ГК «АУРАТ», Россия

ООО НПП «ЭКОФЕС», г. Новочеркасск

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

ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ВОДЫ «ТЕХНОВОД-2018»

Материалы XI Международной научно-практической конференции
11 – 14 декабря 2018 года
г. Сочи, Красная Поляна

Новочеркасск
Лик
2018

УДК 628.161 (063)
ББК 38.761.1я43
Т 384

Редакционная коллегия:

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

Т 384 **Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2018»:** материалы XI Межд. науч.-практ. конф.; Красная Поляна, г. Сочи, 11–14 декабря 2018 г. / Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т. (НПИ) имени М.И. Платова – Новочеркасск: Лик, 2018. – 310 с.
ISBN

В настоящем сборнике представлены материалы докладов XI Международной научно-практической конференции «Технологии очистки воды» – ТЕХНОВОД–2018 и размещены в трех разделах. Название каждого раздела сформулировано в соответствии с сущностью входящих в него статей.

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

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

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

УДК 628.161 (063)
ББК 38.761.1я43

ISBN © Южно-Российский государственный

политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, 2018
© Авторы, 2018

С О Д Е Р Ж А Н И Е

ЛОВИЕ……7
Скрыль А.Ю. Приветственный адрес участникам конференции «ТЕХНОВОД-2018»…….....……..……..…….....10
I. КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ, ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ. ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО……..……..11
Субботин А.И., Субботин И.А., Субботин В.А., Костюков В.П. Особенности обследования строительных конструкций зданий и сооружений водоподготовки и очистки сточных вод……11
Фесенко Л.Н., Пчельников И.В., Игнатенко С.И., Териков А.С. Разработка технологии биоцидной обработки охлаждающей воды АЭС «ЭЛЬ-ДАБАА» гипохлоритом натрия……...15
Иванкова Т.В. Водообеспеченность Республики Крым: состояние, проблемы, перспективы……21
Насонкина Н.Г.,. Яковенко К.А, Антоненко С.Е., Забурдаев В.С., Соколов Д.А., Маслак В.Н. Оценка состояния водонесущих сетей Донбасса…….30
Найманов А.Я., Турчина Г.С. Математический подход в решении задач надежности кольцевых трубопроводных систем…….34
Абилов Ф.А., Нагиев З.А., Тарихазер З.А. Джейранбатанский водохозяйственный комплекс…….40
Кашарин Д.В., Калмыков С.А., Плотникова В.А. Перспективы развития малой гидроэнергетики Республики Саха (Якутия)……..……44
Богданов Н.И., Хецуриани Е.Д., Хецуриани Т.Е. Технология борьбы с дрейссеной и восстановление производительности водозабора……....54
Рожков В.С., Зайченко Л.Г., Нездойминов Д.В. Инструментально-аналитический подход к эксплуатации систем подачи-распределения воды……57
Хецуриани Е.Д., Бондаренко В.Л., Хецуриани Т.Е. Обеспечение экологической безопасности водопользования из поверхностных источников.....62
Продоус О.А., Шипилов А.А., Джанбеков Б.А., Бляшко Я.И., Мурлин А.А., Иващенко В.В. Особенности проектирования, строительства и эксплуатации магистральных водоводов в пересеченной местности с большим перепадом высот…….……67
II. ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ И ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ ОЧИСТКИ И ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ПРИРОДНЫХ ВОД……...75

Скрябин А.Ю., Поповьян Г.В., Тронь И.А., Гора О.Н. Сооружения повторного использования промывных вод в технологическом процессе водопроводных очистных сооружений АО «Ростовводоканал»……..75
Абросимов М.В., Серпокрылов Н.С., Яковлева Е.В. Дополнения к классификации фазово-дисперсных состояний примесей в воде……..…79
Рученин А.А. Внедрение новых коагулянтов производства ОАО «АУРАТ» в Приволжском Федеральном Округе…….…….....84
Ким А.Н., Графова Е.О. Современное состояние водоснабжения моногородов Республики Карелия: проблемы и решения……89
Краснова Т.А., Горелкина А.К., Тимощук И.В., Савельев С.Н. К вопросу об эффективности адсорбционной доочистки питьевой воды от трихлорэтилена……..……..…93
Гулиев Э.Ш. Обоснование технологических решений по одноступенчатому осветлению и обесцвечиванию маломутной воды для хозяйственно-питьевых целей……..96
Сидаш С.Б., Фесенко Л.Н., Пчельников И.В., Исраилов Р.В., Черкесов А.Ю., Маликова А.В. Беспылевая технология приготовления угольной пульпы из активных антрацитов Донбасского месторождения для дезодорации питьевой воды……..100
Булыжев Е.М.,, Богданов А.Ю., Булыжев Э.Е. Объемно-патронные фильтры для осветления больших объемов вод……...106
Кашарин Д.В., Бессарабов С.Ю., Яценко Н.А. Исследование изменений характеристик полимерных мембран обратноосмотических установок для условий эксплуатации Ростовской области……....111
Фесенко Л.Н., Пчельников И.В., БасанцеваЮ.А., Гостева Т.И., Териков А.С., Нгуен Тхи Туан Зъеп К выбору режима прямого электролиза воды Вьетнамского моря при производстве гипохлорита натрия……..……..……....117
Селюков А.В., Рафф П.А., Семенов М.Ю., Мишина Т.Ф. Пилотные испытания технологии кондиционирования цветной маломутной воды фильтрованием……123
Лобанов Ф.И., Yuan Gao, Кинебас А.К., Тарарыков О.Ю. Эффективные и экологически безопасные технологии обеззараживания объектов питьевого водоснабжения……..…..129
Гетманцев С.В., Сухоносов Н.А. Влияние щелочности воды и основности коагулянта на его дозу……135
Боронина Л.В. Совершенствование системы выбора технологии очистки воды из поверхностных источников……...140
Фесенко Л.Н., Чепкасова Н.И., Федотов Р.В., Дружинин А.С. Технологические решения по реконструкции водопроводных очистных сооружений х. Хапры Мясниковского района Ростовской области….....144
Гетманцев С.В., Ананьев О.Г. Выбор модификаций оксихлорида алюминия при обработке различных видов природных вод……...150

III. ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ И ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ ОЧИСТКИ ХОЗБЫТОВЫХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД……..……..157
Лобанов Ф.И. Применение химического дезодорирования для устранения запаха на предприятиях ЖКХ…….……....157
Нездойминов В.И., Чернышев В.Н., Кижаев В.Ф., Могукало А.В. Некотоые пути решения проблемы утилизации осадков содержащих ионы тяжелых металлов……..162
Ким А.Н., Лютин С.Ю., Давыдова Е.В. Прогрессивные системы глубокой очистки поверхностного стока на модульных устройствах пассивного типа……...168
Тарасова А.А., Алексеев А.А., Соловьев К.А. Экспериментальное определение времени фактического пребывания сточных вод в первичном отстойнике……173
Краснова Т.А., Гора Н.В., Голубева Н.С,. Якушина А.Е. Адсорбционное извлечение рутина из водных сред на активных углях...176
Куликов Н.И., Приходько Л.Н., Панченко О.Г. Особенности технологии очистки ливневых вод в условиях Сочинского курортного региона……..……...178
Алексеев А.А., Тарасова А.А., Соловьев К.А. Уменьшение сероводорода в сточных водах на стадии транспортирования……...183
Серпокрылов Н.С., Вильсон Е.В., Махов А.В. Исследования и опыт эксплуатации технологии предочистки в трубопроводе транспортирования городских сточных вод на очистные сооружения….186
Смирнов А.В., Богатырев М.М., Иванова Ю.А. Очистка сточных вод населенных пунктов в районе большого Сочи……..193
Продоус О.А., Михайлов А.В. Комплексная системная оценка эффективности очистки поверхностных сточных вод…….203
Нездойминов В.И., Заворотный Д.В. Влияние внутренних циркуляционных потоков в аэротенке-осветлителе на образование подвижного фильтрующего взвешенного слоя……..…..207
Костюков В.П., Угроватова Е.Г. Очистка сточных вод производства водно-дисперсионных красок……....212
Зубов М.Г., Кадревич А.А. Обезвоживание, сушка и обеззараживание осадка сточных вод. Новая разработка ЭКОС ГРУПП – установка SRP для переработки осадка сточных вод с применением воды в сверхкритическом состоянии……217
Нездойминов В.И., Рожков В.С., Чернышев В.Н. Концепция биологической очистки сточных вод с эрлифтными биореакторами…....220
Серпокрылов Н.С., Смоляниченко А.С., Яковлева Е.В., Хачатурян Г.С. Совершенствование локальной очистки сточных вод производства подсолнечного масла……....224

Скрябин А.Ю., Фесенко Л.Н., Нгуен Тхи Туан Зъеп, Игнатенко С.И., Маликова А.В. Технические решения по очистке и утилизации отходов, образующихся при производстве электролизного гипохлорита натрия……...229
Тхай Тхи Ким Тьи Прогнозирование осадков на основе нелинейной авторегрессионной нейронной сети……..237
Белоусова В.Ю., Гаврилина Ю.А. Анализ применения освещения в очистке сточных вод…….242
Арашаев А.В., Серпокрылов Н.С., Онкаев В.А., Онкаев А.В. Экологические проблемы при строительстве очистных сооружений Элистинской фабрики первичной обработки шерсти……..246
Соловьев К.А., Тарасова А.А., Алексеев А.А. Определение и оценка показателей качества сточных вод при обработке пероксидом водорода……...251
Серпокрылов Н.С., Кондакова Н.В., Гаврилина Ю.А., Мозгунова А.А. Исследование влияния абиотических факторов на состав воздуха рабочей зоны перекрытых очистных сооружений……...255
Цхе А.А., Луканин А.А.,. Цхе А.В., Сколубович Ю.Л., Ломакин Д.В., Почуев Н.А. Озоновая стимуляция биологических процессов при очистке сточных вод……..259
Хуторненко К.О., Серпокрылов Н.С. К вопросу о предотвращении сульфатредукции в канализационных трубопроводах……263
Костюков В.П., Костюков П.В., Пантелеев А.Л., Заплохова Т.Р., Башкиров А.В. Повышение экологической эффективности действующих сооружений биологической очистки……267
Серпокрылов Н.С., Земченко Г.Н., Пчельникова А.С. Анализ рабочих режимов канализационных очистных сооружений аэропортовского комплекса «Платов»……..…271
Синева Л.Н., Синев А.И. Особенности сточных вод сахарных заводов и возможные способы их очистки…….278
Кулаков А.А., Пукемо М.М. Комбинированная установка для биологической очистки сточных вод……281
Степанов С.В., Панфилова О.Н. Новые сорбционные материалы для удаления ионов тяжелых металлов из водных растворов……...285
Фесенко Л.Н., Щукин С.А., Алексеевских Р.Ю., Мусаев А.А., Черкесов А.Ю., Игнатенко С.И., Тронь И.А. Промышленные системы вентиляции канализационных сооружений и насосных станций – новые подходы и решения……289
Сидоров И.С., Дибиров Г.А., Хмелевский С.М. Применение флокулянтов марки «SUPERFLOC» фирмы «KEMIRA» для процесса обезвоживания осадков……..….295
Смирнов А.Д. Об эксплуатационных характеристиках методов обеззараживания воды и стоков……297
Информационно-рекламные материалы.....298

П Р Е Д И С Л О В И Е

Международная научно-практическая конференция «Технологии очистки воды», сокращенно «ТЕХНОВОД», одиннадцатая по счету, «ТЕХНОВОД-2018» проводится в г. Сочи, Красная поляна 12 – 14 декабря. Предыдущие конференции проходили в городах:

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

«ТЕХНОВОД-2018» было принято провести в Красной Поляне по двум причинам: во-первых, это очень красивое и историческое место – здесь была проведена первая в России зимняя олимпиада в 2014 году; во-вторых, этот регион относится к уникальным объектам водоснабжения и водоотведения из-за сложного рельефа местности, неустойчивых грунтов, высокой интенсивности дождевых осадков, изменяющих русло рек, разрушающих гидротехнические сооружения. Все это осложняется весомой концентрацией жилых и спортивных объектов, и ограниченной пропускной способностью железных и автомобильных дорог.

В программе конференции «ТЕХНОВОД-2018» предусмотрены экскурсии на объекты ЖКХ – канализационные очистные сооружения Красной Поляны и Адлера, пущенные в эксплуатацию в канун «Олимпиады-2014». За прошедшие годы работы очистных сооружений можно будет оценить эффективность основных технологических решений станций, надежность строительных конструкций и их устойчивость от воздействия стихийных бедствий, часто проявляющихся в ущелье реки Мзымта. Кроме того, участникам конференции будет интересно узнать об использовании дождевой воды для преодоления дефицита водных ресурсов, обусловленного климатическими изменениями, антропогенными факторами. Это снизит зависимость от централизованного водоснабжения, которое в условиях Черноморского побережья и Красной Поляны чрезвычайно уязвимо от природных процессов (оползни, селевые потоки и пр.).

По традиции, в преддверии конференции «ТЕХНОВОД-2018», будет выпущен очередной сборник материалов, который послужит 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 14 лет развивает и приумножает лучшие традиции, заложенные российскими научными и проектными организациями: ВНИИ ВОДГЕО, НИИ КВОВ, МосводоканалНИИпроект и многими другими, а также водоканалами городов: Москвы, Санкт-Петербурга, Уфы, Самары, Ростова-на-Дону, Новосибирска и др., и специализированными кафедрами ряда вузов России.

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

Наиболее интересные сообщения, представленные в сборниках трудов, были опубликованы в российских тематических журналах, ведущим из которых является отраслевой журнал «Водоснабжение и санитарная техника».

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

Особая благодарность членам редакционной коллегии: Гетманцеву С.В. – к.т.н., генеральному директору ОАО «АУРАТ»; Швецову В.Н. – д.т.н., профессору, главному редактору журнала «ВСТ»; Скрябину А.Ю. – Заместителю Председателя Законодательного Собрания Ростовской области – председателю комитета Законодательного Собрания по строительству, жилищно-коммунальному хозяйству, энергетике, транспорту и связи; Серпокрылову Н.С. – д.т.н., профессору РГСУ; г. Ростов-на-Дону; Фесенко Л.Н. – д.т.н., профессору ЮРГПУ(НПИ), г. Новочеркасск; Игнатенко С.И. – заместителю директора по научной работе ООО НПП «ЭКОФЕС», г. Новочеркасск. Особенно следует отметить Енгибарьянц Н.В. – ведущего инженера ЮРГПУ(НПИ), ответственного секретаря редакционной коллегии, 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»!

В сборнике трудов «ТЕХНОВОД-2018» представлены работы ученых из более 20 организаций 10 городов РФ, а также представителей зарубежных государств – Республика Азербайджан, Социалистическая Республика Вьетнам, Германия, Украина.

Опубликованные в сборнике «ТЕХНОВОД-2018» 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 ощутимую поддержку бакалаврам, магистрам, аспирантам для реализации собственных идей, технических решений, в дискуссии и знакомстве с ведущими специалистами в области водоснабжения и водоотведения.

В период работы Международной научно-практической конференции «ТЕХНОВОД-2018» ее участники смогут не только узнать о новейших методах, инновационных технологиях, передовых конструкторских решениях в области современных систем водоснабжения и водоотведения, но и предложить участникам и гостям конференции свои разработки, сделать коммерческие предложения, заключить контракты.

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

Оргкомитет конференции «ТЕХНОВОД-2018» благодарит всех докладчиков и гостей за участие в конференции, желает интересной творческой и полезной работы, крепкого здоровья и благополучия.

ОРГКОМИТЕТ

Приветственный адрес участникам конференции «ТЕХНОВОД-2018»

Уважаемые коллеги!

От имени Председателя Законодательного Собрания Ростовской области Александра Ищенко и от себя лично приветствую Вас на XI Международной научно-практической конференции «ТЕХНОВОД-2018».

Вопрос грамотного, бережного отношения к запасам пресной воды и повышения ее качества отражается не только на экологии, но и на уровне жизни населения.

Отрадно наблюдать, как на конференции из года в год планомерно поднимаются, активно обсуждаются и находят решение целый ряд

проблем в части рационального использования природных ресурсов.

Конференция «ТЕХНОВОД-2018» – мощная площадка для развития и модернизации системы водоснабжения и водоотведения, включая подготовку воды, очистку сточных вод и создания экологического каркаса России.

Убежден, что в рамках конференции «ТЕХНОВОД-2018» состоится обмен профессиональным опытом и перспективными идеями, в которых я, к сожалению, не принял участие лично.

Выдвинутые инициативы на XI Международной научно-практической конференции «ТЕХНОВОД-2018» обязательно будут востребованы.

Желаю плодотворной работы, успешной реализации поставленных задач, неиссякаемой энергии и благополучия!

Заместитель Председателя
Законодательного Собрания
Ростовской области –
председатель комитета по строительству
А.Ю. Скрябин

11-14 декабря *2018* г. г. Сочи

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

УДК 624 153.525:681.3

ОСОБЕННОСТИ ОБСЛЕДОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ВОДОПОДГОТОВКИ И ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

А.И. Субботин, И.А. Субботин, В.А. Субботин
ООО «Строительно-производственное управление», г. Новочеркасск, Россия
В.П. Костюков
ООО «ПНИИВиВ», г. Новочеркасск, Россия

В статье приводится анализ дефектов строительных конструкций, характерных для зданий и сооружений предприятий водоподготовки на примере обследования ряда очистных сооружений. Обобщены методы и технологии восстановления строительных конструкций, работающих в условиях агрессивной среды водоочистных сооружений.

Вопросы экологии и защиты окружающей среды являются актуальными и определяющими тенденциями мировой политики и экономики, поэтому в приоритетных направлениях правительства Российской Федерации им уделяется особое внимание при рассмотрении вопросов развития производственных предприятий и эксплуатации городской среды. Возрождение промышленности, внешних и внутренних экономических связей, связанных с подъемом экономики страны, позволило не только крупным, но и мелким промышленным предприятиям расшириться и увеличить свои мощности, что привело к увеличению

объема производственных стоков, а урбанистические тенденции, приведшие к росту и укрупнению городских агломераций, обслуживающих эти предприятия, поставило перед предприятиями коммунального хозяйства городов, эксплуатирующих водоочистные сооружения десятки лет без реконструкции, новые задачи.

Развитие информационных систем и новых технологий в обработке природных и сточных вод создает новые подходы в вопросах переустройства и реконструкции природоохранных объектов, отвечая современным требованиям и технологиям очистки сточных вод. Однако, в большинстве случаев, при реконструкции очистных сооружений проектировщики стараются использовать имеющиеся строительные объекты, предварительно оценив их техническое состояние.

Особенность эксплуатации зданий и сооружений на комплексах водоподготовки такова, что они, в большинстве своем, находятся в контакте с агрессивной средой, что негативно отражается на состоянии строительных конструкций, несмотря на то, что на большинстве предприятий эксплуатирующие службы достаточно хорошо следят за состоянием вверенных им зданий или сооружений. При этом на очистных сооружениях эксплуатируются здания в среде с низкой степенью агрессивности, – это АБК, водопроводные насосные станции, резервуары чистой воды, и сооружения, которые берут на себя основную технологическую нагрузку и контактируют с агрессивными реагентами и веществами, присутствующими в реакционной среде – аэротенки, канализационные насосные станции, иловые отстойники, здания доочистки или реагентного хозяйства, метантенки, песколовки и т. п.

Данная статья обобщает работы по обследованию биологических очистных сооружений в: г. Стерлитамак, Республика Башкортостан; г. Жанаузен, Республика Казахстан; г. Геленджик; п. Ковалевка, Ростовская область; ОАО «НЗСП», г. Новочеркасск; КОС «Южные», г. Севастополь; а также – водопроводных очистных сооружений в г. Белоярский, ХМАО, в х. Хапры и п. Кагальник Ростовской области.

Наиболее уязвимыми являются строительные конструкции аэротенков, так как они работают не только на открытом воздухе, но в агрессивной среде, насыщенной кислородом. Основными дефектами строительных конструкций аэротенков являются:

– разрушение бетона стыков панелей стен, отслоение защитного слоя бетона панелей, коррозия арматуры каркаса;

– отслоение защитного слоя бетона опорных плит, железобетонных ребристых плит проходных площадок;

– обрушение железобетонных подводящих лотков и ребристых плит проходных площадок.

Первичные и вторичные отстойники, также работают в суровых условиях и на открытом воздухе, поэтому и данным сооружениям присущи

критичные для строительных конструкций дефекты, определяющие их работоспособность:

– разрушение бетона верха стенок резервуара – беговых дорожек;

– разрушение бетона стенок лотков, коррозия арматуры каркаса;

– трещины в стенках резервуара;

– глубокая коррозия металлических консолей отстойников.

Канализационные насосные станции являются закрытыми сооружениями, но из-за особенности протекающего в них технологического процесса, основные дефекты строительных конструкций проявляются в зале предварительной механической очистки, где расположен открытый лоток, из которого происходят испарения, вследствие чего воздействию агрессивной среды подвергаются все находящиеся в помещении конструкции. Основные характерные дефекты канализационных насосных станций:

– разрушение защитного слоя бетона, оголение и пластинчатая коррозия арматуры балок перекрытия;

– пластинчатая коррозия металлических элементов технологических отверстий грабельного помещения и металлических лестниц;

– разрушение защитного слоя бетона, оголение и пластинчатая коррозия арматуры приемного лотка.

Все вышеперечисленные примеры являются, в основном, следствием воздействия на строительные конструкции агрессивной технологической среды. Однако встречаются и случаи, когда основную роль в развитии дефектов строительных конструкций играет человеческий фактор. Ярким примером является аварийное техническое состояние здания установки биогенной подпитки биологических очистных сооружений в г. Стерлитамаке, где при разгрузке реагентов, которая производилась не внутри помещения, а снаружи, часть их рассыпалась у ворот и под воздействием осадков растворялась и просачивалась через разрушенное бетонное покрытие в грунт. Спустя длительное время эксплуатации здания, растворы реагентов замочили грунты основания на достаточную глубину, достигнув большой концентрации, и вызвали тем самым процесс кристаллизации, приведший к проявлению процесса выпора грунта, что спровоцировало подъем фундаментов в центральной части стены и появление трещин в несущих стенах здания. Так как процесс стал необратимым, здание пришлось демонтировать из-за аварийности развития деформаций.

Анализ дефектов, выявленных при обследовании зданий и сооружений водоподготовки, дает возможность подобрать оптимальные технологии по их устранению и восстановлению эксплуатационных свойств строительных конструкций. Сегодня на рынке технологий по восстановлению гидротехнических сооружений основное место занимают полимерные материалы. Основными производителями технологий и

материалов по восстановлению строительных конструкций являются такие крупнейшие компании как: «BASF», ЗАО «Группа компаний «ПЕНЕТРОН-РОССИЯ», ОАО «ЦНИИПРОМЗДАНИЙ», «ГИДРОЗО» и ООО «НТЦ «КРОВТРЕЙД».

Данными организациями предлагаются не только материалы по восстановлению строительных конструкций, но и готовые решения для ремонта и защиты объектов очистных сооружений. Так, например ОАО «ЦНИИПРОМЗДАНИЙ» разработали «Материалы для проектирования и рабочие чертежи узлов», которые проектировщики могут в готовом виде использовать в своих технических решениях, но это, в основном новые проектные решения. Интересный подход предложен компанией «BASF», которая сначала показывает на графических моделях сооружений возможные дефекты, а потом, таким же образом предлагает материалы, с помощью которых данные дефекты можно устранить. Такой подход достаточно удобный и понятный для проектировщиков. Единственно, что остается инженеру-проектировщику, так это выбрать подходящую технологию, сделав подробный анализ, и её ценовой параметр.

ВЫВОДЫ

1. Инструментальное обследование строительных конструкций сооружений, выполняемое специалистами, позволяет систематизировать дефекты и объединить в группы, позволяющие применить к ним типовые технологии и материалы для восстановления.
2. Восстановительный ремонт строительных конструкций должен предусматривать антикоррозийную обработку арматуры, конструкционный ремонт бетона и создание покрытия для гидроизоляции и защиты железобетонных конструкций.
3. Наиболее передовые технологии и материалы по восстановлению строительных конструкций объектов очистных сооружений являются «BASF», ЗАО «Группа компаний «ПЕНЕТРОН-РОССИЯ», ОАО «ЦНИИПРОМЗДАНИЙ», «ГИДРОЗО» и ООО «НТЦ «КРОВТРЕЙД».

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 31937-2011 Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния.
2. СП 13-102-2003 Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений.
3. ГОСТ Р 54257-2010 Надежность строительных конструкций и оснований.
4. РД 03-606-03 Инструкция по визуальному и измерительному контролю.
5. СП 13-102-2003 Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений.

6. Готовые решения для ремонта и защиты очистных сооружений. https://assets.master-builders-solutions.basf.com.
7. Подземная гидроизоляция монолитных и сборных бетонных и железобетонных конструкций и эксплуатируемых кровель с применением материалов системы «Пенетрон» / Материалы для проектирования и рабочие чертежи узлов. ОАО «ЦНИИПРОМЗДАНИЙ». М., 2008. 68 с.
8. Гидроизоляция бетонных конструкций /Технологический регламент на проектирование и выполнение работ по гидроизоляции и антикоррозийной защите монолитных и сборных бетонных и железобетонных конструкций. СРО «РСППГ». М, 2008. 64 с.
9. Материалы и системы «КТ ТРОН» для усиления, ремонта и гидроизоляции строительных конструкций / Стандарт организации СТО КТ 62035492.007-2014. Классификация. Технические характеристики. Технологии производства работ. Контроль качества работ. ООО «НТЦ «КровТрейд». Екатеринбург, 2016. 118 с.

