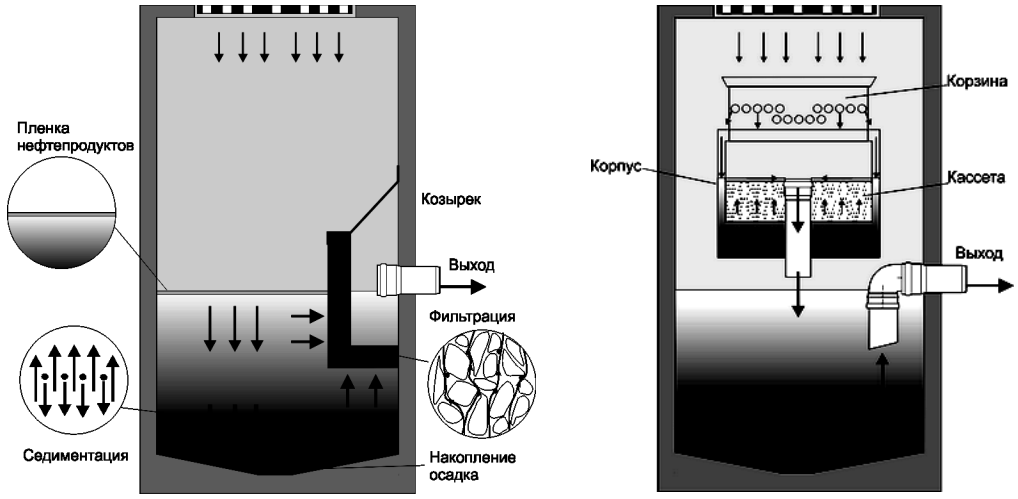


Рисунок 3. **Схемы фильтрующих модулей для дождеприемных колодцев**

Децентрализованные системы очистки поверхностных вод являются реальной, альтернативой централизованным, большим системам очистки.

ЛОС поверхностных стоков включают широкий диапазон очистных сооружений. Децентрализованные технологии очистки поверхностных вод подходят для проектов с площадями водосбора и потоками от 2 до 600 $м^3$ в сутки.

ЛОС поверхностных вод хорошо масштабируемы для распределенных моделей инфраструктуры. В процесс очистки поверхностного стока включаются собственники территорий, что повышает их ответственность за охрану окружающей среды и снижает нагрузку на местные бюджеты.

Экономическая эффективность применения торфяных фильтрующих материалов определяется рядом факторов:

- применение без предварительной подготовки; заменяет искусственные материалы: стекловату, пенополиуретан и др.;
- утилизация отработанного материала производится путем сжигания в котельных, работающих на твердом топливе;
- на рынке природоохранных технологий нет аналогов природному натуральному материалу.

Область применения торфяного фильтрующего материала в системах очистки поверхностного стока и ландшафтном дизайне:

- территории объектов атомных электростанций и ТЭЦ;
- морские и речные порты; транспортные магистрали;
- военные городки и технические базы ВМФ;
- промышленные, строительные и торговые площадки;
- городские и муниципальные территории;
- склады ГСМ и АЗС;
- шахтные и карьерные воды горной промышленности;
- рекультивация полигонов ТБО, захоронений отходов.

Свыше 500 очистных сооружений с торфяной фильтрацией введены в эксплуатацию на магистралях и объектах России.

Инновационная технология производства экологически безопасных эффективных торфяных фильтрующих материалов и их применение в системах очистки поверхностного стока с урбанизированных территорий позволяет эффективно решать задачи локальной очистки поверхностного стока на территории России.

ЛИТЕРАТУРА

1. Михайлов А.В., Синицкий В.И., Графова Е.О. Торфяные фильтрующие материалы для систем очистки поверхностного стока с урбанизированных территорий. Современные технологии и

оборудование систем водоснабжения и водоотведения // Мат. науч.-практ. конф. памяти проф. Аюкаева Р.И. Петрозаводск, 2014. С. 36–40.
2. Ким А.Н., Захаревич М.Б., Романова Ю.В. Актуальные проблемы поверхностного стока с территории городов и практические пути их решения // Вестник гражданских инженеров, СПбГАСУ 2014/1(42). С. 87–93.

Патент РФ на полезную модель 139389 РФ, МПК E03F5/04 (2006.01) Устройство для очистки сточных вод, монтируемое в канализационном колодце / О.А. Продоус, А.В. Михайлов; опубл. 20.04. 2014. Бюл. №УДК 628.1.037(470.620-21):628.16

IV. РАЗРАБОТКА НОВЫХ И МОДЕРНИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЙ И УСТАНОВОК ДЛЯ ОЧИСТКИ ПРИРОДНЫХ И СТОЧНЫХ ВОД. МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ. ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО. ПРОЕКТИРОВАНИЕ

УДК 542.08

ПРИБОРНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ И МОНИТОРИНГА

Е.А. Волосникова
ООО «Люмэкс-маркетинг»,
г. Санкт-Петербург, Россия

Для определения компонентов природной питьевой и сточной воды 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.

ГК «ЛЮМЭКС» имеет офисы и представительства в Германии, Китае и США. Выпускаемое оборудование поставляется в более, чем в 70 стран мира. Основными сферами деятельности ГК «ЛЮМЭКС» являются: разработка, производство и продажа аналитического оборудования, разработка методического обеспечения, сервисное обслуживание выпускаемого оборудования, обучение персонала заказчика работе на оборудовании.

ГК «ЛЮМЭКС» предлагает комплексные приборно-методические решения для экологического контроля и мониторинга.

Флуоресцентно-фотометрические анализаторы жидкости серии «Флюорат®-02» предназначены для измерений массовой концентрации ряда органических и неорганических соединений, нормируемых в питьевой, природной, сточной воде, а также в воздухе, почве, и пищевых продуктах после переведения их в процессе пробоподготовки в раствор.

Новое поколение анализаторов жидкости серии «Флюорат-02» («Флюорат-02-4М», «Флюорат-02-5М») сохранило полную преемственность от предыдущих моделей в области методического обеспечения, 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. Кроме этого, анализаторы жидкости «Флюорат-02-4М» и «Флюорат-02-5М» позволяют сохранять в памяти приборов градуировочные зависимости и результаты анализа проб, а, также, проводить измерения не только в кюветах с длиной оптического пути 10 мм, но и в стеклянных кюветах с длиной оптического пути 20 и 40 мм и в виалах за счет универсального кюветного отделения.

Одно из технических решений, реализованное нашими конструкторами, 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 анализа на ХПК и измерение проб производится непосредственно в виалах. В результате этого достигается значительная экономия дорогостоящих реактивов и времени, затраченного на проведение анализа. Комплект предлагаемого оборудования для измерения ХПК, включает в себя анализатор жидкости («Флюорат-02-4М» или «Флюорат-02-5М»), набор виал, специальную вставку для измерения в виалах и термореактор Термион.

Все анализаторы жидкости серии «Флюорат®-02» позволяют контролировать достаточно большой ряд нормируемых показателей в объектах окружающей среды. Для воды методистами ГК «ЛЮМЭКС»

разработано методическое обеспечение для определения таких органических веществ, как: нефтепродукты, фенолы, АПАВ, формальдегиды, ХПК, а также металлов (алюминий, медь, бериллий, цинк, селен и пр.). Есть методические решения для анализа воздуха рабочей зоны, для источников загрязнения атмосферы и для почв (МВИ нефтепродуктов).

Для каждого из определяемых компонентов разработан 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, в качестве флуориметрического и спектрофлуориметрического детекторов в составе жидкостного хроматографа «ЛЮМАХРОМ®».

Жидкостный хроматограф «ЛЮМАХРОМ®» предназначен 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. Основными характеристиками жидкостного хроматографа «ЛЮМАХРОМ®» являются беспульсационная подача элюента шприцевым насосом высокого давления, возможность подключения термостата колонок и возможность 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 во всех объектах (вода, воздух, почва, источники загрязнения атмосферы). Бенз(а)пирен – это химическое соединение, представитель семейства полициклических углеводородов, вещество первого класса опасности, Это соединение является продуктом неполного сгорания (пиролиза) органических соединений, в значительных количествах образуется при производстве кокса, алюминия, в ряде других отраслей промышленности. Во всех странах, контролирующих содержание ПАУ, маркером их присутствия в пробах выбран именно бенз(а)пирен. Среди всех нормируемых ПАУ именно он обладает наибольшей канцерогенностью. ГК «ЛЮМЭКС» предлагает методическое обеспечение и 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 нашей фирме является реализация метода капиллярного электрофореза (КЭФ). Система капиллярного электрофореза «Капель®» является первым в России серийно выпускаемым семейством приборов, предназначенных для реализации метода капиллярного электрофореза, применяемого для анализа природных, питьевых и сточных вод, почв и грунтов на катионно-анионный состав, а также для решения ряда других задач

Метод КЭФ основан на разделении компонентов сложной смеси в кварцевом капилляре под действием приложенного электрического поля. Регистрируемая ПО последовательность пиков называется электрофоррреграммой, при этом качественной характеристикой вещества является время миграции (выхода) пика, а количественной характеристикой – площадь пика, пропорциональная концентрации данного вещества.

В настоящее время ГК «ЛЮМЭКС» выпускает 2 модификации системы капиллярного электрофореза «Капель®» – «Капель®-104Т» и «Капель®-105М» с фотометрическим и спектрофотометрическим детекторами, соответственно. Отличительными особенностями «Капели®-105М» являются: полное управление прибором от компьютера, а также возможность регистрации спектров поглощения компонентов анализируемой пробы. Обе модели имеют в своей конструкции систему жидкостного охлаждения капилляра с заданной температурой носителя, возможность замены как кассеты с капилляром, так и самого капилляра и автосемплеры входной и выходной карусели для смены проб.

Использование систем капиллярного электрофореза 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®».

Выпускаемый ГК «ЛЮМЭКС» атомно-абсорбционный спектрометр «МГА®-915МД» позволяет решать задачу по определению загрязнений тяжелыми металлами природных, питьевых, сточных вод, почв и других объектов. «МГА®-915МД», снабжен 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 «МГА®-

915МД» 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 ртут-гидридная приставка РГП-915 позволяет анализировать пробы на содержание в них ртути, мышьяка, селена. Спектрометр может комплектоваться автосемплером на 55 образцов.

В 4 квартале 2014 года ГК «ЛЮМЭКС» выводит на рынок новую модель «МГА-1000», которая является третьим поколением спектрометров серии «МГА». Сохранив лучшее от предыдущей модели, «МГА-1000» обладает целым рядом новых особенностей: возможностью установки пробирок типа Эппендорф объемом от 1,5 до 2 мл, более удобной работой со статистической обработкой, возможностью пошагово задавать любую последовательность действий при работе с автосемплером.

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 ГОСТ.

Наибольшей популярностью у 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.

УДК 502.17:504.5 (470.6)

МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЛОКАЛИЗАЦИИ И ЛИКВИДАЦИИ АВАРИЙНЫХ РАЗЛИВОВ НЕФТИ ДЛЯ УСЛОВИЙ ЮГА РОССИИ

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

Рассмотрены основные источники поступления загрязнения нефтепродуктами селитебных территорий, а также приведен анализ и классификация основных мероприятий, адаптированных для условий Юга России.

Загрязнение нефтепродуктами (НП) происходит на всех этапах хозяйственной деятельности, связанной с добычей, транспортировкой, переработкой, хранением и распределением нефти и нефтепродуктов в результате аварийных и технологических утечек. Однако наибольший ущерб водной среде наносит разлив нефти при чрезвычайных ситуациях, связанных с нарушением технологического цикла, авариями и катастрофами.

По характеру и масштабу загрязнений, образующихся при эксплуатации соответствующих предприятий, можно выделить три основных типа источников загрязнения: площадные, линейные и очаговые (локальные) [1, 2].

Площадные источники для территории Юга России связаны в основном с разработкой месторождений. Данная территория относится к Северо-Кавказской нефтегазоносной провинции, количество месторождений и добыча, относящиеся к данной провинции, приведены на рисунке 1 [3].

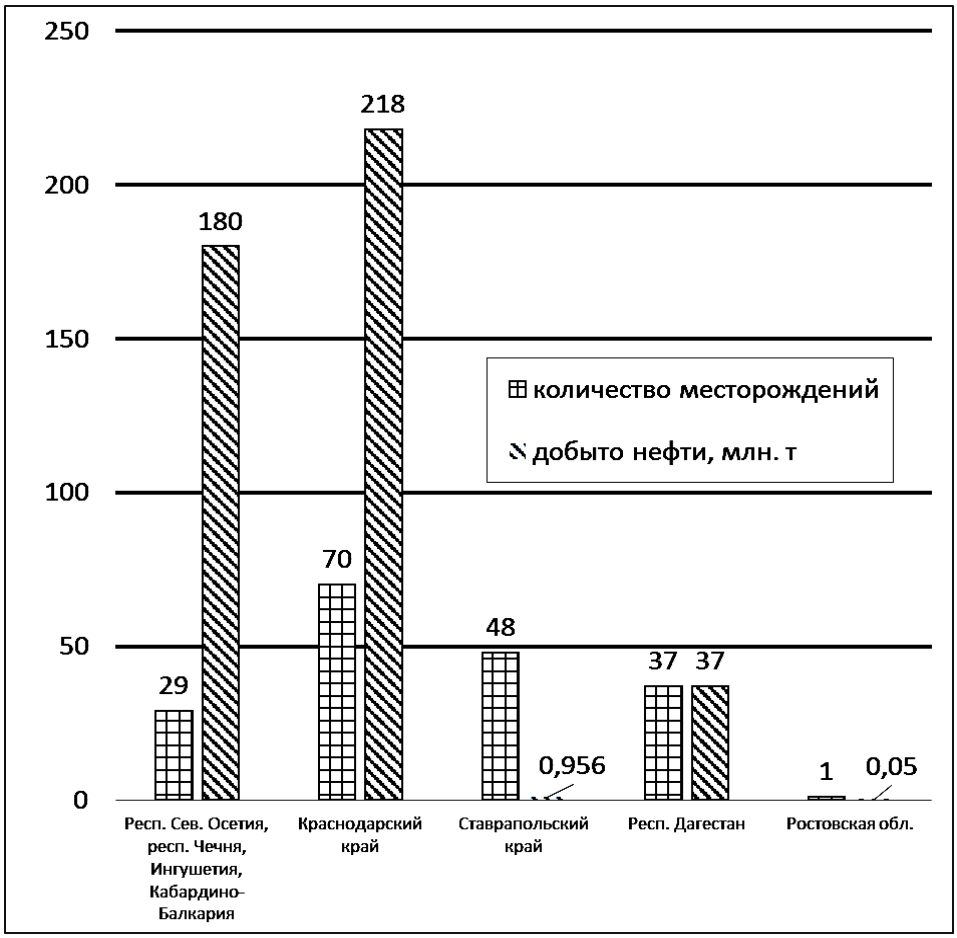


Рисунок 1. **Распределение месторождений и добычи нефти в Северо-Кавказской нефтегазоносной провинции**

Источниками на территории месторождений являются: эксплуатационные скважины; внутрипромысловые трубопроводы; пункты подготовки нефти для дальнейшей транспортировки и т.д.

Наиболее сильное загрязнение происходит при разведочном бурении, когда вскрывается нефтепродуктивный пласт. В таких случаях скважина часто начинает фонтанировать, что приводит к загрязнению окружающей среды пластовыми флюидами (нефть, газоконденсат, пластовые воды с растворенными углеводородами). Также наиболее часто аварийные разливы нефти происходят из-за нарушений герметичности промысловых нефтепроводов, их общая длина на Юге России превышает 30 тыс. км. При этом половина из них построена 30 – 35 лет назад при нормативном сроке эксплуатации этих систем 10 – 25 лет. В основном, аварии на нефтепроводах происходят по причине износа труб из-за внутренней коррозии внутрипромысловых нефтепроводов.

По данным Министерства природных ресурсов Российской Федерации, 50 % внутрипромысловых нефтепроводов физически устарели и относятся к категории высокоаварийных. Особую опасность представляют промысловые и межпромысловые трубопроводные системы [4]. Это связано со следующими неблагоприятными факторами:

- транспортировка многофазных пластовых флюидов, включая нефть, попутный газ, в том числе сероводород и углекислый газ, а также агрессивную пластовую воду, вызывает прогрессирующую коррозию стальных трубопроводов;
- опережающая скорость старения трубопроводов в сравнении со скоростью замены «старых» трубопроводов, эксплуатируемых более 15 лет;
- недостаточные объемы работ по замене стальных труб, уложенных на коррозионно-опасных направлениях транспортировки смесей, на неметаллические трубы.

При разливах нефти происходит ее скопление на ограниченных участках, и в результате этого формируются депрессионно-нефтянные местности, насыщенные нефтешламами и обладающие повышенной пожароопасностью. Нефтешламы представляют собой устойчивые эмульсии, постоянно изменяющиеся под воздействием атмосферы и различных процессов, протекающих в них. С течением времени происходит естественное их «старение», испарение легких фракций, окисление и осмоление нефти, образование коллоидно-мицеллярных конгломератов, попадание дополнительных механических примесей неорганического происхождения (песок, глина). Устойчивость к разрушению таких сложных многокомпонентных дисперсных систем многократно возрастает, обработка и утилизация их представляет сложную задачу.

Выбор метода переработки и обезвреживания нефтяных шламов, в основном, зависит от количества содержащихся в шламе нефтепродуктов. В качестве основных методов обезвреживания и утилизации нефтеотходов практически используются:

- термические методы обезвреживания;
- методы биологической переработки;
- физико-химические методы переработки;
- химические методы обезвреживания.

Наиболее перспективным направлением является применение физико-химического разделения нефтяного шлама (растворители, деэмульгаторы, ПАВ и др.) на составляющие фазы с последующим использованием.

Линейно-протяженными источниками являются крупные нефтепроводы. Через Северный Кавказ проходит большое количество как строящихся, так и проектируемых нефтепроводов.

Распространение загрязняющей фазы в почвогрунтах является комплексным гетерогенным, гетерофазным процессом, так как НП перемещается по наполненному воздухом или почвенной влагой поровому пространству. В данных условиях структура потока существенным образом определяется петрофизическими характеристиками почвогрунтов (диаметром пор, объемом порового пространства, смачиваемостью, проницаемостью), а также содержание парафина в НП. Поступление нефти в почву сопровождается расслоением нефтяного потока по профилю: нефтяные компоненты задерживаются в верхних почвенных горизонтах, а минеральные воды, более тяжелые и менее вязкие, быстрее проникают в нижние. Расслоение нефти связано с тем, что нефть и ее фракции по разному адсорбируются различными минералами [1].

Приближенно глубину распространения нефтепродуктов H в слое аэрации можно оценить с помощью следующей формулы [1]:

$$H = 1000 \cdot W / (F \cdot n) \qquad (1)$$

где W – объем инфильтрованной нефти, м^3; F – площадь поверхностной инфильтрации, м^2; n – параметр проницаемости, для мелкозернистых песков и легких суглинков его можно принять равным 30 – 40.

Скорость инфильтрационного просачивания в зоне аэрации определяется по формуле Н.Н. Биндемана:

$$V = \sqrt[3]{w^2 \cdot k_a} \,/\, \Theta \qquad (2)$$

где Θ – полная влагоемкость, доли ед.; w – инфильтрационное питание, м/сут.; k_a – коэффициент фильтрации, м/сут.

В условиях Юга РФ величина w изменяется от 30 до 120 мм/год, что в большей степени связанно со строением зоны аэрации, чем с многолетней изменчивостью осадков.

Для ликвидации последствий загрязнения при разливе НП необходима на первом этапе локализация, а на втором – ликвидация ее последствий.

При локализации на почве применяют целый ряд различных типов дамб, сооружение амбаров (накопителей), запруд или обваловок, траншей для отвода НП, наиболее перспективными из которых являются дамбы и накопители из композитных материалов.

При ликвидации разлива НП на суше применяют следующие методы, приведенные на рисунке 2.

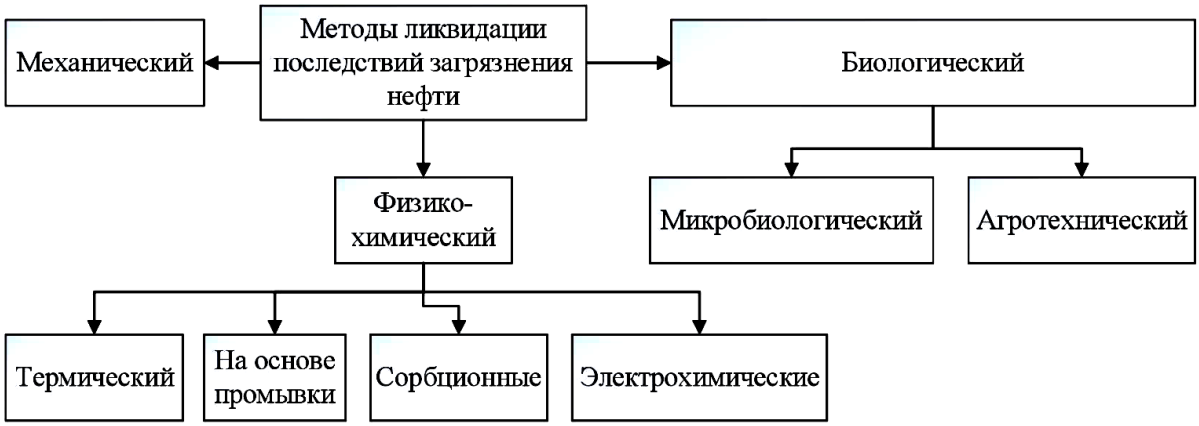


Рисунок 2. **Методы ликвидации последствий разлива НП**

Одним из главных методов ликвидации разлива НП является механический сбор нефти. Наибольшая эффективность его достигается в первые часы после разлива. Это связано с тем, что толщина слоя нефти остается достаточно большой. При малой толщине нефтяного слоя, применяется физико-химический метод с использованием диспергентов и сорбентов. Он эффективен в тех случаях, когда механический сбор НП невозможен, например, при малой толщине пленки или, когда разлившиеся НП представляют реальную угрозу наиболее экологически уязвимым районам. Наиболее распространенными в настоящее время являются сорбционные методы. Максимальное насыщение сорбентов достигается в период первых десяти секунд, после чего образуются комья материала, насыщенного нефтью. В крайних случаях, если разлив НП может достигнуть природоохранной зоны, его могут обрабатывать диспергентами. Биологический метод используется после применения механического и физико-химического методов при толщине пленки не менее 0,1 мм [2].

При выборе метода ликвидации разлива НП все работы должны быть проведены в кратчайшие сроки, причем проведение мероприятий не должно нанести больший экологический ущерб, чем сам аварийный разлив.

ЛИТЕРАТУРА
1. Боревский Л.В. Методические рекомендации по выявлению, обследованию, паспортизации и оценке экологической опасности очагов загрязнения геологической среды нефтепродуктами [Электронный ресурс]. М.: ГИДЭК, 2002. 87 с. Режим доступа: http://www.twirpx.com/file/985034/.
2. Кашарин Д.В. Дилина М.А., Шабельник А.А. Локализация и ликвидация нефтяных загрязнений в условиях малых водотоков // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2014. № 7(79). С. 36–39.
3. Воробьев Ю.Л., Акимов А.А., Соколов Ю.И. Предупреждение и ликвидация аварийных разливов нефти и нефтепродуктов. М.: Инюктаво, 2005. 368 с.
4. Общее состояние нефтедобычи на Северном Кавказе [Электронный ресурс]: Режим доступа: http://alaniaoil.ru/?p=3388.
5. Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем / Под ред. М.А. Глазовской. М.: Наука, 1988. 254 с.

УДК 628.84

ПРОБЛЕМЫ ДЕЗОДОРИРОВАНИЯ ВОЗДУХА В ИНДУСТРИАЛЬНОМ МЕГАПОЛИСЕ

Е.М. Чукалина
ООО «КНТ Плюс»,
г. Москва, Россия

Предложены различные реагенты для дезодорирования воздуха на полигонах бытовых отходов канализационных очистных сооружений и др.

Химическое дезодорирование с использованием нейтрализующих реагентов является новым перспективным направлением, в коммунальном хозяйстве, которое развивается «Компанией Нью Текнолоджис Плюс» совместно с компанией WESTRAND.