УДК 628.166

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ БИОЦИДНОЙ ОБРАБОТКИ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ВОДЫ АЭС «ЭЛЬ-ДАБАА» ГИПОХЛОРИТОМ НАТРИЯ

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

В работе представлены теоретическое обоснование, исследование и разработка технологии получения низкоконцентрированного гипохлорита натрия прямым электролизом воды Средиземного моря для биоцидной обработки охлаждающей воды АЭС, определены технологические параметры процесса, разработана установка получения низкоконцентрированного гипохлорита натрия прямым электролизом морской воды производительностью 5 т/сут.

Гипохлорит натрия (ГХН) возможно применять не только для обеззараживания питьевой воды, но и для технологических нужд [1].

Практическая необходимость в биоцидной обработке воды охлаждающего контура атомной электростанции (АЭС) электрохимическим методом поставила задачу проведения исследований прямого электролиза воды Средиземного моря для разработки технологии получения низкоконцентрированного ГХН.

Мировой опыт имеет практическое подтверждение перспективности и экономической целесообразности применения для биоцидной обработки питьевой и технологической воды низкоконцентрированного электрохимического гипохлорита натрия [2].

На предприятиях энергетики для обеззараживания охлаждающей воды и предупреждения биообростаний в теплообменных системах с технической точки зрения признано оптимальным применение электрохлораторных установок, поскольку обеспечение электроэнергией энергоемкого электролизного процесса на АЭС или ТЭЦ не вызывает дополнительных трудностей. Возможность же использования в технологическом процессе производства ГХН в качестве сырья морской воды делает такую схему предотвращения биообрастаний в охлаждающих конденсаторах наиболее экономически целесообразной в сравнении с конкурирующими аналогами.

Государственной корпорацией РОСАТОМ запланировано строительство АЭС, в которой для предотвращения роста морских организмов в морскую воду, охлаждающую конденсаторы паровых турбин,

необходимо обеспечить непрерывную подачу ГХН, получаемого из морской воды. В частности, на АЭС, которая будет размещаться вблизи города Эль-Дабаа (Арабская Республика Египет) на побережье Средиземного моря, в составе 4-х энергоблоков 1200 МВт, расход охлаждающей морской воды составит 500 000 м^3/ч.

По данным химического анализа воды, представленного в техническом задании, была построена диаграмма гипотетического состава морской воды (рис. 1) из которого следует, что основная часть общей минерализации воды представлена хлоридами (более 21 г/дм^3). Общая жесткость морской воды составляет 141,7 мг-экв/дм^3, из которых 21 мг-экв/дм^3 приходится на ионы кальция и 120,7 мг-экв/дм^3 на ионы магния. В исследуемой морской воде магниевая жесткость превышает кальциевую более, чем в 5 раз.

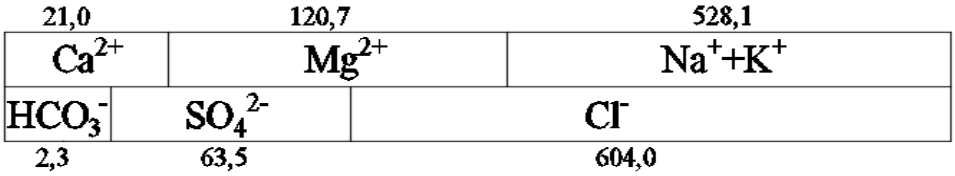


Рисунок 1. **Диаграмма гипотетического состава морской воды Средиземного моря, в мг-экв/дм^3**

Исследования электролиза воды Средиземного моря проводили на искусственно приготовленном модельном растворе, полученным растворением расчетных навесок солей. Для приготовления модельного раствора были использованы данные диаграммы (рис. 1).

Описание экспериментальной установки и ее основных составляющих изложены в работе [3].

Исследования протекания электролиза проводили при плотностях тока 1000 А/м^2 и 600 А/м^2 при начальной температуре раствора 21 °С.

На первом этапе исследований изучали влияние расхода морской воды на концентрацию активного хлора в полученном ГХН на выходе из установки. Как следует из рисунка 2 при электролизе с анодной плотностью тока 1000 А/м^2 возможно достичь концентрации по активному хлору до 7,5 г/дм^3. При плотности тока 600 А/м^2 максимальная концентрация по вырабатываемому активному хлору составила 6,6 г/дм^3 при минимально возможном расходе через электролизный аппарат.

При плотности тока 1000 А/м^2 и расходе электролита через ячейку 2,13 л/ч (35,5 мл/мин) был получен максимальный выход хлора по току, при этом концентрация активного хлора составила 1,8 г/дм^3, при плотности тока 600 А/м^2 та же концентрация 1,8 г/дм^3 была получена при расходе электролита уже меньшим в 1,7 раз – 1,32 л/ч (22 мл/мин).

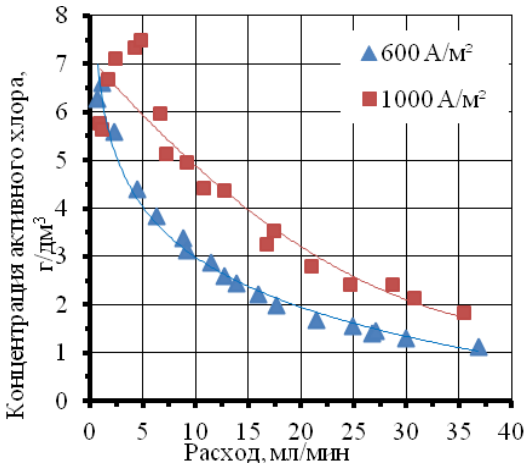


Рисунок 2. **Влияние расхода электролита на концентрацию активного хлора при электролизе воды Средиземного моря**

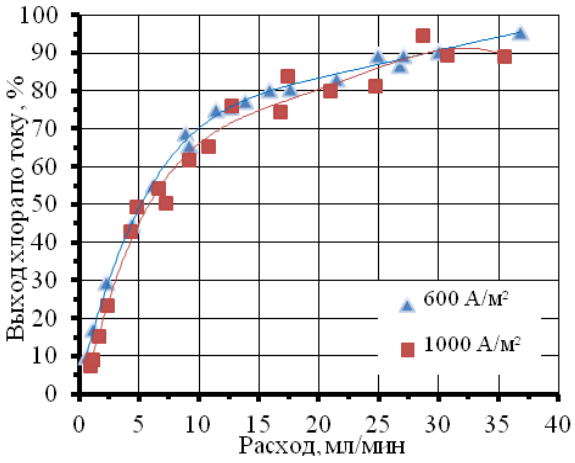


Рисунок 3. **Выход хлора по току от времени электролиза воды Средиземного моря**

Эффективность процесса электролиза оценивали по выходу активного хлора по току (рис. 3), который менялся в пределах от 10 до 95 % в зависимости от времени пребывания электролита в ячейке (расхода электролита). При плотности тока 1000 А/м^2 максимальные значения величин выхода хлора по току (80 – 95 %) были получены при электролизе воды Средиземного моря в интервале расходов от 16,7 мл/мин (1 л/ч) до 35,5 мл/мин (2,13 л/ч). Для плотности тока 600 А/м^2 те же значения выхода хлора по току (80 – 95 %) были получены при расходе электролита от 15 мл/мин (0,9 л/ч) до 37 мл/мин (2,22 л/ч), при этом концентрация активного хлора 2 г/дм^3, получаемая при расходе морской воды через ячейку около 32 мл/мин (рис. 2), наблюдается при выходе хлора по току 90 – 92 % (рис. 3), что можно считать весьма неплохим показателем.

С увеличением расхода электролита температура уменьшалась: при плотности тока 600 А/м^2 с 25 до 21 °С, при 1000 А/м^2 – с 27 до 24 °С. Напряжение менялось в интервале 3,6 – 4,2 В при 1000 А/м^2, при 600 А/м^2 находилось в пределах 3,6 В. Динамика изменения величины pH как для 600 А/м^2, так и при 1000 А/м^2 носит примерно одинаковый характер: с увеличением расхода показатели pH повышались от 8,0 до 8,8 ед.

При электролизе хлоридных растворов эффективность работы возможно характеризовать не только сравнением выхода хлора по току, но и удельных затрат электроэнергии на килограмм вырабатываемого активного хлора. Для оценки расхода электроэнергии, отнесенного к производству 1 кг активного хлора, была построена зависимость в координатах: «концентрация активного хлора – затраты электроэнергии» для двух исследуемых плотностей (рис. 4). Из графиков следует, что концентрация активного хлора, отвечающая максимальному выходу хлора по току и равная 2,0 г/дм^3, достигается при минимальных удельных

энергозатратах 3,0 – 3,5 кВт·ч на кг получаемого активного продукта.

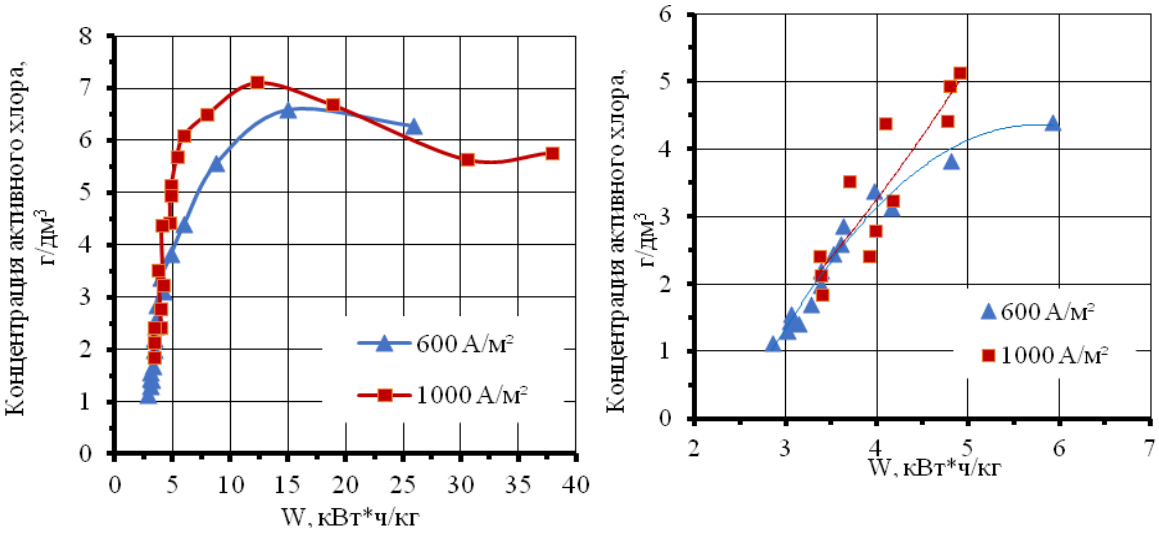


Рисунок 4. **Количество электроэнергии, расходуемой на получение 1 кг активного хлора в зависимости от концентрации ГХН при электролизе воды Средиземного моря**

Таким образом, при концентрации генерируемого гипохлорита около 2,0 г/дм³ наблюдаются минимальные удельный расход электроэнергии на кг получаемого продукта (рис. 4), при этом выход хлора по току достигает максимальных показателей и составляет около 90 % (рис. 3).

Генерирование гипохлорита натрия с концентрацией активного хлора около 2 г/дм³ реализуется при расходе электролита через ячейку в диапазоне 30 – 32 мл/мин (рис. 2).

Основная проблема надежности работы электролизеров на морской воде связана с образованием отложений карбоната и сульфата кальция на поверхности катодов аппарата. Это приводит к нештатному режиму электролиза, росту напряжения, перегреву и короблению электродной системы, разрушению оксидного покрытия анодов и др.

На практике данную задачу решают удалением из воды либо солей жесткости, или снижением её щелочности (декарбонизации). В нашем случае, при щелочности морской охлаждающей воды АЭС «Эль-Дабаа» HCO_3^- = 2,33 мг-экв/дм³ и ее часовом расходе на электролиз $Q_{час}$= 375 м³/ч суточное потребление концентрированной (36 %) соляной кислоты составит более 2 т, что свидетельствует не в пользу варианта декарбонизации. Поэтому для очистки электролизных аппаратов и удаления катодных отложений принята кислотная промывка 5 % соляной кислотой (HCl). Кроме того, при более высокой скорости протока морской воды через электролизный аппарат, что достигается при концентрациях активного хлора на выходе ≤ 2,0 г/л, образующиеся карбонат кальция, гидроксид магния и гипс ($CaSO_4$) выносятся потоком.

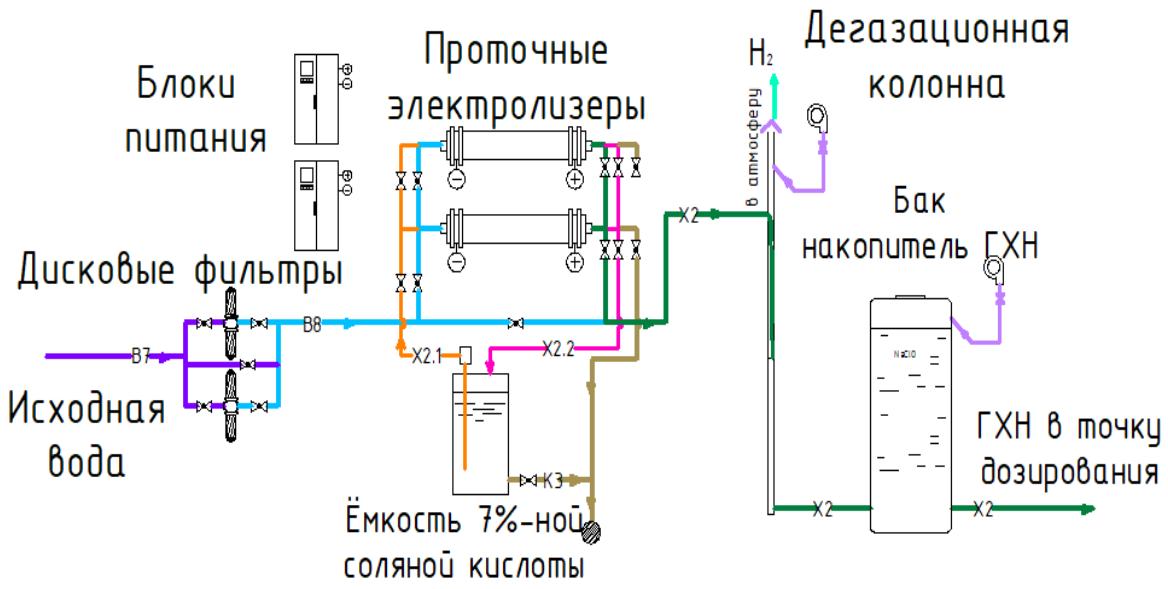


Рисунок 5. **Технологическая схема получения ГХН из минерализованной воды**

По результатам проведенных экспериментов и имея 25-ти летний опыт производства высокопроизводительных электролизных аппаратов (до 1 т/сут по активному хлору), была разработана технологическая схема получения ГХН из морской воды, которая представлена на рисунке 5. Исходная средиземноморская вода подается в блок механической очистки, откуда очищенная от взвешенных и плавающих органических веществ вода поступает в электролизер, далее смесь гипохлорита натрия, морской воды, газообразного водорода и хлорноватистой кислоты проходит через дегазационную колонну для разбавления выделяемого на катоде водорода воздухом до безопасной концентрации и выпуска этой смеси в атмосферу. Полученный ГХН хранится в специальных баках-накопителях, откуда дозируется непрерывной или ударной дозой в охлаждающий контур АЭС.

Для обеспечения заявленной мощности по активному хлору предлагается к применению 4 рабочих и 2 резервных электролизных аппарата производительностью 5 т/сут или 208 кг/ч по активному хлору каждый. Установка состоит из двух независимых секций (частей). Общий вид разработанной электролизной установки представлен на рис. 6, габаритные размеры (Д х Ш х В) 3780 х 1980 х 3445 мм, масса 4570 кг.

Рисунок 6. **Электролизная установка производительностью 5 т/сут**

ВЫВОДЫ

1. Экспериментально подтверждена возможность получения гипохлорита натрия прямым электролизом воды Средиземного моря для

дезинфекционной обработки охлаждающей воды АЭС «Эль-Дабаа». При электролизе с анодной плотностью тока 1000 А/м^2 возможно достичь максимальной концентрации по активному хлору – 7,5 г/дм^3, при 600 А/м^2 – до 6,6 г/дм^3.

2. Минимальные удельные энергозатраты 3,0 – 3,5 кВт·ч на 1 кг вырабатываемого хлора наблюдается для концентрации активного хлора в генерируемом гипохлорите в пределах 1,8 – 2,2 г/дм^3, при этом выход хлора по току достигает своих максимальных значений и составляет 85 – 90 %, что обуславливает технологическую и экономическую целесообразность получения гипохлорита натрия из морской воды с концентрацией в нем активного хлора 2,0 ± 0,2 г/дм^3.
3. Предварительная декарбонизация морской воды не оказывает заметного влияния на снижение интенсивности осадкообразования в прикатодном пространстве, при этом суточное потребление концентрированной С = 36 % соляной кислоты составит более 2 т, что обуславливает экономическую неприемлемость данного метода. Более рациональным решением следует считать использование кислотной промывки электролизеров, а также получение гипохлорита при более высоких скоростях протока морской воды через электролизный аппарат (более высокий расход воды), что не дает образующемуся карбонату кальция, гидроксиду магния и сульфату кальция закрепиться на катоде и которые выносятся потоком за пределы электролизера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Териков А.С., Пчельников И.В., Терикова И.А. Получение низкоконцентрированного гипохлорита натрия электролизом воды средиземного моря // Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2017»: материалы X-юбилейной Межд. науч.-практ. конф.; г. Астрахань, 5 – 6 октября 2017г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. (НПИ) имени М.И. Платова – Новочеркасск: Лик, 2017. С. 125–129.
2. Фесенко Л.Н., Игнатенко С.И., Пчельников И.В., Териков А.С. Установки получения гипохлорита натрия электролизом морской воды // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2017. № 7 (115). С. 30–35.
3. Фесенко Л.Н., Пчельников И.В., Териков А.С., Нгуен Тхи Туан Зьеп. Исследование влияния концентрации хлоридов на образование активного хлора при прямом электролизе // Водоснабжение и санитарная техника. 2018. № 8. С. 10–14.

УДК 628.171

ВОДООБЕСПЕЧЕННОСТЬ РЕСПУБЛИКИ КРЫМ: СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ

Т.В. Иванкова

Академия безопасности гидротехнических сооружений, г. Новочеркасск, Россия

В статье охарактеризована водообеспеченность полуострова Крым в 2015 – 2018 гг., приведен анализ потребностей населения в воде. Рассмотрены методы обеспечения пресной водой, применяемые в таких засушливых странах, как Израиль и ОАЭ. Для водообеспечения полуострова Крым предложен комплекс мероприятий, включающий реконструкцию водохранилищ, экономное расходование воды, повторное использование сточных и опреснение морских вод.

Полуостров Крым в силу географического положения и природных особенностей был и остается одним из самых малообеспеченных водными ресурсами регионов России. Большую часть полуострова занимает степная зона с годовыми осадками от 450 – 400 мм на юге до 115 мм на севере (рис.).

Дефицит пресной воды в Крыму ощущался всегда. Этим объясняется повышенное внимание ученых к изучению водных ресурсов полуострова. В их числе были многие известные геологи, гидрологи и гидрогеологи.

Во второй половине XIX века главным гидрографом Таврической губернии работал Н.А. Головкинский [1]. Он обследовал буквально каждый водоток для составления карты естественного водоснабжения Крыма, объяснил механизм формирования карстовых источников на северном склоне Главной горной гряды. Большое внимание им было уделено изысканиям глубинных артезианских вод. На основании рекомендаций Н.А. Головкинского многие безводные местности Крыма в конце XIX века получили артезианские воды. В то же время он отчетливо представлял важность бережного отношения к подземным водным ресурсам, и по его предложению в Саках была сооружена первая в России наблюдательная артезианская скважина.

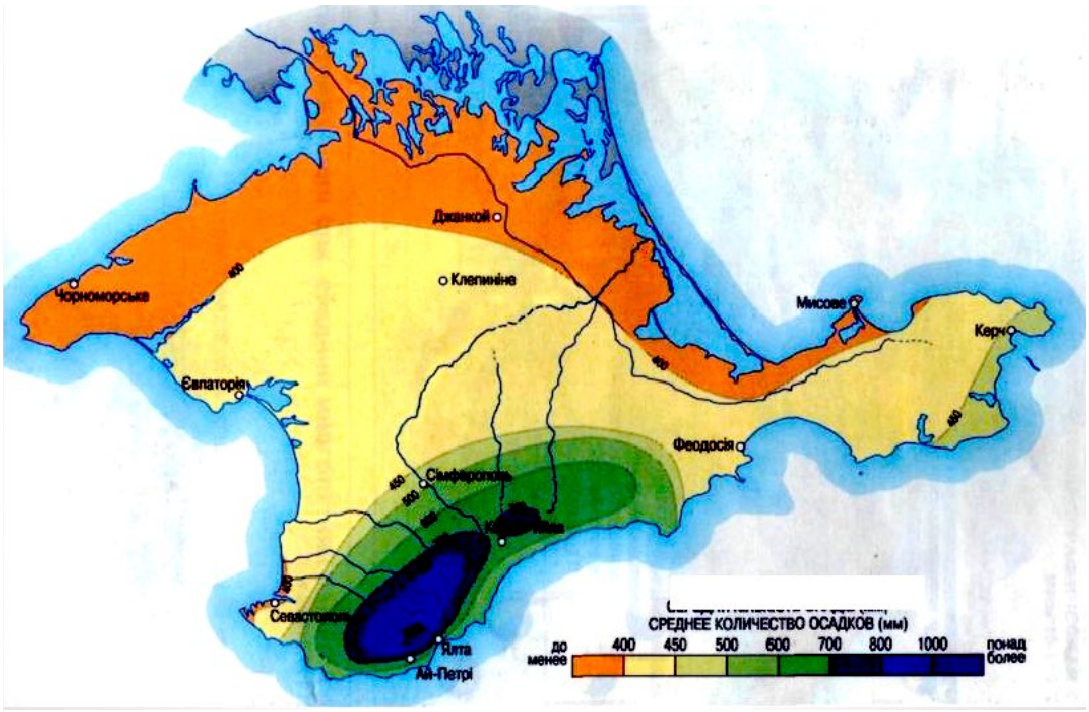


Рисунок. **Среднегодовое количество осадков на полуострове Крым**

В 1915 – 1923 гг. в Крыму работал Д.И. Кочергин, основатель учения о речном стоке. Под его руководством были собраны обширные гидрометрические материалы, проведена реорганизция системы водопользования и составлен труд «Реки, ручьи и источники горного Крыма».

Во второй половине XX века много лет проблемой повышения водности крымских рек занимался А.Н. Олиферов [2], в частности, путем залесения террасированных склонов Крымских гор.

В 1960-х годах для обеспечения засушливых районов Крыма водой был построен Северо-Крымский канал, который поставлял на полуостров днепровскую воду из Каховского водохранилища. На протяжении нескольких десятилетий канал обеспечивал 80 – 87 % забора пресной воды, и необходимости в развитии альтернативных источников водоснабжения не было.

Период устойчивого снабжения Крыма днепровской водой через Северо-Крымский канал подробно освещен в коллективной работе под редакцией В.А. Бокова [3]. Проведен анализ изменения элементов водного баланса на территории Крыма под влиянием климатического и хозяйственного факторов; рассмотрены динамика расходов воды, трансформация земельных угодий, особенности формирования водного баланса на региональном и локальном уровнях. Выявлена роль смены циркуляционных эпох в изменении количества атмосферных осадков и речного стока. Выполнено районирование региона по характеру природного водного баланса, водопотребления, условиям использования

транзитных и подземных вод. Предложены способы оптимизации водного баланса и качества воды с помощью ландшафтно-мелиоративных приемов.

К сожалению, это комплексное исследование в значительной степени потеряло актуальность в 2015 г. После перекрытия Северо-Крымского канала Украиной ситуация с водоснабжением Крыма в корне изменилась. Возник острый дефицит пресной воды не только в бытовой сфере, но и в сельском хозяйстве степных районов, на которое приходилось 3/4 всей потребляемой в Крыму воды. Именно поэтому последствия перекрытия канала в первую очередь почувствовали на себе аграрии.

В 2014 г. объем воды, поданной по Северо-Крымскому каналу и использованной на орошение, составлял 16 млн м^3, а в 2015 г. – в связи с ограничениями со стороны Украины – 13 млн м^3 (снижение на 19 %). Кроме того, на 9 % уменьшилось водопотребление на хозяйственно-питьевые нужды. Компенсировать объем воды, которую давал Северо-Крымский канал, будет затратно по той причине, что собственных источников пресной воды на полуострове крайне мало.

Республика Крым не имеет крупных рек, к тому же все крымские речки расположены в горах и предгорьях полуострова. Самые протяженные реки на территории региона – Салгир и Биюк-Карасу не доходят до Азовского моря (рис. 2). Остальные реки короткие – Кача (69 км), Бельбек (63 км), Черная (41 км) и сосредоточены в юго-западной части полуострова.

По данным на 2017 г. на полуострове проживало (тыс. чел.): всего 2 314,7, в том числе в Республике Крым – 1 912,1, в г. Севастополе – 428,7, в г. Симферополе – 341,2. При общей площади полуострова 27,2 тыс. км^2 средняя плотность населения составляет 85 чел./км^2. Среднемноголетнее значение обеспеченности водными ресурсами для данной территории составляет 1,0 км^3/год, а водообеспеченность одного жителя – 432 м^3/год, что меньше водообеспеченности одного жителя России в 67 раз (29,1 тыс. м^3/год) [4–5]. Республика Крым имеет самую низкую водообеспеченность на одного жителя из всех субъектов Российской Федерации [6].

В таких условиях решить водную проблему Крыма будет непросто. Председатель правительства РФ Д.А. Медведев поручил Минприроды РФ до 10 октября 2018 года сформировать и утвердить межведомственную рабочую группу по вопросам водообеспечения полуострова. В неё должны войти представители Минобороны России, госкорпорации «Росатом», Российской академии наук и региональных властей.

Власти и ученые Республики Крым активно ищут пути решения проблемы водоснабжения региона. Глава республики С.В. Аксенов выразил надежду, что с помощью фундаментальных исследований ученых снабжение Крыма качественной питьевой водой и проблема орошения

будут решены. При этом не должен быть нанесен экологический урон природной среде.

Тенденция изменения водопотребления в мире характеризуется ускоренным ростом его по сравнению с численностью населения (приростом населения). Растет доля коммунального потребления, промышленного и энергетического, в то же время преобладающей сферой является потребление воды для нужд сельского хозяйства (табл. 1, 2) [7–8].

Таблица 1. **Динамика использования воды в мире по секторам экономики, км³/год**

Годы	**1900**	**1950**	**2000**	**2010**	**2025**
Коммунально-бытовые нужды	20	85	390	470	600
Промышленность и энергетика	45	205	780	910	1200
Сельское хозяйство	515	1080	2600	2820	3200
Суммарное водопотребление	580	1370	3770	4200	5000

Таблица 2. **Динамика использования воды для коммунально-бытовых нужд**

Год	Население мира, млрд чел.	Коммунально-бытовые нужды, км³/год	Коммунально-бытовые нужды, м³/год*чел	Коммунально-бытовые нужды, л/день*чел
1900	1,6	20	12	33
1950	2,5	85	34	93
2000	6,1	390	64	175
2015	7,5	510	68	186
2025	8,0	600	75	205

Как следует из таблицы 2, водопотребление к 2025 г. прогнозируется в следующих объемах: W = 600 км³/год = 600 млрд м³/год, население = 8 млрд чел., на 1 чел. приходится 75 м³/год, что равно 7 – 8 м³/мес.

Учитывая глобальные тенденции в использовании воды и опыт стран, расположенных в климатических зонах, сходных с Крымом, рассмотрим несколько возможных путей решений проблемы дефицита воды на полуострове.

1. Опреснение воды (на примере Государства Израиль).

Технологии опреснения существуют уже давно, стоимость получения пресной воды из морской сопоставима с ценой, которую мы платим за воду из традиционных источников. Черное море, где расположен Крым, гораздо менее соленое, чем любой другой водоем мирового океана.

Разумеется, опреснение воды в промышленных масштабах потребует от государства существенных вложений.

Водные ресурсы Израиля формируются за счёт атмосферных осадков, которые на площади страны 20,8 тыс. км^2 (около 1/5 территории Ростовской области) в год составляют в среднем около 10 млрд м^3 (W = 10 км^3), водообеспеченность территории составляет - 0,481 м (481 мм). Для России W = 4258,6 км^3, площадь территории – 17075,4 тыс. км^2, водообеспеченность составляет 0,249 м (249 мм). Водообеспеченность на одного жителя в России составляет 29,1 тыс. м^3/год (в Ставропольском крае 2,1 тыс. м^3/год). В Израиле водообеспеченность на одного жителя – 1,207 тыс. м^3/год, в Республике Крым 0,433 тыс. м^3/год [9].

Естественные водоемы Израиля не могут поддерживать растущие потребности государства в воде. Серия засух и чрезмерная откачка подземных вод в течение 30 лет послужили причиной разработки новой программы управления водой. Поскольку Израиль уже использует повторно около 75 % своих сточных вод, дальнейшие планы ориентированы на опреснение морских и солоноватых вод. В этой области страна является мировым лидером. Ведется внедрение передовых технологий по опреснению. Опреснительный завод «Сорек» вблизи Тель-Авива производит 624 000 м^3/день – это 20 % городского водоснабжения. Забор воды ведется из Средиземного моря через трубу диаметром 2,5 м. Морская вода фильтруется через специальные мембраны, удаляющие большую часть солей, после чего проходит перегонку до получения чистой питьевой воды. Остающийся от производства соляной раствор сбрасывается обратно в море.

На опреснение 1 м^3 воды израильское предприятие расходует 2 – 3 кВт электроэнергии, в зависимости от минерализации исходной морской воды. В целом же 40 % воды питьевого качества, которую потребляет Израиль – это опресненная морская вода.

В ОАЭ этот показатель еще выше – 70 %. Питьевую воду добывают на 32 опреснительных заводах, некоторые из которых работают на атомной энергии. Стоимость опреснения 1 м^{3}морской воды составляет примерно $ 2, что очень дорого. Тем не менее, по потреблению воды на душу населения – 700 л/день–- ОАЭ находятся на одном из первых мест в мире.

Для решения дефицита воды в Крыму предлагается использовать опреснительный комплекс по термической технологии [10], исходя из максимальной потребности в морской воде в количестве 480 000 м^3/сут [11]. Данная технология имеет следующие преимущества:

- технология отработана на объектах атомной энергетики и показала надежность и стабильность показателей работы в разных условиях;
- позволяет выполнять проект полностью на российском оборудовании (исключено влияние экономических санкций, а

также прямое влияние курса рубля к иностранной валюте);

- простота процесса, позволяющая с высокой степенью стабильности получать обессоленный дистиллят солесодержанием 2 – 5 мг/дм^3;
- не требуется специальной подготовки исходной воды, оборудование работает стабильно в широких диапазонах температур и химического состава исходной воды;
- оборудование надежно работает в непрерывном стационарном режиме, нет специальных требований к квалификации обслуживающего персонала;
- длительный рабочий срок эксплуатации оборудования до его амортизации – 50 и более лет;
- низкие эксплуатационные затраты: для работы требуется тепловая энергия – водяной пар низких параметров;
- легко сопрягается с источниками тепла – ГТУ, пароводяными контурами ТЭЦ, водогрейными котлами [12].

2. Строительство водопровода с территории Краснодарского края. Еще один предлагаемый вариант решения водной проблемы Крыма – строительство водопровода с территории Краснодарского края через Керченский пролив. И действительно, 8 мая 2014 г. глава профильного департамента Минприроды Д. Кириллов озвучил: «Водозабор 1 куб. км в год может быть осуществлен в устье реки Кубань. Этого вполне достаточно, так как сегодня годовое водопотребление полуострова составляет 1,7 куб. км». По словам Кириллова, для питания полуострова из Кубани нужен закрытый трубопровод в три нитки длиной 130 км каждая, переход через Керченский пролив может идти как по дну моря на опорах, так и в составе строящегося моста. Примерная стоимость переброски воды составит 75 – 100 млрд. руб. Так, 1 км одной такой нитки составит 192 – 256 млн руб.! Однако, это довольно сомнительный во всех отношениях вариант.

3. Подземные воды. В качестве главного альтернативного источника воды обсуждается тема подземных вод полуострова. Подземное водоснабжение сейчас дает полуострову порядка 7 % [8]. Некоторое дополнительное количество воды можно получить, активизировав артезианскую добычу. Но у данного проекта нашлись серьезные оппоненты, одним из которых стал профессор географического факультета Симферопольского Таврического национального университета имени В.И. Вернандского А.Н. Олиферов, знаток гидрологии и экологии полуострова, автор многочисленных научных работ, в том числе книги «Реки и озера Крыма». По его мнению, интенсивное выкачивание пресных вод может вызвать приток в водоносные толщи соленых глубинных вод Черного моря и вод, богатых сероводородом из других водоносных горизонтов. Этот процесс до использования скважин сдерживался

давлением пресных вод, поступающих с Крымских гор. Ни А.Н. Олиферов, ни другие ученые не взялись предсказать, насколько серьезными могут быть экологические последствия интенсификации потребления подземных вод для уникальной природы Крыма. Известен опыт Индии и Китая, где активное выкачивание подземных вод в предгорьях Гималаев привело к притоку токсичных вод, содержащих мышьяк. Откачкой воды в нерегулируемых количествах в свое время занимался Израиль, итог – пресная вода истощилась, и пришлось искать альтернативные источники.

4. Водохранилища. Значительные дополнительные объемы воды могут дать и водохранилища. В Крыму эксплуатируется 23 водохранилища (таб. 3) общим объемом 399,47 млн м³, из них наливных 149,5 млн м³, водохранилищ естественного стока 249,97 млн м³ [13]. В Крыму и Севастополе всегда была сложная ситуация с водой – край засушливый и за последние несколько лет крымские водохранилища в полном объеме дождевой и талой водой не наполнялись. Часть водохранилищ должна пополняться из горных рек и артезианских скважин, но фактически наполняемость меняется каждый год, и предсказать уровни воды в хранилищах затруднительно. При общегодовой потребности в воде на питьевые нужды для постоянно проживающего населения (2 млн чел) необходимо около 250 млн м³ воды в год, что в целом может быть покрыто за счет водных ресурсов полуострова. На нужды отдыхающих (до 3 млн чел. в течение 6 – 8 месяцев) еще около 200 млн м³ воды в год, для чего так же могут быть использованы имеющиеся ресурсы [14].

Таблица 3 **Водохранилища Республики Крым на реках**

Название	Объем, млн м³	Дата образования	Река
Альминское водохранилище	6,2	1934	Альма
Аянское водохранилище	3,9	1933	Аян
Балановское водохранилище	5,7	1974	Зуя
Бахчисарайское водохранилище	6,89	1935	Кача
Белогорское водохранилище	23,3	1972	Биюк-Карасу
Загорское водохранилище	27,85	1980	Кача
Изобильненское водохранилище	13,25	1979	Улу-Узень
Кутузовское водохранилище	2,2	1977	Демерджи
Льговское водохранилище	1,11	1986	Мокрый Индол
Партизанское водохранилище	34,4	1966	Альма
Симферопольское водохранилище	36,0	1956	Салгир

Старокрымское водохранилище	3,15	1957	Чурюк-Су
Счастливенское водохранилище	11,8	1964	Биюк-Узенбаш
Тайганское водохранилище	13,8	1938	Биюк-Карасу
Чернореченское водохранилище	64,2	1956	Чёрная

Обычное осеннее обмеление водохранилищ обязательно компенсируется зимой-весной. Иногда речки, которые летом пересыхают, в межсезонье срывают мосты и размывают плотины. Сбор зимних и осенних паводков в водохранилища на порядок дешевле строительства опреснительных заводов и гораздо экологичнее. Следовательно, очевидна важность строительства дополнительных накопителей речных вод. Создание сети прудов-накопителей, внедрение капельного орошения вернет к жизни многие заброшенные и опустевшее степные земли.

ВЫВОДЫ

По нашему мнению, следует не только создавать и финансировать новые технологии, но и работать уже с имеющимися, а также пропагандировать рациональное использование воды в промышленных и бытовых целях. Проведенный анализ современного положения с водоснабжением Крыма позволяет выделить четыре направления, которые необходимо развивать одновременно.

1. Реконструкция уже имеющихся водохранилищ и создание новых мелких водохранилищ для сбора паводковых вод по всей территории полуострова. Для этого необходима программа, утвержденная Правительством РФ в части финансирования реконструкции и строительства новых гидротехнических сооружений.
2. Использование солоноватых подземных источников, обеззараживание (с применением биотехнологий) и повторное использование сточных вод.
3. Пропаганда экономии воды гражданами и организациями, внедрение водосберегающих технологий в промышленности и сельском хозяйстве позволит снизить суммарное потребление воды. Успешное осуществление этих программ провели государственные и частные компании Израиля. В сельском хозяйстве этой страны широко используется система капельного орошения, а доля повторно используемых сточных вод возросла за последние годы в несколько раз. Капельное орошение позволяет с максимальной пользой использовать воду: ее эффективность достигает 70 – 80 %, в то время как при обычном поливе цели достигает только 40 % воды.

4. Опреснение морской воды. Такой стратегический объект как Севастополь имеет перспективы роста. Обеспечить его водой в будущем сможет только опреснительный завод.

Поиск альтернативных путей решения дефицита воды на полуострове Крым продолжается. Ученые осуществляют поиск, а государство должно оказать финансовое обеспечение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Головкинский Н.А. Гидрогеологические исследования в Таврической губернии // Новорос. календарь, – Одесса, 1890.
2. Олиферов А.Н., Тимченко З.В. Реки и озёра Крыма. Симферополь: Доля, 2005. 214 с.
3. Боков В.А. Трансформация водного баланса в Крыму в XX веке – начале XXI века. Крымский научный центр, 2011. 227 с.
4. Иванкова Т.В. Социально-экологические аспекты использования водных ресурсов сельскохозяйственных регионов Евразии: монография / Т.В. Иванкова. – Москва: РУСАЙНС, 2017. 186 с.
5. Иванкова, Т.В. Социальная и экологическая безопасность сооружений водного хозяйства // Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2016»: материалы IX Междунар. науч.-практ. конф.; г. Ростов-на-Дону, 5 – 7 октября 2016 г. / Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т. (НПИ) имени М.И. Платова – Новочеркасск: «Лик», 2016. С. 30–35.
6. Государственный доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2015 году». – М.: НИА-Природа, 2016. 270 с.
7. Иванкова Т.В. Влияние человеческого фактора на водные ресурсы в современном мире [Текст] // Вестник Южно-Российского гос. техн. ун-та (Новочерк. политехн. ин-т). Серия: Социал.-эконом. науки. – 2015. № 5. С. 62–66.
8. Иванкова Т.В. Социальная и экологическая безопасность сооружений водного хозяйства [Текст] // Вестник Донского гос. аграр. ун-та. – 2015. № 2–3 (17). С. 60–65.
9. Иванкова Т.В. Опыт эффективного управления водными ресурсами в условиях дефицита (на примере Израиля) [Текст] // Астраханский вестник экологического образования. 2018. № 1 (43). С. 78–88.
10. Ляшевский В.И., Джапарова А.М. К проблеме опреснения морской воды в Крыму // Таврический вестник аграрной науки. 2015. № 1. С.63–68.
11. Проект «Строительство энергоопреснительного комплекса «Северный Крым». Концепция. 2016. 72 с.
12. Шаблий Е.Ф., Товстый С.С., Курдес О.А. Решение проблем водообеспечения Северного Крыма // Молодой ученый. 2017. № 43. С. 135–137.
13. Иванкова Т.В. Рациональное использование водных ресурсов длительно эксплуатируемого Симферопольского водохранилища на реке Салгир,

Республика Крым [Текст] // Строительство и архитектура. 2017. Т. 5. № 4. С. 212–218.
14. Иванкова Т.В. Рациональное использование водных ресурсов длительно эксплуатируемого Партизанского водохранилища на реке Альма, Республика Крым [Текст] // В сборнике: ПРОФЕССИОНАЛ ГОДА 2018 сборник статей VII Международного научно-практического конкурса. 2018. С. 142–149.

УДК 628.1

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ВОДОНЕСУЩИХ СЕТЕЙ ДОНБАССА

Н.Г. Насонкина, К.А. Яковенко, С.Е. Антоненко, В.С. Забурдаев, Д.А. Соколов
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
г. Макеевка. Украина
В.Н. Маслак
ЮНИСЕФ, г. Донецк, Украина

Дана оценка состояния водопроводных сетей Донбасса, в частности их износа и потерь воды. Предлагается оборудовать специальную передвижную лабораторию для диагностики сетей и обеззараживания воды.

Современные города отличаются развитой подземной инфраструктурой, в частности, водонесущими системами. В коммунальных системах большинства городов эксплуатируются трубопроводы, построенные в прошлом веке. Они требуют регулярной проверки работоспособности и модернизации. Особенно сложная ситуация сегодня сложилась в Донбассе. Общая длина всех водопроводных сетей по региону составляет порядка 18 тыс. км, из них 33,9 % находятся в ветхом или аварийном состоянии и требуют срочной замены. Наиболее изношенной и аварийной является уличная водопроводная сеть – 39,7 %. В лучшем состоянии находятся водоводы – 30,4 %.

Следует заметить, что уже сегодня по ряду городов процент сетей, подлежащих замене, превышает 50 %, что свидетельствует о кризисном состоянии системы (рис. 1).

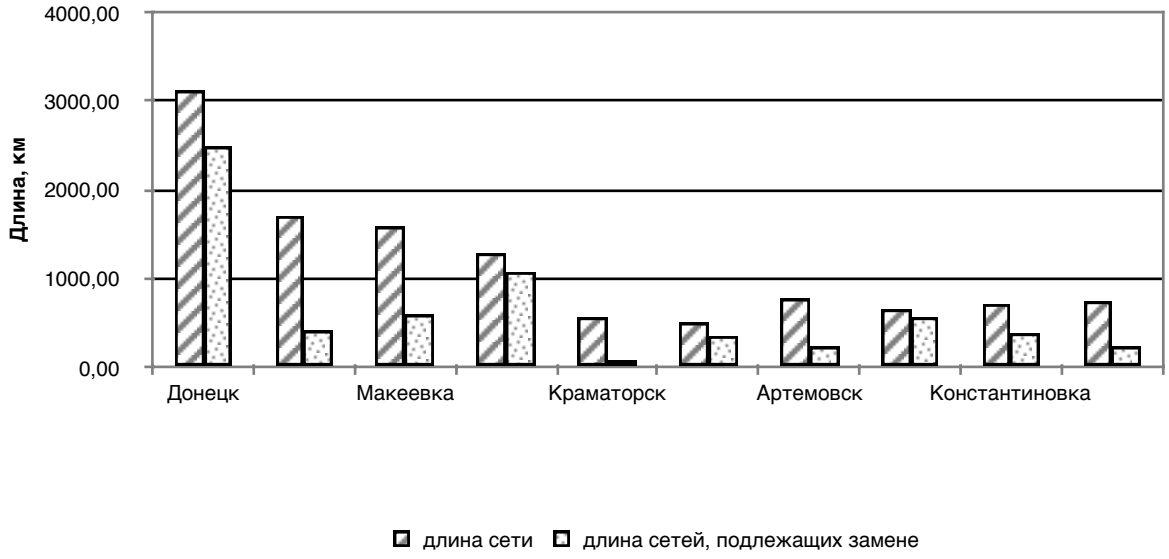


Рисунок 1. **Характеристика износа сетей**

Наличие подработок в регионе обусловило преобладание в инфраструктуре металлических труб (рис. 2).

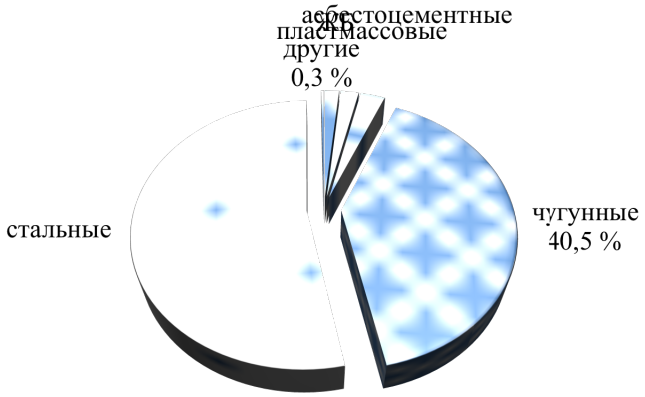


Рисунок 2. **Характеристика водопроводных сетей**

Важным критерием оценки работы городской распределительной системы является ее надежность. В данной работе оценка надежности выполняется по двум показателям: непроизводственные потери воды и аварийность. Непроизводственные потери воды в городских системах водоснабжения Донецкой области составляют в среднем 40,9 % от объемов воды, поданной населенным пунктам. В некоторых городах величина потерь превышает 60 % (рис. 3). Следует заметить, что именно здесь и находится главный резерв для улучшения состояния и развития систем водоснабжения.

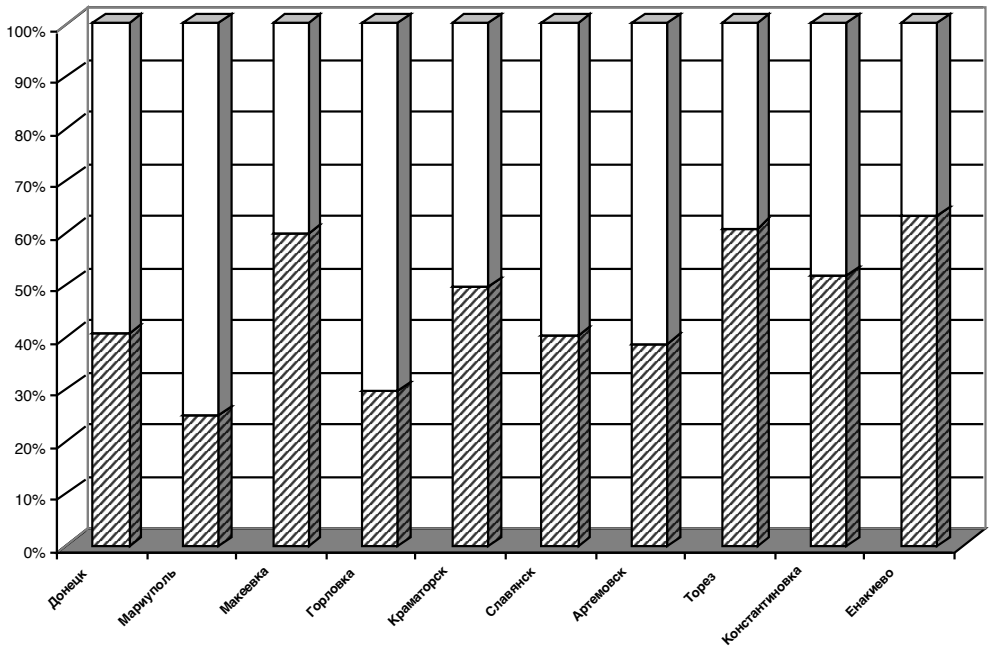


Рисунок 3. **Характеристика потерь воды по городам**

Еще одной особенностью водонесущих коммуникаций региона является их большая протяженность. Из рисунка 4 следует, что средний коэффициент нагрузки на сеть – 247 чел на километр сети. Большая

протяженность коммуникаций объясняется принципом формирования населенных пунктов Донбасса.

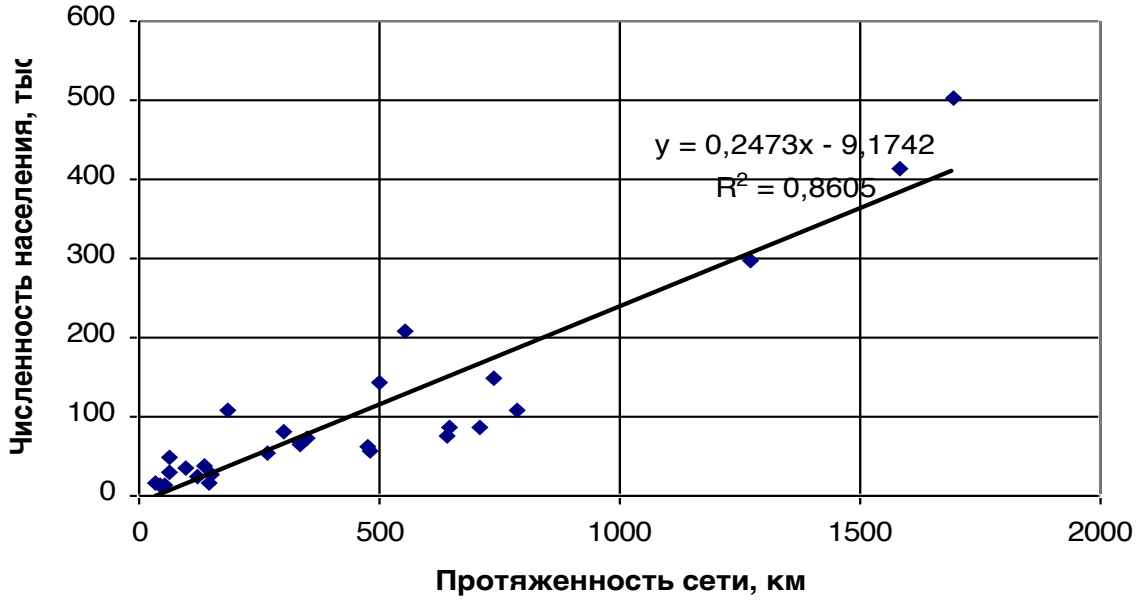


Рисунок 4. **Количество абонентов на км сети**

Такая ситуация в секторе ведет к высокой аварийности (для разных населенных пунктов колеблется в достаточно широком диапазоне – от 0,1 до 28,6).

Все повреждения, вызывающие отказы на трубопроводах, обусловлены действием внешних и внутренних факторов, которые подразделяются на три группы. Первая группа факторов связана с технологией изготовления труб. Вторая группа – со строительством трубопроводов. Третья определяется условиями функционирования и эксплуатации трубопроводов. К этой группе факторов относятся: материал и диаметр труб, степень изношенности трубопровода и режим его работы, давление в сети, агрессивность транспортируемой среды, удары, инженерно-геологические условия, различные техногенные изменения окружающей среды и др. Например, от такого фактора, как материал трубопровода на 18 % зависит долговечность труб.

Каждому из видов трубопроводов характерны свои повреждения: для стальных трубопроводов – это коррозия (60 %), для чугуна, асбестоцемента и железобетона – нарушение стыков, переломы и разрушение тела труб, для пластмасс – нарушение стыков. На рисунке 5 представлены данные о соотношении основных видов повреждений на трубопроводах по Донецкому региону.