Компания WESTRAND работает в этой области с 1992 года, имея более чем 16-летний опыт работы и успехи, в устранении нежелательных промышленных запахов.

Компания производит и продаёт ряд патентованных составов, способных уничтожать запахи, и предлагает соответствующее оборудование. Разработанный процесс основан на химической реакции, разрушающей запахи, не маскируя или заменяя их другими.

При этом создан полный спектр патентованных эффективных компонентов, основанных на комбинации натуральных и синтетических масел, содержащих смесь альдегидов.

В первую очередь, деятельность компании основана на эффективности и надёжности. Это достигается за счёт поставки основного активного вещества, монтажа адаптированного оборудования, технического обслуживания, обязательств по достижению результатов.

Полученные результаты на протяжении многих лет по устранению неприятных запахов показали высокую эффективность применения продуктов: при разложении отходов (места захоронения отходов, мусорные ямы, мусоросжигательные печи, компостные установки, грязевой отстой, отходы лесоразработок, бытовой мусор); при очистке сточных вод (станции водоочистки, сеть канализации, шламонакопители); в промышленности (предприятия пищевой промышленности, пивоваренные заводы, целлюлозно-бумажные комбинаты, химические заводы); в сельском хозяйстве (животноводство, птицеводство, разбрасывание навоза и т.д.).

Разработанные продукты состоят из натуральных и синтетических эфирных масел, содержащих следующие группы: альдегиды, кетоны. Эти группы химических соединений способны химически нейтрализовать следующие соединения, имеющие неприятный запах: аммиак, амины, H2S, меркаптаны. Эти соединения встречаются, главным образом, в отходах, мусоре, компосте, сточных водах и практически являются основными источниками неприятных запахов в окружающей среде.

Химическое воздействие завершается двумя эффектами.

Во-первых: снижением запаха за счёт его нейтрализации. Это – физиологический процесс, в котором неприятный запах может быть нейтрализован хорошим ароматом, так что человеческий нос не в состоянии обнаружить никакого запаха вообще. (Впервые опубликовано Zwaardemaker и др. в «Архивах анатомии и физиологии». 1900, С. 423–432) [1]. Например, кумарин можно нейтрализовать скатолом, а также эвкалиптолэтилмеркаптаном.

Во-вторых: два альдегида вместе действуют лучше, чем каждый в отдельности (синергетический эффект). В выпускаемой продукции используются точные смеси альдегидов с целью увеличения их эффекта уничтожения запаха. Поэтому эффективность комбинаций объясняет, почему получаются очень хорошие результаты при нейтрализации запахов растворителей, нефти, каучука, дрожжей. Все комбинации запатентованы. Патенты, защищающие продукцию: французский патент № 2 599 257 от 29.05.1986; дополнительноеудостоверение № 2 623 717 от 1.12.1987; европейский патент № 0401140 от 28.05.1990.

Проведённые испытания подтвердили эффективность в различных ситуациях: на бытовом мусоре (мусорная свалка); на сточных водах; на жидком свином навозе и т.д.

В этих случаях продукция испытывается в реальных условиях и её эффективность подтверждается группами различных людей (жителями,

рабочими). При обработке воздуха особое внимание должно быть обращено на токсичность.

Разработанная продукция нетоксична для человека и окружающей среды. Токсичность была проверена официальными французскими лабораториями и под контролем компетентных французских органов. Были получены все необходимые сертификаты. Установлено, что производимые продукты биоразлагаемы, нетоксичны для кожи, нетоксичны для глаз, нетоксичны для растений, нетоксичны для водной фауны и флоры, могут использоваться в закрытых помещениях, где работают люди, что удостоверено сертификатами Органов производственной гигиены. Все продукты зарегистрированы в перечне Международной Ассоциации Ароматических Веществ (IFRA). В 2007 году был получен документ о соответствии продукции законам Ислама, о котором просили клиенты в Алжире, Марокко и Малайзии.

1. Виды обработки:

А. *Обработка жидкостей путём добавления*

Нейтрализация запахов жидкостей: сточных вод насосной станции или очистной установки; отстоя жидкости (шлама); жидкого мусора; жидкого свиного навоза; стоков пищевой промышленности, молочных заводов.



Рисунок 1. **Использование дозировочной насосной системы с обязательным предварительным разбавлением**

Семейство продуктов INHITONE, эффективность действия составляет 5 – 7 дней.

Б. Обработка воздуха с использованием технологии дезодорирования применяется для: мест работ на открытом воздухе площадью более 10 га

(отстойных бассейнов, складов, полигонов для захоронения отходов, компостных площадок…); зданий; дымовых труб и т.д.



Рисунок 2. **Дезодорирование воздуха на полигоне отходов**

Дезодорирование осуществляется за счёт: распыления аэрозоля: размер частиц 10 и 15 микрон; семейство продуктов AIRHITONE; при низкой концентрации продукта 0,1 % и менее.

Распространение с различным порядком чередования во времени в комбинации с метеостанцией.

В. Обработка твёрдых отходов осуществляется дезодорированием на поверхности: бытовых отходов; застывшего шлама; органических отходов; компоста.

Семейство продуктов: AIRHITONE.

Эффективность: 5 – 7 дней.

Распыление пушкой, установленной на тракторе.



Рисунок 3. **Дезодорирование поверхности бытовых отходов**



Рисунок 4. **Дезодорирование шлама (отстоя) на грузовике перед выездом**

Для проведения дезодорирования предлагаются различные типы оборудования в зависимости от типа обработки:

1. Распылительные сопла из нержавеющей стали (распылительные системы): высокое давление 70 – 110 бар; сопла расположены через каждые 1,5 м; управляются от метеостанции; распыление аэрозоля – размер частиц 10 и 15 микрон.

2. Промышленный распылитель типа IGEBA: низкий расход на каждое сопло; большая скорость проникания (без ветра) – 220 м/с; распыление аэрозоля – размер частиц 10 и 15 микрон.

3. Распылительная пушка.

4. Малогабаритный распылитель: NEBULO / NEBUROTOR.

5. Установка для добавления реагента (с дозировочным насосом).

В настоящее время технологии и продукты, выпускаемые компанией, активно используются в различных городах Россиии, в первую

очередь, в Москве и Санкт-Петербурге, где в этом году введены в эксплуатацию распыляющие рампы на юге и севере города общей длиной более 3 км.



Рисунок 5. **г. Санкт-Петербург, полигон «Новоселки»**



Рисунок 6. **г. Люберцы, очистные сооружения**



Рисунок 7. г. Москва, снегоплавильная станция

УДК 628.33

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ ТОНКОСЛОЙНОГО ОТСТОЙНИКА (НА ПРИМЕРЕ УСТАНОВКИ «КЛЮЧ П-40»)

А.М. Баринов
Ростовский государственный строительный университет,
г. Ростов-на-Дону, Россия.

Теоретически и экспериментально обосновано, что для визуализации и регулирования гидродинамических нагрузок на отстойники при очистке вод на стадии проектирования в процессе выполнения технологических расчетов рекомендуется проводить компьютерное моделирование. Это предотвращает последующие технологические ошибки, обнаруживаемые на стадиях пуско-наладочных работ или эксплуатации.

Как следует из современного состояния теории и практики исследования химических реакторов, включая аппараты и сооружения водоочистки, для точного предсказания характеристик аппарата и прогнозирования эффективности его работы, необходимо знать режим течения жидкости в нем, т. е. в течение какого времени отдельные части потока находятся в нем. Для этого применяют широко распространенный метод исследования, основанный на искусственном нанесении возмущений и анализе вызванных ими последствий [1 – 8].

Очевидно, что, если различные элементы жидкости проходят через аппарат различными путями, то и периоды времени, за которые они пройдут через аппарат, будут неодинаковыми. Характеристикой этого процесса является дифференциальная функция E распределения интервалов времени, прошедших от момента попадания данного элемента жидкости в аппарат до появления этого элемента в потоке, выходящим из аппарата.

Возмущающим воздействием может быть введение в аппарат вместе с поступающим потоком какого-либо трассера, химически инертного к среде. При этом реакция системы (кривая отклика), определяется путем регистрации изменения во времени содержания трассера в потоке на выходе из аппарата. В частности при импульсном вводе трассера кривая отклика носит название С-кривой и при этом равна E [7].

Целью работы является исследование гидродинамических характеристик тонкослойного отстойника (на примере песколовки-нефтеловушки установки «КЛЮЧ П-40») в ходе пуско-наладочных работ и во время эксплуатации.

Для достижения поставленной цели в работе необходимо было провести физический эксперимент с помощью химического трассера для получения коэффициента объемного использования. Параллельно

проводился численный эксперимент (компьютерное моделирование). Была создана трехмерная твердотельная параметрическая модель (3D-модель). В итоге необходимо было выяснить сопоставимость полученных результатов обоих экспериментов.

Схема установки «Ключ П-40» приведена на рисунке.

Расчетная производительность сооружений дождевых вод – 960 м^3/сут. или 40 м^3/ч. Установка «Ключ П-40» работает следующим образом.

Исходный сток через патрубок входа подаётся в центральный отсек «А» блока песколовки-нефтеловушки и разделяется на 2 восходящих потока. Проходя через системы тонкослойных элементов отсеков «Б», из стоков выделяются и оседают на дно отсеков взвешенные механические и минеральные примеси.

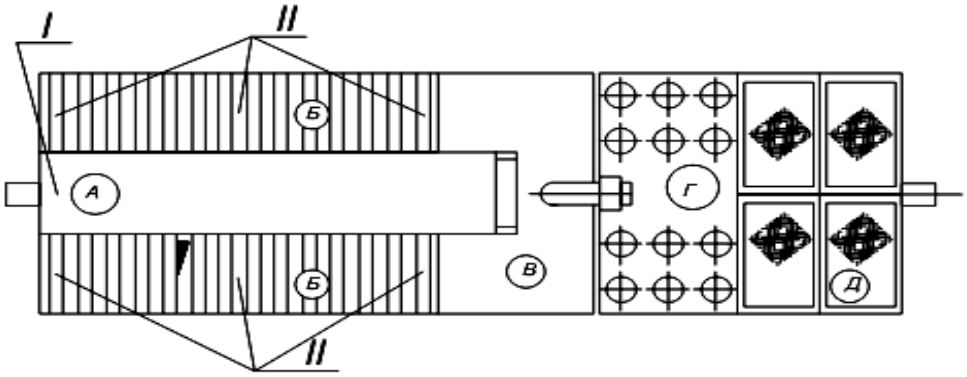


Рисунок. **Схема установки «Ключ П-40» с указанием точки ввода раствора NaCl и точек измерения проводимости:**
I - точка «мгновенного» ввода трассера; II – точки измерения проводимости

Нефтяная плёнка образуется на поверхности отсеков «Б» и вместе с потоком переливается в карман «В», постепенно накапливаясь на поверхности.

По сути, суммарно отсеки «А», «Б», «В» представляют собой тонкослойный отстойник с центральной распределительной камерой.

Частично очищенный сток по патрубку подаётся в отсек «Г» блока фильтров. Пройдя кассеты фильтровальные, загруженные фиброилом (общий вес фиброила 50 кг), стоки попадают в нижнюю часть отсека «Г» и по щелевым протокам подаются в отсек «Д». Отсек «Д» состоит из двух зон фильтрования: первая зона – поддерживающий слой из керамзита (фракция 10…20 мм, высота загрузки 200 мм) и вторая зона – двухслойная загрузка активированного угля (нижний слой – фракция 3…6 мм, высота загрузки 200 мм, верхний слой – фракция 1…3 мм, высота загрузки 400 мм). Очищаемые стоки, пройдя зоны «Г» и «Д», подвергаются

окончательной очистке и через выходной патрубок выводятся из установки.

Для эффективной работы тонкослойных отстойников необходимо обеспечение равномерного распределения осветляемой жидкости, как по длине тонкослойных модулей, так и по их ширине [9, 10]. Суммарно эффективность гидродинамического режима работы сооружений характеризуется коэффициентом объемного использования [1, 8, 11 – 12].

В наших опытах в качестве трассера использовался водный раствор NaCl, концентрацию которого на выходе из исследуемых конструктивных элементов (секций) определяли кондуктометрическим способом с использованием мультиметра [8].

Общая методика экспериментов была следующая. При исследовании центральной секции «А» установки «КЛЮЧ П-40» (рис.) «мгновенно» (время ввода составляло несколько секунд) вводился концентрированный раствор NaCl (С = 350 г/л), далее через определенные интервалы времени в заданных по эксперименту точках определялась проводимость (К), датчиком мультиметра, помещенного непосредственно в точку измерения. По полученной величине рассчитывалась концентрация NaCl (С – концентрация соли, мг/л) по тарировочной кривой зависимости С от К.

Эта зависимость была получена путем обработки экспериментальных данных предварительной тарировки мультиметра с датчиком. При этом выборочные значения коэффициента детерминации (R2) составило 0,9821, т.е. 98,21 % экспериментальных данных описывается полученной зависимостью.

По результатам экспериментов определялось среднее время пребывания воды в исследуемом отсеке:

$$\tau = i = 1m \cdot C_i \cdot t_{ii} = 1m \cdot C_i \qquad (1)$$

где t_i; C_i – соответственно, текущее время и концентрация NaCl на выходе; m – число проб.

Далее определялся коэффициент объемного использования и проводился анализ кривых отклика в безразмерных координатах E-Θ, определяемых по следующим формулам:

$$E_i(t) = C_{ii} = 1m\, C_i \Delta t_i, \qquad (2)$$

$$\Delta t_i = t_{i+1} - t_i; \quad \theta = t_i / \tau, \qquad (3)$$

$$E_i = \tau\ E_{i(t)}. \qquad (4)$$

Функция распределения интервалов времени нахождения элементов жидкости в аппарате J_i определяется как:

$$J_i = 1 - \Sigma E_{i\,cp} \cdot \Delta\theta, \qquad (5)$$

$$E_{i.cp} = (E_i + E_{i-1}) / 2, \qquad (6)$$

$$\Delta\theta = \theta_i - \theta_{i-1}, \qquad (7)$$

где $\Sigma\bar{E}_i \Delta\theta$ –построчная сумма вышеприведенного произведения от начала опыта до рассматриваемого измерения.

Для математического описания функции отклика априорно была выбрана модель проточного реактора с продольным перемешиванием. Значение критерия Пекле и коэффициента продольной диффузии, определялись по [13], для частично закрытых сосудов из уравнений:

$$S2 = S\tau 2(\tau) = 2D\ u\ H_k + 3\ (D\ u\ H_k)2\ , \quad (8)$$

$$S\tau 2 = i = 1m\ t_i\ 2C_{ii} = 1m\ C_{ii} - (i = 1m\ t_i\ C_{ii}\ m\ C_i)^2, \quad (9)$$

$$P_e = u\ H_k / D, \quad (10)$$

где $S\tau 2$ – дисперсия переменного времени пребывания части потока в камере; D – коэффициент продольного перемешивания; u – средняя скорость движения воды; $H_к$ – высота камеры; P_e – критерий Пекле.

По результатам средних значений по точкам измерений (см. рис.): среднее время пребывания (τ) = 6,60 мин; коэффициент объемного использования ($К_{ИСП}$) 46,4 %.

Результаты, полученные путем постановки физического эксперимента, полностью совпадают с результатами компьютерного анализа (численный эксперимент).

Ожидаемое значение коэффициента объемного использования компьютерной модели – 49,98 %, что весьма близко к полученному значению коэффициента объёмного использования центрального отсека на основании физического эксперимента с использованием трассера – 46,4 %.

По результатам проведенных исследований можно сделать вывод, что качественный (визуализация потока) и количественный анализ показывают весьма хорошее совпадение результатов физического и численного (компьютерная модель) эксперимента и подтверждают предположение, сделанное в ходе пуско-наладочных работ, о достаточно низком коэффициенте объемного использования центрального отсека за счет неорганизованного ввода обрабатываемой воды в неё (рис.).

Для предотвращения подобных технологических ошибок, рекомендуется проводить компьютерное моделирование еще на стадии проектирования в процессе выполнения технологических расчетов. Это позволяет визуализировать процессы, протекающие в исследуемом объекте, дает высокую информативность о распределении гидродинамических нагрузок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кичигин В.И. Моделирование процессов очистки воды. Изд-во АСВ. 2003.
2. Баринов М.Ю. Очистка воды от взвешенных веществ в тонкослойных отстойниках с камерой хлопьеобразования воздушного перемешивания: Дис. …канд. техн. наук: Л., 1988. 209 с.

3. Повышение эффективности очистки промышленных сточных вод: Сб. материалов. К.: Укр. НИИИНТИ. 1981, 61с.
4. Вейдер Ю.И., Минд Д.М. Высокомолекулярные флокулянты в процессах очистки природных и сточных вод. М., Стройиздат. 1984. 200 с.
5. Брагинский Л.Н., Белачев В.И., Барабаш В.М. Перемешивание в жидких средах: физические основы и инженерные методы расчета. Л., Химия, 1984. 336 с.
6. Крамес Х., Вестертрет К. Химические реакторы. Расчет и управление ими. М., Химия. 1976. 264 с.
7. Кафаров В.В. Методы кибернетики в химии и химической технологии. М., Химия. 1976. 264 с.
8. Левеншпиль О. Инженерное оформление химических процессов / Пер. с англ. под ред. и с доп. М.Г. Слинько. М., Химия. 1969. 621 с.
9. Абрамов Н.Н. Водоснабжение. Учеб. для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1982.
10. Фрог Б.Н., Левченко А.П. Водоподготовка. Учеб. пособие для вузов / Под ред. Г.И. Николадзе. М.: МГУ.
11. Кассатин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М., Химия. 1971. 784 с.
12. Гельперин Н.И. Основные процессы и аппараты химической технологии: в 2 т. М., Химия. 1981. С. 69–193.
13. Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты. М.: ФГУП «НИИ ВОДГЕО». 2006. 55 с.

УДК 628.16

СТАНЦИЯ МИКРОФИЛЬТРАЦИИ Г. ВОЛГОДОНСКА

Н.С. Серпокрылов
Ростовский государственный строительный университет,
г. Ростов-на-Дону, Россия
А.В. Нетута
МУП «ВКХ», г. Волгодонск, Россия;
Е.А. Тайвер
ООО «Донсельхозводстрой», г. Ростов-на-Дону, Россия.

Даны тактические решения увеличения надежности работы водопроводных очистных сооружений в период интенсивного цветения водоемов и развития моллюска дрейссены.

В октябре 2009 года в г. Волгодонске для предотвращения возникновения аварийной ситуации на водопроводных сооружениях, город был вынужден прекратить подачу питьевой воды населению на трое суток [1]. Причиной сложившейся ситуации, парализовавшей работу очистных сооружений водопровода, стали сине-зеленые водоросли, концентрация которых в источнике превысила обычную для данного периода в несколько сотен раз. Остановка сооружений позволила предотвратить попадание водорослей в систему очистки и тем самым предупредить аварийную ситуацию с возможными более серьезными последствиями.

В тот период уже велись проектные работы по реконструкции водопроводных очистных сооружений в части замены оборудования существующей станции микрофильтрации. Станция микрофильтрации на площадке водопроводных очистных сооружений «ВОС-1» была построена в 1980 году, были установлены пять микрофильтров, 4 рабочих и один резервный марки МФ 3х4,5 производительностью 45 000 $м^3$/сут каждый.

В процессе сбора исходных данных для проектирования были выявлены серьезные проблемы, возникающие на сооружениях предварительной очистки поверхностных вод. В первую очередь это информация о том, что установленные ранее микрофильтры прослужили всего год, так как каркас конструкции микрофильтра в те годы был выполнен из не коррозионностойкой стали и, как следствие, произошел быстрый износ конструкций.

Но более серьезной проблемой как для микрофильтров, так и оборудования и трубопроводов в целом, как выяснилось, все эти годы являлось наличие в исходной воде моллюска дрейссены. Моллюск дрейссены является широко распространённым видом двустворчатых моллюсков, обитающим в пресных и солоноватых водах – *Dreissena polymorpha*. Проникновение моллюска в водозаборные и очистные сооружения, в частности сооружения «ВОС-1» г. Волгодонска, повлекло за собой такие последствия как полное засорение технологических трубопроводов, предназначенных для отвода промывных вод от промывки микрофильтров, и истирание фильтрующего материала барабана микрофильтра, так как его конструкция не предусматривает удаление таких крупных элементов, как моллюск дрейссены (размеры взрослых моллюсков составляют 3 – 5 см).

После выхода микрофильтров из строя они были полностью демонтированы, а камеры, в которые они были установлены, использовались в качестве отстойников для задержания моллюска дрейссены, что позволяло многие годы обеспечивать бесперебойную работу сооружений. Но в последние годы, в связи с заметным изменением климатических условий, отмечено повышенное цветение природных вод. Отсутствие аппаратов предварительной очистки воды от планктона на

сооружениях водопровода, забирающих воду из поверхностных источников, становится большой проблемой для водопотребителей.

Для повышения работоспособности очистных водопроводных сооружений в г. Волгодонске были разработаны решения комплексного предварительного выделения планктона (сине-зеленых водорослей) и моллюсков дрейссены. Предварительная очистка была предусмотрена в два этапа.

Первым этапом узла предварительной очистки вод были предусмотрены решетки с прозорами 2 – 3 мм (индивидуального исполнения) для выделения моллюсков дрейссены, вторым – микрофильтры для выделения личинок дрейссены и планктона. Максимально возможные прозоры решеток были определены опытным путем с использованием воды и содержащихся в ней моллюсков непосредственно из Цимлянского водохранилища. Микрофильтры были предусмотрены с каркасом из коррозионностойкой стали и с применением современных сетчатых фильтрующих материалов производства компании G BOPP & CO AG (Швейцария) тип – фильтровая ткань саржевого плетения – 25 (35 – 38) мкм без внешних и внутренних поддерживающих сеток ячейкой 2 х 2 мм во избежание попадания между ними личинок дрейссены [2]. Также для борьбы с личинками моллюска дрейссены, проникающими внутрь микрофильтра с водой, было предусмотрено, периодически, не реже 1 раза в месяц, проводить обработку микрофильтра и в целом камеры его размещения хлорной водой (концентрация 2 – 3мг/л по активному хлору) в течение минимум 15 мин для предотвращения развития колоний дрейссены и утилизаторов отмерших моллюсков и, соответственно, вторичного загрязнения очищенных вод, в т.ч. и запахов.

В 2013 году проект был реализован и сдан в эксплуатацию. На первом этапе предварительной очистки были установлены решетки стандартного исполнения с прозорами 5 мм. Уже на этапе пуско-наладочных работ, стало очевидно, что прозор решеток в 5 мм не эффективен при задержании личинок и моллюска ранней стадии развития и приводит к его беспрепятственному проникновению в микрофильтры и возникновению тех же проблем, что и в 1980-х годах.

На базе построенных сооружений решеток, опытными специалистами эксплуатации водопроводных очистных сооружений г. Волгодонска была разработана и смонтирована альтернативная сетчатая установка по задержанию моллюска, которая показала высокую эффективность в удалении взрослых особей и была успешно запатентована.

Нами предложено техническое решение по усовершенствованию самой конструкции микрофильтра в части оборудования внутренней поверхности планками с отбортовкой, выполненными из прочного эластично материала, например материала для изготовления конвейерной

ленты (для производства корда лент для конвейеров в основном используют волокна нейлона или полиамида в поперечном направлении и волокно полиэстера – в продольном). Возможно изготовление планок также из пластин резиновых и резиновотканевых по ГОСТ 7338-80. Эти материалы имеют небольшой вес.

Данное усовершенствование поспособствует повышению эффективности удаления осевших на дне барабана моллюсков дрейссены, так как отбортовка будет препятствовать падению крупных взвесей и моллюска с полки, а эластичность материала снизит гидравлическое сопротивление при вращении барабана [3]. На рисунке представлена схема усовершенствованной модели.

Внедрение предложенных нами технических решений запланировано в 2015 г., поскольку, как показал опыт эксплуатации, личинки и молодые моллюски дрейссены проходят через альтернативную сетчатую установку.