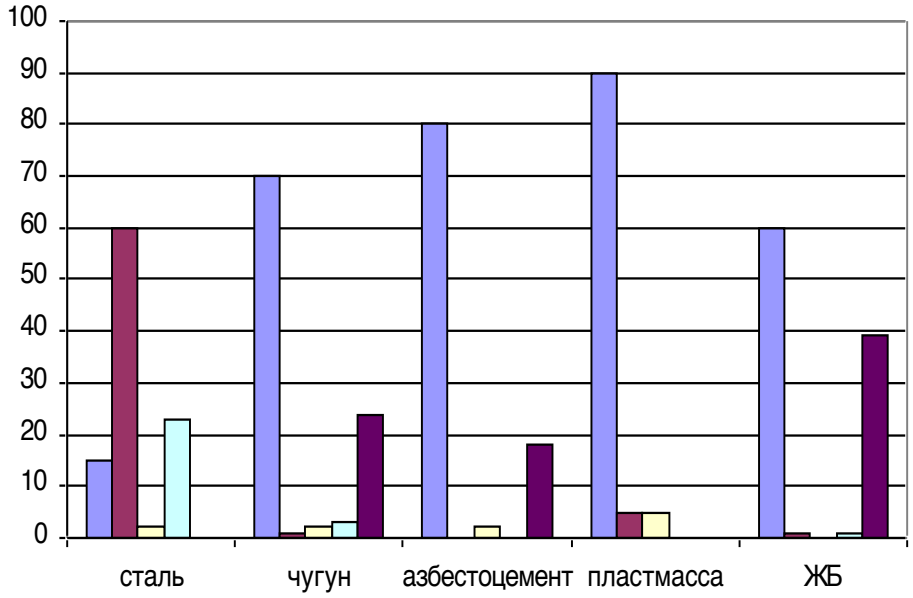


Рисунок 5. **Структура основных видов повреждений трубопроводов (по Донецкой области)**

Можно считать, что такие повреждения являются характерными для всех систем коммунального хозяйства.

При этом нужно отметить, что количество аварий на водопроводных сетях ежегодно растет (рис. 6) и это, безусловно, отображается на общем состоянии системы водоснабжения.

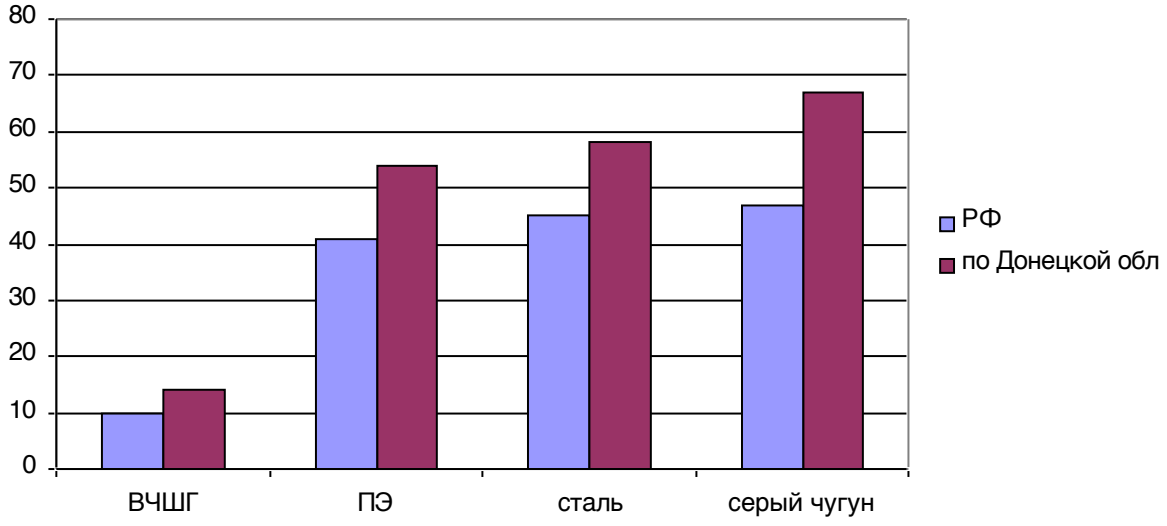


Рисунок 6. **Аварийность трубопроводов**

Анализ ликвидированных аварий (рис. 7) показывает необходимость в систематическом контроле процессов эксплуатации и в разработке стратегии планирования ремонтных работ с учетом состояния сетей, давления в сети и используемых материалов для реконструкции.

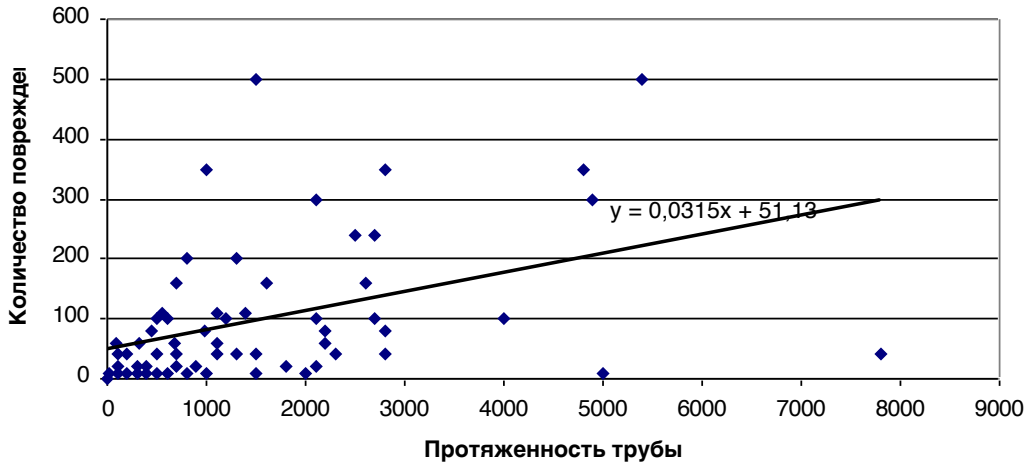


Рисунок 7. **Анализ аварийности водопроводных сетей по региону**

Необходимо отметить, что четкое отличие «внешних» и «внутренних» причин отказов трубопроводов установить в большинстве случаев тяжело. Многие из «внутренних» повреждений трубопроводов являются результатом внешних действий. Аварии трубопроводов часто обусловлены одновременно коррозийными свойствами грунта, действием блуждающих токов, динамическими и статическими нагрузками от городского транспорта, просадками грунта и низким качеством монтажа трубопровода. Все это определяет необходимость проведения постоянного четкого мониторинга состояния сетей с выявлением «узких мест» и предупреждения появления аварий и сокращения течей.

Для этого необходимо на базе водоканалов оборудовать специализированные передвижные лаборатории, позволяющие проводить диагностику сетей, и экстренную очистку и обеззараживание воды в случае техногенных аварий.

УДК 628.1–192; 62-192

МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ПОДХОД В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ НАДЕЖНОСТИ КОЛЬЦЕВЫХ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ

А.Я. Найманов, Г.С. Турчина
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, г. Макеевка, Украина

Оценку надежности кольцевой водопроводной сети предлагается выполнять методом сечений с учетом неравнозначности участков при осуществлении транспортной и раздаточной функций.

Построение наиболее рациональной схемы кольцевой водопроводной сети, обладающей и наибольшей надежностью, не получила общепринятого решения. Значительным препятствием при этом является отсутствие достаточно простых процедур оценки надежности сети, что затрудняет сравнение различных конфигураций систем подачи и распределения воды.

Существующие методики оценки надежности многокольцевых сетей, предложные, например, Гальпериным Е.М., Новохатным В.Г., Круценюк И.Ю. опираются либо на усредненные характеристики сети, либо на предположения об идентичности участков в системе водоснабжения [2, 4, 5, 7]. Это не соответствует действительности и требует дальнейшего совершенствования методов [6].

Отметим, что трубопроводы в сети выполняют двойственные функции. С одной стороны – из участков отбирают воду потребители, и трубопровод выполняет раздаточную функцию. С другой стороны – через большинство участков вода идет еще и транзитом для далее лежащих от точек питания сети труб, и данный участок выполняет транспортную функцию. Распределительную функцию достаточно хорошо отражает такой параметр как относительный вес участка q:

$$q_i = \frac{q_{пут\ i}}{Q} \qquad (1)$$

здесь: $q_{пут\ i}$ – путевой расход на участке, л/с; Q – общий расход воды, подаваемой в сеть, л/с.

Величина q_i заключена в интервале от 0 до 1 ($0 \le q_i \le 1$), а сумма всех q_i равна ($q_i = 1$). Вес участка q_i показывает, на какую долю от Q уменьшается отдача воды сетью при отказе данного участка. В соответствии с требованиями СНиП 2.04.02-84 необходимо, чтобы $q_i \le 0{,}3$ (снижение отдачи при аварии) [9].

Роль участка в транспорте воды целесообразно оценивать таким параметром как относительное сечение трубопровода на участке C_i:

$$C_i = \frac{f_i}{F} = \left(\frac{d_i}{D}\right)^2 \quad (2)$$

здесь: f_i, d_i – площадь сечения и диаметр трубопровода на участке м², м; F, D – площадь сечений и диаметр условного трубопровода для пропуска всего подаваемого в сеть расхода воды при скорости v = 1 м/с.

Подсчеты показывают, что ΣC_i в разных сетях может изменяться от 1 до 4.

Для простой тупиковой сети с одним участком $\Sigma C_i = 1$, для однокольцевой сети $\Sigma C_i = 4$, поскольку все участки кольца должны иметь одинаковый диаметр, равный D для пропуска всего расхода Q, из условия надежности. Величина ΣC_i может служить, в определенной мере, показателем экономичности конструкции сети. В самом деле, чем больше ΣC_i, тем больше сумма относительных диаметров труб и выше капитальные затраты на строительство сети. Оптимальной конструкции сети соответствует минимум ΣC_i. На основе величины C_i можно ввести более удобный для оценки транспортной функции участка параметр – значимость участка Z_i:

$$Z_i = \frac{C_i}{\Sigma C_i}, \quad 0 \le Z_i \le 1, \ \Sigma Z_i = 1. \quad (3)$$

Величина Z_i показывает, на какую долю от общего расхода воды Q уменьшится транспорт воды при отказе данного участка. При этом, в соответствии с требованиями СНиП 2.04.02-84 должно соблюдаться неравенство $Z_i \le 0{,}3$.

Сравнение величин q_i и Z_i позволяет выяснить, какая из функций участка доминирует. Если $q_i > Z_i$, то доминирует транспортная функция, а при $q_i < Z_i$ – раздаточная. От величины q_i и Z_i зависит вклад отказа участка в отказ всей системы (сети).

Вероятность безотказной работы P для трубопроводов определяется выражением:

$$P_i = e^{-\lambda l t} \quad (4)$$

здесь: λ – интенсивность отказов, 1/км·год, зависит от материала труб; l_i – длина трубопровода, км; t – продолжительность эксплуатации трубопровода, год.

Вероятность же отказа трубопровода:

$$Q = 1 - P = 1 - e^{-\lambda l t} \quad (5)$$

Для участка кольцевой сети – $Q = 1 - P_i = 1 - e^{-\lambda_i l_i t_i}$. Вклад участка в отказы всей сети $Q_{iв}$ предлагается определять с учетом его веса и значимости:

$$Q_{iв} = Q_i \cdot \left(\frac{q_i + Z_i}{2}\right) \quad (6)$$

Отсюда $P_{iв} = 1 - Q_{iв}$, аналогично:

$$Кг_{(iв)} = Кг_i \frac{q_i + Z_i}{2}. \quad (7)$$

Для оценки параметров надежности кольцевой сети может быть применен относительно простой метод поперечных сечений, который основан на математической логике и применяется при анализе мостиковых схем [8]. «Минимальным сечением» считается связка элементов, работоспособное состояние которых обеспечивает заданные по условию работоспособное состояние системы. При этом вовсе не обязательно, чтобы в связку входили все элементы системы. Для кольцевой сети методом сечений необходимо найти все возможные связки элементов, в совокупности обеспечивающие работоспособное состояние системы. Решение этих связок и дает конечные вероятности работоспособности сети. Очевидно, что любой элемент (участок сети) должен входить хотя бы в одну из связок элементов.

Рассмотрим оценку надежности на примере сети (рис. 1). На схеме приведены номера узлов, длины участков и диаметры труб для двух вариантов: над чертой – трубы чугунные, под чертой – трубы полиэтиленовые. Величины путевых расходов воды в участках известны. Они будут приведены ниже в таблице при оценке надежности. В данной сети проведено 4 сечения, структурно-логическая схема построения на их основе приведена на рисунке 2.

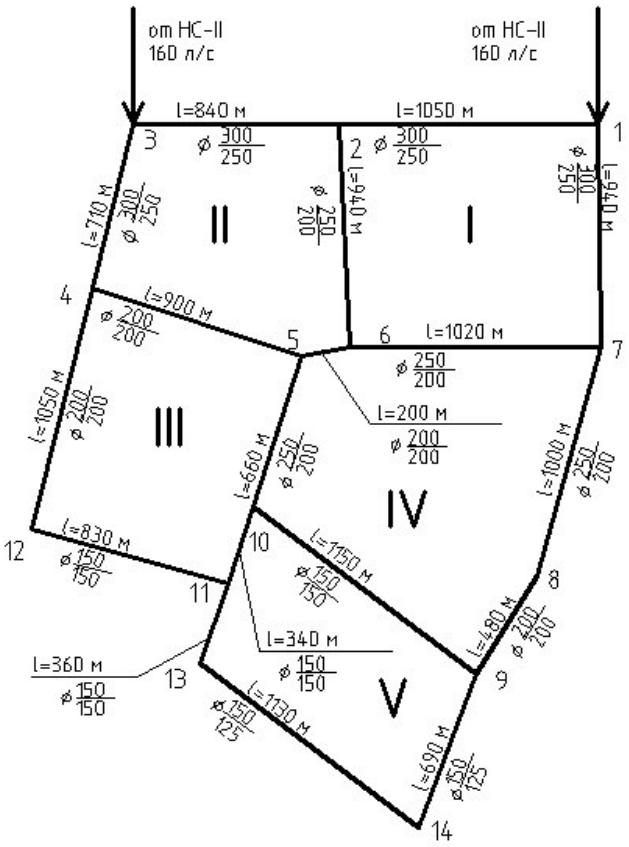


Рисунок 1. **Схема водопроводной сети**

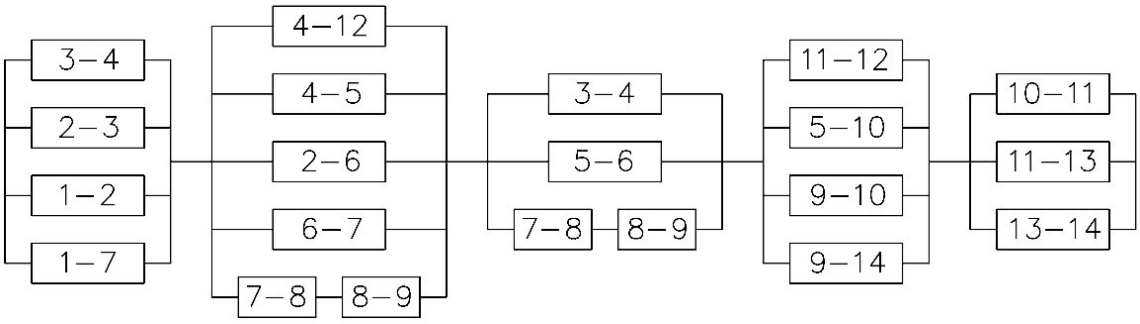


Рисунок 2. **Структурно-логическая схема кольцевой сети подачи и распределения воды с применением метода «минимальных сечений»**

Оставшиеся после последнего сечения участки сети могут включаться в схему, если $\sum\left(\frac{q_i+z_i}{2}\right) > 0{,}3$, таким образом, расход воды снижается более чем на 30 %. Данная схема соответствует известным положениям:

– чем больше параллельных магистралей в сети – тем выше надежность, в данном случае каждое сечение пересекает от 3 до 5 магистралей;

– увеличение протяженности сети снижает ее надежность, в данной схеме имеется пять последовательно соединенных блоков; при увеличении протяженности количество блоков тоже увеличится, и это приведет к снижению надежности.

Все это позволяет считать, что структурно-логическая схема, построенная методом сечений, достаточно достоверно отражает взаимосвязь элементов кольцевых сети, и ее можно использовать для расчетов параметров надежности. При этом используется метод декомпозиции и эквивалентирования. [1, 3]

Для сравнения решено вычислить сначала вероятность безотказной работы участков сети без учета влияния q_i и Z_i (табл. 1) и далее $P_{сети}$ по структурно-логической схеме на рисунке 2. Затем эти же параметры с учетом влияния веса q_i и значимости Z_i (табл. 2).

Таблица 1. **Результаты расчета показателей надежности участков кольцевой сети без учета значимости и веса**

(для t = 1 год; для чугуна $\lambda = 0{,}43\frac{1}{км \cdot год}$, для полиэтилена $\lambda = 0{,}02\frac{1}{км \cdot год}$)

Показатели трубопровода			Для полиэтиленовых труб		Для чугунных труб	
№ уч.	l, км	$q_{пут.}$, л/с	d, мм	$P_i = e^{-\lambda lt}$	d, мм	$P_i = e^{-\lambda lt}$
1–2	1,05	22	300	0,636702	250	0,979221

1–7	0,94	20	300	0,667539	250	0,981378
6–7	1,02	22	250	0,644968	200	0,979809
2–6	0,94	21	250	0,667539	200	0,981378
5–6	0,2	5	200	0,917602	200	0,996008
4–5	0,9	20	200	0,679118	200	0,982163
3–4	0,71	15	300	0,736926	250	0,985902
2–3	0,84	18	300	0,696866	250	0,983342
5–10	0,66	15	250	0,752939	200	0,986888
10–11	0,34	9	150	0,863998	150	0,993224
11–12	0,83	18	150	0,699868	150	0,983539
4–12	1,05	22	200	0,636702	200	0,979221
7–8	1	22	250	0,650538	200	0,980201
8–9	0,48	14	200	0,813525	200	0,990447
9–10	1,15	26	150	0,609907	150	0,977265
9–14	0,69	15	150	0,743290	125	0,986296
13–14	1,13	26	150	0,615174	125	0,977656
11–13	0,36	10	150	0,856600	150	0,992827
Σ	14,29	320				

Проведя оценку надежности на основании структурно-логической схемы (рис. 2), получим следующие результаты. Для системы водоснабжения с трубами из чугуна: без учета влияния различной значимости и веса участка на расчет параметров надежности $P_{сист}$ составит 0,96558, с учетом последних – 0,99999. Для полиэтилена: без учета значимости и веса участка в системе $P_{сист}$ = 0,99996, с учетом – 0,99999. На примере полиэтилена менее заметна разница ввиду того, что трубопровод из полимерных материалов имеет более низкую интенсивность отказов и, как следствие, более высокую надежность.

Таблица 2. **Результаты расчета показателей надежности участков кольцевой сети с учетом значимости и веса**

(для t = 1год; для чугуна $\lambda = 0{,}43\frac{1}{км \cdot год}$, для полиэтилена $\lambda = 0{,}02\frac{1}{км \cdot год}$)

Показатели трубопровода	Для полиэтиленовых труб	Для чугунных труб

№ уч.	Z_i	q_i	$Q_{iв}$	$P_{iв} = 1-Q_{iв}$	Z_i	q_i	$Q_{iв}$	$P_{iв}= 1-Q_{iв}$
1–2	0,090	0,0688	$1,73*10^{-3}$	0,99827	0,100	0,0688	0,031862	0,96814
1–7	0,090	0,0625	$1,34*10^{-3}$	0,99866	0,100	0,0625	0,025681	0,97432
6–7	0,058	0,0688	$1,31*10^{-3}$	0,99869	0,069	0,0688	0,02485	0,97515
2–6	0,058	0,0656	$1,08*10^{-3}$	0,99892	0,069	0,0656	0,021272	0,97873
5–6	0,058	0,0156	$2,94*10^{-5}$	0,99997	0,044	0,0156	0,000508	0,99949
4–5	0,058	0,0625	$9,68*10^{-4}$	0,99903	0,044	0,0625	0,015660	0,98434
3–4	0,090	0,0469	$6,87*10^{-4}$	0,99931	0,099	0,0469	0,014215	0,98578
2–3	0,090	0,0563	$1,03*10^{-3}$	0,99898	0,099	0,0563	0,020319	0,97968
5–10	0,058	0,0469	$4,55*10^{-4}$	0,99955	0,069	0,0469	0,009898	0,99010
10–11	0,033	0,0281	$7,05*10^{-5}$	0,99993	0,025	0,0281	0,001287	0,99871
11–12	0,033	0,0563	$6,11*10^{-4}$	0,99939	0,025	0,0563	0,010421	0,98958
4–12	0,058	0,0688	$1,38*10^{-3}$	0,99862	0,044	0,0688	0,021291	0,97871
7–8	0,058	0,0688	$1,25*10^{-3}$	0,99874	0,069	0,0688	0,024078	0,97592
8–9	0,058	0,0438	$2,34*10^{-4}$	0,99977	0,044	0,0438	0,00414	0,99586
9–10	0,033	0,0813	$1,49*10^{-3}$	0,99851	0,025	0,0813	0,023051	0,97695
9–14	0,022	0,0469	$3,26*10^{-4}$	0,99967	0,025	0,0469	0,006655	0,99335
13–14	0,022	0,0813	$1,30*10^{-3}$	0,99870	0,025	0,0813	0,022455	0,97755
11–13	0,033	0,0313	$8,32*10^{-5}$	0,99992	0,025	0,0313	0,001526	0,99847
Σ	1,000				1,000			

Сравнение данных таблиц 1 и 2 показывает, что учет влияния веса и значимости участков способствует повышению вероятности безотказной работы и участка, и сети.

Подобные расчеты могут быть выполнены для нескольких вариантов конфигураций кольцевой сети с разным количеством колец и участков, затем из них отбирается вариант с наибольшей надежностью. Таким образом, можно с большей вероятностью подобрать наиболее лучший вариант конфигурации водопроводной сети, рассматривая ее как со стороны экономичности капитальных затрат, так и учитывая влияние конструкции на ремонтопригодность и бесперебойную поставку воды потребителям в случае аварии, выдерживая показатели подачи воды согласно нормативным требованиям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев М.И., Ермолин Ю.А. О методологии исследования надёжности стареющих элементов систем водопровода и канализации [Текст] // Водоснабжение и санитарная техника, 2002. № 9. С. 2–4.
2. Гальперин Е.М. Расчет кольцевых водопроводных сетей с учетом надежности функционирования. 1989. 104 с.
3. Голинкевич Т.А. Прикладная теория надежности [Текст]. – М.: Высшая школа, 1985 160 с.
4. Журба М.Г., Соколов Л.И., Говорода Ж.М. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений. – М.: Издательство АСВ. 2003. 288 с.
5. Круценюк И.Ю. Математические методы и модели оценки вероятности безотказной работы сети водоснабжения на примере г. Норильска. – дисс … канд.. техн.. наук: Норильск: Норильский индустриальный институт. 2005. 193 с.
6. Найманов А.Я. Особенности оценки надежности кольцевой сети водопроводной сети // Водоснабжение и санитарная техника, 2006, № 12.
7. Новохатный В.Г. Надійність функціонування подавально-розподільного комплексу систем водопостачання. дисс. на здобуття уч. ступеня д-ра техн.. наук: спец. 05.23.04. – Водопостачання та каналізація. 2012. 350 с.
8. Рябинин И.А., Черкесов Г.Н. Логико-вероятностные методы исследования надежности структурно-сложных систем [Текст]. – М.: Радио и связь, 1981. 264 с. – (Б-ка инженера по надежности).
9. Свод правил. Актуализированная редакция СНиП 2.04.02.-84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения [Текст]: СП 31.13330. 2012. – М.: Минрегион России, 2011. 124 с.

УДК 628.171

ДЖЕЙРАНБАТАНСКИЙ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ КОМПЛЕКС

Ф.А. Абилов, З.А. Нагиев, З.А. Тарихазер
ОАО «Азерсу», НИПИ «Суканал», г. Баку, Республика Азербайджан

Приведена подробная характеристика Джейранбатанского водохозяйственного комплекса, включающего водохранилище, водоочистные сооружения и магистральные водоводы. Отмечено ,что очистка воды осуществляется с использованием мембранной технологии. Приводятся основные параметры технологического процесса и качество питьевой воды.

На сегодняшний день 70 % промышленного потенциала и почти 40 % населения Республики располагаются на Абшеронском полуострове. Большая часть столицы и Абшеронского полуострова снабжаются питьевой водой водохозяйственного комплекса Джейранбатан. Джейранбатанское водохранилище расположено в 18 км к северу от города Баку и представляет собой впадину, отгороженную искусственными дамбами. В настоящее время «искусственное озеро» – водохранилище Джейранбатан является самым большим и строго охраняемым водным объектом Абшеронского полуострова. В водохранилище поступает вода реки Самур по Самур-Абшеронскому каналу (182 км). Кроме того, по пути канал подпитывается водами рек Гудиалчая, Чагачукчая и Вельвеличая. Все неравномерности между поступлением воды в Джейранбатанское водохранилище и забором воды из него на очистные сооружения компенсируются емкостью водохранилища. Несомненным преимуществом водохранилища является его способность к самоочищению, происходящему в водоеме в результате естественных физических и биохимических процессов. По составу растительного и животного мира, а также по химическому составу характеризуется как водоем олигосапробного типа, вода водохранилища обладает низкой цветностью и содержит стабильное количество органических веществ. Таким образом, вода Джейранбатанского водохранилища представляет собой высококачественный источник водоснабжения для использования в питьевых и промышленных целях.

Джейранбатанские водоочистные сооружения и магистральные водоводы поэтапно строились и эксплуатировались с начала 60-х годов. В настоящее время 45 – 55 % подаваемой воды (10 – 15 м^3/сек) на Абшеронский полуостров осуществляется посредством системы Джейранбатанского водопроводного комплекса.



Рисунок 1. **Самур-Абшеронский канал. Насосная станция и водохранилище Джейранбатан**

С 2007 по 2013 годы в соответствии с поручением главы государства были проведены работы по реконструкции систем мелиорации и Самур-Абшеронского канала. В рамках проведенных работ было построено Тахтакёрпюнское водохранилище, а также такие водоканалы как «Ханарх», «Вельвеличай-Тахтакёрпю», «Тахтакёрпю-Джейранбатан». С появлением в озере Джейранбатан достаточного объёма водных ресурсов в результате строительства водохранилища Тахтакёрпю и водоканала Тахтакёрпю-Джейранбатан было принято решение о строительстве на территории новой очистной установки, основанной на новейшей ультрафильтрационной технологии. Вода, поступающая на очистку, вначале проходит через 200-микронные фильтры, после чего фильтруется в основных модулях установки, затем подается под давлением 4,5 атмосферы в специальные 0,03-микронные фильтры, где пребывает всего 20 секунд. Качество прошедшей через фильтр питьевой воды контролируется в режиме онлайн. С этой целью сооружены специальные панели для анализа, которые передают сигналы о параметрах качества воды непосредственно в помещение SKADA. Кроме того, в созданной для этого лаборатории исследуются параметры как сырой, так и чистой воды, и показатели ее находятся под непрерывным контролем.

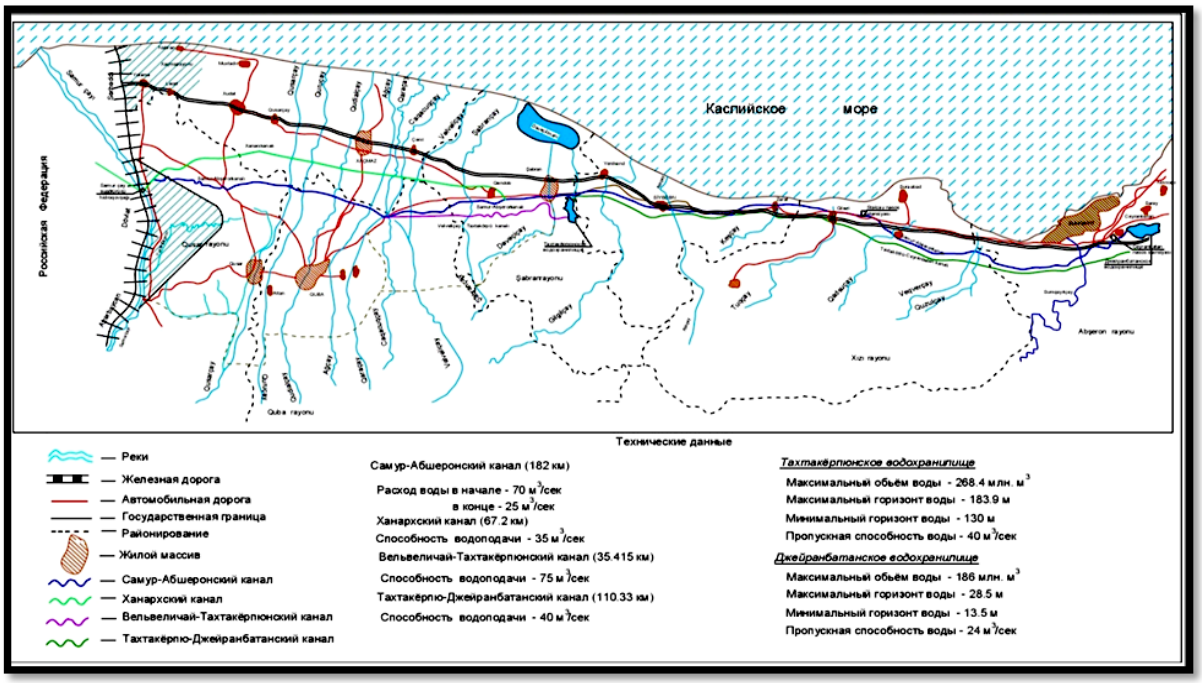


Рисунок 2. **Схема системы Самур - Абшеронского канала**



Рисунок 3. **Сооружения ультрафильтрационной очистной установки на Джейранбатане**

В настоящее время наиболее эффективной технологией для переработки маломутных вод в мире считаются именно ультрафильтрационные установки. В таких установках, основанных на мембранной технологии, вода очищается механическим способом без использования химических веществ. Самое большое преимущество таких установок заключается в очистке воды от зависимых частиц-бактерий, вирусов, некоторых нерастворимых солей и тяжелых металлов, устранении мутности, неприятного запаха и вкуса с сохранением ее природного минерального состава. Уровень мутности в воде, очищаемой в полностью закрытом, автоматическом режиме, не превышает 0,03 мг/л. Таким образом, Джейранбатанская вода, перерабатываемая в ультрафильтрах, полностью отвечает стандартам, принятым ВОЗ и другими международными структурами.

Для обеспечения непрерывности очистки воды в установке фильтры, периодически промываятся, освобождаются от ила. Очистка фильтров

осуществляется обратной промывкой и химической обработкой при помощи насосов. Процесс осуществляется в режиме очередности, то есть при проведении обратной промывки и химической обработки в одной из частей установки, в другой части очистка воды продолжается. Это, в свою очередь, обеспечивает непрерывность очистки воды. Производительность установки, состоящей из 5280 модулей – 6,6 м^3/сек. В дальнейшем, путем сооружения дополнительных модулей, а также с помощью электромеханической системы можно повысить мощность переработки до 7,5 м^3/сек. Следует отметить, что сданный в эксплуатацию в 2015 году Джейранбатанский комплекс ультрафильтрационных водоочистных сооружений был объявлен одним из четырех важнейших проектов водной промышленности 2015 года на Глобальном Водном саммите в Абу-Даби.

Качество воды водохранилища Джейранбатан по нормируемым санитарно-гигиеническим показателям (по содержанию хлоридов, сульфатов, жесткости, сухому остатку и коли титру) удовлетворяют действующему в нашей стране ГОСТ 2761-84 для источников хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Сегодня с вводом в эксплуатацию Тахтакёрпюнского водохранилища и реконструкцией Джейранбатанского водохранилища были решены многие проблемы водоснабжения. Питьевая вода водопроводного комплекса Джейранбатан имеет очень важную и незаменимую роль в качестве источника систем водоснабжения для гг. Баку, Сумгаита и всего Абшеронского полуострова. Показатели качества воды соответствуют международным стандартам и служат населению для обеспечения беспрерывной и качественной питьевой воды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абилов Ф.А. Водоснабжение и очистка сточных вод в Абшеронском регионе // НИИ «Азерсугео». Баку, 1996.
2. Агаев Т.С. Джейранбатанский водопроводный комплекс. Баку, 2016.
3. Материалы научно-практической конференции: «Развитие систем водоснабжения и водоотведения Азербайджанской Республики за 20 лет независимости». Баку, 2011.
4. Технологический регламент очистных сооружений службы Джейранбатанского водопровода. Баку, 1986.
5. Технологический регламент комплекса водоочистных сооружений (I, II, III очереди) Джейранбатана. Баку, 2016.

УДК 627.844

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МАЛОЙ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ)

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

Статья посвящена вопросам совершенствования мероприятий по локализации разливов нефтепродуктов на территории водосбора малых водотоков в условиях Юга России. Рассмотрены основные расчетные положения для оценки распространения загрязняющих веществ и мероприятия по локализации нефтепродуктов за счет применения мембранно-вантовых плотин. Проведен анализ синтетических сорбентов для применения в качестве заполнителей в картриджах для очистки загрязненной нефтепродуктами воды.

Республика Саха (Якутия) является самым большим и наиболее перспективным регионом Российской Федерации, входящим в состав Дальневосточного федерального округа и характеризуется значительной зоной автономного и децентрализованного энергоснабжения, что обусловлено промышленным освоением всего 10 % территорий и малой плотностью населения. Большую часть занимают горы и плоскогорья, на долю которых приходится более 2/3 ее поверхности (рис. 1).

Природно-климатические условия Якутии являются экстремальными. Климат резко континентальный, отличается продолжительным зимним и коротким летним периодами (рис. 1).

В настоящее время в структуре потребления электроэнергии преобладает отрасль – добыча полезных ископаемых, что требует освоения новых территорий и их инфраструктуры (рис. 2). По генерации электроэнергии преобладают тепловые электростанции. На втором месте находятся гидроэлектростанции, представленные в основном крупными ГЭС. В среднем по Якутии третьим по значению являются дизельные электростанции, подавляющее количество которых расположено в арктической зоне (рис. 3). По заключению специалистов в связи со значительными территориями, сложностью условий строительства централизованного энергоснабжения на территориях с малой плотностью населения, значительными потерями энергии на существующих линиях электропередач в среднем до 15 %, наличие децентрализованных и автономных источников энергоснабжения является необходимым на современном уровне развития техники [1–3]. За последние несколько лет зоны автономного и децентрализованного энергоснабжения, покрывают более 13 % потребности республики (рис. 4) и обеспечиваются за счет

мини ТЭЦ и дизельных электростанций. Доля ВИЭ незначительна и представлена ветровой и солнечной энергетикой (рис. 3). Малая гидроэнергетика в республике Саха (Якутия) не развита, несмотря на то, что среди регионов федерального округа Якутия занимает первое место по протяжённости речной сети, в пределах водосбора которой расположены основные населённые пункты (рис. 1) [1–4].

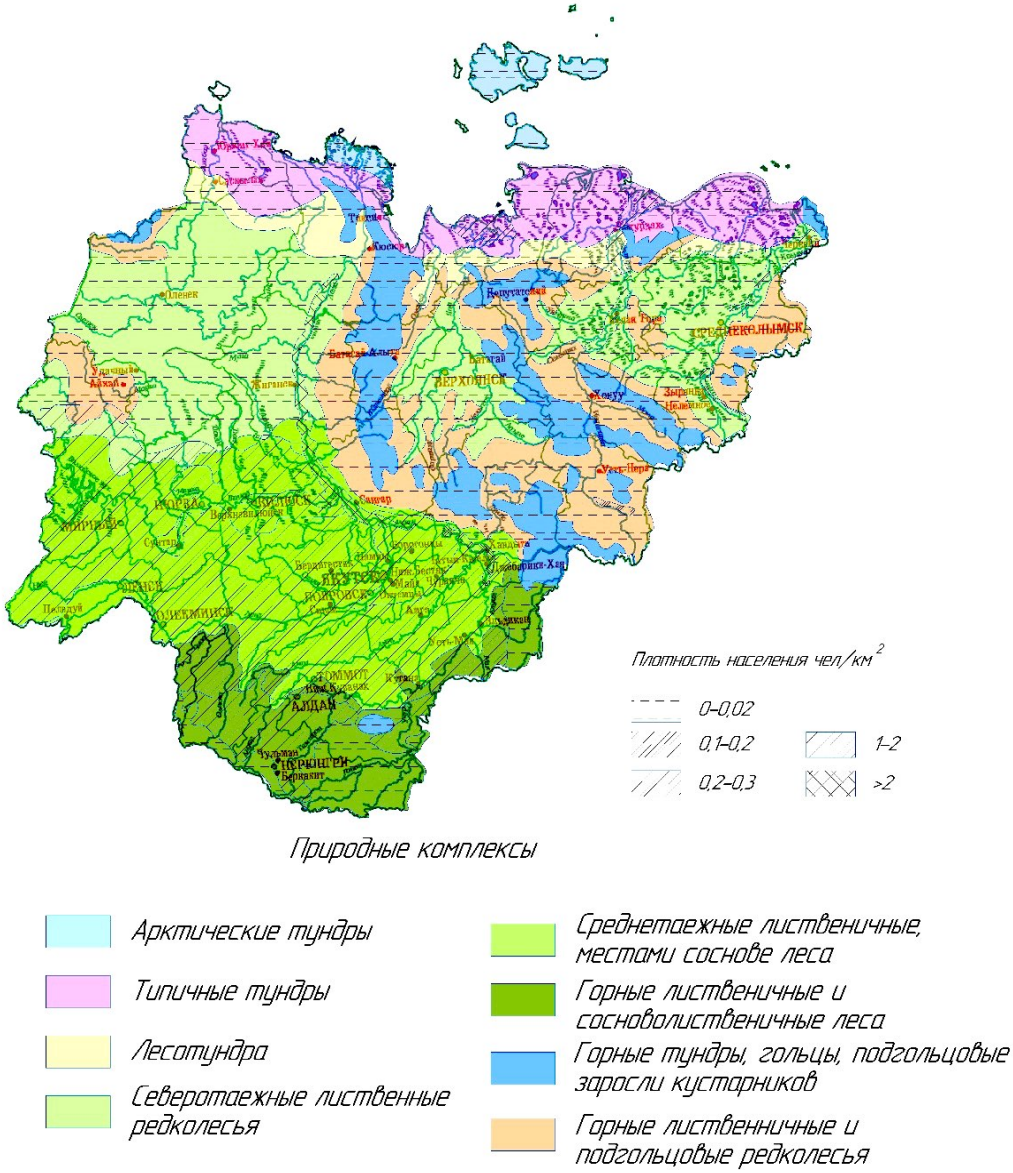


Рисунок 1. **Физико-географические характеристики и плотность населения республики Саха (Якутия)**

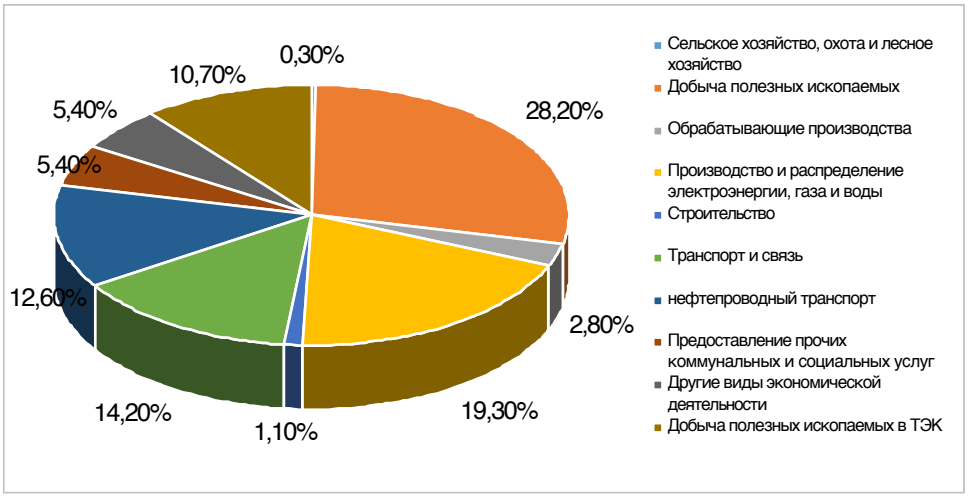
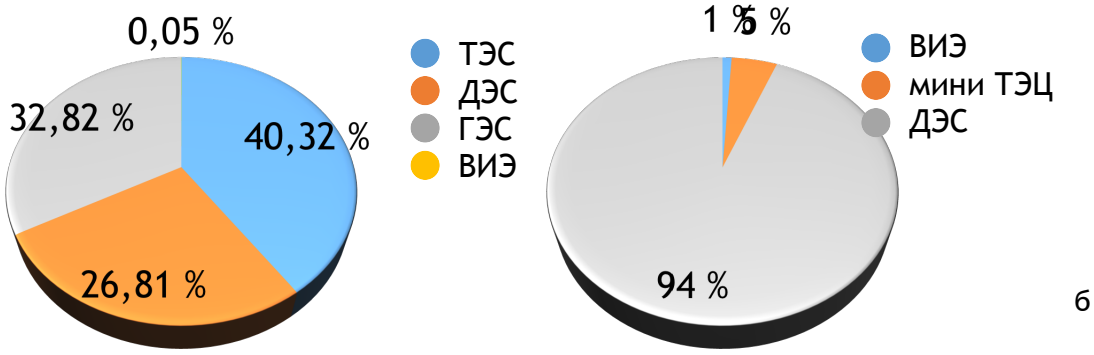


Рисунок 2. **Структура потребления электроэнергии по отраслям в р. Якутия**

Основной проблемой является возможность только сезонного использования малых рек. Также почти вся континентальная часть Якутии входит в зону сплошной многовековой мерзлоты со средней мощностью мерзлого слоя до 300 – 400 м.



а *б*

Рисунок 3. ***Структура установленной мощности по типам электростанций*** **(состояние 2016 г.):**

а – в среднем по республике Якутия; б – в арктической зоне

Строительство ГЭС в районах с продолжительной зимой связано с созданием крупных водохранилищ. Таким образом, подобные преобразования приводят к нарушению экологии крупных территорий. Наряду с такими гидроэлектростанциями, на возведение и эксплуатацию которых требуются значительные капитальные вложения и неизбежны потери при энергоснабжении удаленных объектов необходимо развивать строительство сезонно-действующих [2–4].

Возможность создания распределенной генерации для автономного и децентрализованного использования малых рек, как для сезонно-действующих, так и постоянных объектов с целью снижения использования дорогостоящего органического топлива является перспективной задачей. Гидрографическая сеть Якутии включает более

чем 700 тыс. рек общей протяжённостью 1527,6 тыс. км с гидропотенциалом 700 млрд кВт, большая часть которых относится к малым водотокам. Речная сеть более густая в горных районах (до 1 км/км^2) и менее густая – в равнинных районах республики (до 0,1 км/км^2). Для этих рек характерны высокие весенние половодья, обусловленные таянием снегов, ежегодно повторяющиеся летние и осенние паводки, связанные с выпадением дождей, а также исключительно длительная и низкая зимняя межень (рис. 5). Основная доля стока рек проходит в тёплое время года, зимний сток не превышает 1 – 10 % годового стока [2].

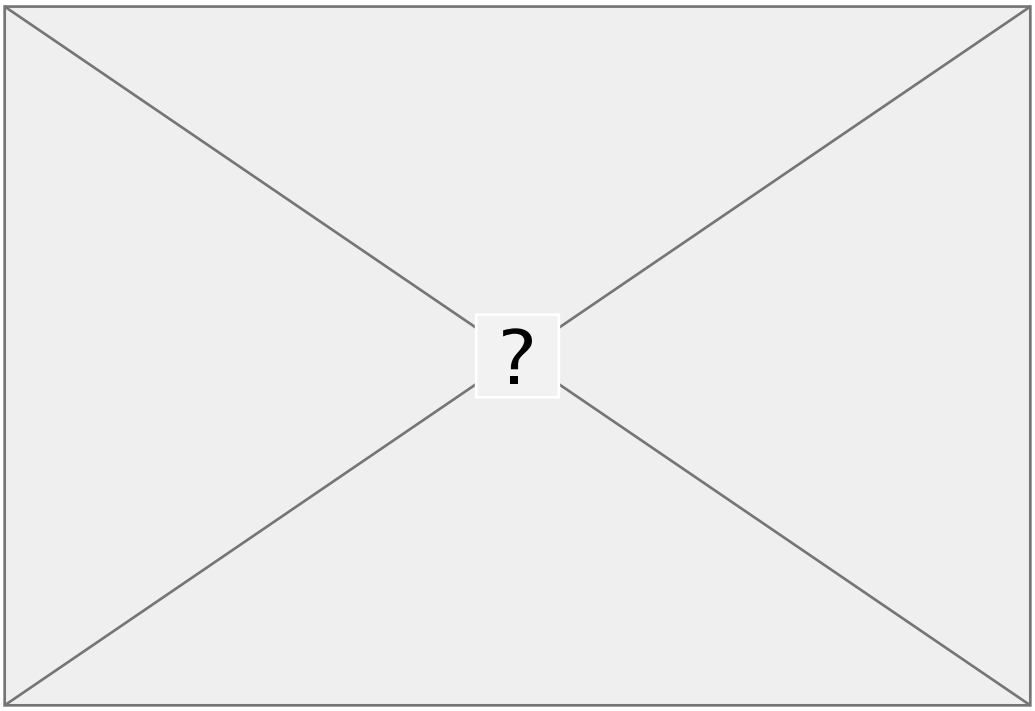


Рисунок 4. **Существующие системы генерации энергии Республики Саха (Якутия)**

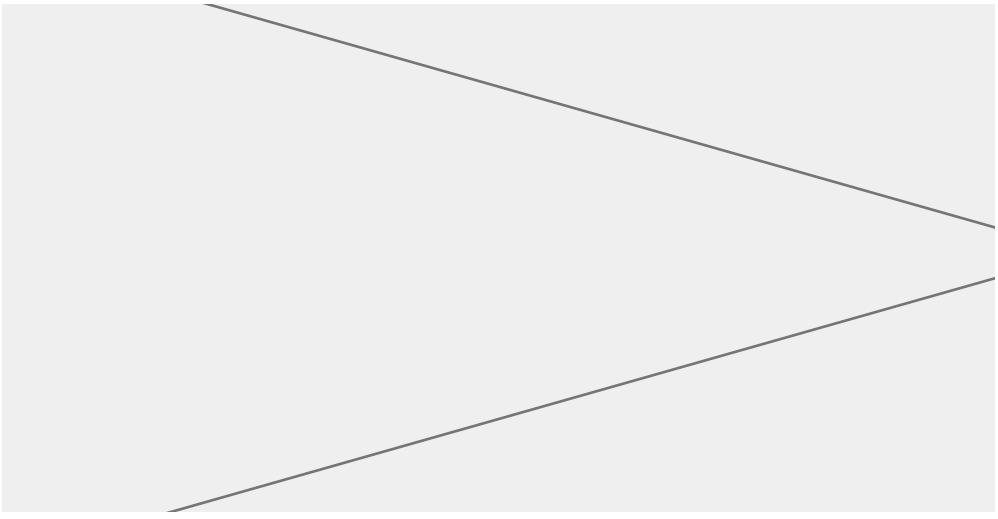


Рисунок 5. **Гидрографы рек р. Якутии с весенним половодьем**

Наличие значительных гидроэнергетических ресурсов малых рек Якутии и достаточная густота речной сети позволяет обеспечить основу для создания распределённой генерации энергии и сократить количество органического топлива, используемого для работы ДЭС и ТЭС. Даже при условии сезонного действия они могут являться более экологичной альтернативой газогенераторных установок на местном топливе.

Наиболее перспективным является развитие малой гидроэнергетики горных районов республики, а также самых отдаленных и труднодоступных районов республики, которые рассматриваем на примере Анабарского и Оленекского улусов, снабжение которых осуществляется в основном дизельными электростанциями (ДЭС). Высокая стоимость жидкого топлива и сложная транспортная схема его доставки отражается на себестоимости электроэнергии, которая сегодня доходит до 12 –13 руб/ кВтч.

При освоении многочисленных месторождений алмазов и редкоземельных элементов необходимо строительство ряда новых населенных пунктов и горнодобывающих предприятий, а значит их энерго и водоснабжение.

Несмотря на то, что в гидрологических условиях Севера малые ГЭС работают в течение 3 – 4 месяцев в году они могут вырабатывать энергию, компенсирующую 30 – 35 % используемого жидкого топлива, и дают возможность регулярно проводить ремонтно-профилактические работы на ДЭС. Наиболее актуально строительство микро и малых ГЭС для старательских партий, геологоразведочных отрядов, оленеводческих бригад и т.д. Это подтверждено опытом использования МГЭС на примере Аляски, Канадского севера, Гренландии, где они работают совместно с ДЭС и обеспечивающих выработку до 67 % электроэнергии.

К наиболее важным преимуществам малых и микроГЭС относятся: меньшее воздействие на водные ресурсы по сравнению с крупными гидроэлектростанциями; снижение потери электроэнергии за счет приближения энергопотребителей к источникам. Для горных труднодоступных территорий нами предлагается использовать устойчивые к действию вечной мерзлоты, а также сейсмичности оболочечные конструкции из композитных материалов деривационных малых и микроГЭС, возводимых в труднодоступных условиях с минимальными капиталовложениями (рис. 6, табл. 1).

Таблица 1. **Характеристики мобильных микро- и миниГЭС деривационного типа**

Параметры	Мощность, кВт								
	5	10	15	25	50	100	200	300	500

Обеспечение напора, м	5–10	15–20	12–30	20–100	50–200	70–250	100–150	100–200	100–200
Расход, $м^3/с$	0,01–0,05	0,05–0,10	0,07–1,15	0,08–0,20	0,04–0,20	0,06–0,25	0,2–0,3	0,25–0,4	0,25–0,4
Срок службы, лет	8	8	12	15	20	25	25	25	25

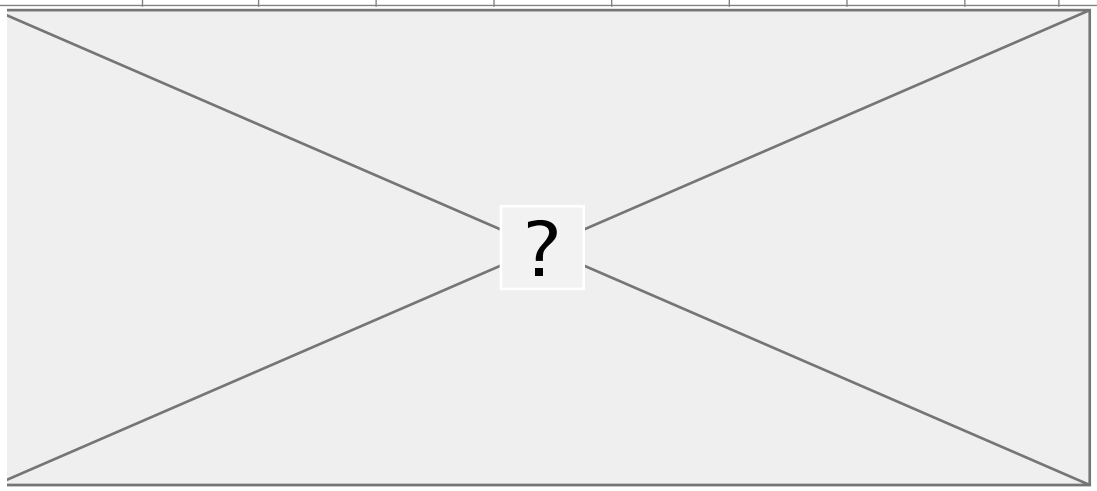


Рисунок 6. **Техническое решение мобильной деривационной микроГЭС (МДМкГЭС):**
1 – грунтоармированная плотина; 2 – сифонный водозабор; 3 – водоотводящая система; 4 – вантовая система; 5 – гибкий участок водовода; 6 – анкерные опоры; 7 – грунтоармированная подпорная стенка; 8 – здание микроГЭС контейнерного исполнения; 9 – гибкая дамба из композитных материалов

К нетиповым элементам относятся:

- водоподпорные сооружения для головного гидроузла (ГГУ) ММкГЭС и грунтоармированные плотины (рис.2, в, г) [2];
- гибкий участок деривационного водовода (ДВ) с закреплением вантовой системой (рис. 3) [3];
- сооружения инженерной защиты (грунтоармированные подпорные стены; замкнутые и незамкнутые грунтонаполняемые конструкции) [2].