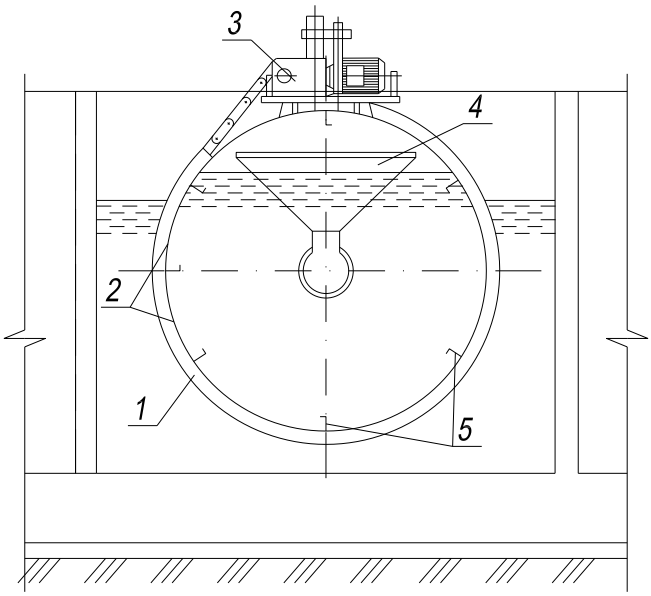


Рисунок. **Схема усовершенствованного микрофильтра для удаления дрейссены:**
1 – вращающийся барабан; 2 – фильтрующие элементы; 3 – промывное устройство; 4 – приспособления для сбора и отвода промывной воды; 5 – планки с отбортовкой.

Отдельно стоит отметить тот факт, что в настоящее время при проектировании, строительстве и реконструкции водозаборных и водопроводных очистных сооружений предусматриваются лишь цикличные промывки хлорсодержащим раствором водоводов сырой воды, подающих воду от водозабора на очистные сооружения для нейтрализации моллюска, что не решает полностью проблему попадания моллюсков на очистные сооружения, а также ни в нормативной ни в общеобразовательной литературе проблема попадания моллюска

дрейссены в системы водопроводных очистных сооружений не освещена и соответственно не предложены методы предотвращения попадания их на ОСВ.

ВЫВОД

Внедрение предложенных нами технических решений увеличит надежность работы водопроводных очистных сооружений в период цветения водоема и развития моллюска дрейссены.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тайвер Е.А., Серпокрылов Е.Н. Особенности выделения сине-зеленых водорослей на малых водопроводных очистных сооружениях // Водоснабжение и канализация. 2012. № 1. С. 32–34.
2. Гурова Е.В., Гризодуб Н.Н., Иванова Ю.А. Сравнительная оценка эффективности очистки донской воды в период цветения на микросетках. // «Науковедение». Интернет-журнал. 2011. № 4(13). 63 с.
3. Патент на полезную модель 138567 РФ, МПК B01D33/073. Микрофильтр для очистки воды от механических примесей, планктона и моллюска дрейссены / Н.С. Серпокрылов, Е.А. Тайвер; заявл. 12.11.2013; опубл. 20.03.2014.

УДК631.67:628.36

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ В БАССЕЙНЕ РЕКИ АМУДАРЬЯ

В.И. Щербаков
Воронежский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Воронеж, Россия
Б. Кулмедов
Туркменистан

Приведены результаты исследований, позволяющие значительно снизить объемы поливной воды для сокращения водных ресурсов Аральского моря.

Нарастание дефицита водных ресурсов в связи с ростом населения, развитием орошаемого земледелия и промышленности, а также изменение режима попусков из главных водохранилищ с ирригационного на энергетический вызывают ряд кризисных явлений в регионе Центральной Азии. Основные причины кризиса мелиорации орошаемых земель в республиках Центральной Азии связаны со снижением плодородия почв, дефицитом оросительной воды, их засолением, а также с загрязнением источников дренажно-сбросными стоками. В этой связи, для повышения

эффективности и рационального использования оросительной воды в сельхозпроизводстве необходимо совершенствовать способы полива.

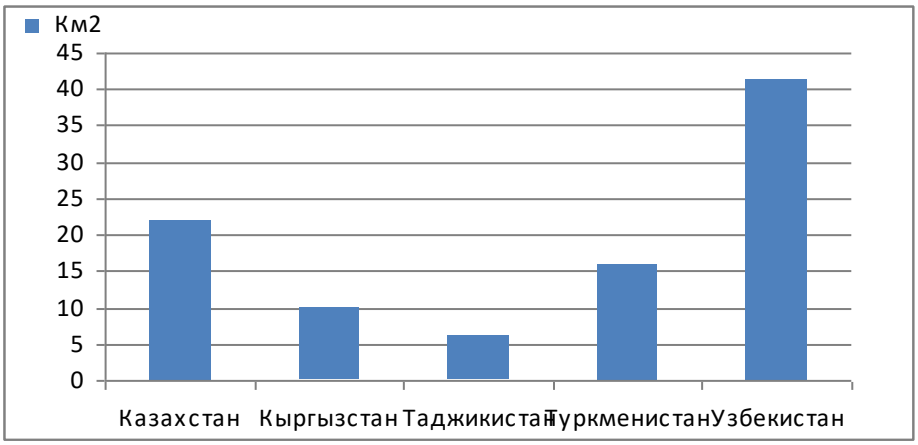


Рисунок 1. **Площади орошаемых земель в странах Центральной Азии [1]**

Площадь орошаемых земель в Центральной Азии к сегодняшнему периоду превысила 8 млн га и около 90 % поливов осуществляется по бороздам [1]. Как показано в таблице 1 более 90 % воды Амударьи употребляется для орошаемого земледелия [2].

Таблица 1. **Суммарный водозабор и забор по сектору в бассейне реки Амударья [2]**

Страна	Год	Общий объем забора воды (10^6м^3/год)	Сельское хозяйство, %	Бытовые нужды, %	Промышленность, %	Энергетика, %,	Прочее, %
Афганистан	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д
Кыргызстан	Н/Д	54,0	97,4	-	-	-	-
Таджикистан	1997	8590	82,0	8,1	8,7	Н/Д	-
Таджикистан	2010	9400	79,6	8,7	8,5	Н/Д	3,2
Узбекистан	1997	28986	95,0	4,3	0,7	Н/Д	-
Узбекистан	2010	29400	91,8	7,0	1,2	Н/Д	-
Туркменистан	1997	22773	97,7	1,8	0,6	Н/Д	-
Туркменистан	2010	28145	91,0	4,9	4,1	Н/Д	-

Поскольку на долгосрочную перспективу ожидать увеличения водных ресурсов не приходится, следует углублённо проработать вопросы всемерной экономии и рационального использования имеющихся водных ресурсов. В настоящее время, наряду с вопросами реконструкции оросительных каналов, дренажа и водоотводящих трактов должна быть рассмотрена возможность совершенствования управления поливом на уровне поля для обеспечения сельхозкультур необходимым количеством воды, основанное на применении современных методов орошения.

Существующая технология традиционного полива не может обеспечить высокую эффективность использования воды. Доказано неоднократно, что общий коэффициент полезного действия ирригационных систем от реки до коллекторно дренажной системы составляет 0,25 – 0,35, вся остальная 65 – 75 % воды теряется не только бесполезно, но и приводит к ужасным экологическим последствиям. Миллионы гектаров засолены и заболочены, высыхает Аральское море, появились десятки искусственных соленых озер [3].

Производство полива по бороздам в настоящее время вызывает большие сомнения в эффективности его повсеместного использования. В развитых странах, находящихся в схожих с Центральной Азией климатических условиях, успешно применяются капельное орошение и дождевание.

По данным S.A. Kulkarni и др. [4], в 2005 г. в РФ было 200 тыс. га под капельным орошением, что составляет около 4 % от всей орошаемой площади. Наибольший процент орошаемых площадей с капельным орошением отмечен в Израиле (74 %), Испании (26 %), Саудовской Аравии (17 %), Тунисе (16 %), Южной Африке (15 %), Италии (14 %). Наибольшие площади под капельным орошением заняты в США – 1 209 757 га (6 % от всей орошаемой площади).

Главной особенностью капельного орошения является подача воды непосредственно к каждому растению, в соответствии с его потребностью в воде. Благодаря этому расход воды и энергии при капельном орошении в 2– 5 раз меньше, чем при традиционных способах полива, так же в 3 – 4 раза снижаются нормы внесения минеральных удобрений, которые подаются вместе с водой непосредственно в корневую зону каждого растения [5].

Исследования, проведенные в Таджикистане показали, что наибольший расход воды для образования одной тонны урожая имеет место на варианте с капельным орошением при уровне предполивной влажности почвы не ниже 65 % ППВ. Это свидетельствует о том, что с повышением урожая эффективность поливной воды возрастает. При сопоставлении соотношения расхода воды к урожаю преимущественно сохраняется именно в пользу этого варианта. Для овощных культур

(томаты, перцы и огурцы) затраты воды на образование одной тонны урожая колеблется от 60 до 170 м^3, по мере роста урожая коэффициент водопотребления постепенно уменьшается, а оросительная норма, наоборот, повышается. Удельный расход поливной воды на единицу продукции овощных культур представлен в таблице 2 [6].

Фактическая оросительная норма при бороздковом поливе для овощных культур в среднем составила 5125 м^3/га. Экономия оросительной воды составила 1120 – 1130 м^3/га.

Таблица 2. **Расход поливной воды и затраты ее на единицу полученной продукции (2007 – 2010 гг.)**

Способ полива	Количество поливов	Оросительная норма, м^3/га	Средняя поливная норма, м^3/га	Средняя урожайность, ц/га	Продуктивность использования воды урожаем	
					на 1 т урожая затрачено воды, м^3	на 1 м^3 воды получено урожая,ц
Томаты						
Бороздковый	9	5120	569	433	118	0,68
Капельный	23	3912	170	563	69,5	1,15
Огурцы						
Бороздковый	10	5125	512	368	139	0,63
Капельный	13	3752	289	497	75,5	1,17
Перцы						
Бороздковый	10	5130	513	96	53	0,88
Капельный	22	3886	177	125	31,08	1,93

ВЫВОДЫ

Внедрение технологии капельного орошения на землях бассейна реки Амударья, позволит значительно снизить объем потребляемой поливной воды и в результате воды реки могут достигать Аральского моря.

Помимо этого, внедрение системы капельного орошения благотворно повлияет на урожайность сельскохозяйственной продукции. Применение капельного орошения оказывает определенное влияние на

почву, которое в основном зависит от применяемых режимов орошения, качества используемой поливной воды и почвенных условий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богомолов Ю.Г., Гриняев С.Н, Небренчин С.М, Фомин А.Н. Водные ресурсы стран Центральной Азии в рыночных отношениях. М., 2007. 76 с.
2. Вторая оценка трансграничных рек, озер и подземных вод. Организация объединенных наций. Нью-йорк и Женева, 2011. 429 с.
3. Илларионова Ф.Ф. Устойчивое использование водных и почвенных ресурсов в Бассейне реки амударья / Сборник по наилучшей практике использования технологий по рациональному природопользованию в Таджикистане, Туркменистане и Афганистане. Душанбе ООО «Контраст», 2012. 120 с.

4. S.A. Kulkarni. Global Scenario of Sprinkler and Micro Irrigated Areas 7th International Micro Irrigation Congress/ S.A. Kulkarni, F.B. Reinders, F. Ligetvari − Kuala Lumpur, Malaysia, 13 – 15 September 2006.
5. Создание в различных регионах Республики Казахстан производств по возделыванию плодоовощных культур с применением технологии капельного орошения: Предварительное технико-экономическое обоснование. КазАгроФинанс: Астана, 2009.
6. Силтонмамадов Д. Капельное орошение овощных культур в условиях центрального Таджикистана. ГУ «ТаджикНИИГиМ» Республика Таджикистан. 3 с.

УДК 627.8:621.224.8

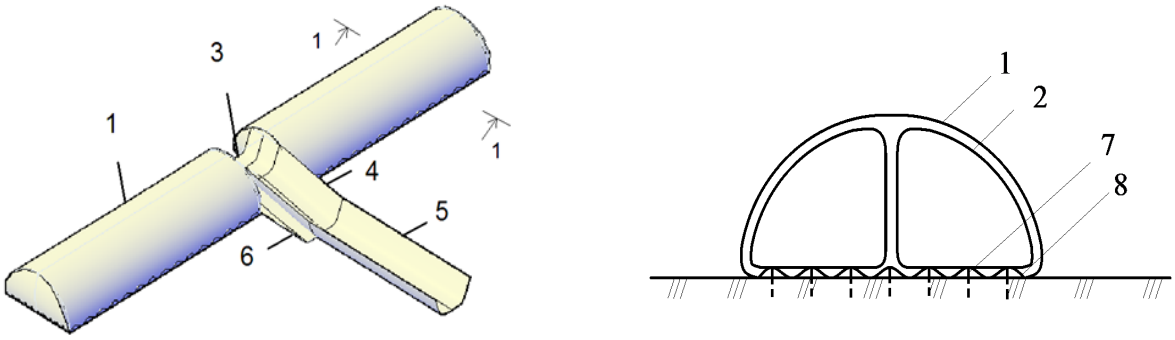
РАСЧЕТНОЕ ОБОСНОВАНИЕ НОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРОТИВОПАВОДКОВЫХ МОБИЛЬНЫХ ВОДОНАПОЛНЯЕМЫХ ДАМБ ДЛЯ УСЛОВИЙ СЛАБЫХ ГРУНТОВ

Д.В. Кашарин
Южно-Российский государственный политехнический университет
(НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия
Тхай Тхи Ким Тьи
г. Нгеан, Социалистическая республика Вьетнам

Рассмотрены вопросы исследований и расчетного обоснования нового технического решения мобильной водонаполняемой дамбы. Приведены результаты численного моделирования данной конструкции, а также расчетные зависимости для оценки ее устойчивости при глубине затопления до 3 м и слабых грунтах основания.

Для защиты предприятий и населенных мест при чрезвычайных ситуациях в настоящее время используют водонаполняемые двухкамерные дамбы. Однако в условиях слабых грунтов с модулем упругости менее 5 МПа и коэффициентом трения между основанием данного сооружения и грунтом меньше 0,3 их устойчивость не обеспечивается. В связи с этим, необходимо разработать новое техническое решение мобильных водонаполняемых дамб, обеспечивающих надежную противопаводковую защиту при глубине затопления до 3 м [1].

Разработанная нами конструкция состоит из одной или нескольких секций 1, включающих две внутренние водонаполняемые оболочки 2, гибких связей 3 для соединения секций 1 между собой. Для предотвращения перелива между секциями 1 может устанавливаться водосброс в виде водослива практического профиля 4 с гибким отводящим лотком 5, его параболическая форма поддерживается с помощью водонаполняемых оболочек 6. Анкеры 7, перемещаемые мембраной 8, вдавливаются в грунт до полного прилегания оболочки, чем обеспечивается устойчивость секций 1 за счет увеличения сцепления между дамбой и основанием (рис. 1) [2].



а б

Рисунок 1. **Схема и разрез конструкции мобильной водонаполняемой дамбы: а – общий вид; б - поперечный разрез;**
1 – секция, 2 – внутренние водонаполняемые оболочки, 3 – гибкие связи, 4 – водосброс, 5 – гибкий отводящий лоток, 6 – водонаполняемая оболочка, 7 – анкер, 8 – мембрана

При проведении численного моделирования в программе Ansys, было определено напряженно-деформированное состояние водонаполняемых оболочек высотой 3,2 м. В соответствии с погонными усилиями был выбран материал LP-300 для их изготовления, который обеспечивает достаточную прочность при максимальном давлении внутри оболочки [3].

В данной конструкции для обеспечения дополнительного сцепления с грунтом основания необходимо установить систему анкеров, расчетное

обоснование которых представлено ниже. Дамба устойчива на сдвиг и опрокидывания только при выполнении следующих условий:

$$\sum F_y \geq 0; \quad (1)$$

$$\sum F_x \geq 0; \quad (2)$$

где $\sum F_x$ и $\sum F_y$ – соответственно суммарные силы, действующие на анкеры по горизонтальному ОХ и вертикальному направлениям ОУ:

$$\sum F_y = G + G_{\text{а}} - W_{\text{ф}} + F_{\text{тр.у}}; \quad (3)$$

$$\sum F_x = F_{\text{сд}} + F_{\text{с}} - F_{\text{тр.х}}; \quad (4)$$

G – вес водонаполняемой оболочки, Н; $G_{\text{а}}$ – вес системы анкеров, Н:

$$G_{\text{а}} = n_{\text{а}} \cdot G_{\text{а.1}}; \quad (5)$$

$$G_{\text{а.1}} = \frac{1}{4}\rho_{\text{а}} \cdot g \cdot \pi \cdot d_{\text{а}}^2 \cdot h_{\text{а}}; \quad (6)$$

$G_{\text{а.1}}$ – вес одного анкера; $n_{\text{а}}$ – количество анкеров, шт.; $\gamma_{\text{г}}$ – удельный вес анкера, Н/м^3; $d_{\text{а}}$ – диаметр анкера, м; $h_{\text{а}}$ – длина анкера, м; $W_{\text{ф}}$ – сила фильтрационного давления, Н;

$F_{\text{тр.у}}$– сила трения, препятствующая вырыву системы анкера:

$$F_{\text{тр.у}} = n_{\text{а}} \cdot F_{\text{тр.у.1}}; \quad (7)$$

$$F_{\text{тр.у.1}} = \text{tg}\varphi \cdot S_{\text{а}} \cdot P_{\text{г}}; \quad (8)$$

$F_{\text{тр.у.1}}$ – сила трения, препятствующая вырыву одного анкера; φ – угол внутреннего трения грунта;

$S_{\text{а}}$– площадь поверхности анкера, на которую действует сила трения, м^2:

$$S_{\text{а}} = \pi \cdot d_{\text{а}} \cdot h_a; \quad (9)$$

$P_{\text{г}}$ – активное горизонтальное давление грунта:

$$P_{\text{г}} = \gamma_{\text{г}} \cdot h_{\text{а}} \cdot \tau_{\text{н}}; \quad (10)$$

$\gamma_{\text{г}}$ – удельный вес грунта, Н/м^3; $\tau_{\text{н}}$ – коэффициент нормативного бокового давления грунта:

$$\tau_н = tg^2(45° - \frac{\varphi}{2}); \quad (11)$$

$F_{\text{сд}}$ – сдвигающая сила, определяемая по формуле:

$$F_{\text{сд}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot B \cdot L \cdot h_{\text{вб}}^2, \text{Н}; \quad (12)$$

$F_{\text{с}}$ – сила трения, препятствующая сдвигу анкера:

$$F_{\text{с}} = \left(G - W_{\text{ф}}\right) \cdot \left(\text{tg}\varphi + f_{\text{об}}\right); \quad (13)$$

$f_{\text{об}}$ – коэффициент трения между оболочкой и грунтом;

$F_{\text{тр.х}}$ – сила давления грунта, действующая на систему анкеров, определяется по формуле:

$$F_{\text{тр.ч}} = n_{\text{а}} \cdot F_{\text{тр.х.1}}; \quad (14)$$

$$F_{\text{тр.х.1}} = \frac{1}{4}\gamma_{\text{г}} \cdot h_{\text{а}} \cdot \tau_{\text{н}} \cdot \pi \cdot d_{\text{а}}; \quad (15)$$

$F_{\text{тр.х.1}}$ – сила давления грунта, действующая на один анкер.

Количество анкеров определяет по следующей зависимости:

$$n_{\text{а}} = \max(n_{\text{а.х}}; n_{\text{а.у}}); \quad (16)$$

где $n_{\text{а.у}}$, $n_{\text{а.х}}$ – соответственно количество анкеров, обеспечивающее устойчивость системы на вырыв и сдвиг:

$$n_{\text{а.у}} = \frac{W_{\text{ф}} - G}{F_{\text{тр.у.1}} - G_{\text{а}}}; \quad (17)$$

$$n_{\text{а.х}} = \frac{F_{\text{сд}} - F_{\text{с}}}{F_{\text{тр.х.1}}}. \quad (18)$$

Для проверки повышения устойчивости разработанной конструкции было выполнено численное моделирование с применением программы ANSYS 15 незакрепленных и разработанных (с закрепленным основанием) водонаполняемых дамб, параметры которых были одинаковы при различных относительных глубинах воды в ВБ. Ниже в рисунке 2 представлен пример результатов расчета устойчивости двухкамерных водонаполняемых дамб периметром 10,8 м, прилеганием 1,5 м, высотой 1,2 м и относительным внутренним давлением 36 кПа при глубине воды в ВБ $h_{\text{вб}}$ = 1 м [4].

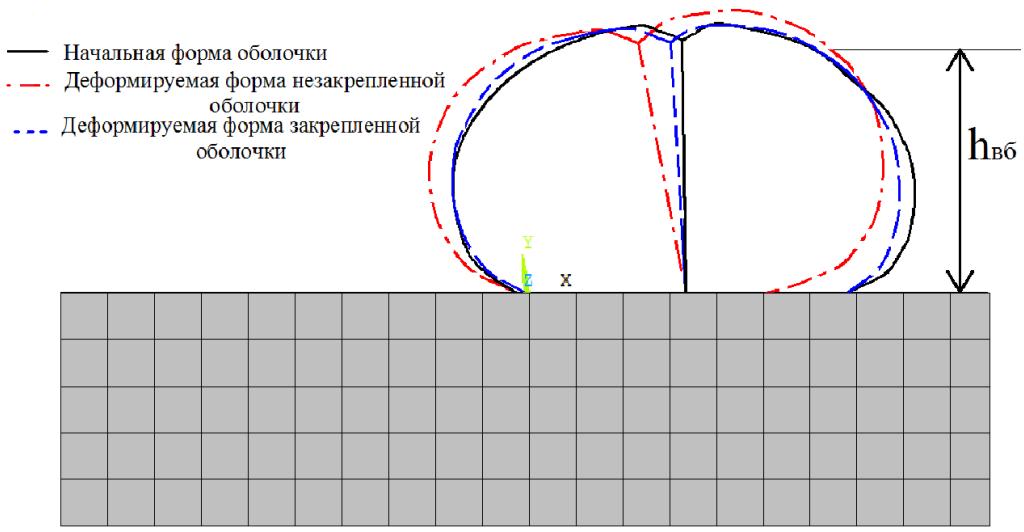


Рисунок 2. **Перемещение оболочки при глубине воды в ВБ $h_{\text{вб}} = 1$ м**

Были определены зависимости относительного перемещения ε разработанной конструкции и незакрепленной двухкамерной водонаполняемой дамбы от относительной глубины воды в ВБ $h'_{\text{вб}} = h_{\text{вб}} / L$

(L – периметр оболочки в поперечном сечении), представленные на рисунке 3.