Основными элементами нетиповых элементов являются замкнутые и незамкнутые безмоментные оболочки (мембраны) из композитных материалов, а также вантовые системы [3]. В тяжёлых условиях эксплуатации и при необходимости создания напора от 5 до 10 м, и наличии насыпного грунта, применяют грунтоармированную плотину, для которой характерна большая устойчивость и надёжность по сравнению с мембранно-вантовыми плотинами. Одним из основных нетиповых элементов ММкГЭС является составной деривационный водовод (ДВ). Его применение в условиях сложного рельефа местности обеспечивает больший, по сравнению с рукавными микроГЭС, диапазон напоров от 10

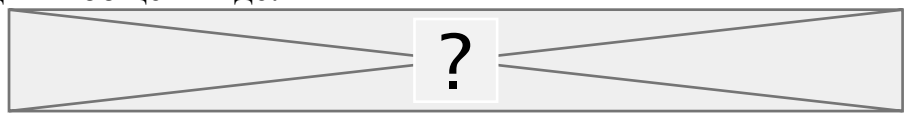
до 500 м и мощность от 5 до 100 кВт. Верхний участок ДВ при напорах до 50…60 м изготавливается из гибких безмоментных оболочек на водонаполняемом или грунтонаполняемом основании. Для изготовления нижнего участка используют стандартные резинотканевые рукава и трубы из полимерных материалов [3].

На верховых участках трассы деривационного водовода ДВ при напорах до 50…60 м его изготавливают из гибких безмоментных водонаполняемых оболочек (далее водонаполняемые оболочки) из композитных материалов, в том числе на водонаполняемом или грунтонаполняемом основании.

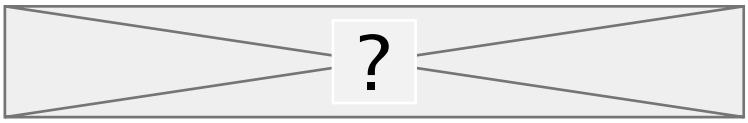
При создании ММкГЭС используем ММ с системным подходом. Системный подход позволит объединить результаты имитационного моделирования (ИМ) нетиповых элементов ММкГЭС численными методами, пропорционально их значимости, в единую оптимизационную модель [6]. Использовался метод свёртки, где многокритериальная задача оптимизации сводится к однокритериальной с помощью замены векторного критерия оптимальности, состоящего из нескольких частных критериев на один обобщённый критерий, называемый целевой функцией. В этом случае если есть несколько частных целевых функций, представленных в виде:

 (1)

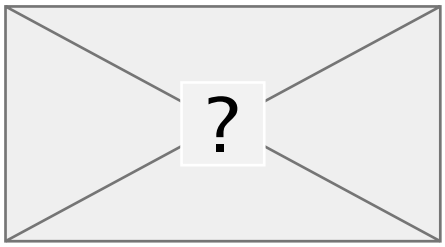
то они сводятся к нахождению минимума обобщённой скалярной целевой функции в общем виде:

 (2)

где  – весовые коэффициенты при частных целевых функциях;  ,  …  – значения частных целевых функций для эталонного состояния МДМкГЭС (эти значения нужны, чтобы использовать скалярную свёртку безразмерных величин);  – штрафная функция, которая принимает большие значения при невыполнении каких-либо ограничений на параметры МДМкГЭС и равна нулю при выполнении всех ограничений:



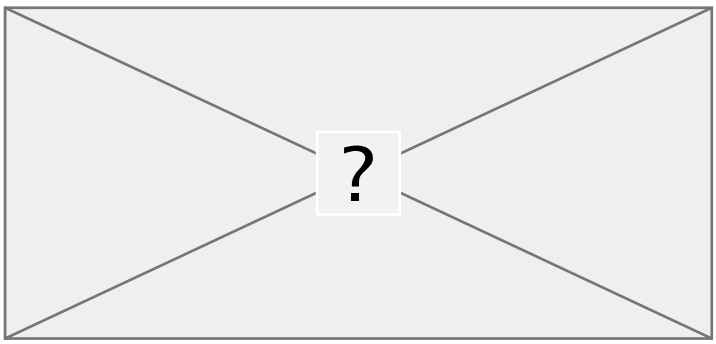
Например, в инвариантной форме ММ мембранно-вантовой плотины в виде системы уравнений целевых функций согласно уравнения (1) выражается в следующем виде:



(3)

где – относительная глубина в верхнем бьефе к периметру оболочки ; – отношение погонного натяжения к перекрываемому пролету; – относительная стоимость мембранно-вантовой плотины по отношению к железобетонной плотине; – радиус вантовой системы мембранно-вантовой плотины; , – углы крепления гребня и основания незамкнутой оболочки мембранно-вантовой плотины.

Для грунтоармированной плотины получена следующая инвариантная ММ:



(4)

где – высота грунтоармированной насыпи водоподпорного сооружения; – длина армоленты; – длина лицевой стенки; –длина заделки армоленты в первом приближении.

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

Для создания программы многокритериальной оптимизации параметров ММкГЭС с привлечением различных ММ в сочетании с человеко-машинными процедурами выбор наилучшего решения основывают на предположении о существовании обобщенного критерия задачи многокритериальной оптимизации. При решении проблемы выбора оптимальных параметров ММкГЭС рассматривается множество вариантов альтернативных решений компоновки элементов, параметров, состоящих из замкнутых и незамкнутых оболочек из композитных материалов, характеристик различных заполнителей, проводится их сравнение с традиционными элементами.

Структура многоступенчатой оптимизации ММкГЭС построена по агрегатному принципу и содержит пять уровней [6]:

1-й уровень – анализ и оптимизация исходных данных, выбор критериев и ограничений для элементов ММкГЭС и сооружений ее инженерной защиты;

2-й уровень – построение ММ элементов ММкГЭС;

3-й уровень – однокритериальная оптимизация параметров ММкГЭС по одноцелевым функциям элементов ММкГЭС;

4-й уровень – многокритериальная оптимизация параметров ММкГЭС по многоцелевым функциям элементов ММкГЭС;

5-й уровень – окончательные расчёты выбранного сооружения (конструкции) и его элементов с применением разработанных методик расчёта.

На первом этапе задаются гидрологические, гидрогеологические и морфологические характеристики водного объекта; его расположение. При этом учитывают основные критерии и ограничения, применяемые для выбора компоновки и параметров сооружений (конструкций).

На втором этапе происходит выбор трассы ДВ и его компоновки, это производят двумя способами. Первый способ основан на проведении экспресс-расчёта с использованием аналитических зависимостей для выбора наиболее оптимальных сооружений. Второй способ предусматривает привлечение интеллектуальных экспертных систем для выбора элементов, при этом используют базу данных, сформированную на ПЭВМ и данные ИМ, которые постоянно дополняют её при принятии решений.

Окончательный выбор значений параметров какого-то определенного элемента сооружения возможен только после его параметрической оптимизации на 3-м и 4-м уровнях, поскольку данные, полученные при оптимизации его параметров, могут быть существенно отличны от результатов предварительного экспресс-расчёта.

Для выбора окончательного проектного решения на 4-м уровне оптимизации, обоснованного на предыдущих этапах, определяют параметры сооружения с применением программных модулей с учетом ИМ с использованием Ansys 15, Simulation Floworks (приложение SolidWorks), Plaxis. На этом уровне выполняют окончательный выбор технических решений нетиповых элементов ММкГЭС, подбор типовых и окончательный расчет параметров ММкГЭС [5–7].

На пятом уровне производят окончательный расчёт выбранного сооружения (конструкции) с учетом штрафных функций и выводом его параметров для конкретных условий установки. Для обеспечения мобильности, удобства эксплуатации, надёжности, простоты монтажа мобильные малые и микроГЭС целесообразно изготавливать в контейнерном исполнении в блок-модули (рис. 7).

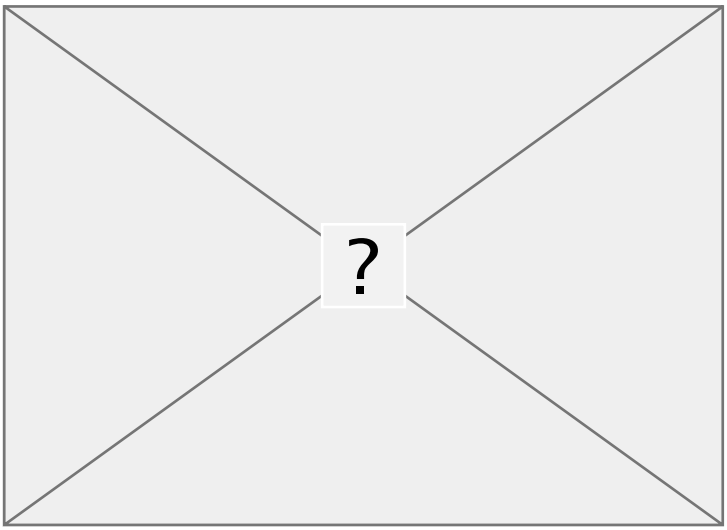


Рисунок 7. **Мобильная деривационная микроГЭС с тремя гидроагрегатами по 55 кВт**

В качестве основания могут быть использованы быстровозводимые винтовые сваи [9]. Благодаря габаритным размерам они удобны своей мобильностью и могут быть быстро перемещены на новое место без существенных затрат. Транспортировка может осуществляться водным, наземным и воздушным транспортом.

Применение конструкций малых и микроГЭС сезонного действия в условиях республики Якутия (Соха) позволит обеспечить развитие систем распределённой генерации за счёт использования потенциала малых водотоков, что снизит потребление органического топлива и себестоимость вырабатываемой электроэнергии.

ЛИТЕРАТУРА

1. О схеме и программе развития электроэнергетики Республики Саха (Якутия) на 2018–2022 годы. Введ. 23.04.2018.
2. Константинов А.Ф. Гидроэнергетические ресурсы Северо-Западной Якутии и некоторые пути их использования // Вестник ЯГУ, 2010. Т.7. № 2. С. 84–88.
3. Киушкина В.Р. Оптимизация локальной энергетики децентрализованных территорий северных регионов через укрепление позиций энергетической безопасности (на примере Республики Саха (Якутия)) // Интернет-журнал «Науковедение» Т. 9, № 6. 2017. https://naukovedenie.ru/vol9-6.php
4. Савельев В.А., Чудинова Л.Ю. Перспективы развития гидроэнергетики восточных районов России // Энергия: техника, экономика, экология. – 2009. № 7. С. 2–9.
5. Патент РФ 2667080 МПК E02B 9/02 Устройство составного мобильного деривационного водовода и способ его возведения / Патентообладатель ООО «Импульс»; авторы Кашарин Д.В., Кашарина Т.П.,

Валуйский К.П., Калмыков С.А., Плотникова В.А.; заявл. 02.1.2016.; опубл. 14.09.2018. Бюл. № 26.
6. Kasharin D.V. Using biopositive constructions made of composite materials in water and electricity supply for recreational facilities [Электронный ресурс]// В сборнике: 2017 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2017 - Proceedings 2017.
7. Кашарин Д.В. Оптимизационное моделирование мобильных микроГЭС и сооружений инженерной защиты из композитных материалов для условий малых горных рек // Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2016»: материалы IX Межд. научн.-практ. конф.; г. Ростов-на-Дону, 5 –7 октября 2016 г. / Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т. (НПИ) имени М.И. Платова. – Новочеркасск: Лик, 2016. С. 64–70.
8. Кашарин Д.В. Математическое моделирование и экспериментальные исследования нетиповых элементов мобильных деривационных МКГЭС и сооружений инженерной защиты // В сб.: Возобновляемая энергетика XXI век: Энергетическая и экономическая эффективность. REENCON-2015 Материалы Международного конгресса. 2015. С. 201–206.
9. Разработка технических решений и технологий возведения мобильных деривационных микроГЭС для сезонного водо- и энергообеспечения. Этап 5. Разработка рекомендаций и проекта технического задания по проектированию, строительству и эксплуатации мобильных деривационных микроГЭС Отчет о НИР (заключит.) / Руководитель Кашарина Т.П.; Кашарин Д.В., Годин М.А., Годин П.А., Валуйский К.П., Бессарабов С.Ю., Калмыков С.А., Плотникова В.А., Безуглов Р.В., Васильев Б.Н., Дирина Е.А. Шифр темы 2014–14–579–0005–029; Новочеркасск, 2016. 591с.

УДК 628.161: 627.221.2(282.247.36)**ТЕХНОЛОГИЯ БОРЬБЫ С ДРЕЙССЕНОЙ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВОДОЗАБОРА**

Н.И. Богданов
Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт Донского государственного аграрного университета, г. Новочеркасск, Россия
Е.Д. Хецуриани
Южно-Российский государственный политехнический университет имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия
Донской государственный технический университет. г. Ростов-на-Дону, Россия
Т.Е Хецуриани
Ростовский государственный медицинский университет, г. Ростов-на-Дону, Россия

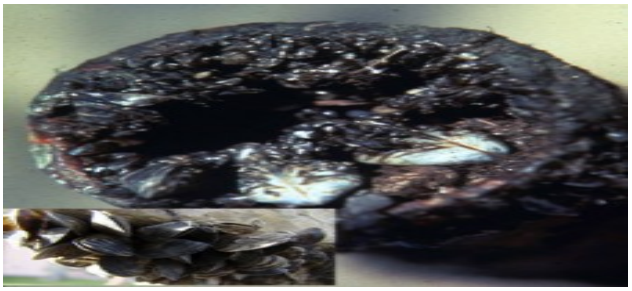
Статья посвящена инновационной технологии борьбы с дрейссеной и восстановлению производительности водозабора, с регенерацией водопроводных труб электрогидроударным (ЭГУРА-500) способом, который был опробован в экспериментальных условиях.

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

Размер личинки дрейсены составляет десятки микрон, что позволяет моллюску беспрепятственно проникать в системы водоснабжения через фильтры рыбозащитных устройств. Высокая численность личинок и комфортная среда обитания способствует быстрой колонизации поверхностей.

Развиваясь внутри систем водоснабжения, дрейссена значительно сужает диаметры трубопроводов, вплоть до их полного блокирования [1–3].

По информации на сайте www.usgs.gov, в США наибольшая плотность дрейссены (700'000 шт./м^2) была зафиксирована в системе водоснабжения электростанции в штате Мичиган. Диаметр трубопровода при этом был сокращен дрейссеной на 2/3 сечения (рис. 1).



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

грани

Последствия подобных внезапных блокирований каналов охлаждения непредсказуемы.

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



Рисунок 2. **Вентиль невозможно**

Обычно применяется только механическая очистка. Это крайне затратный метод, поскольку требуется остановка работы оборудования. Также во время механической очистки имеется риск повреждения элементов системы водоснабжения.

Масштаб затрат, в какие суммы ежегодно выливается борьба с дрейссеной, впечатляет. По оценкам экспертов конгресса США дополнительные затраты на техническое обслуживание для удаления дрейссены составили в 1993 – 99 гг. более 3 млрд. долларов. В среднем на защиту от биообрастаний 1 электростанции в США ежегодно расходуется 376 000 долларов, а для атомной станции – 822 000 долларов.

В процессе эксплуатации водозаборных сооружений происходит снижение производительности насосов, обрастание труб дрейссеной. Это процесс естественный и обусловлен кольматацией рыбозащитных устройств и прифильтровых зон отложением солей, в основном в результате химической и электрохимической коррозии. Обследование водоприёмных труб телекамерой подтверждает, что кольматация со временем приводит к полному зарастанию перфорации каркаса фильтра рыбозащитных устройств и является основной причиной снижения производительности водозабора в процессе эксплуатации (рис. 3 – 5).

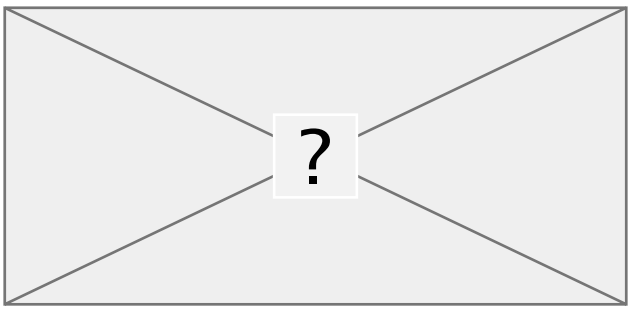


Рисунок 3. **Дрейссена заблокировала**

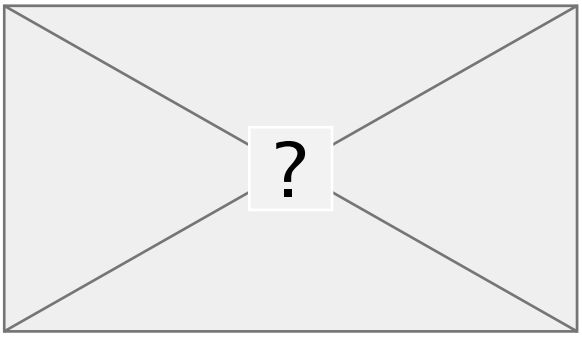


Рисунок 4. **Труба полностью блокирована моллюсками**

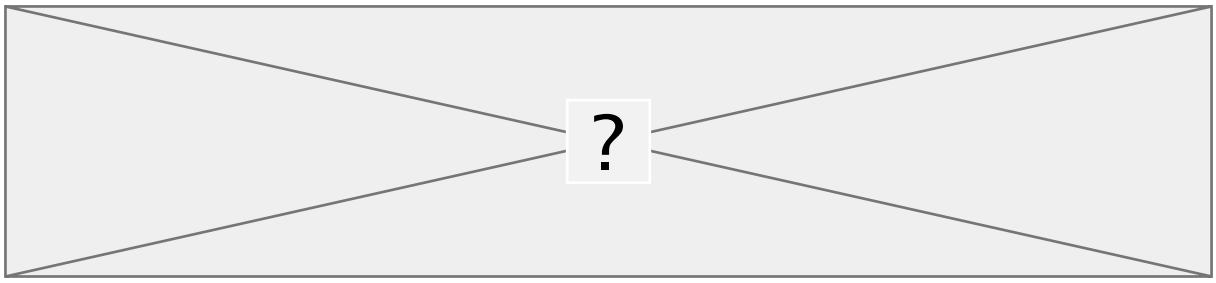


Рисунок 5. **Труба практически блокирована**

Эксплуатация водозаборных сооружений с низкой производительностью, вызванной кольматацией фильтров рыбозащитных устройств и всасывающих труб дрейссеной – нерентабельна.

Рекомендуем регенерацию фильтров рыбозащитных устройств и всасывающих труб проводить электрогидроударным (ЭГУРА-500) способом. Если в воде на электроды анод-катод подать несколько тысяч вольт, то под действием большого напряжения между электродами образуются светящиеся каналы – стримеры (молния в воде).

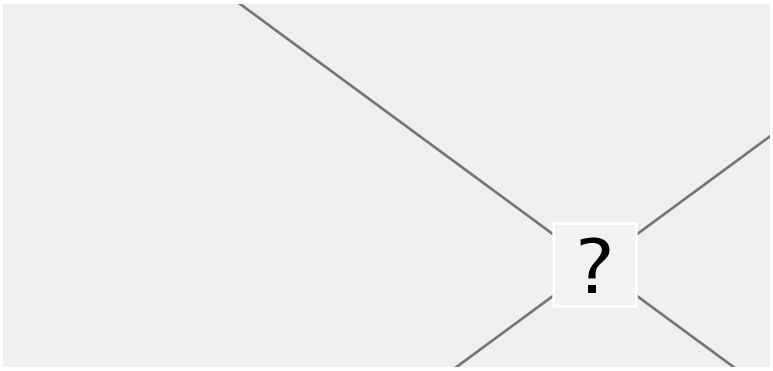


Рисунок 6. **Физический смысл ЭГУ способа декальматации фильтр:**
1 – анод; 2 – катод; 3 – ударная волна

Если один из стримеров достигнет катода, то образуется разрядный канал, по которому проходит мощный поток электродов и жидкость в этом канале превращается в плазму с температурой до 20 000 °С.

Под действием этого давления разрядный канал, быстро расширяясь, сжимает прилегающие слои воды, образуя ударную волну, следовательно, разрушает кольматант на фильтре и всасывающей трубе.

Агрегат ЭГУРА-500 смонтирован на автомобиле КамАЗ и предназначен для выполнения комплекса работ при регенерации водозаборных труб глубиной до 100 м.

ВЫВОДЫ

Предлагаемая технология борьбы с обрастанием на водоводах дрейссены с помощью электрогидроударного способа позволит восстановить производительность водозабора до проектной мощности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бондаренко В.Л., Семенова Е.А, Алиферов А.В., Клименко О.В. Природно-технические системы в использовании водных ресурсов: территории бассейнов геосистем: монография Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ), 2016. 204 с.
2. Хецуриани Е.Д., Костюков В.П., Угроватова Е.Г. Гидрологические исследования на реке Дон Александровских ОСВ. Водозаборные сооружения // Procedia техники. Т. 150: 2-я Межд. научн.-техн. конф. «Пром-Инжиниринг», Челябинск, 19–20 мая 2016 г. ICIE: 2016. С. 2358–2363.
3. Вдовин Ю.И., Лушкин И.А., Халиков Р.К., Хецуриани Е.Д. Водозаборы из поверхностных источников: состояние, проблемы, тенденции совершенствования. / Вестник СГАСУ. Строительство и архитектура. – 2011. – Вып. 2. С. 55–61.

УДК 628.35

ИНСТРУМЕНТАЛЬНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ ПОДАЧИ-РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДЫ

В.С. Рожков, Л.Г. Зайченко
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, г. Макеевка, Украина
Д.В. Нездойминов
ПУ ВКХ КП «Компания «Вода Донбасса», г. Макеевка, Украина

Представлены основные принципы и методы практической реализации инструментально-аналитического подхода к эксплуатации систем подачи-распределения воды населенных пунктов на примере г. Макеевка. Для реализации инструментально-аналитического подхода необходима компиляция натурных измерений и автоматизированных гидравлических расчетов систем водоснабжения.

Функционирование систем подачи-распределения воды в современных условиях и при нынешнем уровне развития вычислительной техники рационально и весьма эффективно сопровождать гидравлическим моделированием с помощью программно-расчетных способов. [1–2] В то же время, очевидна необходимость правильной калибровки гидравлических моделей для работающих сетей, что достижимо только инструментальными методами измерения гидравлических параметров системы подачи-распределения воды (СПРВ).

Общепринято разделение СПРВ на насосные станции и водопроводные сети. [2–3]. Системы подачи воды имеют в настоящее время ряд аналитических решений, которые весьма эффективно взаимодействуют с современными автоматизированными системами управления насосными агрегатами. [3–4]. В то же время системы распределения воды калибруются с помощью приборов измерения давления [1], чего для адекватной калибровки не достаточно.

Отсюда возникает необходимость в разработке инструментально-аналитического подхода к моделированию действующих систем водоснабжения населенных пунктов, который позволит получить более точные и адекватные модели систем подачи-распределения воды, что являлось задачей данной работы.

Основой любой модели сетей водоснабжения является система уравнений, связывающая расходы на участках сети и напоры в узловых точках (либо потери напора на участках) с учетом отметок поверхности земли.

Как было верно указано [1], работы по моделированию действующих систем начинаются с *паспортизации сети*. К таковым данным в рамках инструментально-аналитического подхода относятся:

1. Генплан участка, на котором указано/можно определить:
   1.1.трассу основных трубопроводов;
   1.2.длину трубопроводов;
   1.3.диаметры трубопроводов с материалом труб;
   1.4.отметки земли узловых колодцев;
   1.5.этажность зданий;
   1.6.точки подключения предприятий.
2. Данные о потребителе:
   2.1.количество жителей по каждой категории (корреляция с п. 1.5);
   2.2.удельная норма для каждой категории;
   2.3.данные о предприятиях (расходы, режим работы).
3. Данные о насосной станции:
   3.1.схема подключения насосов;
   3.2.характеристики насосов;
   3.3.существующий режим работы насосов.

Перечисленные данные, по сути, и представляют собой основные вопросы паспортизации сети водоснабжения.

Следующим этапом реализации подхода является *создание математической (гидравлической) модели* сети. Для этого существует ряд специализированных программ, наиболее удачной из которых авторы считают американский программный комплекс Epanet [5], как в силу дружественного интерфейса, так и его доступности (распространяется бесплатно).

В качестве пилотного проекта для апробации основных положений предлагаемого подхода был выбран один из районов г. Макеевка (пос. Бажанова, пос. СВЧ). Для этого района, питающегося от одной насосной станции, была проведена паспортизация сети силами специалистов Макеевского ПУ ВКХ КП «Компания «Вода Донбасса» и создана расчетная модель сотрудниками ГОУ ВПО «ДонНАСА» (рис. 1).

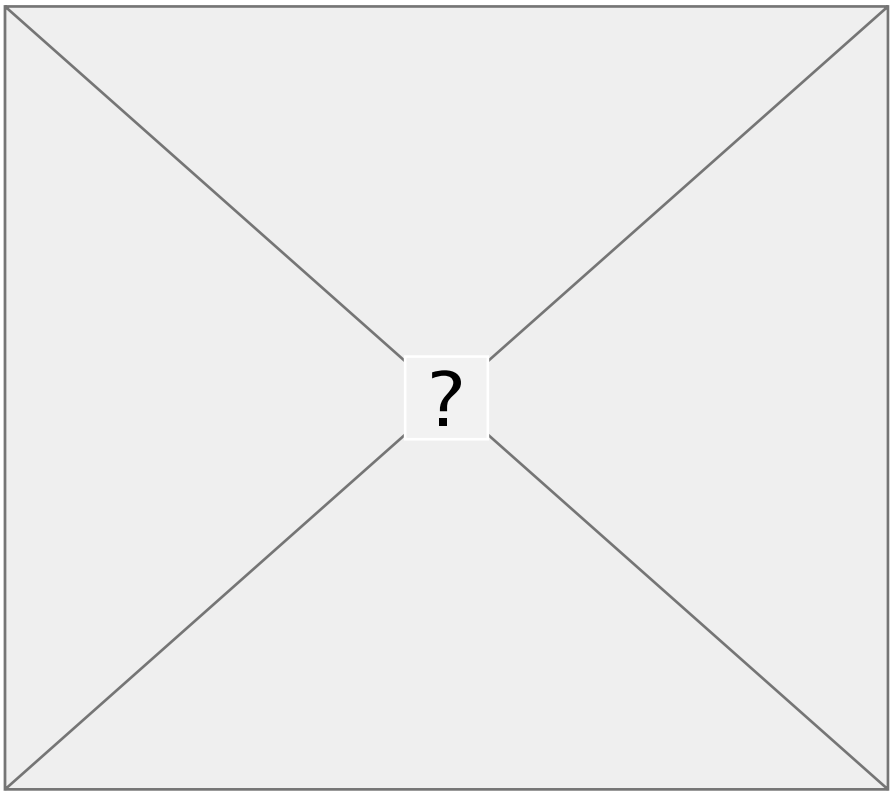


Рисунок 1. **Элемент расчетной модели СПРВ в среде Epanet**

Следующим этапом работ стала *калибровка модели*. Для калибровки использовалось оборудование:

- манометры технические в кол-ве 10 шт.;
- ультразвуковой расходомер Streamlux SLS-700P – 2 шт.;
- портативный течеискатель Успех АТ-407Н – 1 шт.

Манометры и расходомеры позволили оперативно и не инвазивно провести замеры и расходов, и напоров в различных точках сети при имеющихся стационарных приборах на насосной станции, что позволило с достаточно высокой точностью провести калибровку системы.

В случае значительной разницы расходов в начале и конце участка, применялся портативный течеискатель для исключения порыва и соответственно искажения результатов измерения.

Важно отметить, что такой подход позволяет «вычислить» в том числе и неработающую запорную арматуру замером расхода перед «закрытой» задвижкой либо после нее.

В результате моделирования получен массив данных, которые удобно визуализировать в качестве динамических графиков изменения различных параметров для различных элементов. На рисунке 2 приведен один из таких графиков – изменение расхода на участке сети во времени.

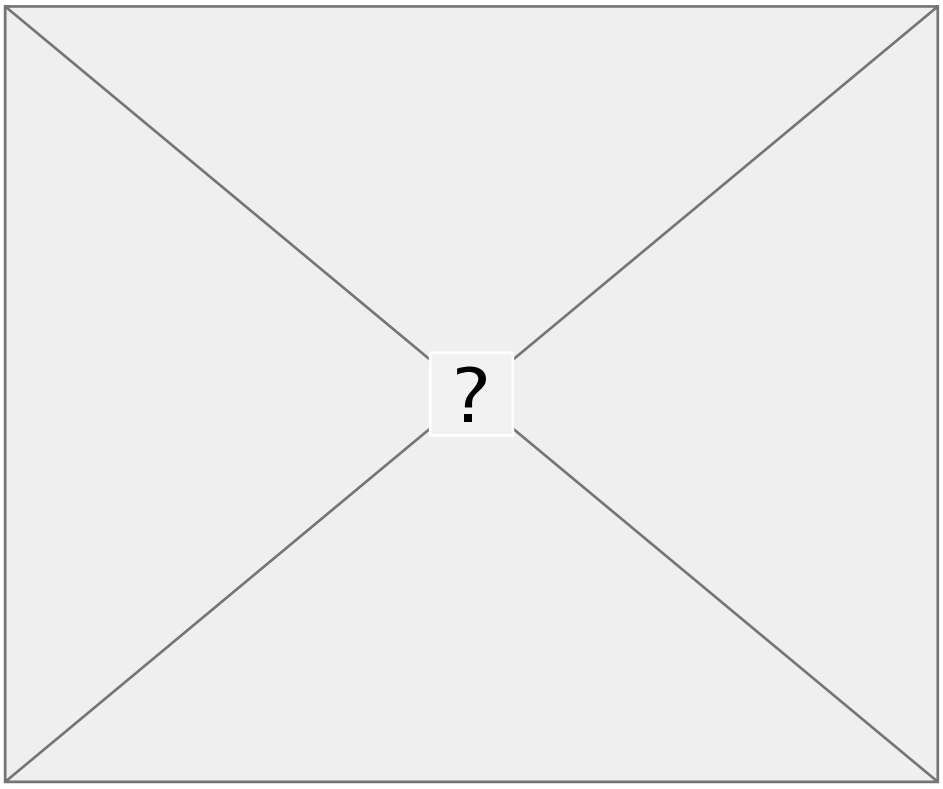


Рисунок 2. **Динамический график изменения расхода на участке сети**

Реализация инструментально-аналитического подхода к эксплуатации СПРВ в результате позволила:

1. Выявить скрытые утечки на участках сети, применяя течеискатель «точечно», что значительно сократило трудозатраты на данную процедуру.
2. Выявить неисправную арматуру в сети водоснабжения.
3. Обозначить не только точки регулировки сети (с повышенным давлением), но и указать точное значение дифференциала давления при установке регулирующей арматуры, а также спрогнозировать все последующие изменения в гидравлике сети.
4. Создать модель, которая позволит и далее эксплуатировать данную систему не «на ощупь», а опираясь на однозначные математические зависимости.

Следует отметить, что по мере замены участков труб, и по истечению некоторого времени (2 – 3 года) система потребует дополнительной калибровки, что будет проводиться уже гораздо быстрее с учетом близких эксплуатационных данных.

На системе подачи-распределения воды пос. Бажанова-СВЧ города Макеевки производительностью 2 400 м^3/сут. достигнута экономическая эффективность 650 000 руб/год. при стоимости мероприятий порядка 150 000 руб.

ВЫВОДЫ

1. Калибровка моделей систем подачи-распределения воды является наиболее адекватной только при инструментальном определении всех искомых параметров в уравнениях гидравлики сети: это расход и потери напора на участках сети.
2. Инструментально-аналитический подход позволяет с высокой точностью указать недостатки действующей СПРВ и выполнить прогноз на будущие изменения в работе системы, конечной целью чего является повышение экономической эффективности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Елин Н.Н., Корюкина Т.В. Оптимизация систем подачи и распределения воды с периодически работающими насосными станциями // Информационная среда вуза, № 1 (23), Иваново, 2016. С. 412–416.
2. Егорова Ю.А. и др. Применение программно-расчетных комплексов при поиске неучтенных потерь в системах подачи и распределения воды //Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительные технологии. 2016. С. 166–170.
3. Карамбиров С.Н., Манукьян Д.А., Бекишева Л.Б. Имитационная оптимизация инженерных сетей // Российская сельскохозяйственная наука. 2013. №. 1. С. 61–63.
4. Рожков В.С., Заворотный Д.В. Энергоэффективные решения в системах подачи и распределения воды // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры №5. 2014. С. 36–39.
5. Epanet. Application for Modeling Drinking Water Distribution Systems// [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.epa.gov/water-research/epanet#downloads, – дата обращения 20.10.2018.

УДК 628.161: 627.221.2 (282.247.36)

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ ИЗ ПОВЕРХНОСТНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Е.Д. Хецуриани
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И.Платова, г. Новочеркасск, Россия
Донской государственный технический университет, г. Ростов на Дону, Россия
В.Л. Бондаренко
Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт Донского государственного аграрного университета, г. Новочеркасск, Россия
Т.Е Хецуриани
Ростовский государственный медицинский университет, г. Ростов-на-Дону, Россия

На основе результатов многолетних исследований, касающихся вопросов по обеспечению экологической безопасности в зонах влияния действующих водозаборных технологических комплексов (ВТК) в составе специализированного типа природно-технических систем, научно обоснованы критериальные показатели, на основании которых производится оценка уровня защищенности природной водной среды и системы многоцелевого водоснабжения от негативного воздействия «ВТК» на водный объект, как источник водоснабжения. Сформулировано понятие экологической безопасности «ВТК» в составе действующих и создаваемых ПТС «ПВС-ВТК-СМВ».

ВТК, включающий в себя водозаборный ковш с комплексом гидротехнических сооружений (КГТС) и защитных конструктивных устройств, в составе действующих и создаваемых специализируемого типа природно-технических систем (ПТС) «Природная водная среда – Водозаборный технологический комплекс – Система многоцелевого водоснабжения» («ПВС-ВТК-СМВ») является многоцелевым техногенным компонентом, обеспечивающим отбор расчетных расходов воды из водного объекта, именуемого в дальнейшем как «ПВС», с обеспечением нормативных требований экологической безопасности (ЭБ) в создаваемых зонах влияния рассматриваемого «ВТК» [1–2]. Зоны влияния «ВТК» определяются на основе результатов комплексных исследований, в «СМВ» – нормативными показателями для питьевого водоснабжения проживаемого населения, а для технического водоснабжения промышленных предприятий – соответствующими показателями.

Исследованиями установлено, что системная взаимосвязь, взаимодействие и взаимоотношения (ВВВ) «ВТК» с природным компонентом «ПВС» в зонах влияния на водном объекте и «СМВ» в составе ПТС «ПВС-ВТК-СМВ» определяют собой многоцелевую

функциональность его по обеспечению ЭБ по следующим критериальным показателям:

- защита водозаборного ковша от попадания молоди рыб, дрейсены и водной растительности поступающих из водного объекта при отборе расчетных расходов воды;
- защита водозаборного ковша от поступления взвешенных и донных наносов, поступающих из водного объекта как водоисточника «СМВ»;

1. защита водозаборного ковша от поступления шуги и плавающих предметов, поступающих из водного объекта;

- защита акватории водозаборного ковша от процессов возникновения и развития цианобактерий (сине-зеленых водорослей), как источника токсичного загрязнения воды, поступающей на очистные сооружения технологической системы подготовки воды для использования в «СМВ» городского хозяйства;
- защита технологической системы отбора воды из акватории ковша на отстойные сооружения «СМВ» от негативного воздействия дрейсены на пропускную способность водопроводящих трубопроводов;
- защита водозаборного сооружения от ледостава на водном объекте;

1. оценка воздействия «ВТК» на руслоформирующие процессы в зонах его влияния на водном объекте.

В зонах влияния «ВТК» ЭБ определяется количественными и качественными критериальными показателями, на основании которых производится оценка уровня защищенности «ПВС» и «СМВ» от негативного воздействия техногенного компонента. По функциональной значимости критериальные показатели, как установлено исследованиями, обуславливаются определенной иерархичностью и количественно выражаются процентным отношением к желаемому нормативно-допустимому значению уровня ЭБ в зонах влияния «ВТК». [3–4].

На основе результатов исследований на действующих «ВТК» на нижнем течении р. Дон определены базовые критериальные показатели в следующей иерархической последовательности:

– критериальный показатель уровня защищенности по сохранению природного биоразнообразия ихтиофауны и флоры ($П_{и.ф.}$) (молоди рыб и водной растительности) в «ПВС», который должен составлять не менее 70 – 80 %;

– критериальный показатель уровня защищенности акватории водозаборного ковша от шуги и плавающих предметов ($П_{ш.п.}$), поступающих из водного объекта, количественно должен составлять не менее 70 – 80 %;

– критериальный показатель уровня защищенности акватории водозаборного ковша от донных и взвешенных наносов ($П_{д.в.н.}$),

поступающих из водного объекта, количественно должен составлять соответственно 90 – 95 % и 70 – 80 %;

– критериальный показатель защиты акватории водозаборного ковша от сине-зеленых водорослей ($П_{с.з.в.}$) по требованиям СанПиНа должен составлять не менее 95 – 97 %;

– критериальный показатель защиты технологической системы водоподготовки от дрейсены ($П_{др.}$) напорных трубопроводов, который должен составлять не менее 90 – 95 %;

– критериальный показатель защиты «ВТК» от ледостава ($П_{л.}$), который должен составлять не менее 98 %;

– критериальный показатель воздействия «ВТК» на руслоформирующие процессы в зоне влияния ($П_{р.п.}$), который определяется качественно на физических моделях в масштабе не менее 1 : 100.

Каждый критериальный показатель определяется количественно или качественно, что требует индивидуальных исследований по каждому показателю связанных с разработкой новых или совершенствованию существующих конструктивных решений с проведением специальных биологических, гидрохимических исследований водной ихтиофауны и растительности.

Рассматривая «ВТК» как открытую неравновесную систему, в которой взаимосвязаны между собой составляющие его функциональные элементы от создаваемого водозаборного окна (рис.) до комплекса отстойных сооружений, обеспечивающую ЭБ и необходимые технологические условия водоподготовки для «СМВ» городского хозяйства. Следует отметить, что в такой постановке задача является весьма сложной, но требующей своего решения. Используя системный подход на основе полученных результатов системного анализа процессов ВВВ между составляющими функциональными элементами «ВТК» было установлено, что для обеспечения защиты водозаборного ковша от попадания молоди рыб, донных и взвешенных наносов, водной растительности и шуги, поступающей из водного объекта, необходимы принципиально новые конструктивные решения с использованием отечественного опыта в решении подобных задач.

Анализ имеющегося отечественного опыта создания и использования новых конструктивных решений с использованием высокопрочных синтетических тканевых материалов показал высокую эффективность защиты молоди рыб от попадания в аванкамеры водозаборных сооружений производительностью до 200 м^3/с систем технического водоснабжения ТЭС, АЭС, а также водозаборных сооружений производительностью до 50 м^3/с оросительных систем [4–5]. Для решаемых задач по обеспечению ЭБ на действующих и создаваемых новых «ВТК» в составе ПТС «ПВС-ВТК-СМВ» отечественный опит использования мягких наплавных конструкций

(МНК), в выполняемых из высокопрочных синтетических тканевых материалов, может в полной мере быт использован для «ВТК», в которых производительность водозаборных сооружений составляет не более 10 м^3/с.

МНК устанавливается перед водозаборным сооружением (рис.) и представляет собой систему поверхностных поплавков, к которым крепится вертикальное тканевое полотнище расчетного периметра, нижняя кромка которого крепится к донным якорным устройствам через систему заглубленных поплавков, обеспечивает расчетную высоту водозаборного окна постоянного размера и соответственно экологически приемлемую расчетную скорость водного потока (V = 0,1 м/с), обеспечивающего снижение попадания поверхностных видов молоди рыб в систему использования водных ресурсов в технологических системах.

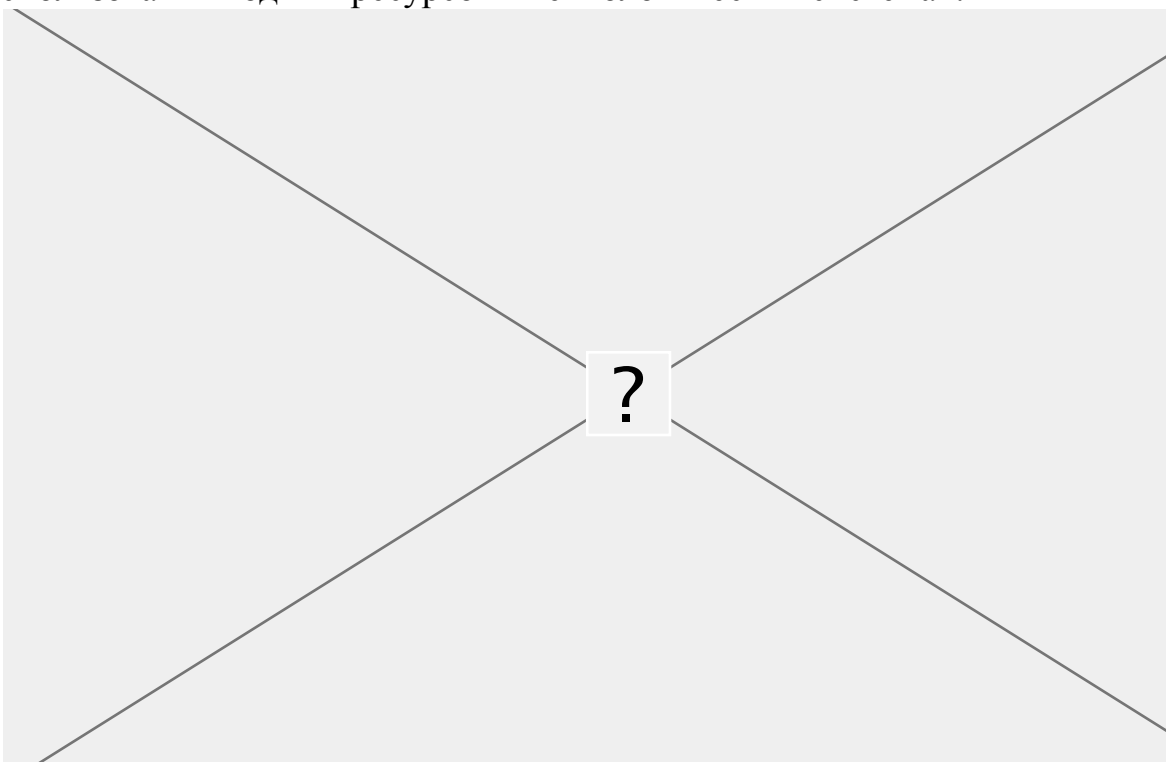


Рисунок. **Конструктивная схема МНК-В и МНК-Д в голове водозаборного ковша**

Для защиты от попадания донных видов рыб, дрейсены, водной растительности, донных наносов, перед водозаборным окном устанавливается МНК-Д в виде донного порога, нижняя кромка которого крепится к якорным устройствам, а верхняя кромка к системе заглубленных поплавков, которые в свою очередь через систему гибких оттяжек крепятся к якорным устройствам (рис.). Для защиты молоди рыб, дрейсены, водной растительности, взвешенных наносов, шуги и плавающих предметов, находящихся в толще и на поверхности воды, устанавливается МНК-Д в виде мягких наплавных конструкций

закрепленных на поплавки с якорными устройствами.

ВЫВОДЫ

1. Функциональное взаимодействие МНК-В и МНК-Д между собой и водной средой водного объекта обеспечивает решение ряда защитных задач, из которых наиболее важными являются – защита от попадания в водозаборный ковш молоди рыб, дрейсены, водной растительности, донных и взвешенных наносов, шуги и плавающих предметов.
2. На основе системного анализа и синтеза полученных результатов исследований процессов ВВВ конструктивных элементов «ВТК» с «ПВС» и «СМВ» были обоснованы их критериальные показатели ЭБ, на основе которых сформулировано базовое понятие ЭБ «ВТК» в составе специализированного типа ПТС «ПВС-ВТК-СМВ»: – «экологическая безопасность в пространстве и времени в зонах влияния «ВТК» в составе специализированного типа ПТС «ПВС-ВТК-СМВ», которая определяется уровнем защищенности «ПВС» водного объекта по сохранению в нем естественного биоразнообразия ихтиофауны и флоры, а «СМВ» – от токсичных микроорганизмов и процессов развития дрейсены в трубопроводах».

ЛИТЕРАТУРА

1. Бондаренко В.Л., Семенова Е.А, Алиферов А.В., Клименко О.В. Природно-технические системы в использовании водных ресурсов: территории бассейнов геосистем: монография Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ), 2016. 204 с.
2. Хецуриани Е.Д, Фесенко Л.Н., Костюков В.П., Хецуриани Т.Е. Получение уравнения регрессии и оценка их адекватности для анализа данных полевых исследований. // (Норвежский журнал развития международной науки.) - Т. 2. 2017. № 9. С. 69–72.
3. Хецуриани Е.Д., Костюков В.П., Угроватова Е.Г. Гидрологические исследования на реке Дон Александровских ОСВ. Водозаборные сооружения // Procedia техники. Т. 150: 2-я Межд. научн.-техн. конф. «Пром-Инжиниринг», Челябинск, 19–20 мая 2016 г. ICIE: 2016. С. 2358–2363.
4. Бондаренко В.Л., Скибин Г.М., Азаров В.Н., Семенова Е.А., Приволенко В.В., Экологическая безопасность в природообустройстве, водопользовании и строительстве: оценка экологического состояния бассейновых геосистем; монография: ЮРГТУ (НПИ) им. Платова – Новочеркасск: 2016. 416 с.
5. Природообустройство: территории бассейновых геосистем. Учебное пособие / Под ред. И.С. Румянцева. Ростов-на-Дону: Март, 2010. 528 с.

УДК 628.147

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ВОДОВОДОВ В ПЕРЕСЕЧЕННОЙ МЕСТНОСТИ С БОЛЬШИМ ПЕРЕПАДОМ ВЫСОТ

О.А. Продоус
ООО «ИНКО-инжиниринг», г. Санкт-Петербург, Россия
А.А. Шипилов
ООО «СпецСтройПроект», г. Санкт-Петербург, Россия
Б.А. Джанбеков
ООО «Водовод-энерго», г. Карачаевск, Россия
Я.И. Бляшко
ЗАО «МНТО ИНСЭТ», г. Санкт-Петербург, Россия
А.А. Мурлин
ООО «ИНКОНСТРОЙ», г. Санкт-Петербург, Россия
В.В. Иващенко
ООО «Аква-ИКС», г. Санкт-Петербург, Россия

На конкретном примере рассмотрены особенности проектирования, строительства и эксплуатации магистрального водовода большой протяженности с большим перепадом высот. Выделены особенности, которые всегда необходимо учитывать при проектировании магистральных водоводов в разных регионах страны. Показана энергетическая эффективность использования разгрузочных емкостей на трассе, в которых устанавливаются гидроагрегаты, вырабатывающие электрическую энергию в процессе эксплуатации водовода.

Приведем все особенности для каждого этапа раздельно: при проектировании, строительстве и эксплуатации.

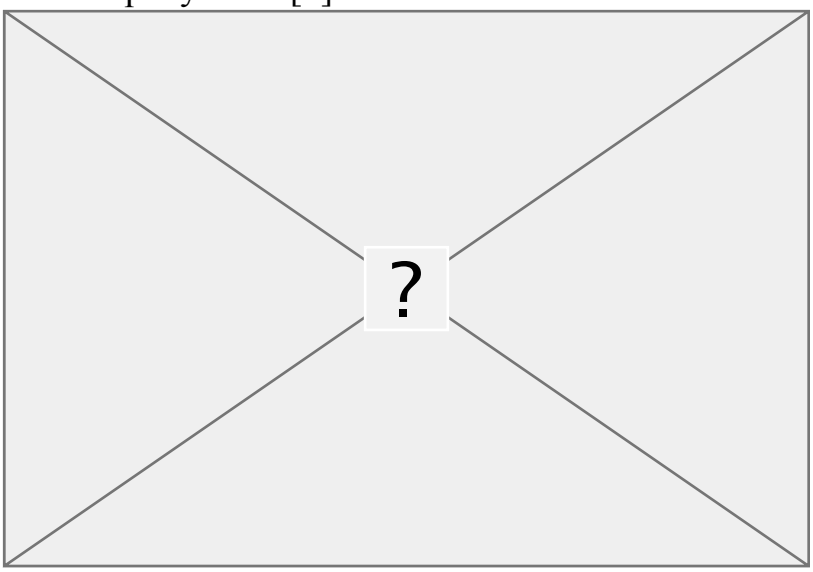
Магистральный водовод – это инженерная система для перемещения требуемого объема воды питьевого качества от места ее приготовления (добычи или от очистных сооружений) до места отвода к потребителю (ям).

По способу прокладки водоводы подразделяют на: наземные и подземные.

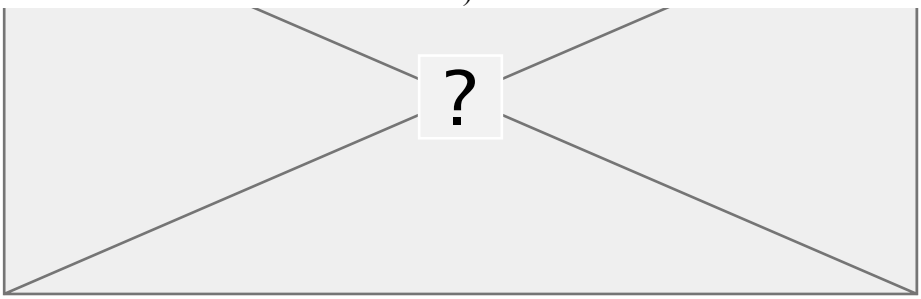
Для приведенных условий рассматриваемого примера с учетом рельефа местности (перепада высот), структуры грунтов, характеристик сейсмичности и других факторов предпочтение имеют наземные способы прокладки магистральных водоводов, обеспечивающие минимальные строительные затраты при эффективных гидравлических характеристиках водовода [1].

Рассмотрим особенности проектирования строительства и

эксплуатации магистрального водовода большой протяженности с большим перепадом высот на примере самотечно-напорного «Тебердинского магистрального группового водопровода», представленного на рисунке 1 [2].



а)



б)

Рисунок 1. **Высотная схема (а) и план трассы самотечно-напорного водовода (б):** а): L – длины участков трассы водовода км; I, А, Б, В, Г, Д – разгрузочные ёмкости; общий перепад высот – 800 м; средний уклон – 0,008; максимальный уклон – 0,02; б): 1 – водозаборные скважины; 2 – магистральные водоводы; 3 – сборный резервуар; 4 – гидрогенераторы; 5 – промежуточный резервуар с гидрогенераторами; 6 – накопительный резервуар запаса воды на розлив

Для строительства группового водопровода диаметром 600 мм и протяженностью в 100 км доказана экономическая и гидравлическая эффективность использования раструбных труб из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом ВЧШГ с полиуретановым внутренним и наружным покрытием [2–3, 5].