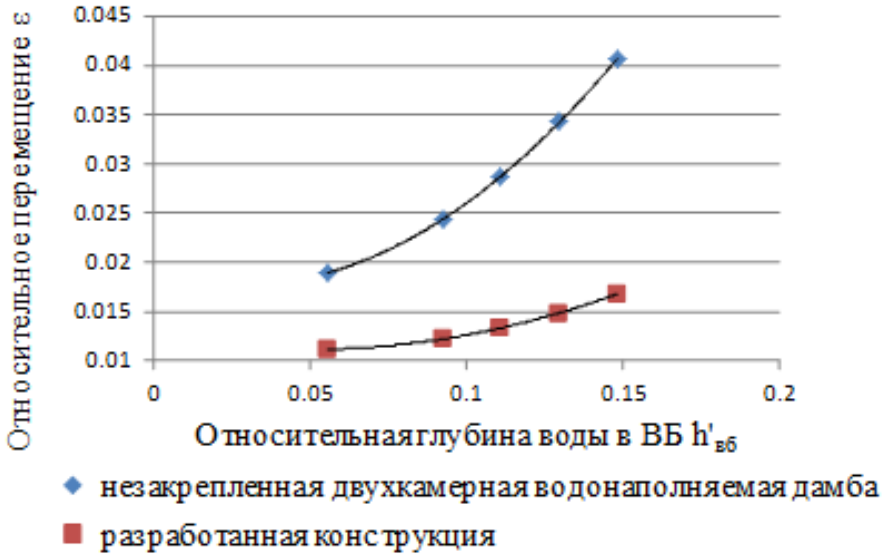


Рисунок 3. **График зависимости перемещения разработанной конструкции от глубины воды в ВБ**

В результате обработки данных численного моделирования разработанных конструкции нами получена следующая зависимость относительного перемещения ε от относительной глубины воды в ВБ с достоверностью аппроксимации $R^2 = 0{,}99$ [4, 5]:

$$\varepsilon = 0{,}5486 \cdot h_{\text{вб}}^{'2} - 0{,}0588 \cdot h_{\text{вб}}^{'} + 0{,}0127 . \qquad (19)$$

Полученные нами результаты показывают, что разработанная конструкция имеет устойчивость на 50…60 % больше по сравнению с незакрепленной двухкамерной конструкцией, соответственно при увеличении относительной глубины воды в ВБ $h_{\text{вб}}^{'}$ от 0,06 до 0,15. В отличие от незакрепленной двухкамерной конструкции, которой теряет свою устойчивость при $h_{\text{вб}}^{'} \geq 0{,}15$, разработанная конструкция обеспечивает устойчивость при относительной глубине $h_{\text{вб}}^{'}$ до 0,22, что является ее преимуществом. С помощью полученных зависимостей (1–19) можно определить параметры водонаполняемой дамбы и системы анкеров, обеспечивающих ее устойчивость и надежную работу при защите территорий от затопления в условиях слабых грунтов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кашарин Д.В., Тхай Тхи Ким Тьи. Анализ результатов численного моделирования и экспериментальных исследований устойчивости мобильных дамб из композитных материалов // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. 2014. № 1. С. 80–91.

2. Тхай Тхи Ким Тьи. Обоснование параметров мобильных дамб для противопаводковой защиты в условиях дельты реки Меконг // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. 2014. Т. 272. С. 87–94.
3. Isaac L Howard. SERRI Project: Increasing community disaster resilience through targeted strengthening of critical infrastructure - Use of geotextile and geomembrane tubes to construct temporary walls in a flooded area. // U.S.: Department of Homeland Security, 2011. p. 17–20.
4. Тхай Тхи Ким Тьи. Совершенствование и научное обоснование конструкций мобильных защитных дамб // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2014. № 3 (15).
5. Кашарин Д.В., Тхай Тхи Ким Тьи. Повышение устойчивости оснований мобильных дамб для инженерной защиты зданий от затопления // Инженерно-строительный журнал. 2013. № 4. С. 51–59.

УДК 628.1

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ И СООРУЖЕНИЙ КРУПНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Ю.А. Рыльцева, Д.А. Бутко, В.А. Лысов
Ростовский государственный строительный университет,
г. Ростов-на-Дону, Россия

Отмечена необходимость применения информационных технологий для кодирования инженерного оборудования при проектировании промышленных объектов.

В настоящее время неотъемлемой частью каждого крупного энергетического предприятия являются автоматические системы управления (АСУ), осуществляющие процедуры учета, управления, сбора и обработки информации. Каждая такая АСУ нуждается в системе маркировки инженерного оборудования, в которой наиболее полно учтены характерные признаки кодируемого объекта, будь то участок трубопровода, задвижка, клапан, манометр, насос и т.п.

В мировой практике известны такие системы кодирования, как RDSPP (Reference Disignation System for Power Plants), UDEF (Universal Data Element Framework), МЭК 61346, KKS (Kraftwerk Kennzeichen

System), действующих в соответствии с РТМ 34-9АТЭПОЗ-84 – системой маркировки монтажных единиц ТЭС и АЭС.

В России признанным стандартом в области большой энергетики является система KKS, разработанная немецким объединением промышленников (VGB), являющимся держателем авторских прав.

Согласно [1] принципы кодирования рекомендуется применять не только на вновь строящихся, но и на реконструируемых объектах, Каждая система кодирования инженерных систем должна отвечать следующим основным требованиям:

- принцип унификации и универсальности. Единое обозначение всех типов оборудования, агрегатов и технологических процессов;
- принцип уникальности. Система не должна допускать двух и более одинаковых идентификаторов в одном проекте;
- полнота информации. Код должен содержать максимальную информацию о кодируемом оборудовании или технологическом процессе, а также указывать на его принадлежность к конкретному объекту, блоку, площадке и т.д.;
- однозначность толкования. Система букв и цифр должна обеспечивать четкое представление о том, что именно скрывается под указанным кодом;
- возможность применения в стандартах IT (информационных технологий).

Принцип построения кода:

№ ступени	0	1	2	3
Название	Объект	Функция	Агрегат	Элемент оборудования
Тип данных	(A) или (N)	(N)AAANN	AANNN(A)	AANN

Примечание: A = буква, N = цифра, () = позиция может отсутствовать.

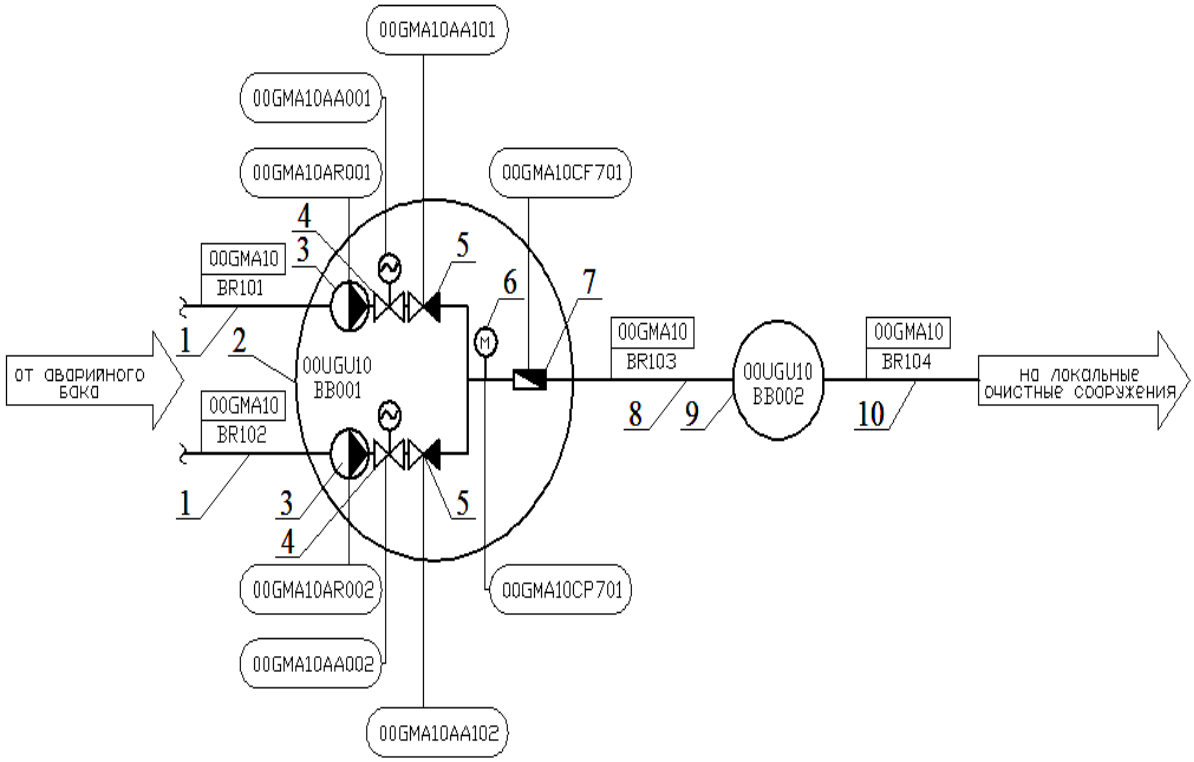


Рисунок. **PI-диаграмма отвода стоков пожаротушения трансформаторной подстанции:**
1 – всасывающий трубопровод (рабочий, резервный);
2 – насосная станция перекачки стоков; 3 – насос (рабочий, резервный);
4 – задвижка с электроприводом (рабочая, резервная);
5 – обратный клапан (рабочий, резервный); 6 – манометр; 7 – расходомер;
8 – напорный трубопровод; 9 – колодец-гаситель; 10 – самотечный трубопровод отвода сточных вод на локальные очистные сооружения

Несмотря на интенсивное развитие науки и техники, многие проектные организации до сих пор осуществляют кодирование без применения IT.

Однако достаточно затруднительно дать имя каждой из десяти миллионов деталей какого-либо объекта, причем так, чтобы имена получили не только детали, но и их сочетания (сам насос, помещение, где он стоит, завод в целом).

Решением данной проблемы является программное обеспечение (ПО) с поддержкой функции кодировки. Так, к примеру, ПО Intergraph Smart Plant Enterprise – Smart Plant P&ID, Trace Mode 6 и T-Factory 6 помогают проектировать и конфигурировать сети водоснабжения и канализации, а также сооружения на них, включая запорно-регулирующую, предохранительную, отсечную и прочую арматуру, обеспечивая при этом соблюдение инженерных стандартов и стандартов предприятия, путем построения специальных диаграмм. Задача

проектировщика значительно упрощается, так как при построении указанных диаграмм, программа не только контролирует правильность назначения кодировок, но и отслеживает уникальность каждого кода.

Поскольку основным недостатком всех систем кодирования является то, что они дают имена объектам, которые «самодокументированы» только для «посвященных», т. е. представляют собой совокупность символов, понятных лишь тем, кто их выучил, предпочтение следует отдавать ПО, позволяющим отображать кодируемый объект графически, что облегчает чтение чертежа.

На рисунке представлен пример построения PI-диаграммы технологических сооружений для отвода сточных вод пожаротушения трансформаторной подстанции. В данном случае все трубопроводы, агрегаты и регулирующая арматура объединены общим кодом «GMA», соответствующим обозначению кодирования системы промышленных стоков предприятия.

Сооружениям на сети – колодцам и насосной станции присвоен код «UGU», имеющий принадлежность к системе сбора и отведения производственных сточных вод на очистные сооружения. Помимо основного кода все инженерные объекты имеют второстепенный код, обозначающий конкретный тип оборудования или сооружения («AA» – арматура, «AP» – насосные агрегаты, « CF» – расход, «CP» – давление).

ЛИТЕРАТУРА

1. РД 153-34.1-35.144-2002. Рекомендации по применению современной универсальной системы кодирования и АСУТП ТЭС. Основные положения.

УДК 628.16

К ВОПРОСУ БАЛАНСОВ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ

Д.А. Бутко, О.П. Шишова
Ростовский государственный строительный университет,
г. Ростов-на-Дону, Россия

Даны рекомендации по учету водопотребления и водоотведения и отмечены основные проблемы методом расчета водных балансов потребителей.

Правила холодного водоснабжения и водоотведения (Постановление Правительства РФ от 29.07.2013 № 644) для заключения договора о подключении к соответствующим сетям определяют перечень документов, предоставляемых в организацию водопроводно-канализационного хозяйства, одним из которых является баланс водопотребления и водоотведения, подключаемого объекта. Тем же документом предусмотрена проверка представленного баланса, исходя из назначения объекта, высоты и этажности здания, а в случае обнаружения несоответствия – документы возвращаются на доработку.

Кафедрой «Водоснабжения и водоотведения» РГСУ налажена работа по проверке балансов потребителей г. Ростова-на-Дону, присоединяющихся к сетям водоснабжения и водоотведения, эксплуатируемых ОАО «ПО Водоканал».

В результате обобщения накопленного опыта сформулированы следующие основные проблемы:

1. Достаточная часть проектных организаций используют для составления баланса нормы водопотребления, указанные в приложении 3 СНиП 2.04.01-85*(далее СНиП), игнорируя вступившие в действие СП 30.13330.2012 (далее СП).

2. По недосмотру или преднамеренно занижается количество водопотребителей, а некоторые из видов водопотребителей вовсе исчезают из расчета (бассейны в банных комплексах, полив зеленых насаждений и т.д.).

3. В отличие от СНиП СП устанавливает в таблицах А2 и А3 только расчетные (удельные) средние за год суточные расходы без сопоставления им максимальных суточных расходов, которые более и интересуют эксплуатирующую организацию.

4. СП не приводит методику расчета максимального секундного и максимального часового расходов, хотя в п. 4.8. говорится о необходимости их использования для гидравлического расчета.

5. СП несколько изменил набор видов водопотребителей как для жилых зданий, так и для других помещений.

Методические вопросы расчета максимальных секундных и максимальных часовых расходов, оставленные на усмотрение проектировщиков, решаются однозначно – апробированная годами и широко известная методика из СНиП.

Мы также не стали «изобретать велосипед» и в процессе проверки балансов используем ее. Однако применение вышеназванной методики требует знания не только типа водопотребителя и среднесуточного расхода, но и ряда величин ранее принимаемых по Приложению 3 СНиПа. Анализируя создавшуюся ситуацию, пришли к выводу, что можно использовать в расчетах максимальные часовые расходы и расходы воды прибором, из Приложения 3 СНиП, без изменения, а максимальный

суточный расход следует увеличить в той же степени, что и среднесуточный расход в СП по сравнению со СНиП. В результате, в большинстве случаев, происходит увеличение вычисленного максимального суточного расхода в среднем на 10 – 15 %, исключая здания выше 12 этажей, где максимальный суточный расход снижается.

В заключение хотелось бы отметить, что особенно увеличение максимального суточного расхода вызывает у некоторых проектировщиков «праведный гнев», однако увеличение среднего за год суточного это не наша идея, а выполнение норм СП. Кроме того, если среднее значение суммы растет, трудно ожидать что максимальный расход не увеличивается.

Окончательное решение по принятию или выставлению замечаний остается за ОАО «ПО Водоканал», однако тот факт, что мы провели работу уже более чем по 100 объектам говорит об ее востребованности и работоспособности.

УДК 628.36.52

МЕТОДИКА СРАВНИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА АЭРАЦИИ (на примере аэраторов «Бакор»)

Е.Н. Серпокрылов
Ростовский государственный строительный университет,
г. Ростов-на-Дону, Россия.

На примере аэраторов «Бакор» экспериментально показано, что для оптимизации процесса аэрации при очистке вод наряду с активным экспериментом могут применяться методики эквипроцентирования и обобщенная функции желательности.

Ранее проведенные нами исследования [1] показали, что эффективность растворения кислорода воздуха в воде при аэрации аэраторами «Бакор» зависит от ряда варьируемых по величине факторов. Определение технологической взаимозависимости и оптимальных значений параметров процесса проведем с применением активного эксперимента и методики эквипроцентирования и функции желательности [2]. Параметрами оптимизации процесса, применяемыми как при проектировании, так и при эксплуатации, являлись: $У_1$ – время насыщения кислородом обескислороженной воды, с.; $У_2$ – расход воздуха, $м^3/м^3$; $У_3$ – эффективность аэрации, $кгO_2/кВт{\cdot}ч$; $У_4$ – окислительная способность, $гO_2/м^3{\cdot}ч$; $У_5$ – коэффициент массопередачи, Kv_{20}, 1/час, приведенный к 20 °С; $У_6$ – коэффициент полезного использования кислорода, %. Эффективность процесса ($У_1$–$У_6$) определяет взаимодействие

независимых факторов (табл. 1). Была реализована ¼ реплики полного факторного эксперимента типа 2^{5-2} с двукратной повторностью в центре плана для оценки дисперсии воспроизводимости. Последовательность проведения опытов была рандомизирована согласно таблице случайных чисел [2]. При этом, если варьирование факторов осуществлялось только на верхнем и нижнем уровнях, то матрица разделялась на соответствующие блоки.

Таблица 1. **Исходные характеристики многофакторного активного эксперимента**

Фактор	Наименование фактора	Размерность	Уровни факторов			Интервал варьирования
			-	0	+	
X_1	расход воздуха	л/мин	10	95	180	85
X_2	высота слоя воды	см	15	30	45	15
X_3	тип аэратора	-	750	-	2200	-
X_4	кол-во аэраторов	-	1	-	2	-
X_5	перемешивание насосом	-	нет	-	есть	-

Исследования проведены по методике переменного дефицита кислорода на обескислороженной водопроводной воде г. Ростова-на Дону. Контроль концентрации растворенного кислорода проводили поверенным кислородомером [2]. Выборочные в качестве примера результаты исследований и регрессионная обработка эксперимента по $У_1^{ВРЕМЯ}$ приведены в табл. 2. Аналогично получены также уравнения регрессии для 2–6 параметров оптимизации.

Таблица 2. **Результаты и обработка эксперимента типа 2^{5-2}, время насыщения, с**

№	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	$У_1^1$	$У_1^2$	$У_1^{ср}$	$У_{расч}$
1	+	+	+	+	+	128	141	134,5	19,20
2	-	-	+	+	+	395	433	414	360,20
3	-	+	+	-	-	598	618	608	660,40
4	+	-	+	-	-	139	125	132	213,40
5	+	+	-	-	+	83	90	86,5	202,80
6	-	-	-	-	+	479	500	489,5	543,80

7	-	+	-	+	-	545	512	528,5	476,80
8	+	-	-	+	-	117	105	111	29,80

Сведем воедино и алгебраически проанализируем регрессионные уравнения, адекватно описывающие составляющие показатели процесса аэрации:

$$У_{1РАСЧ}^{ВРЕМЯ} = 313,3 – 127,13\ X_1 + 26,38\ X_3 – 31,89\ X_5,\ с; \quad (1)$$

$$У_{2РАСЧ}^{ВОЗДУХ} = 1179 – 893,4\ X_1 – 487\ X_2 – 468\ X_5,\ м^3/м^3; \quad (2)$$

$$У_{3РАСЧ}^{ЭФ} = 9,06 + 4,04\ X_1 + 1,24\ X_2 + 1,27\ X_5,\ кгО_2/кВт·ч; \quad (3)$$

$$У_{4РАСЧ}^{ОС} = 5,47 + 4,58\ X_1,\ кгО_2/м^3·ч; \quad (4)$$

$$У_{5РАСЧ}^{Kv} = 15,80 + 8,74\ X_1 – 2,39\ X_2 + 1,77\ X_4,\ (Kv_{20}), \quad (5)$$

$$У_{6РАСЧ}^{КПД} = 5,77 – 3,92\ X_1 + 2,01\ X_2,\ (КПД). \quad (6)$$

Из анализа уравнений регрессии (1 – 6) следует, что все факторы процесса являются значимыми, причем в разных сочетаниях и векторах их варьирования.

В (1) и (2) для параметров оптимизации ($У_{1РАСЧ}^{ВРЕМЯ}$ и $У_{2РАСЧ}^{ВОЗДУХ}$) лучшими являются минимальные значения У, следовательно, требуется увеличение X_1 (расход воздуха) и X_5 (перемешивание насосом или мешалкой).

Для $У_{1РАСЧ}^{ВРЕМЯ}$ требуется уменьшение X_3 (тип аэратора, менее 750 Па). Для $У_{2РАСЧ}^{ВОЗДУХ}$ фактор X_2 (высота слоя воды) также следует увеличивать. Для параметров оптимизации в (3–6) лучшими являются максимальные значения. Фактор X_1 надо увеличивать для $У_{3РАСЧ}^{ЭФ}$, $У_{4РАСЧ}^{ОС}$, $У_{5РАСЧ}^{Kv}$ и уменьшать для $У_{6РАСЧ}^{КПД}$. Фактор X_2 надо увеличивать для $У_{3РАСЧ}^{ЭФ}$, $У_{6РАСЧ}^{КПД}$, но для $У_{5РАСЧ}^{Kv}$ его следует уменьшать.

Одновременное разнонаправленное регулирование одних и тех же факторов процесса требует компромиссного решения. Для этого представим (1–6) в виде процентных величин коэффициентов при значимых факторах, приняв за 100 % значение соответствующего свободного члена уравнения регрессии [3]. Далее проводим алгебраическое сложение процентов в (1–6) и по знаку определяем направление регулирования каждого фактора в процессе аэрации с применением аэратора «Бакор»:

$$\sum У_{(1-6)} = (600 – 200 \cdot У_1 \cdot У_2) – 9,3\ X_1 – 7,9\ X_2 + 8,4\ X_3 + 11,2\ X_4 – 35,8\ X_5.$$

В интервале исследований (от уровня -1 до уровня +1) получим совокупную расчетную эффективность процесса:

$$\sum У_{(1\text{-}6)} = [400 – 9{,}3 \cdot (-1) – 7{,}9 \cdot (-1) + 8{,}4 \cdot (-1) + 11{,}2 \cdot (-1) – 35{,}8 \cdot (-1)] / 6 = = 393{,}7/6 = 65{,}6\ \%.$$

$$\sum У_{(1\text{-}6)} = [400 – 9{,}3 \cdot (+1) – 7{,}9 \cdot (+1) + 8{,}4 \cdot (+1) + 11{,}2 \cdot (+1) – 35{,}8 \cdot (+1)] /6 = = 406{,}3 / 6 = 67{,}6\ \%.$$

Данная эффективность является достаточно высокой для аэрационных систем, однако может быть оптимизирована. Просуммировав (без свободного члена) по модулю значения процентов при соответствующих факторах в (1 –6), получим оценку влияния на процесс аэрации:

$$\sum У_{(1\text{-}6)} = 258{,}5\ X_1 + 104{,}9\ X_2 + 8{,}4\ X_3 + 11{,}2\ X_4 + 63{,}8\ X_5. \qquad (7)$$

Преобразуем (7) в оценку влияния по процентам на процесс аэрации всех факторов, приняв за 100% сумму коэффициентов. Тогда получим:

$$\sum У_{(1\text{-}6)} = 57{,}9\ X_1 + 23{,}4\ X_2 + 1{,}9\ X_3 + 2{,}5\ X_4 + 14{,}8\ X_5. \qquad (8)$$

Анализируя (8), видим, что основной вклад вносит фактор X_1 (расход воздуха), значение которого согласно (1) следует увеличивать. Однако, это вызовет, соответственно, расход электроэнергии и связанные с этим затраты.

Вторым по степени влияния на процесс аэрации является фактор X_2 (высота слоя воды), третьим – X_5 (перемешивание насосом или мешалкой), которые для повышения эффективности надо, согласно (1–6), увеличивать. Следовательно, варьируя высотой слоя жидкости, мощностью воздуходувок и перемешивающих устройств, можно до 40 % повысить эффективность процесса аэрации с аэраторами «Бакор».

Сравним предложенный метод совокупной оценки составляющих процесса с часто применяющейся для этой цели функцией желательности Харрингтона [3]. Функция желательности позволяет технические параметры перевести в «психотехничекую» шкалу качественных оценок, получить их математическое описание в виде частной желательности, после чего дать единую оценку – обобщенную функцию желательности в числовом и качественном выражении. Для полученных уравнений регрессии (1–6), описывающих процесс аэрации аэраторов «Бакор», были установлены спецификации с двухсторонним ограничением качественной характеристики процесса: частная желательность $d = 0{,}37$ (удовлетворительно), $d = 0{,}8$ (хорошо) и соответствующих им техническим параметрам (табл. 3).

Таблица 3. **Частные и обобщенная функции желательности аэрации**

Номер компози-	Частные желательности	Обобщенная желательность

ции	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	d_6	D
1	0,714	0,430	0,874	0,601	0,681	0,408	0,596
2	0,065	0,770	0,252	0,339	0,234	0,750	0,301
3	0,000	0,799	0,243	0,287	0,079	0,900	0,056
4	0,719	0,000	0,536	0,645	0,721	0,290	0,119
5	0,790	0,524	0,779	0,844	0,581	0,404	0,632
6	0,008	0,774	0,196	0,296	0,113	0,593	0,170
7	0,002	0,799	0,196	0,332	0,088	0,916	0,136
8	0,755	0,000	0,671	0,769	0,852	0,309	0,156

Анализ вычисленных значений частных и обобщенной функций желательности (табл. 3) показывает, что условия режима № 5 являются оптимальными для аэраторов «Бакор» при условиях, что X_1, X_2, X_5 – на верхнем уровне, X_3 и X_4 – на нижнем. При этом качественная характеристика процесса в целом соответствует оценке «хорошо». Это, по существу, повторяет вывод эквипроцентной методики.

Таким образом, для оптимизации процесса аэрации, как это показано на примере аэраторов «Бакор», сочетанно с активным экспериментом могут применяться методики эквипроцентирования и обобщенная функции желательности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Определение технологических параметров новых отечественных керамических аэраторов [Текст] / Е.Н. Серпокрылов [и др.] Интернет-журнал «Науковедение», 2012 № 4 (13) [Электронный ресурс]. М.: Науковедение, 2012. № 4.
2. Ахназарова С.Л., Кафаров В.В. Оптимизация эксперимента в химии и химической технологии М.: Высшая школа, 1978. 319 с.
3. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976. 279 с

УДК 628.166

К ВЫБОРУ РЕЖИМА ЭЛЕКТРОЛИЗА МОРСКОЙ ВОДЫ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ГИПОХЛОРИТА НАТРИЯ

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

Представлены результаты исследований получения гипохлорита натрия электролизом черноморской воды. Экспериментально подтверждена целесообразность и определены оптимальные условия производства гипохлорита натрия электролизом морской воды. Составлены рекомендации по выбору технологических схем производства ГХН электролизом морской воды.

Благодаря высокой антибактериальной активности и широкому спектру действия на различные микроорганизмы доля гипохлорита натрия (ГХН) на рынке дезинфицирующих средств продолжает расти и остается второй по объему применения после хлора [1].

Производство ГХН связано с многотоннажными поставками поваренной соли, её складированием и хранением. Установлено, что затраты на поваренную соль при использовании её в качестве исходного электролита - искусственно приготовленного 3 %-ного раствора NaCl составляют до четверти от общей себестоимости производства низко-концентрированного ГХН (рис. 1). С учетом последних событий на Украине, основного поставщика соли в Европейскую часть РФ, становится актуальным вопрос замены импортируемой соли другими хлоридсодержащими реагентами или готовыми природными рассолами - минерализованными хлоридными водами, водами морей и океанов.

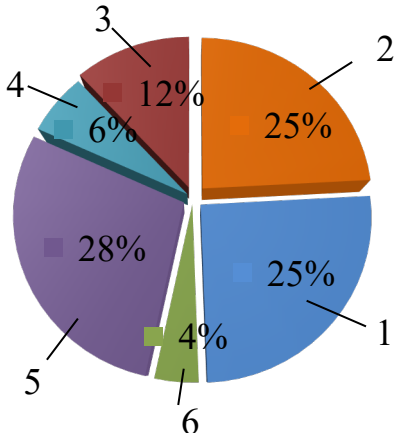


Рисунок 1. **Диаграмма распределения затрат на производство ГХН:** 1 – поваренная соль; 2 – электроэнергия; 3–амортизационные отчисления; 4 - вода; 5 – заработная плата; 6 – соляная кислота

Цель настоящих исследований – определение оптимальных технологических параметров бездиафрагменного электролиза морской воды и на этой основе совершенствование технологии получения низкоконцентрированного электрохимического ГХН на базе местного сырья (воды Черного моря).

Исследования проводили на черноморской натуральной и модельной морской воде. Химический состав объектов исследований представлен в таблице 1.

Таблица 1. **Результаты анализа химического состава воды, применяемой в экспериментах**

Показатели	Природная черноморская вода		Модельная черноморская вода	
	Концентрации			
	мг/л	мг-экв/л	мг/л	мг-экв/л

Ca^{2+}	204,0	10,2	200,0	10,0
Mg^{2+}	704,7	58,0	733,9	60,4
$Na^{+}+K^{+}$	6 095,0	264,5	6 131,8	266,6
HCO_3^{-}	173,9	2,85	183,0	3,0
CO_3^{2-}	18,0	0,6	15,0	0,5
SO_4^{2-}	1 248,0	26,0	1 248,0	26,0
Cl^{-}	10 741,0	303,0	10 919,0	308,0
Минерализация Р, г/л	19,19		19,43	
pH, единицы	8,5		8,4	

Электролиз исследуемых растворов проводили в бездиафрагменных электрохимических ячейках на постоянном электрическом токе в циркуляционном и проточном режимах работы (рис. 2).

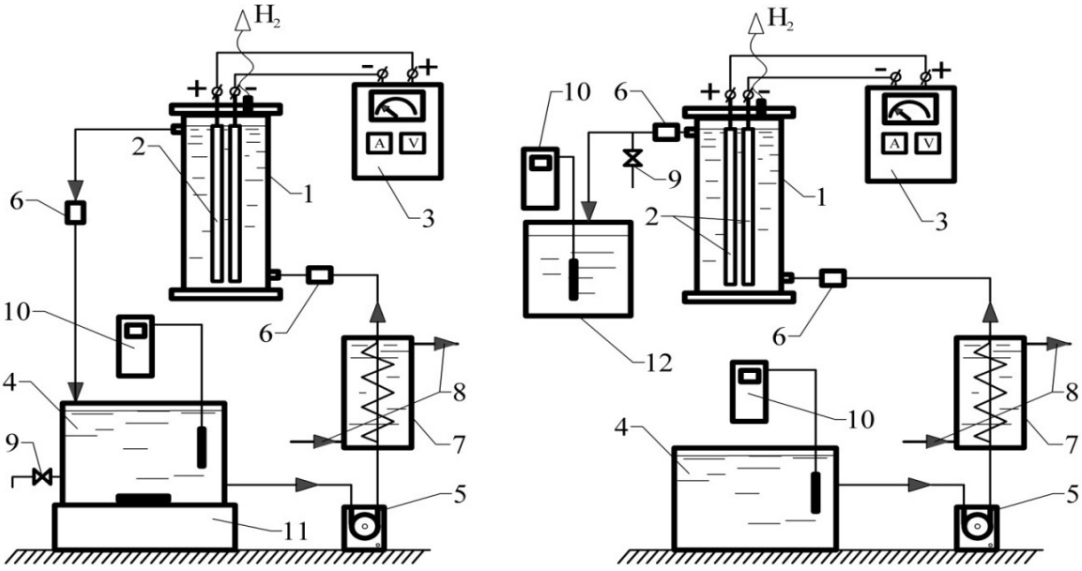


Рисунок 2. **Схемы экспериментальных установок циркуляционного (а) и проточного типа (б):**

1 – электролизная ячейка; 2 – электроды; 3 – блок питания; 4 – емкость-накопитель; 5 – перистальтический насос; 6 – термометр; 7 – термостат; 8 – патрубок подвода и отвода охлаждающей воды; 9 – пробоотборник; 10 – pH-метр; 11 – магнитная мешалка; 12 – накопитель ГХН

В соответствии с целью исследований экспериментально установлено, что на количество активного хлора в получаемом ГХН оказывают влияние: время электролиза, расход и температура электролита, плотность тока. Полученные зависимости концентрации активного хлора для циркуляционного (рис. 3) и проточного (рис. 4) режимов электролиза характеризуются кривыми, достигающими некоторого предельного значения, величина которого зависит от условий проведения электролиза.

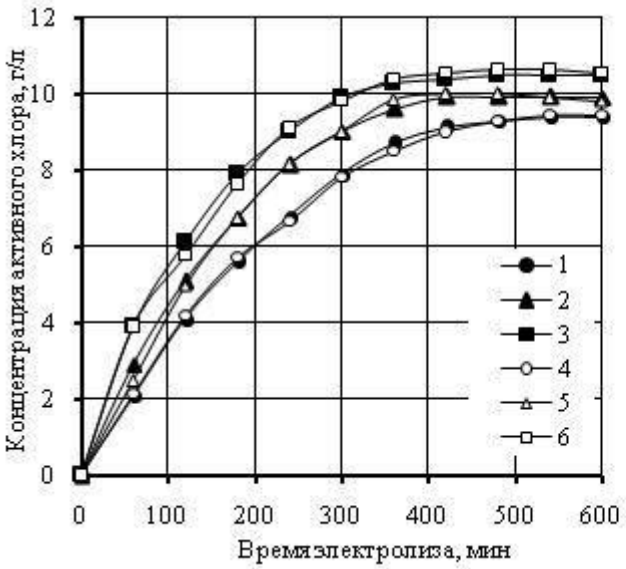


Рисунок 3. **Влияние времени и расхода электролита на концентрацию активного хлора в циркуляционном режиме электролиза морской воды с плотностями тока, А/м^2:**
1, 4 – 600; 2, 5 – 800; 3, 6 – 1000 и расходами 1, 2, 3 – 0,5 дм^3/ч, 4, 5, 6 – 4,5 дм^3/ч

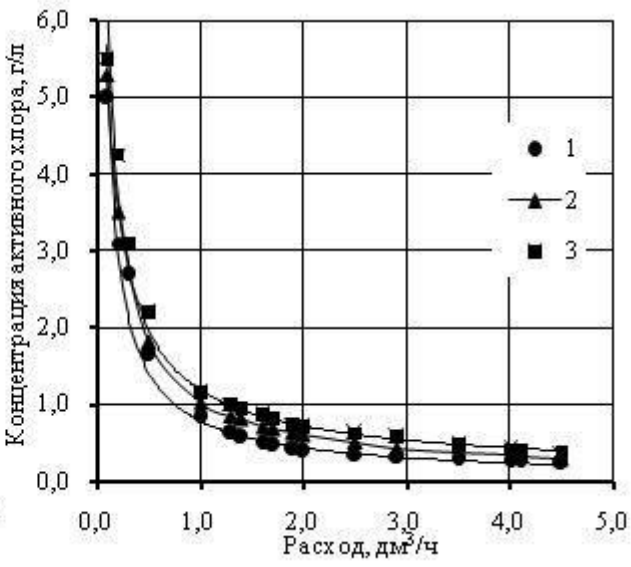


Рисунок 4. **Влияние расхода морской воды на концентрацию активного хлора в проточном режиме электролиза плотностями тока, А/м^2:**
1 – 600; 2 – 800; 3 – 1000

Для циркуляционного режима электролиза (рис. 3) масса образовавшегося вещества (активного хлора) определяется количеством электричества, пропущенного через раствор. Скорость циркуляции (расход) морской воды через электрохимическую ячейку не влияет на концентрацию активного хлора. Во времени электролиза концентрация активного хлора возрастает (рис. 3), при этом наибольшая скорость прироста наблюдается в течение первых 300 мин процесса при всех исследуемых плотностях тока: при 1000 А/м^2 максимум концентрации активного хлора составил 10,5 г/л; 800 А/м^2 - 9,1 г/л; 600 А/м^2 - 8,5 г/л.

В проточном режиме (рис. 4) увеличение расхода электролита через ячейку сопровождается снижением концентрации активного хлора в растворе ГХН от максимальных значений 3 - 5 г/л при расходе 0,1 - 2,0 дм^3/ч до 0,3 - 0,5 г/л при расходе 2,5 - 3,0 дм^3/ч.

Температура ГХН становится постоянной через 200 мин электролиза и достигает значений 32 °С при анодной плотности тока 1000 А/м^2; 30,5 °С при 800 А/м^2 и 29 °С при 600 А/м^2 (рис. 5). Дальнейшая продолжительность процесса практически не влияет на температурный режим. Для непроточного режима электролиза достижение постоянной температуры электролита, в пределах одной плотности тока, обьясняется установлением температурного равновесия, когда отток тепловой энергии становится равным его притоку.

В проточном режиме электролиза (рис. 6), чем меньше расход электролита через ячейку, тем выше температура на выходе из электролизера. Так, максимальную температуру 26,0 – 27,0 °С наблюдали при минимальном расходе 0,1 дм^3/ч, а при максимальном расходе 4,5 дм^3/ч, минимальную – 25,0 - 25,5 °С на всех исследуемых плотностях тока. В проточном режиме, чем меньше время пребывания электролита в электролизере, тем ниже его температура, разогрев морской воды больше там, где больше количества электричества проходит через раствор.

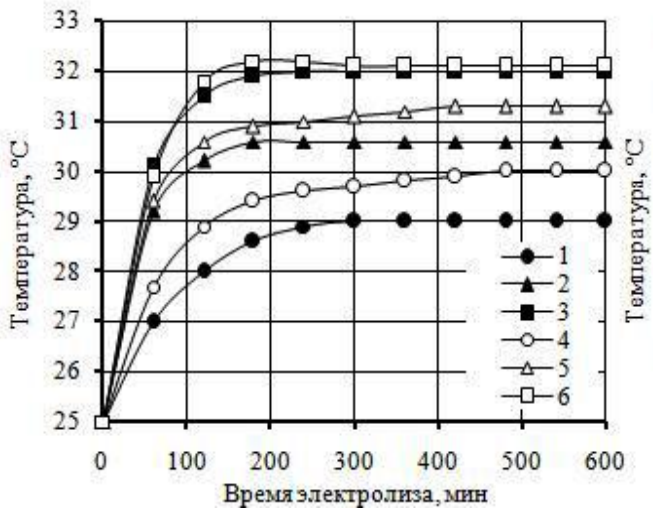


Рисунок 5. **Влияние продолжительности электролиза морской воды в циркуляционном режиме на температуру электролита с плотностями тока: А/м^2**: 1, 4 – 600; 2, 5 – 800; 3,6 –1000 и расходами 1, 2, 3 – 0,5 дм^3/ч и 4, 5, 6 – 4,5 дм^3/ч

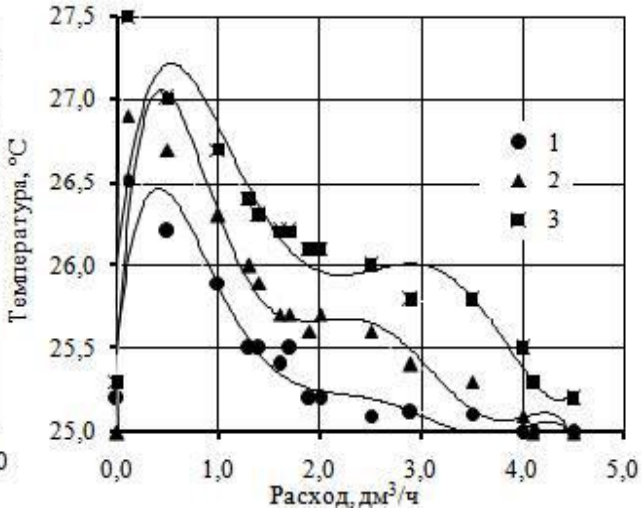


*Рисунок 6***. Изменение температуры морской воды от её расхода на выходе из электролизера, в проточном режиме электролиза плотностью тока, А/м^2**: 1 – 600; 2 – 800; 3 – 1000

При электролизе в проточном и циркуляционном режиме происходит подщелачивание морской воды до значений pH в интервале 9,0 – 10,0 единиц, независимо от расхода и плотности тока.

В ходе исследования отмечали изменение напряжения на электролизере при работе в циркуляционном и проточном режиме. Среднее напряжение при работе на морской воде с плотностью тока 1000 А/м^2 – 5,3 В, 800 А/м^2 – 4,8 В, 600 А/м^2 – 4,3 В.

Эффективность электролиза хлоридных растворов возможно характеризовать сравнением выхода хлора по току (КПД электролиза) (рис. 7, 8).

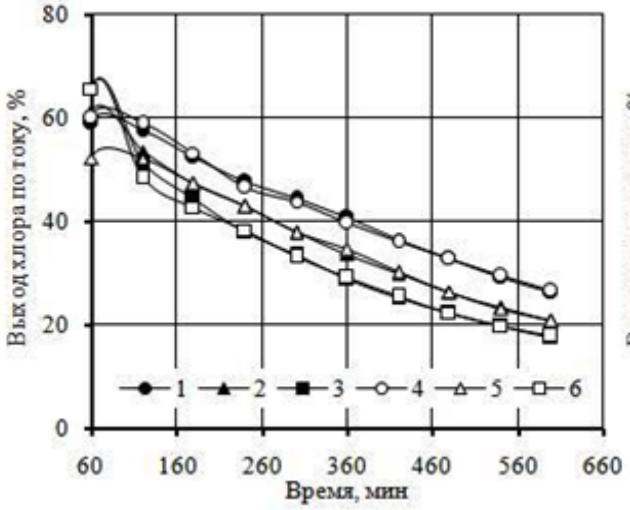


Рисунок 7. **Выход хлора по току от времени в циркуляционном режиме электролиза морской воды с плотностями тока, А/м^2:**
1, 4 – 600; 2, 5 – 800; 3, 6 – 1000 и расходами: 1, 2, 3 – 0,5 дм^3/ч и 4, 5,6 – 4,5 дм^3/ч

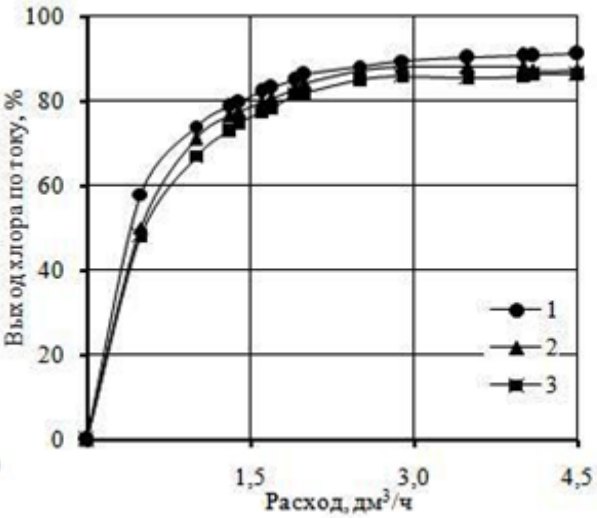


Рисунок 8. **Выход хлора по току от расхода морской воды в проточном режиме электролиза с плотностями тока, А/м^2:**
1 – 600; 2 – 800; 3 – 1000

Как видно из рисунка 7 выход хлора по току на всех плотностях тока достигает максимальных значений 50 – 65 % в первые 60 мин электролиза морской воды, далее происходит его постепенное снижение и по истечению 600 мин выход хлора становится равным 18 – 25 %. Циркуляционный расход не влияет на выход хлора по току. Постепенное понижение выхода хлора по току объясняется увеличением концентрации активного хлора в растворе (рис. 3) и говорит о том, что ток расходуется не только на образование активного хлора, но и на побочные реакции [1–3].

Повышение расхода электролита приводит к росту выхода хлора по току на всех исследуемых плотностях тока (рис. 8). При этом наибольший рост выхода хлора по току наблюдался на интервале расходов 0,1 - 2,0 дм^3/ч и его значения достигали в среднем 60 – 65 %. С увеличением расхода электролита до 4,5 дм^3/ч рост выхода хлора по току повышался, и его значения находились в пределах 80 – 90 %. В данном случае увеличение выхода хлора по току с увеличением расхода электролита через ячейку связано с образованием большей массы активного хлора.

На основании полученных экспериментальных и расчетных результатов составлены рекомендации к выбору параметров электролиза морской воды для производства ГХН (табл. 2).

Таблица 2. **Рекомендуемые параметры технологического процесса в циркуляционном и проточном электролизе**

Наименование	Циркуляционный	Проточный

показателя	режим электролиза	режим электролиза
Плотность тока, *i*, А/м^2	600	600
Покрытие анодов	ОИРТА (Ir/Ru-80/20), закладка по массе 7,5 г/м^2	ОИРТА (Ir/Ru-80/20), закладка по массе 7,5 г/м^2
Продолжительность электролиза, τ, мин	240	-
Расход электролита, q, дм^3/ч	0,5–4,5	0,2–0,5
Температура морской воды на входе в электролизер, t, °С	5,0–20	10–20
Концентрация активного хлора, C_{AX}, г/л	8,0	6,0
Выход хлора по току, η, %	60–50	40-50
Удельные затраты электроэнергии, W, кВтч/кг	4,5–5,5	4,0–5,0

Выбор схемы производства ГХН осуществляется на основании необходимого суточного количества гипохлорита натрия (кг/сут.) и дезинфицируемой воды (м^3/сут.), а также целевого назначения объекта (табл. 3).

Таблица 3. **Схемы производства гипохлорита натрия электролизом морской воды в зависимости от производительности установки и областей применения**

Принципиальная схема № п/п	Производительность по активному хлору, кг/сут.	Концентрация. по активному хлору, г/л	Объем обрабатываемой воды, тыс. м^3/сут.	Возможные объекты использования
I	0,01–0,5	0,1–0,5	до 0,1	Бассейны, фонтаны
II	0,5–0,0	8,0	0,1–2,0	Столовые, санатории
III	10,0–50,0	9,0	2,0–10,0	Аквапарки, бассейны, морские суда и др.
IV	50,0–1000	6,0	10,0–100,0	Канализационные и водопроводные очистные сооружения
V	>1000	0,1–1,0	>100,0	Охлаждающие контуры ГРЭС, АЭС

Режимы электролиза определяются требуемой производительностью электролизной станции по активному хлору. При суточной потребности в активном хлоре до 50 кг рекомендуется применять электролизеры

циркуляционного типа (схемы II и III). В случае суточного потребления хлора свыше 50 кг, рекомендуются электролизеры проточного типа (схемы IV и V). Для индивидуальных пользователей электролизных установок малой производительности - схему I.

При эксплуатации электролизной на практически бесплатном сырье должен быть найден оптимальный режим эксплуатации установки, при котором затраты на подачу сырья (морской воды), его температурное кондиционирование и электроэнергию будут минимальны. При этом необходимо учитывать особенности электролиза такого раствора.

Особенность электролиза морской воды заключается в том, что морская вода - это многокомпонентный раствор, химический состав которого относительно стабилен. Поэтому при поиске оптимальных условий получения ГХН из морской воды следует принимать во внимание изменение только внешних факторов: плотность тока, расход и температуру обрабатываемого раствора, конструкцию электролизера. Вторая особенность состоит в том, что концентрация ионов магния Mg^{2+} в морской воде значительно больше, чем Ca^{2+}, а их суммарное содержание достигает 60 - 70 мг·экв/л (см. табл. 1). Последнее обстоятельство является немаловажным, поскольку основная задача организации стабильного производства ГХН сводится к снижению или устранению образования карбонатных отложений на катоде электролизера и является направлением дальнейших исследований электролиза морской воды.

ВЫВОДЫ

1. Показана возможность и целесообразность использования природных хлоридных растворов, в частности, воды Черного моря в качестве сырья для производства низкоконцентрированного электрохимического гипохлорита натрия.

2. Определены основные технологические параметры электролиза морской воды в проточном и циркуляционном режимах. В циркуляционном режиме рекомендуемая продолжительность электролиза составляет 240 мин, температура морской воды – 5,0 – 20 ºС, при этом ожидаемые выход хлора по току в пределах 60 %, концентрация активного хлора до 8,0 – 9,0 г/л. В проточном режиме рекомендован электролиз с поддержанием концентрации активного хлора на выходе из аппарата 5,5 – 6,0 г/л оптимальной температурой воды на входе в электролизер – 10 – 20 ºС, при этом выход хлора по току составит 40 – 50 %.

3. Составлены рекомендации по выбору технологических схем производства (из пяти вариантов) гипохлорита натрия из морской воды в зависимости от требуемой производительности электролизной установки по активному хлору и количества обеззараживаемой воды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кудрявцев С.В. Совершенствование технологических параметров установок получения электролитического гипохлорита натрия для обеззараживания воды: Дис. … канд. техн. наук. Новочеркасск, 2009. 161 с.
2. Фесенко Л.Н., Игнатенко С.И., Бабаев А.А., Пчельников И.В. Сравнительный анализ электрохимических методов получения хлорсодержащих реагентов для обеззараживания воды // Водоснабжение и канализация. 2013. № 7-8. С. 34-38.
3. Пчельников И.В. Исследование режимов и выбор оптимальных условий непроточного электролиза при получении гипохлорита натрия из морской воды // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. 2013. № 6. С. 112–117.

УДК 628.166

ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩИЕ НАЦИОНАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА НИЗКОКОНЦЕНТРИРОВАННОГО ГИПОХЛОРИТА НАТРИЯ В СХЕМАХ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

Л.Н. Фесенко, И.В. Пчельников, Р.В. Федотов
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

Показана актуальность и экономическая целесообразность замещения импорта электролизного оборудования отечественными установками производства низкоконцентрированного гипохлорита натрия в схемах обеззараживания питьевой воды.

Практика обеззараживания питьевой воды хлорированием, получившая в России начало и развитие в Петербурге в начале 20-х годов прошлого столетия (ГВС СПб, 1912 г.), практически решила проблему эффективного санитарного обеспечения водоснабжения населенных мест. Однако, в свете современных требований обеззараживание воды газообразным хлором, завозимым на водоочистные станции в сжиженном виде, имеет ряд недостатков, среди которых самым существенным является способность хлора в случае его утечки поражать не только обслуживающий персонал, но и население прилегающей к водоочистной станции территории. Транспортирование емкостей с хлором и хранение его многотонных запасов на складах представляет реальную опасность для городов и населенных пунктов. Это обстоятельство дало развитие

тенденции отказа от традиционного хлорирования при подготовке питьевой воды в пользу электролитического гипохлорита натрия (ГПХН), получаемого на месте потребления путем электролиза раствора поваренной соли.

Метод электролитического получения раствора гипохлорита известен с конца XIX века и хорошо изучен, но в силу ряда преимуществ он 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 Ростовской области, одной из первых в России, также начался и продолжается сейчас процесс постепенного перевода водоочистных станций с жидкого хлора на ГПХН. В декабре 2008 г. на очистных сооружениях Центрального водопровода г. Ростова-на-Дону (ОСВ-1) была пущена в эксплуатацию первая крупная отечественная электролизная станция производительностью 1 т/сут. по эквивалентному хлору с электролизным оборудованием производства ООО НПП «ЭКОФЕС». На момент пуска эта станция по мощности стала второй в России после Санкт-Петербурга, рис. 1. [1].



Рисунок 1. **Четыре электролизных установки «Хлорэфс» УГ-25МК-250 производительностью 250 кг/сут. по активному хлору каждая для обеззараживания питьевой воды (г. Ростова-на-Дону)**

Почти шестилетний положительный опыт эксплуатации крупнейшей отечественной электролизной станции на ОСВ-1 открыл реальную перспективу полного импортозамещения российским электролизным оборудованием при крупнотоннажном производстве ГХН.

До некоторого времени сдерживающим фактором развития отечественных установок по получению низкоконцентрированного ГХН являлась их невысокая производительность по вырабатываемому активному хлору, вследствие чего водоочистные станции 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 Санкт-Петербурге (Водопроводные

станции «Северная» – 3,5 т и «Южная» – 4,5 т по эквиваленту хлора в сутки производства фирмы «NEWTEC») [2]; г. Иваново (две установки по 680 кг/сут., фирма «GRUNDFOS/ALLDOS»); г. Набережные Челны (в монтаже два электролизера НСТ-1500 по 680 кг эквивалентного хлора в сутки производства Severn Trent De Nora); г. Уфа (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 1 – 2 года), что вызывает серьезные финансовые проблемы и некоторую неуверенность у импортоприобретателей, особенно обострившуюся в сегодняшних условиях нарастающих санкций со стороны стран Евросоюза. 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 Украинской «Артемсоль», Астраханской, Илецкой и др.

При сравнительной схожести в мировой практике технологий электролитического получения гипохлорита натрия, тем не менее, конкурентоспособность электролизной установки, а, следовательно, перспективы её широкомасштабного применения определяются в основном:

- возможностью применения соли любого качества;
- энергосбережением;
- расходами на подготовку воды для рабочего солевого раствора;
- безотходностью технологического цикла, не требующего проведения дополнительных природоохранных мероприятий;
- безопасностью и надежностью производства гипохлорита.

Исходя из этих положений основные научно-технические решения, принятые при разработке технологии производства гипохлорита натрия крупнейшей на Юге России станции очистки питьевой воды на Александровских ОСВ [3, 4] заключались в следующем. При разработке электролизных систем реализуется модульный принцип: имеется модельный ряд электролизеров различной мощности, с помощью которого

масштабируется производительность всей установки путем подбора необходимого количества электролитических аппаратов определенной модели. Экономически целесообразно использование возможно меньшее число отдельных аппаратов, что значительно облегчает монтаж, техническое обслуживание, автоматизацию и управление установкой. Также повышается надежность работы установки и сокращается регламент ликвидации нештатных или аварийных ситуаций.

За основу электролизного узла на Александровских ОСВ в установке принят специально разработанный новый проточный электролизер «Хлорэфс» УГ-25МК-1000 производительностью 1 т эквивалентного хлора в сутки (всего на станции 6 рабочих и 1 резервный электролизных модуля), который состоит из двух параллельно работающих автономных модулей (по 500 кг/сут.) с индивидуальными блоками питания, рисунок 2.



Рисунок 2. **Электролизная станция на Александровских ОСВ с семью установками «Хлорэфс» производительностью 7 т/сут по эквиваленту хлора для обеззараживания питьевой воды г. Ростова-на-Дону**

Производство ГПХН осуществляется по непрерывной схеме. В электролизном модуле применяется каскад из проточных последовательно расположенных электролитических аппаратов с биполярными электродами в виде пластин, помещенных в общий непроводящий цилиндрический корпус из полихлорвинила, что обеспечивает однородность потока электролита и равномерность скорости его прохождения через каждый аппарат, и, соответственно, высокую эффективность электрохимических процессов на катоде и аноде. Аппараты этой конструкции зарекомендовали себя исключительно с позитивной стороны в промышленном производстве ГПХН на ОСВ-1 Центрального водопровода.

По аналогичной схеме работают проточные электролизные аппараты фирмы «NEWTEC» (Санкт-Петербург), «GRUNDFOS/ALLDOS» (Иваново) и «Wallace and Tiernan» (Уфа).

Как известно, потери выхода по току на катодное восстановление и электрохимическое окисление гипохлорита натрия на аноде снижаются приблизительно на 2 % с понижением температуры на 1°. Поэтому, для снижения энергозатрат между третьей и четвертой секциями электролизера последовательно по ходу движения солевого раствора расположен теплообменник, который в жаркое время года охлаждает раствор полученного гипохлорита натрия, а в холодный период – подогревает поступающий в первую секцию электролизного модуля солевой раствор.

Немаловажным достоинством проектируемой электролизной станции перед зарубежными аналогами, помимо меньшей стоимости, является возможность использования относительно низкосортной поваренной соли и, соответственно, в несколько раз более дешевой. Укажем при этом, что все предлагаемые на Российском рынке импортные электролизные установки известных иностранных фирм работают только на глубоко умягченной воде и соли марки «Экстра» или, в крайнем случае, высшего сорта. Применение же соли пониженной сортности вызывает вторичное насыщение солями жесткости уже умягченной воды и, как следствие, обрастание электродов карбонатными отложениями происходит в считанные часы. Также отметим, что применяемая в 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 проблема очистки (или утилизации) отработанных высококонцентрированных хлоридно-кальциевых регенерационных растворов, а также взрыхляющей и отмывочной воды.

На электролизной установке Александровских ОСВ 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 углекислоту и последующей отдувкой её в пленочном дегазаторе.

Такая технология подготовки солевых растворов впервые была реализована на электролизной станции ОСВ Центрального водопровода Ростова-на-Дону и в течение шести лет эксплуатации демонстрирует свою высокую эффективность и надежность.

Приготовление рабочего 3 %-ного раствора соли осуществляется по следующей схеме, рисунок 3: насыщенный солевой раствор готовится на водопроводной воде, затем насосом-дозатором подается в трубопровод водопроводной воды с доведением концентрации NaCl до 3 %. В тот же трубопровод дозируется 5 %-ная соляная кислота для доведения величины pH до значения 4,0 – 4,5. Подкисленный рабочий 3 %-ный солевой раствор подается в декарбонизатор (пленочный дегазатор), где свободная двуокись углерода отдувается воздухом с удельным расходом 15 $м^3/м^3$ дегазируемой воды. Концентрация свободной двуокиси углерода в солевом растворе снижается со 150 – 170 мг/л до 3 – 5 мг/л. Содержание гидрокарбоната на выходе из дегазатора практически отсутствует. Дегазированный и декарбонизированный солевой раствор направляется на электролизную установку.

Приготовление насыщенного раствора соли производится в сатураторе путем растворения хлорида натрия в неподвижном слое соли в режиме естественной конвекции и фильтрации. Проходя через слой поваренной соли получаемый рассол собирается дренажным коллектором и далее насосом подается на напорный механический фильтр, загруженный кварцевым песком, для глубокой очистки рассола от нерастворимых примесей. Объем сатуратора рассчитан на разовую загрузку в него 10 т поваренной соли с получением раствора 26 %-ной концентрации.

В зарубежных технологиях промывка сатуратора от осевших в нем нерастворимых примесей не предусмотрена, поскольку технология предполагает использование только высокосортной соли, квалифицируемой как химически чистая и свободной от каких-либо посторонних включений. В нашем случае, при использовании соли 1 сорта, содержание примесей может составлять от 1 до 2 %. Поэтому технология включает и периодическую промывку солерастворителя обратным током воды (снизу вверх по типу водопроводных фильтров), подаваемой в дренаж из хозяйственно-питьевого водопровода.

Сооружения повторного использования промывных вод сатуратора разработаны в виде последовательно расположенных вертикальной песколовки и отстойника промывных вод периодического действия. Удаление песка из приямка песколовки производится по мере его заполнения песковым насосом с подачей пульпы на пескоотмывочную машину со шнековой выгрузкой отмытого песка в сменный контейнер.

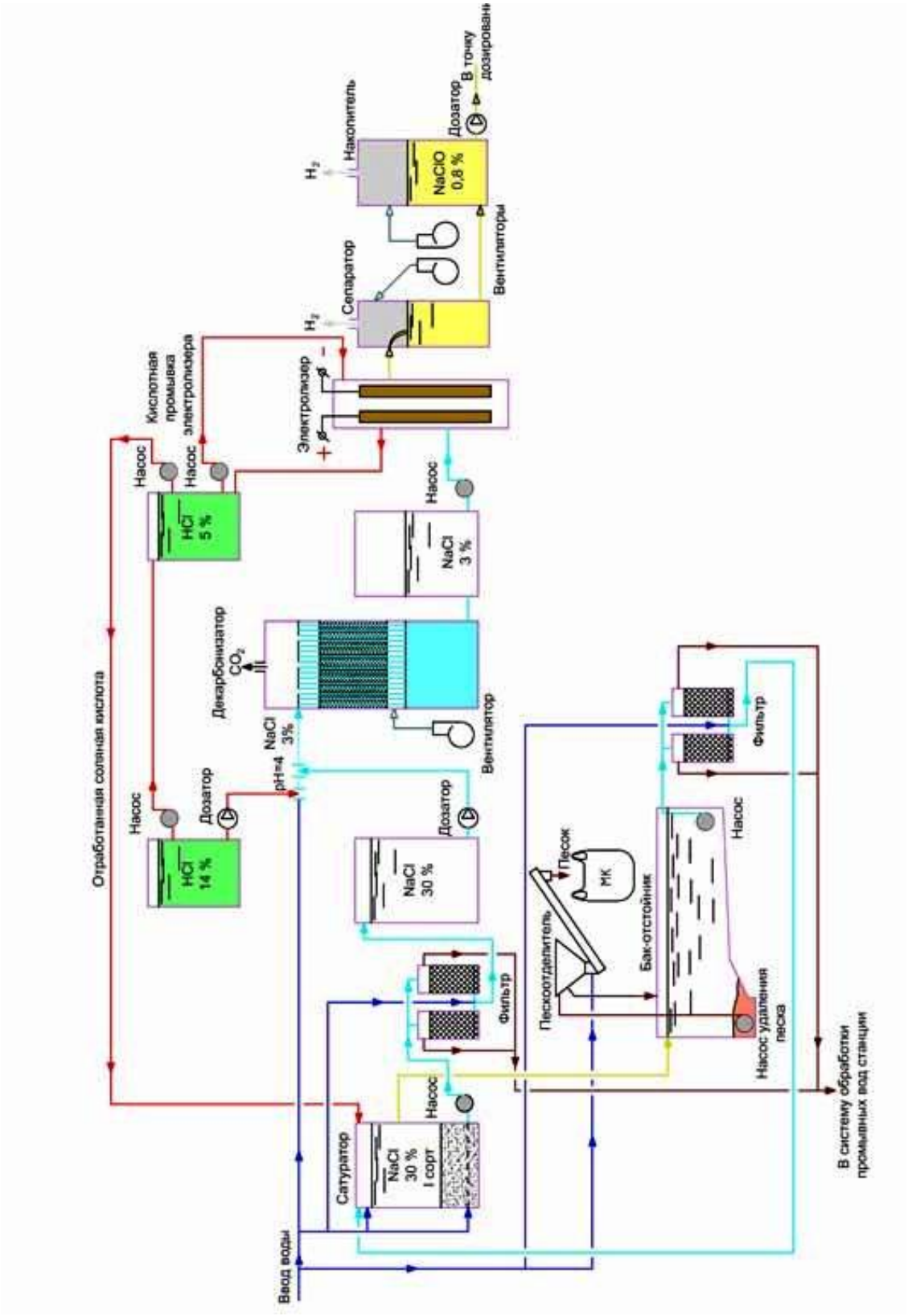


Рисунок 3. **Технологическая схема электролизной станции с установками «Хлорэфс» УГ-25МК-1000**

Отстойник промывных вод конструктивно представляет собой горизонтально расположенную цилиндрическую емкость с уклоном днища к грязевому приямку. Отбор осадка из приямка осуществляется периодически по мере накопления путем взмучивания его системой гидросмыва и перекачкой погружным насосом в производственную

канализацию водоочистных сооружений (сооружения обработки и повторного использования промывных вод скорых фильтров). Отбор отстоянной воды производится с верхнего уровня при помощи гибкого рукава, закрепленного на поплавке. Вода из отстойника направляется на напорный песчаный фильтр (установлены два попеременно работающих фильтра с автоматической промывкой) и далее возвращается в сатуратор. Промывка фильтров производится водопроводной водой с последующим сбросом в сооружения повторного использования водоочистной станции.

Разработанная технология позволяет возвратить в схему солерастворения практически всю воду, используемую для промывки сатуратора. Отметим, что сброс промывной воды от сатуратора не в специально предназначенные для этой цели сооружения, например в сооружения по обработке и возврату воды от промывки фильтров ВОС, не приемлем по причине высокой минерализации таких стоков по хлориду натрия.

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 %-ным 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). Возможно, она нейтрализуется (например, известью) и подлежит сбросу в канализацию ВОС.

В технологии электролизной станции, разработанной, спроектированной и смонтированной ООО НПП «ЭКОФЕС», предусмотрено стационарно установленное кислотное хозяйство с подачей 5 – 7 % раствора HCl отдельно на каждый из семи установленных электролизеров. Соляная кислота многократно используется до полной её нейтрализации, и уже нейтральный раствор насосом возвращается в сатуратор небольшим расходом (по проекту 48 л/час).

Таким образом, технологии приготовления солевых растворов, подготовки воды для электролиза с целью минимизации катодных отложений, кислотной промывки катодов на запроектированной, уже смонтированной и в настоящее время крупнейшей в России станции по получению электролитического гипохлорита натрия на ВОС г. Ростова-на-Дону в отличие от импортных технологий являются экологически чистыми

и полностью безотходными со 100 %-ным использованием или оборотом всех применяемых в технологии реагентов (воды, поваренной соли, соляной кислоты).

В числе крупных отечественных объектов смонтированы и подготовлены к пусконаладочным работам еще пять установок производства «ЭКОФЕС» по 500 кг/сут. каждая (рис. 4) на водозаборе из р. Дон и Левенцовских ВОС (вновь построенных с подачей 150 тыс. м^3/сут. питьевой воды для нужд г. Ростова-на-Дону).



Рисунок 4. **Три электролизных установки «Хлорэфс» по 500 кг/сут. каждая на Левенцовских ВОС производительностью 150 тыс. м^3/сут. питьевой воды для нужд г. Ростова-на-Дону**

ВЫВОД

Налаженное в России производство электролизеров для получения ГХН большой мощности, не уступающих по своим технико-экономическим показателям иностранным аналогам, а в технологическом плане их превосходящим, позволит полностью отказаться от импортных поставок и реализовать импортозамещение данного рода оборудования отечественным производителем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фесенко Л.Н., Скрябин А.Ю., Игнатенко С.И. Опыт применения гипохлорита натрия при обеззараживании воды на очистных сооружениях Центрального водопровода г. Ростова-на-Дону // Водоснабжение и сан. техника. 2009. № 9. С. 46–51.
2. Кинебас А.К., Нефедова Е.Д., Бекренев А.В. Обеззараживание воды низкоконцентрированным гипохлоритом натрия на водопроводных станциях Санкт-Петербурга // Водоснабжение и сан. техника. 2010. № 3. С. 24–29.
3. Фесенко Л.Н., Игнатенко С.И., Скрябин А.Ю., Пчельников И.В. Пути решения экологичности и безотходности производства электролитического гипохлорита натрия для обеззараживания питьевых вод // Водоочистка. 2014. № 3. С. 9–16.
4. Фесенко Л.Н., Скрябин А.Ю., Игнатенко С.И., Федотов Р.В. Обеспечение безотходности и экологичности технологии производства гипохлорита натрия на установках «Хлорэфс» // Водоснабжение и сан. техника. 2011. № 8. С. 25–29.

УДК 628.16.066.7

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССА УЛЬТРАТОНКОСЛОЙНОЙ ГРАВИТАЦИОННОЙ ОЧИСТКИ В СЕТЧАТОМ ЛАМЕЛЬНОМ ФИЛЬТРЕ

Е.М. Булыжев, А.Ю. Богданов, Ю.А. Грехов
Ульяновский государственный технический университет,
г. Ульяновск, Россия

Предложена гравитационная система очистки, соединяющая в себе преимущества методики тонкослойного гравитационного осаждения и фундаментальных принципов теории фильтрования с образованием слоя осадка.

В работах [1 – 4] подробно изучены тонкослойные гравитационные очистители (ТГО), способные обеспечивать высокие технико-экономические показатели очистки больших объемов технологических, оборотных и сточных вод от механических полидисперсных примесей. Заметим, что механические примеси являются удерживающей средой (носителем) для прочих загрязнений, таких как нефтепродукты и высокомолекулярные соединения, являющиеся малорастворимыми в водной среде.

Однако, несмотря на достаточно малый зазор между пластинами в ТГО (5 – 10 мм) и ламинарное осаждение частиц механических примесей в сдое жидкости между пластинами, позволяющие повышать степень и тонкость очистки суспензии, эффективность очистки суспензии с частицами примесей диаметром менее 20 – 30 мкм может быть лимитировано требованиями к их регенерации и производительности очистителя.

Основным допущением подхода к построению гравитационной системы очистки является возможность рассмотрения течения очищаемой жидкости (суспензии) через ячейки сетки, натянутой на перфорированную пластину (ламель) как процесс ультратонкослойного гравитационного осаждения с переменной скоростью осаждения.

1. Вычисление степени очистки ε при переменной скорости осаждения в процессе ультратонкослойного осаждения.

Дифференциальное уравнение, описывающее изменение скорости частицы v_{oc}, при свободном (нестесненном) осаждении в жидкости с учетом её сопротивления при ламинарном характере обтекания имеет вид:

$$\frac{dv_{oc}}{dt} = \frac{\rho_T - \rho_{ж}}{\rho_T} g - \frac{18\eta}{d^2 \rho_T} v_{oc}, \qquad (1)$$

где ρ_T и $\rho_{ж}$ – плотности частиц и жидкости соответственно, кг/м^3; g – ускорение свободного падения, м/с^2; η – динамическая вязкость

жидкости, Па·с; d – эквивалентный диаметр частицы, м. Обозначим

$$a = \frac{\rho_T - \rho_{ж}}{\rho_T} g, \qquad b = \frac{18\eta}{d^2 \rho_T}.$$

Тогда частное решение дифференциального уравнения (1) при начальном условии $\nu_{ос}(0) = 0$ может быть найдено в явном виде, так как (1) является ОДУ с разделяющимися переменными:

$$v_{ос}(t) = \frac{a}{b}\left(1 - e^{-bt}\right). \qquad (2)$$

Из соотношения (2) следует, что при изучении движения мелкодисперсных частиц (d мало) значение $b = \frac{18\eta}{d^2 \rho_T}$ велико, и стабилизация скорости на максимальном уровне $\frac{a}{b}$ происходит очень быстро. Поэтому в практических расчетах обычно можно предполагать, что $v_{ос}(t) \equiv \frac{a}{b} = \frac{(\rho_T - \rho_{ж})g}{18\eta} d^2 = const$ для фиксированной частицы диаметра d.

Однако при исследовании процесса очистки в сетчатом ламельном фильтре необходимо учитывать, что диаметр ячейки сетки сравним с диаметрами задерживаемых полидисперсных частиц, поэтому при исследовании и в расчетах процесса осаждения частицы внутри канала сетки обязательным является использование переменной скорости осаждения (2). Тем более, что «живое сечение» сетки и максимальная высота осаждения h (первоначально равная диаметру ячейки сетки) постоянно уменьшаются и в пределе при $t \to +\infty$ могут принимать сколь угодно малые значения, поэтому расчетные формулы $\nu_{ос}(h)$ должны иметь такой вид, чтобы при h больших $\nu_{ос}(h) \to \frac{a}{b}$, а при малых значениях h мы бы получали $\nu_{ос}(h) \to 0$. При этом в расчетах вместо постоянной скорости осаждения целесообразно использовать среднюю скорость осаждения $\bar{v}_{ос}$, рассчитываемую при осаждении частицы с переменной (случайной) высоты h.

Рассмотрим процесс осаждения сферической частицы в канале сетки ламельного фильтра. Примем, что концентрация суспензии меньше 10 – 20 мг/дм^3, поэтому можно не учитывать процессы коагуляции, а скорости движения частицы и жидкости невелики и обеспечивают ламинарный режим.

Степень очистки ε в сетчатом ламельном гравитационном очистителе, являющуюся основным показателем эффективности процесса очистки (ГОСТ Р 52237-2004), определим из выражения

$$\varepsilon = \frac{t_{np}}{t_{oc}}, \tag{3}$$

где
$$t_{np} = \frac{L}{v}, \quad t_{oc} = \frac{h}{\bar{v}_{oc}}, \tag{4}$$

соответственно время пребывания и время осаждения частицы в сетчатом элементе ультратонкослойного гравитационного очистителя, v – скорость потока жидкости через каналы сетки (м/с), L – средняя длина канала сетки (м). Подставив (4) в (3), получим

$$\varepsilon = \frac{L\bar{v}_{oc}}{vh} \quad . \tag{5}$$

С целью вычисления средней скорости $\bar{v}_{oc}$, получим выражения для пройденного частицей пути $h(t)$ при осаждении с нулевой начальной скоростью:

$$h(t) = \int_0^t v_{oc}(x)dx = \frac{a}{b}\int_0^t \left(1 - e^{-bx}\right)dx = \frac{a}{b}t - \frac{a}{b^2}\left(1 - e^{-bt}\right). \tag{6}$$

Для нахождения времени осаждения t_{oc} частицы с высоты h до нулевого уровня, необходимо решить уравнение

$$h(t_{oc}) = \frac{a}{b}t_{oc} - \frac{a}{b^2}\left(1 - e^{-bt_{oc}}\right) = h. \tag{7}$$

К сожалению, нелинейное уравнение (7) не может быть разрешено относительно переменной t_{oc} в явном виде. Поэтому заменим (7) приближенным равенством, разложив экспоненту в ряд Тейлора до квадратичных членов включительно:

$$h(t_{oc}) \approx \frac{a}{b}t_{oc} - \frac{a}{b^2}\left(1 - \left(1 - bt_{oc} + \frac{b^2 t_{oc}^2}{2}\right)\right) = h. \tag{8}$$

Из соотношения (8) получаем:

$$t_{oc} \approx \sqrt{\frac{2h}{a}}. \tag{9}$$

Тогда средняя скорость осаждения $\bar{v}_{oc}$ при осаждении частицы диаметра d с высоты h до нулевого уровня вычисляется как:

$$\bar{v}_{oc} = \frac{1}{t_{oc}}\int_0^{t_{oc}} v_{oc}(t)dt \approx \sqrt{\frac{a}{2h}}\,\frac{a}{b}\int_0^{\sqrt{\frac{2h}{a}}} \left(1 - e^{-bt}\right)dt \cdot \tag{10}$$

Интегрируя (10), получаем:

$$\bar{v}_{oc} \approx \frac{a}{b}\left(1 - \sqrt{\frac{a}{2h}}\,\frac{1}{b}\left(1 - \exp\left(-b\sqrt{\frac{2h}{a}}\right)\right)\right). \tag{11}$$

Заметим, что при $h \to +\infty$ из (11) следует $\bar{\nu}_{oc} \to \frac{a}{b}$, а при $h \to 0$ получаем среднюю скорость осаждения $\bar{\nu}_{oc} \to 0$, что согласуется с физическими свойствами процесса осаждения.

Подставив (11) в (5), и учитывая, что степень очистки ε принимает значения в диапазоне [0; 1], получаем степень очистки (вероятность задержания) частицы диаметра *d* при осаждении с высоты [0; *h*]:

$$\varepsilon = \varepsilon(d,h) = \min\left(\frac{L}{vh}\frac{a}{b}\left(1-\sqrt{\frac{a}{2h}}\frac{1}{b}\left(1-\exp\left(-b\sqrt{\frac{2h}{a}}\right)\right)\right),1\right) \qquad (12)$$

2. Нахождение средней степени очистки $\bar{\varepsilon}$ для сетчатого ламельного фильтра с учетом уменьшения «живого сечения» сетки в процессе «забивания» её частицами шлама

Полученное в предыдущем пункте выражение (12) для степени очистки не учитывает уменьшение величины *h* (диаметра канала сетки, максимальной высоты осаждения) в процессе работы сетчатого ламельного фильтра за счет образования слоя осадка внутри канала осаждения. Так как процесс осаждения носит случайный характер, то мы можем говорить лишь о некотором среднем слое осадка в каналах сетки и о средней величине коэффициента уменьшения «живого сечения» канала сетки $\kappa \in (0,1)$. В начальный момент времени $\kappa \approx 1$, при $\kappa = 0{,}5$ все каналы сетки в среднем «забиты» наполовину, наконец, при $h \to +\infty$ имеем $\kappa \to \kappa_0$, где κ_0 – малая положительная величина, близкая к нулю.

Используем для статистического описания процесса уменьшения живого сечения сетки закон распределения, предложенный в монографии [5] для описания рабочей поверхности абразивного инструмента и математического моделирования динамических процессов шлифования с захватом частиц. Итак, рассмотрим плотность распределения абстрактной случайной величины ξ, зависящую от параметра $\alpha \in (-1,+\infty)$:

$$b_\alpha(x) = \begin{cases} (\alpha+1)(1-x)^\alpha, & \text{при } 0 \le x \le 1,\ \alpha > -1 \\ 0, & \text{при } x \notin [0;1] \end{cases}. \qquad (13)$$

(Выражение (13) является частным случаем B-функции Эйлера, проявляющейся во многих физических законах слабого и сильного взаимодействия.) Математическое ожидание и дисперсия случайной величины ξ равны соответственно:

$$\mathrm{M}\xi = \frac{1}{\alpha+2}, \quad \mathrm{D}\xi = \frac{\alpha+1}{(\alpha+2)^2(\alpha+3)}.$$

Модифицируем закон распределения (13) для описания случайной величины $\eta \in [0,h]$ – текущей максимальной высоты осаждения с учетом образовавшегося осадка. Рассмотрим следующую плотность с.в. η:

$$b_\alpha^{(h)}(x)=\begin{cases}\dfrac{\alpha+1}{h}(1-\dfrac{x}{h})^\alpha, & \text{при } 0\le x\le h,\ \alpha>-1\\ 0, & \text{при } x\notin[0;h]\end{cases}. \qquad (14)$$

Тогда математическое ожидание $M\eta=\dfrac{h}{\alpha+2}$. Если текущий коэффициент живого сечения равен κ, то параметр α распределения (14) может быть найден из уравнения $\kappa=\dfrac{1}{\alpha+2}$, откуда:

$$\alpha(t)=\frac{1}{\kappa(t)}-2. \qquad (15)$$

Считая в выражении (12) параметр h случайной величиной, распределенной по закону (13), и рассматривая выражение (12) как условную вероятность, по интегральной формуле полной вероятности получаем:

$$\varepsilon=\int_0^h \min\left(\frac{L}{vx}\frac{a}{b}\left(1-\sqrt{\frac{a}{2x}}\frac{1}{b}\left(1-\exp\left(-b\sqrt{\frac{2x}{a}}\right)\right)\right),1\right)b_\alpha^{(h)}(x)dx=$$

$$=\frac{\alpha+1}{h}\int_0^h \min\left(\frac{L}{vx}\frac{a}{b}\left(1-\sqrt{\frac{a}{2x}}\frac{1}{b}\left(1-\exp\left(-b\sqrt{\frac{2x}{a}}\right)\right)\right),1\right)\left(1-\frac{x}{h}\right)^\alpha dx \qquad (16)$$

Заметим, что график $\kappa=\kappa(t)$ уменьшения живого сечения сетки может быть получен (для изобарического процесса) как:

$$\kappa(t)=\frac{Q(t_0+t)}{Q(t_0)},\quad t\ge 0, \qquad (17)$$

где $Q(t)$ – переменная производительность сетчатого ламельного фильтра ($м^3/с$), t_0 – начальный момент времени. Можно считать, что $t_0=0$ в большинстве расчетов.

Также заметим, что хотя в выражении (16) мы традиционно говорим о средней степени очистки, но реально рассмотрены не полидисперсные частицы, а произвольная фиксированная частица диаметра d. Считая, что все параметры, кроме d, в (16) постоянны, подставив значения a и b: $a=\dfrac{\rho_T-\rho_ж}{\rho_T}g$, $b=\dfrac{18\eta}{d^2\rho_T}$ в (16), получим следующее выражение для $\varepsilon(d)$-кривой:

$$\varepsilon=E(d)=\frac{\alpha+1}{h}\int_0^k \min\Big(\frac{L(\rho_T-\rho_ж)g}{18\eta}d^2\Big(1-\frac{1}{\sqrt{2x}}\cdot\frac{\sqrt{\rho_T(\rho_T-\rho_ж)g}}{18\eta}d^2\cdot$$

$$\cdot\Big(1-\exp\Big(-\sqrt{2x}\,\frac{18\eta}{\sqrt{\rho_T(\rho_T-\rho_ж)gd^2}}\Big)\Big)\cdot 1\Big)\Big(1-\frac{x}{h}\Big)*dx \qquad (18)$$

Заметим, что для мелкодисперсных частиц шлама целесообразно рассматривать комплекс «частица-гидратная оболочка», поэтому в подынтегральном выражении в формуле (18) плотность частиц ρ_T, вообще говоря, является переменной величиной, зависящей от диаметра частицы *d* (а также от материала частицы и свойств жидкости, которые считаются постоянными).

Если распределение частиц шлама подчинено закону с плотностью распределения по диаметрам $\rho_ш(x)$, $x \in (0;+\infty)$, то средняя степень очистки может быть найдена по формуле полной вероятности как

$$\bar{\varepsilon} = \int_0^{+\infty} E(y) p_ш(y) dy . \qquad (19)$$

В подынтегральном выражении (19) функция *E(y)* вычисляется по формуле (18) с заменой аргумента *d* на *y*.

Используя формулу (19), на основе интегральной формулы Байеса, можно получить выражения для функций распределения задержанных фильтром и оставшихся в жидкости частиц (по диаметрам):

$$F_з(x) = \frac{1}{\bar{\varepsilon}} \int_0^x E(y) p_ш(y) dy \quad , \qquad (20)$$

$$F_o(x) = \frac{1}{1-\bar{\varepsilon}} \int_0^x (1 - E(y)) p_ш(y) dy . \qquad (21)$$

Полученное в (19) выражение для средней степени очистки $\bar{\varepsilon} = \int_0^{+\infty} E(y) \rho_ш(y) dy$ опирается на распределение частиц шлама по диаметрам, поэтому, согласно классической работе А.Н. Колмогорова 1941 г. [6], можно считать, что $\rho_ш(x)$ есть плотность некоторого логнормального распределения. Однако более естественно на практике считать, что средняя степень очистки есть отношение масс задержанного и исходного шлама, или, что то же самое, отношение соответствующих концентраций:

$$\bar{\varepsilon} = \frac{C_и - C_o}{C_и} = 1 - \frac{C_o}{C_и} ,$$

и для расчетов средней степени очистки $\bar{\varepsilon}$ должен применяться закон распределения частиц по массам, а не по диаметрам.

Если эквивалентный диаметр частицы шлама равен *d*, то её масса $m = \frac{\pi d^3 \rho_T}{6}$, откуда $d = \sqrt[3]{\frac{6m}{\pi \rho_T}}$. Следовательно, функция распределения частиц шлама по массам может быть вычислена через функцию распределения по диаметрам:

$$F_m(x) = \mathrm{P}\{m < x\} = \mathrm{P}\left\{\frac{\pi d^3 \rho_T}{6} < x\right\} = \mathrm{P}\left\{d < \sqrt[3]{\frac{6x}{\pi\rho_T}}\right\} = F_ш\left(\sqrt[3]{\frac{6}{\pi\rho_T}}\sqrt[3]{x}\right). \quad (22)$$

Дифференцируя последнее соотношение (22), получаем выражение для плотности распределения частиц по массам через плотность распределения по диаметрам:

$$p_m(x) = \sqrt[3]{\frac{6}{\pi\rho_T}}\,\frac{x^{-\frac{2}{3}}}{3}\,p_ш\left(\sqrt[3]{\frac{6}{\pi\rho_T}}\sqrt[3]{x}\right). \quad (23)$$

Поэтому из (19) можно получить «массовую» среднюю степень очистки, значительно отличающуюся от средней степени очистки по размерам частиц (диаметрам):

$$\bar{\varepsilon}_{(m)} = \int_0^{+\infty} E\left(\sqrt[3]{\frac{6}{\pi\rho_T}}\sqrt[3]{y}\right)p_m(y)dy = \frac{1}{3}\sqrt[3]{\frac{6}{\pi\rho_T}}\int_0^{+\infty} E\left(\sqrt[3]{\frac{6}{\pi\rho_T}}\sqrt[3]{y}\right)\frac{1}{y^{2/3}}\,p_ш\left(\sqrt[3]{\frac{6}{\pi\rho_T}}\sqrt[3]{y}\right)dy \quad (24)$$

где плотность распределения частиц шлама по диаметрам $\rho_ш(x)$ подчинена логнормальному закону распределения:

$$p_ш(x) = p_ш(x, \bar{d}, \sigma) = \begin{cases} \dfrac{1}{\sqrt{2\pi}sx}\exp\left(-\dfrac{(\ln x - a)^2}{2s^2}\right), & \text{при } x > 0 \\ 0, & \text{при } x \le 0 \end{cases}.$$

В последнем выражении:

$$a = \ln\left(\frac{(\bar{d})^2}{\sqrt{\sigma^2 + (\bar{d})^2}}\right),\ s^2 = \ln\left(\frac{\sigma^2}{(\bar{d})^2} + 1\right), \quad (25).$$

где $\bar{d}$ – средний диаметр частиц, σ^2 – дисперсия частиц шлама в очищаемой жидкости (суспензии низкой концентрации).

Аналогично формулам (20) и (21), используя формулу (24), на основе интегральной формулы Байеса, можно получить выражения для функций распределения задержанных фильтром и оставшихся в жидкости частиц (по массам):

$$F_з^{(m)}(x) = \frac{1}{\bar{\varepsilon}_{(m)}}\frac{1}{3}\sqrt[3]{\frac{6}{\pi\rho_T}}\int_0^x E\left(\sqrt[3]{\frac{6}{\pi\rho_T}}\sqrt[3]{y}\right)\frac{1}{y^{2/3}}\,p_ш\left(\sqrt[3]{\frac{6}{\pi\rho_T}}\sqrt[3]{y}\right)dy, \quad (26)$$

$$F_o^{(m)}(x) = \frac{1}{1-\bar{\varepsilon}_{(m)}}\frac{1}{3}\sqrt[3]{\frac{6}{\pi\rho_T}}\int_0^x\left(1 - E\left(\sqrt[3]{\frac{6}{\pi\rho_T}}\sqrt[3]{y}\right)\right)\frac{1}{y^{2/3}}\,p_ш\left(\sqrt[3]{\frac{6}{\pi\rho_T}}\sqrt[3]{y}\right)dy. \quad (27)$$

ВЫВОДЫ

В статье рассмотрен новый поход к математическому описанию процесса очистки на сетчатом ламельном фильтре, совмещающем в себе

два процесса – ультратонкослойного осаждения и фильтрования с образованием слоя осадка. Использован комплексный детерминированно-вероятностный подход, позволяющий связать вероятностные законы распределения частиц в суспензии, случайный характер осаждения, фундаментальные детерминированные законы осаждения и фильтрования с важнейшими конструктивными, режимными, физическими и физико-химическими процессами ультратонкослойной гравитационной очистки. Предлагаемые математические модели создают общую теоретико-вероятностную основу для расчета, как отдельных установок, так и систем очистки, основанных на применении общих функционально-вероятностных зависимостей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Булыжев Е.М., Богданов А.Ю., Краснова М.Е., Терешёнок Е.П. Эффективность очистки СОЖ в тонкослойных гравитационных очистителях // Справочник. Инженерный журнал. Приложение. 2008. № 10. С. 2–5.
2. Булыжев Е.М., Краснова М.Е., Терешёнок Е.П. Влияние конструкторско-технологических параметров, свойств СОЖ и механических примесей на эффективность тонкослойного гравитационного очистителя // Там же. С. 6–10.
3. Булыжев Е.М., Богданов А.Ю., Краснова М.Е. Математическая модель тонкослойной гравитационной очистки // Там же. С. 10–14.
4. Булыжёв Е.М., Богданов А.Ю., Меньшов Е.Н., Краснова М.Е., Кондратьева Н.Н., Джавахия Г.А., Терешёнок Е.П. Новое поколение силовых очистителей водных технологических жидкостей / Под ред. Е.М. Булыжёва. Ульяновск: УлГТУ. 2010. 419 с.
5. Булыжёв Е.М., Худобин Л.В. Ресурсосберегающее применение смазочно-охлаждающих жидкостей при металлообработке. М.: Машиностроение. 2004. 352 с.
6. Колмогоров А.Н. О логарифмически-нормальном законе распределения размеров частиц при дроблении. Доклады Академии Наук СССР. 1941. Т. XXXI. № 2. С. 99–101.

УДК 628.393

ГЕОТУБИРОВАНИЕ. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В ОБЕЗВОЖИВАНИИ И СКЛАДИРОВАНИИ ОСАДКА

Ф.И. Лобанов
ООО «КНТ Плюс», г. Москва, Россия

Предложена технология обезвоживания осадка и его хранение для предприятий ЖКХ, горнодобывающей промышленности, осадков промышленных сточных вод и др.

Получение биошлама является конечным результатом очистки сточных вод, поступающих на коммунальные очистные сооружения. При этом возможны различные схемы дальнейшего движения биошлама. Биошлам, состоящий из первичного осадка и избыточного ила, перекачивается на иловые карты с дренажной системой, где происходит его медленное высушивание. Биошлам обезвоживается с использованием различных механических средств: центрифуги, ленточные фильтр-прессы, камерные фильтр-прессы, и затем размещается на иловых накопителях с целью его возможного дальнейшего использования. Биошлам после обезвоживания сжигается в печах со взвешенным слоем и образующаяся зола вывозится на иловые накопители.

Если не рассматривать затраты электроэнергии на аэротенки, то механическое обезвоживание является наиболее энергозатратным и капиталоемким. При этом следует учитывать использование автотранспорта для транспортировки осадка, что является также достаточно затратным. Во всех случаях при обработке осадка требуется применение флокулянта, без которого невозможно обеспечить эффективное обезвоживание.

Естественно, если рассматривать энергозатратность, то наиболее малобюджетным является гидротранспорт осадка (биошлама) с канализационных очистных сооружений (КОС) на иловые карты. Однако здесь возникает проблема, связанная с отсутствием свободных площадей, а так же расходами на их эксплуатационную и экологическую составляющую. Во всех случаях, кроме сжигания осадка, следует рассматривать экологическую безопасность, особенно, в части подвижных форм тяжелых металлов и микробиологических загрязнений, т.к. в случае открытых поверхностей возможно распространение различных инфекций, в первую очередь, за счет птиц (вороны, чайки). [1].

Нами была рассмотрена возможность использования геотуб для статического обезвоживания биошлама. Геотубы нашли широкое применение при очистке рек и озер от донных отложений в первую очередь в США и Европе, в защите морского побережья. Применение геотуб в коммунальном хозяйстве на момент начала наших исследований носило единичный характер (рис. 1).



Рисунок 1. **Забор биошлама**

В течение ряда лет ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» изучал опыт различных организаций по переработке осадка (биошлама), расположенного на полигонах (рис. 2). К сожалению, ни одна не отвечала поставленной задаче – создание высокопроизводительного мобильного комплекса по переработке осадка, расположенного на иловых накопителях, с автономным электроснабжением. [2]



Рисунок 2. **Обработка биошлама**

В результате выполненных работ была создана технологическая линия (рис. 3),состоящая из 4-х модулей: 1) модуль подачи осадка, 2) модуль приготовления и подачи растворов флокулянта (рис. 4), 3) модуль смешивания осадка с раствором флокулянта, 4) модуль дозирования вспомогательных веществ (дезинфектант, дезодорант, реагент для связывания свободных форм тяжелых металлов, стабилизатор) [3 – 6].



Рисунок 3. **Мобильный комплекс ECOTRAIN**



Рисунок 4. **Модуль приготовления и подачи растворов флокулянта**

Для приготовления растворов флокулянта была использована оригинальная установка с весовой подачей полимера, позволяющая приготовлять до 30 кг полимера в час. Для смешивания осадка с полимером была использована on-line система (рис. 5), позволяющая обеспечить: однородное смешение за счет введения полимера в объем осадка в виде пленки. При этом достигается экономия флокулянта до 20 % за счет эффективной технологии линейного перемешивания и возможности использования концентрированных растворов флокулянта от 1 %-ного и более, что в 10 раз сокращает потребление воды для растворения и значительно сокращает энергозатраты. В модуле смешивания осадка с раствором флокулянта предусмотрена кавитационная гомогенизация осадка, что в комбинации с последующим высокоэффективном контактным взаимодействием с раствором флокулянта позволяет добиться высокой степени обезвоживания осадка при использовании геотекстильных материалов.



Рисунок 5. **Модуль смешивания осадка с раствором флокулянта**

Реагентная обработка осадка позволяет гарантированно получить осадок 4-го класса опасности. Затем суспензия с сфлокулированным осадком подается на статическое обезвоживание в геотубы (рис. 6). Мобильный комплекс может быть снабжен автономным питанием и использоваться на удаленных территориях. В настоящее время выпускаются технологические линии производительностью до 200 м^3 осадка/ч.



Рисунок 6. **Заполненные геотубы**

Содержание сухого вещества на входе составляет от 1,5 до 7,5 % , что позволяет обеспечить оптимальные условия флокулообразования. Содержание сухого вещества на выходе: 20 % – 25 % (после заполнения геотубы и отвода дренажных вод), окончательная степень обезвоживания в процессе хранения зависит от различных факторов.

Преимущества разработанной технологии: отсутствие капитального строительства, мобильность, непрерывный технологический процесс, решение задач при отсутствии технологической воды, получение фильтрата соответствующего требованиям сброса на очистные сооружения, низкая энергоемкость, низкие эксплуатационные затраты, равномерные распределение финансовых затрат на весь период реализации проекта, получение экологически безопасного продукта, возможность, выполнения работ в удобные для заказчика сроки.

Области применения разработанной технологии: в первую очередь предприятия ЖКХ, горнодобывающая промышленность, осадки промышленных сточных вод и другие области, где требуется эффективное обезвоживание осадка и его хранение.

Работа была выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках выполнения государственного контракта по Федеральной целевой программе «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007 –2013 годы».

ЛИТЕРАТУРА

1. Рублевская О.Н., Краснопеев А.Л. Опыт внедрения современных технологий и методов обработки осадков сточных вод // Водоснабжение и сан. техника. 2011. № 4. С. 65–69.
2. Похил Ю.Н., Багаев Ю.Г., Иванов Н.А., Иванов А.Н. Инновационные технологии обезвоживания осадков сточных вод на иловых площадках // Водоснабжение и сан. техника. 2011. № 4. С. 58–65.
3. Пат. 2342204 РФ, МПК B09B3/00. Способ переработки отходов / Ф.В. Кармазинов, Ф.И. Лобанов, Х-Г. Хартан; опубл. 27.12.2008.
4. Пат. 2331442 РФ, МПК A61L9/012, A61L9/14. Способ удаления запахов полигонов, отходов, свалок и полей орошения (варианты) / Ф.В. Кармазинов, Ф.И. Лобанов, Б. Казжук; опубл. 20.08.2008.
5. Пат. 2354614 РФ, МПК C02F11/14, C02F1/54, B01D21/01. Способ обезвоживания суспензии / Ф.В. Кармазинов, Ф.И. Лобанов, Х-Г. Хартан, И.Ф. Кнауэр; опубл. 10.05.2009.
6. Пат. 2357932 РФ, МПК C02F11/14, C02F1/52, B01D21/01. Способ обработки суспензии / Ф.В. Кармазинов, Ф.И. Лобанов, опубл. 10.06.2009.

УДК 628.33

О СПЕЦИФИКЕ СОЗДАНИЯ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ В УСЛОВИЯХ Г. СОЧИ И КРЫМА

Н.И. Куликов, Е.Н. Куликова, Д.Н. Куликов, Л.Н. Приходько
Сочинский государственный университет,
г. Сочи, Россия

Статья о проблемах водоснабжения и водоотведения и путях их решения на черноморских побережьях Сочи и Крыма.

На чём держится мир? На трёх китах: сила, свобода, спокойствие. Что должно быть в основе создания проекта канализационной очистной станции (КОС) и в целом систем водоснабжения и водоотведения жилого массива? – Экологичность, экономичность, социальная направленность. Что есть условие экологичности. Это «нулевой» баланс отходов в окружающую природную среду, чтобы сети и сооружения водоснабжения

и водоотведения могли располагаться в жилой застройке. Чтобы очистная станция канализации создавала сырьё для коммунального хозяйства города, поселения – чистую воду, органо-минеральные удобрения из осадков сточных вод, топливно-энергетические ресурсы. Можно этого достигать при нынешнем уровне науки и техники? Да, можно. Из сточных вод можно получать даже питьевую воду и примеры такого процесса в мире имеются. При очистке сточных вод выделяется углекислота и тепловая энергия. Их можно использовать для фотосинтеза кислорода, потребляемого при очистке сточных вод, например, в парниковом хозяйстве. Из удобрений, полученных из осадков, можно выращивать продукты питания для населения, обеспечивать вовлечение трудовых ресурсов, занятость населения, рабочие места.

Размещение КОС в жилой застройке сокращает длины коммуникаций для использования очищенной воды, например, для технического водоснабжения. Смывные бачки унитазов в жилых домах потребляют половину питьевой воды нормы водопотребления на одного жителя. Нужна вода для полива зелёных насаждений, мытья транспортных средств личного пользования и многие другие хозяйственные нужды. А подпитка систем отопления? Вода из водоёмов в систему водоснабжения имеет температуру в зимнее время близкую к нулю градусов Цельсия, а очищенная сточная вода не ниже 15 °С. Экономия? Да, безусловно.

Теперь о проектах КОС, выполненных и реализованных в г. Сочи. Да, они впечатляют размахом и грандиозностью. Но что мы имеем на сегодняшний день? Ни одна КОС и ЛОС, построенные в Сочи, не выполняют свои функции! Все осадки уходят в море, загрязняя пляжи, места отдыха гостей и жителей города курорта. Пляжи закрыты СЭС по санитарным нормам. Но с другой стороны, как и построенные дороги, КОС и ЛОС создали возможность эффективной очистки сточных вод и переработки осадков на ближайшие 50 лет. Нужно только воспользоваться этими возможностями и превратить КОС и ЛОС в фабрики по переработке отходов в полезные продукты.

Процесс очистки воды всегда начинается с процеживания. При процеживании и измельчении задержанных примесей можно получить сырьё для стройиндустрии (пластмассу, стройматериалы).

Далее идёт отстаивание, которое даёт осадок, используемый для получения органо-минеральных удобрений при анаэробной термофильной стабилизации и обеззараживании осадков ещё и биогаз, а при аэробном термофильном компостировании – углекислоту для парников.

Почему Сочи и Крым? В Сочи уже всё построено, а в Крыму ещё только предстоит построить и КОС и ЛОС. Нужно не наступить на те же грабли, учитывая схожесть условий и климата и застройки этих курортных территорий, большой процент наличия неканализованных территорий в этих регионах России.

Отсутствие экономичности принятых технологических решений в Сочи очень наглядно на примере переработки осадков сточных вод. Заложенная в проектах система сушки осадков сразу определяет, что она противоречит тарифам населению на канализацию. Затраты на сушку в разы превышают возможности поступления средств через тарифы и требуют наличия полигонов для вывоза и складирования высушенных осадков.

В то же время имеются уже устройства для биокомпостирования, вермикомпостирования осадков сточных вод, которые обеспечивают и обеззараживание осадков, их подсушку, стабилизацию и получение органоминеральных удобрений для сельского хозяйства. А затраты на эти процессы сопоставимы с тарифом.

Колоссальны в реализованных проектах огрехи в гидравлике сооружений и работе используемого оборудования. Такое впечатление, что ВУЗы не учат специалистов гидравлике.

Особенно это проявилось на КОС Центрального района г. Сочи (на р. Бзугу). Позор специалистам, давшим в проекте рекомендации по конструкциям отстойников и процеживающих устройств, по соотношениям объёмов отсеков нитрификации и денитрификации в сооружениях биологической очистки сточных вод.

Теперь о перспективных направлениях в создании технологических процессов очистки сточных вод и конструировании систем водоснабжения и водоотведения.

При очистке сточных вод очень важно обеспечить процеживание сточных вод до уровня задержания механических примесей крупностью 3 мм, а не 6 мм или12 мм [1]. Далее необходимо обеспечивать усреднение расходов сточных вод по часам суток, что позволяет управлять и процессами отстаивания и биологической очистки сточных вод. Объём усреднителей на уровне 0,1 $Q_{сут}$ позволяет вдвое снизить объёмы отстойников и биореакторов очистки стоков с 0,6 $Q_{сут}$ до 0,3 $Q_{сут}$. Очень важно задействование не только свободноплавающего активного ила, но и биоценоза прикреплённых микроорганизмов [2]. Например, на стадии денитрификации это биоценоз бактерий анаммокс, а на стадии глубокой очистки воды – биоценоз мелких животных (червей, клещей, моллюсков), которые могут развиваться только на насадке.

В Центре активного отдыха Минобороны России к моменту сдачи проекта КОС Красной Поляны уже работала очистная станция после реконструкции производительностью с 700 $м^3$/сут. до 2000 $м^3$/сут., где качество очищенной воды было на таком высоком уровне, что специально приезжали делегации АН России из институтов им. Сысина и им. Вернадского, чтобы убедиться в этом, где впервые в производственных условиях зарегистрировали работу биоценоза бактерий анаммокс. Почему-то этот опыт не был использован.

К сожалению, крупные экологические объекты, каковыми являются и КОС и ЛОС, строятся с разрешения чиновников, а это удлиняет цепочку согласующих инстанций, а, следовательно, стоимость объекта. КОС на Красной Поляне имеет стоимость по объёмам сооружений одну величину, а потратили в разы больше. То же самое на КОС Адлера и на р. Бзугу и на ЛОС в Имеретинской низменности.

Но это не наука, а наша действительность. Наши отечественные миллиардеры очень не любят гласности, поэтому принятые решения по очистным станциям должны обязательно освещаться в печати с обязательной экономической оценкой, причем до и после реализации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воронов Ю.В. и др. Водоотведение: Учебник. М.: ИНФРА-М. 2007. 415 с.
2. Куликов Н.И. и др. Биологическая очистка воды (теория и практика). Издательство: «Дория», 2013. 286 с.

УДК 628.1, 519.25

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ВОДЫ КАНАЛА СЕВЕРСКИЙ ДОНЕЦ-ДОНБАСС

А.С. Трякина
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
г. Макеевка, Украина

Приведены результаты статистической обработки качества воды за период 2005 – 2011 гг. на Макеевской фильтровальной станции. Допустимые превышения отмечены по мутности, окисляемости, ОМЧ и коли-индексу.

На основе данных технологического контроля за показателями качества воды канала Северский Донец-Донбасс, поступающей на Макеевскую фильтровальную станцию (МФС), выполнена статистическая оценка показателей качества воды, значения которых превышают максимально допустимые величины, регламентируемые ДержСанПиН 2.2.4-171-10 [1, 2], за рассматриваемый период времени. В таблице 1 приведены результаты статистической обработки показателей качества воды, поступающей на МФС.

Суммарная длительность неблагоприятных событий в течение каждого года (по превышениям максимально допустимых значений) была рассчитана по каждому показателю качества воды и представлена в таблице 2.

Таблица 1. **Результаты статистической обработки**

Величина	Мода	Среднее значение	Стандартное отклонение	Асимметрия	Эксцесс	Нижняя граница 95% доверительного интервала	Верхняя граница 95% доверительного интервала	Минимум	Максимум
Цветность, град	16	16,68	3,36	1,71	7,7	16,59	16,77	5	48
Мутность, мг/дм^3	0,58	3,92	3,29	2,52	11,02	3,83	4,0	0,47	35,37
Сульфат ион, мг/дм^3	-	228,8	37,9	-0,01	0,87	222,4	235,3	101	327,5
Жесткость, моль/дм^3	6,7	7,09	0,76	0,18	-0,55	7,07	7,11	5,4	9,3
кисляемость, г/дм^3	6	6,16	0,73	0,96	2,79	6,14	6,18	4,0	9,9
ЗМЧ при 37 °С	110	378	411	1,59	3,1	367	389	11	3700
Коли-индекс	59	656	922	3,31	18,26	631	680	19	9900

Вероятность превышения порогового значения, %:

$$q = \frac{T_i}{T_{период}}; \quad (1)$$

где: T_i – это длительность превышения порогового значения в течение рассматриваемого периода, сут; $T_{период}$ – это продолжительность рассматриваемого периода, сут.

Кратность превышения максимально допустимого значения [3, 4]:

$$R_i = \frac{C_i}{C_{ПДК}}; \quad (2)$$

где: C_i – это максимальное значение показателя, наблюдаемое в течение рассматриваемого периода; $C_{ПДК}$ – это максимально допустимое значение показателя.

Кратность повторения превышений максимально допустимого значения [4]:

$$U_i = \frac{N_{ПДК\,i}}{N_i}; \quad (3)$$

где: N_i – это общее число анализов, выполненных в течение

рассматриваемого периода; $N_{ПДК\ i}$ – это число случаев превышения максимально допустимого значения показателя**.**

Таблица 2. **Длительность неблагоприятных событий**

Наименование показателя	Максимальное значение показателя за период	Пороговое значение показателя (ДержСанПиН 2.2.4-171-10)	Длительность превышения порогового значения в течение периода, T_i, сут.	Вероятность превышения порогового значения q, %	Кратность превышения максимально допустимого значения, R_i	Кратность повторения превышений максимально допустимого значения, U_i
1	2	3	4	5	6	7
2005 год						
Цветность, град	23	20	22	6,1	1,15	0,061
Мутность, мг/дм^3	15,12	0,58	363	100	26,1	1,0
Сульфат ион, мг/дм^3	303,7	250	12	25	1,22	0,25
Жесткость, моль/дм^3	9,0	7,0	247	68	1,29	0,68
Окисляемость, мг/дм^3	7,7	5,0	362	99,7	1,54	0,99
ЗМЧ при 37 °С	1900	50	346	95,3	38	0,95
Коли-индекс	3700	0	363	100	-	1,0
2006 год						
Цветность, град	25	20	33	9,1	1,25	0,091
Мутность, мг/дм^3	12,7	0,58	363	100	21,9	1,0
Сульфат ион, мг/дм^3	241,6	250	-	-	-	-
Жесткость, моль/дм^3	9,0	7,0	168	46	1,29	0,46
Окисляемость, мг/дм^3	8,8	5,0	349	96,1	1,76	0,96
ЗМЧ при 37 °С	1400	50	330	90,9	28	0,91
Коли-индекс	2200	0	363	100	-	1,0
2007 год						
Цветность, град	25	20	27	7,4	1,25	0,074
Мутность, мг/дм^3	35,37	0,58	364	100	61,0	1,0
Сульфат ион, мг/дм^3	312,7	250	8	16,7	1,25	0,17
Жесткость, моль/дм^3	8,5	7,0	189	51,9	1,21	0,52
Окисляемость, мг/дм^3	9,9	5,0	362	99,5	1,98	0,995

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6	7
ЗМЧ при 37 °С	1500	50	325	89,3	30	0,89
Коли-индекс	2600	0	364	100	-	1,0
2008 год						
Цветность, град	27	20	59	16,3	1,35	0,16
Мутность, мг/дм^3	8,72	0,58	361	99,7	15,03	0,99
Сульфат ион, мг/дм^3	267,1	250	12	25	1,07	0,25
Жесткость, моль/дм^3	8,3	7,0	173	47,8	1,19	0,48
Окисляемость, мг/дм^3	7,9	5,0	360	99,4	1,58	0,99
ЗМЧ при 37 °С	780	50	264	72,9	15,6	0,73
Коли-индекс	2500	0	362	100	-	1,0
2009 год						
Цветность, град	30	20	4	1,1	1,5	0,011
Мутность, мг/дм^3	15,62	0,58	363	100	26,9	1,0
Сульфат ион, мг/дм^3	290,9	250	16	33,3	1,16	0,33
Жесткость, моль/дм^3	9,3	7,0	180	49,6	1,33	0,496
Окисляемость, мг/дм^3	7,8	5,0	349	96,1	1,56	0,96
ЗМЧ при 37 °С	1600	50	260	71,6	32	0,72
Коли-индекс	2400	0	363	100	-	1,0
2010 год						
Цветность, град	48	20	124	34,3	2,4	0,34
Мутность, мг/дм^3	9,39	0,58	348	100	16,2	1,0
Сульфат ион, мг/дм^3	312,4	250	20	41,7	1,25	0,42
Жесткость, моль/дм^3	8,9	7,0	89	24,6	1,27	0,25
Окисляемость, мг/дм^3	7,7	5,0	353	97,5	1,54	0,98
ЗМЧ при 37 °С	3700	50	350	96,7	74	0,97
Коли-индекс	4100	0	362	100	-	1,0
2011 год						
Цветность, град	26	20	26	7,2	1,3	0,072
Мутность, мг/дм^3	12,88	0,58	313	86,2	22,2	0,86
Сульфат ион, мг/дм^3	273,1	250	28	58,3	1,09	0,58
Жесткость, моль/дм^3	9,1	7,0	220	60,6	1,3	0,61
Окисляемость, мг/дм^3	7,4	5,0	294	81,0	1,48	0,81
ЗМЧ при 37 °С	2100	50	298	82,1	42	0,82
Коли-индекс	2800	0	363	100	-	1,0

Исходя из произведенных выше расчетов, можно сделать вывод, что особое внимание нужно обратить на показатели мутности, окисляемости, ОМЧ и коли-индекса, так как их кратности повторения превышений максимально допустимых значений во все периоды близки к единице. Не значительно превышаются значения показателя цветности. Также требуется не упустить показатели сульфатов и жесткости, так как их кратности повторения превышений в отдельные периоды пересекают отметку в 0,5.

ЛИТЕРАТУРА

1. Державні будівельні норми. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди [Текст]: ДБН В.2.5-74:2013. К.: Мінрегіон України, 2013. 172 с.
2. Державні санітарни норми та правила «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» [Текст] ДСанПіН 2.2.4-171-10. К.: 2010.
3. Крамер Г. Математические методы статистики [Текст] / Г. Крамер; пер. с англ. под ред. А. Н. Колмогорова. М.: Изд-во «Мир», 1975. 648 с.
4. Насонкина Н.Г. Повышение экологической безопасности систем питьевого водоснабжения [Текст]: автореф. дисс. …д-ра техн. наук: 21.06.01 / Н.Г. Насонкина. Донецк, 2006. 29 с.

ТОРГОВЫЙ ДОМЪ
Н.В. ЛЕПЁШКИНА
125 лет
ХИМИЧЕСКИЙ ЗАВОД
им. П.Л. ВОЙКОВА -
ОАО «АУРАТ»


АУРАТ
Наши новые реагенты
МАГ
ЭРА-АУРАТ
ЭПОХА
ЭРЧВ
ГранПАКС
СКИФ
ГранЭКО
ПАКС
ГРАЛС
ВОДАЛС
УНИКО-ОХА
УНИКО-СА
АКВА-АУРАТ
АКВА-АУРАТ М
АЛЮМИНИЙХЛОРГИДРАТ 50%
www.aurat.ru

Общество с ограниченной ответственностью
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ «ЭКОФЕС»

346400, Россия, г. Новочеркасск Ростовской обл., проспект Баклановский, 200 В;

тел. (8635) 26–05–07, тел./факс 26–05–46, 26–02–17;
web site: ecofes.ru; e-mail: 65613@mail.ru

П Р Е Д Л А Г А Е Т

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 7000 кг эквивалента хлора в сутки
- Полная автоматизация технологического процесса
- Современный дизайн, экономичная, надежная и безопасная работа оборудования
- Выполнение проектных работ и согласование проектов
- Поставка и монтаж установок «под ключ», пусконаладочные работы и обучение персонала
- Гарантийное и послегарантийное обслуживание, поставка расходных материалов

24 года поставляет установки «Хлорэфс» и другое водоподготовительное оборудование для многих регионов России и ближнего зарубежья.

ООО НПП «ЭКОФЕС» имеет полный пакет всех необходимых разрешительных документов для выполнения проектных работ (в том числе и на функции генерального подрядчика), сертификаты соответствия, санитарно-гигиеническое заключение

Узел производства гипохлорита натрия на Александровских ОСВ г. Ростов-на-Дону
производительность 7 тонн по эквиваленту активного хлора в сутки
на базе оборудования «ХЛОРЭФС» УГ-25МК-1000






Приглашаем деловых партнеров к сотрудничеству

научно-производственная компания
аргентумЭКО

г. Ростов-на-Дону, пр-т Буденновский 80, офис 707 т/ф +7 (863) 2-188-707, 232-59-49
г. Таганрог, ул. Строительная 10 т/ф +7 (8634) 320-020 (многоканальный)
г. Краснодар, т/ф +7 (861) 269-97-59
www.argentum-eco.ru www.аргентум-эко.рф
e-mail: sales@argentum-eco.ru

ЗАМЕНА NA-КАТИОНИРОВАНИЯ ОБРАТНЫМ ОСМОСОМ – СВОЕВРЕМЕННЫЙ ШАГ

На протяжении многих лет широко распространенной технологией подготовки воды для питания паровых котлов является двухступенчатое Na-катионирование (ионный обмен). Обратный осмос – относительно новый метод подготовки воды, позволяющий не только снизить ее жесткость, но и понизить общую минерализацию, в последние годы составил серьезную конкуренцию ионному обмену. Все большее число котельных переходит на обратноосмотические установки.

При определении экономической эффективности замены Na-катионирования обратным осмосом очень важно помимо учета затрат на эксплуатацию установок различных типов оценить эффективность работы котлов на воде, прошедшей различные системы фильтрации:

– вода, прошедшая систему Na-катионирования имеет примерно тот же уровень минерализации, что исходная

– обратный осмос позволяет не только умягчить воду, но и снизить ее общую минерализацию до значений 10-100 мг/л

При низких минерализациях питательной воды, котел работает в режиме, при котором потери на его продувку минимальны, а следовательно минимизированы и затраты топлива для выработки требуемых объемов пара.

Главным доводом в пользу обратного осмоса является уменьшение в 5 – 10 раз объемов продувок котла при его работе на деминерализованной воде.

Эффект от применения установок обратного осмоса особенно ощутим при минерализации исходной воды более 1000 мг/л.

Установка обратного осмоса включается в схему ХВО 2-мя способами – в качестве замены 1-й или 2-й ступени Na-катионирования:

– в первом случае обратный осмос отсекает основную часть примесей воды. Ввиду этого большая часть эксплуатационных затрат ХВО ложится на установку обратного осмоса.

– во втором варианте установка обратного осмоса заменяет 2-ю ступень Na-катионирования. Учитывая то, что в установку обратного осмоса поступает умягченная вода после 1-й ступени, увеличивается срок эксплуатации сменных элементов системы обратного осмоса.

ООО НПК «Аргентум-ЭКО» готово предоставить расчет экономической эффективности применения обратного осмоса и Na-катионирования для каждого конкретного случая. Просим отправлять данные для проведения расчета по электронному адресу office@argentum-eco.ru или по факсу +7 (8634) 320-020. Для проведения расчетов нам нужен состав исходной воды, тип котлов и объемы подпитки.


аргентум ЭКО
научно-производственная компания
8 B 23
аргентум ЭКО







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



Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова
Межотраслевой региональный центр повышения квалификации и профессиональной переподготовки специалистов
Кафедра «Водное хозяйство, инженерные сети и защита окружающей среды»

предлагают:
Курсы повышения квалификации для руководителей и ИТР
Продолжительность курсов – 10 дней (72 часа)
Занятия проводятся с 1 по 10 и с 20 по 30 числа каждого месяца

Программа курсов:

Водопроводные и канализационные сети:

Гидравлические расчеты водопроводных сетей
Гидравлические расчеты канализационных сетей
Расчеты канализационных насосных станций и подбор оборудования
Расчеты водопроводных насосных станций
Новое поколение технологий и комплектов оборудования для реконструкции подземных инженерных сетей
Современные приемы ликвидации аварий на водопроводно-канализационных сетях
Технология бестраншейной замены аварийных коммуникаций. Комплекты оборудования и технология для реконструкции систем водоснабжения и водоотведения
Прогнозирование аварий и их устранение на водопроводных сетях
Реконструкция и наладка насосных станций. Ремонт насосов с восстановлением рабочих колес
Интенсификация процесса биологической очистки сточных вод
Показатели качества сточных вод и их значение при оценке работы канализационных очистных сооружений
Влияние поступления в/к св на организм загрязнения на б/х окисление

Очистка высококонцентрированных сточных вод производственных предприятий
Обеззараживание

Финансовая политика на предприятиях ЖКХ:

Тарифная и бюджетная политика на предприятиях ВКХ
Источники финансирования реконструкции и развития ЖКХ
Организация оплаты труда в ВКХ

Техническая политика предприятия:

Капитальный ремонт как основа обновления основных средств

Состояние и реформа в водопроводно-канализационном хозяйстве:

Современный уровень и перспектива развития методов очистки и обеззараживания природных вод, содержащих антропогенные примеси
Повышение эффективности работы очистных сооружений на хоз-питьевых водопроводах

Принимаются заявки на темы, не включенные в настоящий перечень

По окончании выдается удостоверение о прохождении курсов повышения квалификации

Контакты:

346428, Ростовская область, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132,
ЮРГПУ (НПИ) им. М.И. Платова, кафедра ВХИСЗОС, гл. корпус, ауд. 136;
Тел./факс (86352) 55-1-71



Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова

Межотраслевой региональный центр повышения квалификации и профессиональной переподготовки специалистов

Кафедра «Водное хозяйство, инженерные сети и защита окружающей среды»

ПРЕДЛАГАЮТ:

Диплом по профессиональной переподготовке

по направлению «Водоснабжение и водоотведение»

Срок обучения – 2 года (4 семестра)

Форма обучения: заочная.

Изучаемые курсы:

Водоснабжение и водоотведение
Экология
Химия воды и микробиология
Экологические проблемы юга России
Экономика отрасли
Насосы и воздуходувные станции
Математическое моделирование систем ВиВ
Электрическое оборудование систем ВиВ
Реконструкция инженерных систем и сооружений
Оборотное водоснабжение
Специальные методы очистки природных и сточных вод
Микробиология
Водопроводные и канализационные сети
Химия окружающей среды
Водоотведение и очистка сточных вод
Строительные механизмы и машины
Эксплуатация систем ВиВ
Автоматизация систем ВиВ
Монтаж и наладка систе ВиВ
Инженерное оборудование зданий
Надежность систем ВиВ

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,
ЮРГПУ(НПИ) им. М.И. Платова, кафедра ВХИСЗОС,
гл. корпус, ауд. 136; тел./факс (86352) 55-1-71.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Акын Л.Г.	81, 96, 110,
Алексеева Л.П.	16, 39
Алексеев С.Е.	39
Алешин В.С.	81, 96, 110
Алешин А.В.	81, 96, 110
Аль-Амри З.С.А.	56
Бабаев А.А.	244
Банников П.О.	178
Бечвая Р.С.	65
Баринов А.М.	210
Белых Д.Е.	134
Богачев А.Н.	65
Богданов А.Ю.	253
Борисова В.Ю.	174
Бреус С.А.	107
Бубырь Д.С.	119
Булыжев Е.М.	119, 253
Бутко Д.А.	228, 231
Воинцева И.И.	33
Волосникова Е.А.	195
Вильсон Е.В.	148
Гаврилина Ю.А.	174
Гетманцев С.В.	10, 27, 33, 46, 48
Горшкалев П.А.	181
Графова Е.О.	86
Грехов Ю.А.	119, 253
Грун Н.А.	102
Гутенев В.В.	71
Гризодуб Н.Н.	152
Денисова А.В.	71, 115
Денисов В.В.	71
Джукаев С.Н.	71, 96, 110
Душенко А.Ю.	65
Завалюев В.Э.	65
Игнатенко С.И.	59. 137, 237, 244
Кашарин Д.В.	200, 223
Ким А.Н.	86, 102. 189
Клячкин В.Н.	119
Костюков В.П.	137, 172
Куасси Бру Гийом	91
Кувайскова Ю.Е.	119
Куликов Н.И.	265
Куликова Е.Н.	265
Куликов Д.Н.	265
Кульмедов Б.	219
Курова Л.В.	39
Лагода А.М.	148

Линевич С.Н. 107
Лобанов Ф.И. 260
Лысов В.А. 228
Мирошниченко Л.Г. 126
Михайлов А.В. 189
Мурашев С.В. 102
Новиков М.Г. 33
Носова Е.Г. 167
Нетута А.В. 215
Орлов Г.А. 119
Никифорова А.В. 158
Пельчер А.В. 65
Поповьян Г.В. 51
Приходько Л.Н. 265
Продоус О.А. 189
Пчельников И.В. 237, 244
Рашковский Г.Б. 27,46, 48
Романова Ю.В. 102
Рыльцева Ю.А. 228
Самсонова Е.В. 158, 184
Саргсян А.М. 181
Серпокрылов Н.С. 215
Серпокрылов Е.Н. 178, 232
Скрябин А.Ю. 51, 71, 115
Спиридонова Л.Г. 163
Старостин Г.С. 46
Стрелков А.К. 181
Сухоносов Н.А. 46
Сычев А.В. 27,48
Тайвер Е.А. 215
Теплых С.Ю. 167, 181
Тер-Матиосова К.С. 126
Трякина А.С. 268
Тхай Тхи Ким Тьи 223
Угроватова Е.Г. 172
Федотов Р.В. 59, 244
Фесенко А.Л. 237
Фесенко Л.Н. 71, 115, 126, 137, 237, 244
Черкесов А.Ю. 137, 244
Чукалина Е.М. 205
Хачатурян Г.С. 158, 184
Хецуриани Е.Д. 65
Шабельник А.А. 200
Шишова О.П. 231
Штейнмиллер О.А. 86
Щербаков В.И. 56, 134, 219
Яковлева Е.В. 158, 184

Научное издание

Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2014»

Материалы VIII Международной научно-практической конференции

Издается в авторской правке

Подписано в печать 13.10.2014.
Формат 60х84 1/16. Бумага офсетная. Печать оперативная.
Усл. печ.л.11.86. Уч.-изд. л. 12.17. Тираж 100 экз. Заказ 47-2210.

Издательство ООО «Лик»
346430, г. Новочеркасск, ул. Красноармейская, 18

Отпечатано в ИПК «Колорит»
346430, г. Новочеркасск, пр. Платовский, 82Е
Тел. 8-918-518-04-29, 8-952-603-0-609, center-op@mail.ru