Источником водоснабжения водовода являются подземные артезианские воды. Водовод состоит из двух магистральных линий 2, на которых смонтированы сборные резервуары 3 с установленными на обводных трубопроводах гидрогенераторами 4 для выработки движущимся потоком воды электрической энергии в процессе эксплуатации водовода. Конечной точкой трассы является накопительный резервуар для розлива

воды и ее последующей реализации. Из водозаборных скважин вода подаётся в сборные резервуары 3, из которых самотеком перетекает в промежуточные резервуары 5 и далее в самотечно-напорном режиме транспортируется по водоводу в накопительный резервуар 6. По длине водовода, с целью снижения давления в трубах, предусмотрены разгрузочные резервуары 5, в которых установлены гидрогенераторы 4 [2].

Целью разработки данного проекта является решение четырех основных задач, обеспечивающих надежность и бесперебойность работы водовода с эффективными техническими и эксплуатационными характеристиками в период всего срока его эксплуатации:

- использование различных схемных решений прокладки трассы водовода в зависимости от местных условий, представлено на рисунках 2–4.

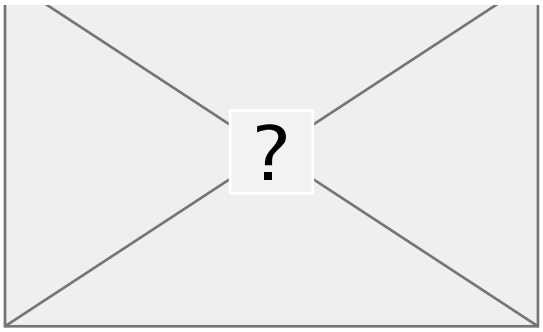


Рисунок 2. **Наземная прокладка водовода с обваловкой разработанным грунтом**

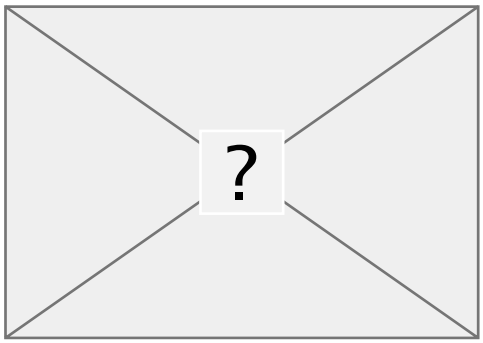


Рисунок 3. **Монтаж водовода на эстакадах или стойках**

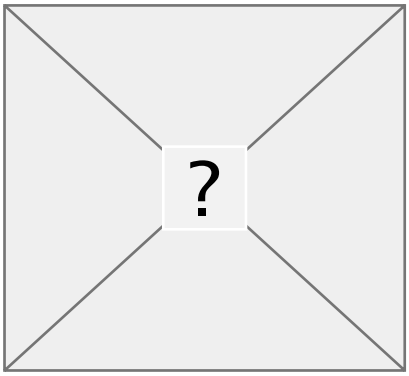


Рисунок 4. **Монтаж водовода в подпорных стенах:**

1 – магистральные водоводы в тепловой изоляции; 2 – дренажный трубопровод;
3 – кабель – канал; 4 – обваловка разработанным грунтом, щебнем или галькой;
5 – подпорная стена

- использование новейших трубных материалов, имеющих эффективные гидравлические и строительные характеристики, показано на рисунке 5 [5];

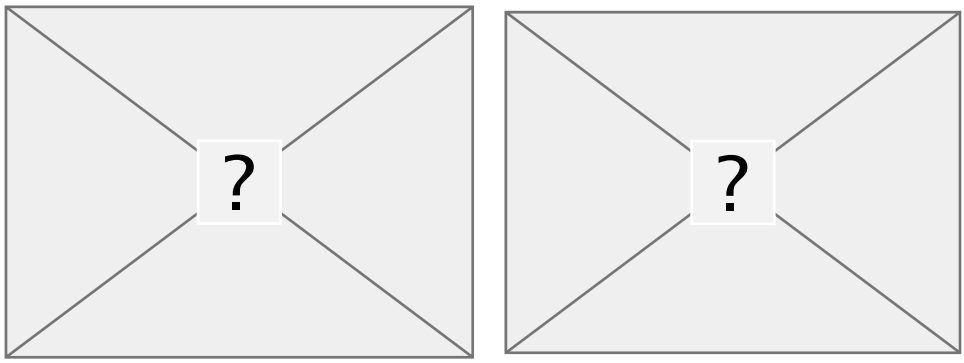


Рисунок 5. **Высокопрочные сейсмостойкие чугунные трубы с полиуретановым покрытием**

- управление скоростными режимами транспортирования потока воды по водоводу [3];
- использование специальных устройств для гашения энергии потока (скоростей) представлено на рисунке 6 [4].

Большой уклон рельефа местности (более 0,008) способствует возникновению высоких скоростей и давлений в процессе эксплуатации водовода. Это вызывает, как особенность, необходимость использования специальных гасителей энергии для возможности управления скоростью потока и снижения давления в водоводе до безопасной величины для материала труб и установленного оборудования [4].

На трассе водовода с постоянным уклоном 6 – 8 м/км создаются естественные условия для выработки электрической энергии с помощью установленных по ходу движения потока перед разгрузочными емкостями специальных гидрогенераторов (турбин), рисунок 6 [2].

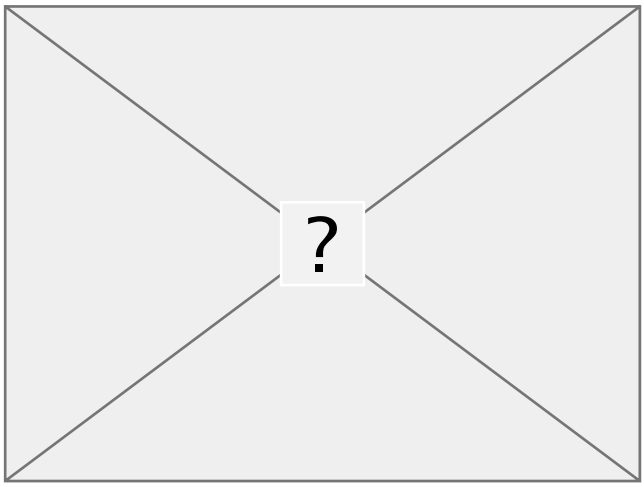
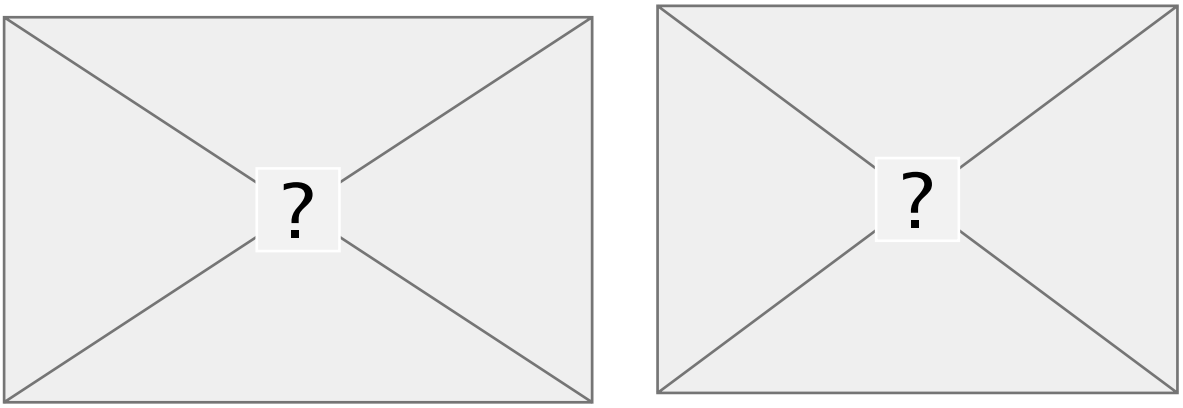


Рисунок 6. **Гидрогенерирующая установка**

Приведенная информация по рассматриваемому магистральному водоводу позволяет выделить следующие основные особенности, которые необходимо учитывать при проектировании подобных объектов:

- схемы трассирования водовода с разгрузочными емкостями;
- способы наземной прокладки водовода с обваловкой выбранным грунтом;
- высокопрочный материал труб из ВЧШГ с полиуретановым покрытием с сейсмостойким стыковым соединением;
- сборные конструкции разгрузочных емкостей из полимерных материалов;
- особенность размещения технологического оборудования водовода (гидрогенераторов, фильтров-поглотителей, устройств для дезинфекции, средств автоматического управления водоводом) в сухом отделении разгрузочного резервуара капсульного типа (рис. 7).



а) б)

Рисунок 7. **Технологические сооружения водовода в блок-модуле капсульного типа:**

а) сборный резервуар из полимерных материалов; б) средства автоматического управления водоводом и фильтры-поглотители

На продолжительность строительства данного магистрального водовода влияют следующие основные характеристики [6]:

– вид материала труб для водовода;

– условия трассы водовода для использования строительной техники (бульдозеров, экскаваторов, трубоукладчиков);

– наличие автодорог, линий энергосбережения, источников питьевой воды, условий для комфортного проживания строительных бригад;

– геологические и геодезические характеристики трассы водовода;

– сложности местных условий для производства строительно-монтажных работ на трассе водовода;

– уровень грунтовых вод на трассе;

– вид технологии сборки труб в магистраль;

– вид способа прокладки водовода (наземный или подземный);

– сроки поставки на трассу труб, арматуры и других элементов согласно разработанному проекту и др.

Сложные природные условия трассы водовода также влияют на темпы строительства. Поэтому обоснованно выбранный материал труб – ВЧШГ с полиуретановым покрытием обеспечивает сборку в смену 210 п.м труб диаметром 600 мм. Общий срок строительства двух ниток водовода составит ориентировочно 1,8 – 2 года [6].

Особенностью строительства водовода в таких условиях является его поверхностная прокладка с обваловкой разработанным грунтом (рис. 2), обеспечивающая минимизацию затрат на проведение строительно-монтажных работ при сборке водовода с использованием комбинированной схемы прокладки [1].

Эксплуатация водовода с такой высотной схемой задача крайне сложная, зависящая от следующих трех характерных режимов работы водовода:

I-й режим – заполнение водовода водой из источника для его запуска в эксплуатацию;

II-й режим – эксплуатация водовода согласно расчетным характеристикам по расходу, скорости потока и потерям напора по длине (табл. 1);

III-й режим – опорожнение участков водовода для сервисного обслуживания и проведения ремонтных работ.

Технические характеристики участков водовода и гидравлический потенциал труб приведены в таблице.

Таблица. **Технические характеристики участков водовода и гидравлический потенциал труб**

Наи		Дл ин		Вну	Гидравлический потенциал труб*

мен ование участков трассы	Уклон труб на участке, % / 100 м	а участков водовода, км	Вид материала труб	тренний диаметр $d_{вн}$, мм	расход, q, м^3/с	скорость, V, м/с	удельные потери напора 1000i, мм/м
I - А	0,018 (0,18%)	11,0	ВЧШГ с полиуретановым внутренним покрытием	618,6	0,70	2,33	5,08
А - Б	0,009 (0,09%)	22,0	----“----	618,6	0,70	2,33	5,08
Б - В	0,011 (0,11%)	13,0	----“----	618,6	0,70	2,33	5,08
В - Г	0,008 (0,08%)	26,0	----“----	618,6	0,70	2,33	5,08
Г - Д	0,002 (0,02%)	28,0	----“----	618,6	0,70	2,33	5,08

Примечание: *– гидравлический потенциал труб определен для условий при температуре жидкости t = 10˚С [7].

Заполнение каждой нитки водовода водой производится за счет переключения запорной арматуры на перемычках между двумя нитками (рис. 8).

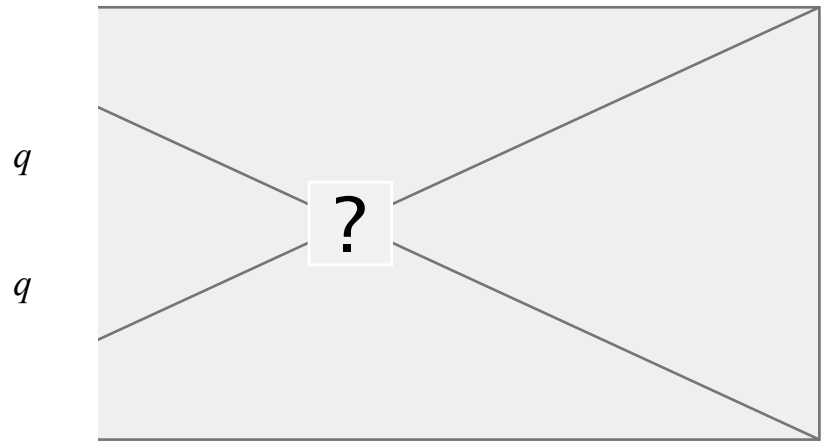
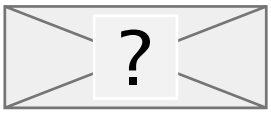
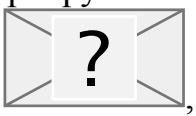


Рисунок 8. **Схема размещения запорной арматуры на перемычках**:
1 – задвижки фланцевые с обрезиненным клином; 2 – вантузы; 3 - выпуски;
4 – магистральный водовод; 5 – перемычка

При заполнении водовода водой воздух вытесняется через установленные на каждой нитке вантузы 2 (рис. 8).

При отсутствии воздушных скоплений в водоводе скорость потока воды рассчитывается по формуле (табл.):

 м/с

где: q – расход транспортируемого потока воды, м^3/с; W – площадь живого сечения трубопровода  , м^2; $d_{вн}$ – внутренний диаметр труб, м.

Расчеты показывают, что при наличии воздушных скоплений в водоводе возможно расчетное уменьшение транспортируемого расхода на величину 0,3 %, которым при практических расчетах можно пренебречь [8].

Эксплуатационной особенностью рассмотренного водовода является необходимость обязательного проведения расчетов возможных скоплений воздуха в потоке с целью определения точек для его удаления из водовода.

Таким образом, необходимо обязательно учитывать при проектировании водоводов, следующие особенности:

схема трассирования, способ прокладки и вид материала труб, конструкция разгрузочных емкостей и особенность размещения технологического оборудования на водоводе.

При строительстве водоводов – аналогично учитываются:

- условия трассы водоводов, геологические и геодезические характеристики трассы, способ прокладки водовода, технология сборки труб в магистраль, природные условия трассы.

И при эксплуатации водоводов, соответственно:

- характерные режимы эксплуатации водовода для прогноза возможности возникновения воздушных скоплений, влияющих на объемы транспортируемого расхода для определения координат точек и средств для удаления воздуха из водовода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Продоус О.А., Шипилов А.А. Особенности проектирования трубопроводов водоснабжения и водоотведения для горных условий с высокой сейсмичностью // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2018. № 8. С. 56–60.
2. Продоус О.А., Шипилов А.А., Бляшко Я.И., Джанбеков Б.А., Чернышов Л.Н., Дронов А.А., Мурлин А.А., Иващенко В.В. Гидроэнергетический комплекс на базе «Тебердинского магистрального группового водопровода» // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2018. № 5. С. 54–60.
3. Самотечно-напорный водовод, как источник электрической энергии в процессе его эксплуатации // ГидроТехника. 2018. № 1. С. 62–64.
4. Продоус О.А., Иващенко В.В., Мурлин А.А., Бляшко Я.И., Джанбеков Б.А. Устройство для гашения энергии потока жидкости.

Патент на полезную модель № 180526. Зарегистрирован в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 15 июня 2018 г.
5. Продоус О.А., Джанбеков Б.А. Трубы с полиуретановым покрытием для строительства «Тебердинского магистрального группового водопровода» // Водоснабжение и санитарная техника. 2018. № 2. С. 61–63.
6. Продоус О.А., Джанбеков Б.А., Мурлин А.А., Иващенко В.В. Сравнительная оценка продолжительности строительства «Тебердинского магистрального группового водопровода» из различных материалов // Инженерные системы «АВОК Северо-Запад». 2018. № 2. С. 48–52.
7. Продоус О.А. Таблицы для гидравлического расчета труб напорных из полиэтилена // Справ. пособие. –3-е изд. доп. – СПб.: ООО «Свое издательство», 2017. 240 с.
8. Продоус О.А., Терехов Л.Д. Анализ режимов работы самотечно-напорного водовода с большим перепадом высот // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2018. № 10.

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

УДК 628.16

СООРУЖЕНИЯ ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОМЫВНЫХ ВОД В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ ВОДОПРОВОДНЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ АО «РОСТОВВОДОКАНАЛ»

А.Ю. Скрябин
Законодательное собрание Ростовской области, г. Ростов-на-Дону, Россия
Г.В. Поповьян, И.А. Тронь, О.Н. Гора
АО «Ростовводоканал», г. Ростов-на-Дону, Россия

Освящены основные проблемы, возникшие при запуске сооружений повторного использования промывных вод фильтров и отстойников, предложены методы решения некоторых из них.

В 2017 году, который был объявлен годом экологии в России, Ростовский Водоканал завершил строительство комплекса сооружений

повторного использования вод на очистных сооружениях «Александровский водопровод» (ОСАВ).

На ОСАВ осуществляется очистка речной воды, подаваемой от двух водозаборов расположенных на правом берегу реки Дон, до показателей качества регламентированных СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения». Питьевая вода подается в города: Ростов-на-Дону, Батайск, частично Аксай и другие населенные пункты для использования населением более 1 млн человек в питьевых и бытовых целях, а также для нужд коммерческих предприятий. Общая проектная производительность площадки водопроводных очистных сооружений составляет 380,0 тыс. м³ в сутки, фактическая достигает 450 тыс. м³ в сутки.

Качество исходной Донской воды не постоянно и имеет сезонные колебания. Так, с весенним половодьем имеет место повышение мутности до 80 мг/дм³, жесткости до 10 °Ж, летне-осенний период характерен интенсивным «цветением» воды до 450 тыс. клеток в см³, сопровождающимся значительной ее одорацией до 4 баллов, зимний период характеризуется низкой температурой до 0,1 °С и при этом пониженной мутностью воды до 1 мг/дм³.

В процессе водоподготовки на водопроводных очистных сооружениях применяются реагенты: для интенсификации хлопьеобразования и осветления воды – катионный флокулянт полиДАДМАХ, для обеззараживания воды – гипохлорит натрия совместно с сульфатом аммония, ультрафиолет.

Очистные сооружения «Александровский водопровод» состоят из двух самостоятельных комплексов очистки ОСВ-2 и ОСВ-3. На ОСВ-2 в основном вода подается от руслового водозабора, на ОСВ-3 от ковшевого водозабора. Схема осветления воды на обоих комплексах идентичная: гравитационное отстаивание в горизонтальных отстойниках и фильтрование на скорых песчаных фильтрах.

В процессе эксплуатации скорых фильтров предусмотрены их периодические промывки, количество и продолжительность которых отличается в зависимости от сезона. Так наибольший расход воды на промывку фильтров используется в летний период «цветения» водоисточника. В сутки может осуществляться до шести промывок с общим расходом до 50 000 м³. Кроме того, технологическим регламентом очистных сооружений, предусмотрена промывка горизонтальных отстойников 1 раз в 1,5 месяца, на которую расходуется до 5 000 м³ в сутки. Отвод неочищенных промывных вод осуществлялся в балку Кизитериновская, а затем в реку Дон.

Для прекращения сброса неочищенных промывных вод фильтров и отстойников в реку Дон, снижения объемов водозабора, за счет их очистки и возвращения в технологический цикл, прекращения экологического ущерба водоисточнику был запроектирован и построен комплекс сооружений повторного использования промывных вод.

Проект сооружений повторного использования промывных вод (СПИПВ) выполнен институтом ООО «ЕПР». В комплекс входят четыре резервуара-отстойника со встроенными песколовками общей емкостью 12,8 тыс. м^3; 2 радиальных сгустителя; насосная станция; цех механического обезвоживания осадка и песковые площадки.

Технологией предусмотрено (рис. 1), что промывная вода скорых фильтров очистных сооружений и надосадочная вода горизонтальных отстойников, обработанная минеральным коагулянтом оксихлоридом алюминия, поступает в резервуары-отстойники с выделенной зоной – песколовкой. Осветленная вода, перекачивается в смесители ОСАВ, предварительно пройдя обеззараживание с помощью ламп ультрафиолетового излучения, и далее проходит все стадии водоподготовки вместе с водой, забираемой из реки Дон. Песковая пульпа из песколовок перекачивается для обезвоживания на песковые площадки. Осадок из резервуаров-отстойников по мере накопления перекачивается в радиальные сгустители. Кроме того, в сгустители поступает осадок из основных технологических горизонтальных отстойников ОСАВ. Далее сгущенный осадок, обработанный флокулянтом, подается для обезвоживания на декантеры. Надосадочная вода из сгустителей и фугат из декантеров с помощью канализационной насосной стации поступает в канализационную сеть города. Обезвоженный песок с песковых площадок может использоваться для подсыпки территории. Обезвоженный осадок после декантеров вывозится на полигон ТБО.

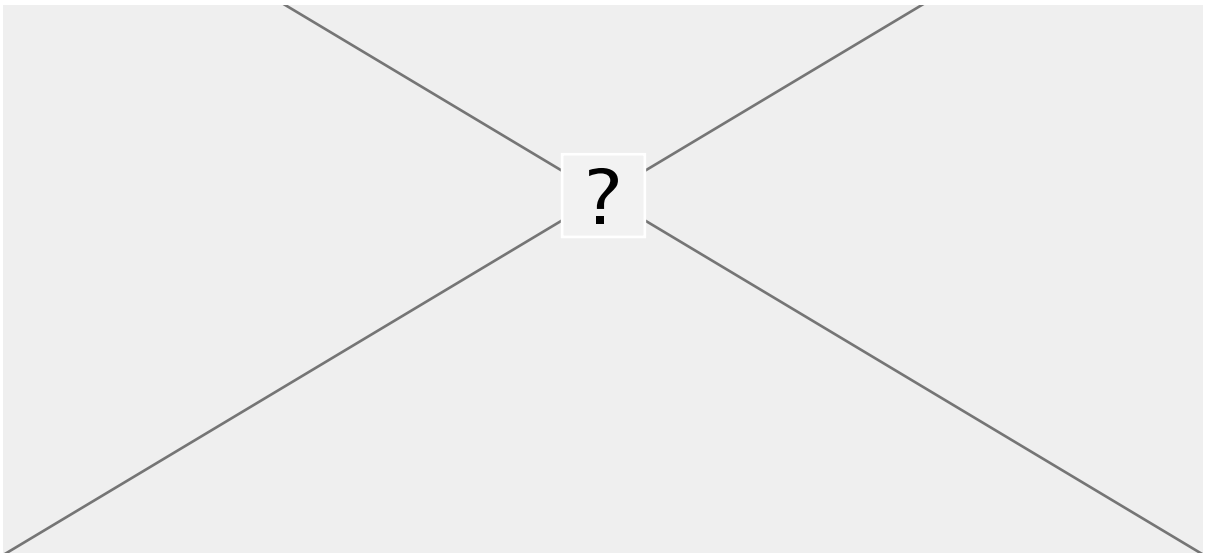


Рисунок 1. **Принципиальная схема комплекса промывной воды ОСАВ**
(приведены среднесуточные расходы воды)

Пуско-наладочные работы на объекте начаты в феврале 2018 года с подбора доз и марок реагентов, отработки режимов подачи промывной воды фильтров на СПИПВ.

По результатам проведенных лабораторных и промышленных испытаний оптимальная доза оксихлорида алюминия для осветления промывной воды фильтров составляет 2,5 – 3 мг/дм^3, при обработке промывной воды реагентом образуются рыхлые хлопья среднего размера, склонные к оседанию и частичной флотации, наилучшую эффективность показывают высокоосновные реагенты. Промывную (надосадочную) воду из горизонтальных отстойников ОСАВ не рекомендуется направлять в резервуары-отстойники в связи со значительным органолептическим загрязнением по показателям «запах» и «мутность» по причине подсоса осадка, который исключить не представляется возможным (особенность конструкции отстойников).

В процессе эксплуатации резервуаров-отстойников была выявлена неэффективность работы системы удаления осадка, которая представляет собой систему перфорированных труб, уложенных на дно, разделенных между собой бетонным бортиком треугольной формы. Размер перфорации Д – 15 мм, направленной вниз под углом 45°. Трубы объединены одним коллектором, соединенным со всасывающими патрубками насосов подающими осадок в сгустители. Накопленный осадок имеет слабо текучую структуру, вследствие чего в его общей массе при откачивании образуются воронки, через которые откачивается вода. Для взрыхления, разбавления и увеличения текучести осадка осуществлено подключение трубопровода подачи осветленной промывной воды к общей гребенке отбора осадка из резервуаров-отстойников. Для взрыхления осадка осуществляется периодическая остановка резервуара-отстойника по мере накопления осадка, а затем чередующиеся несколько циклов по взрыхлению и удалению осадка в сгустители.

В процессе эксплуатации сгустителей было отмечено, что в связи с высоким содержанием минеральной составляющей в осадке (зольностью до 90 %) наблюдалось чрезмерное уплотнение осадка, при этом влажность осадка достигала 70 %. Подача осадка с такой низкой влажностью неблагоприятна для работы центрипресса, ведет к чрезмерной вибрации машины, а также повышается ее износ.

Увеличения влажности осадка можно достигать уменьшением времени и скорости перемешивания. Однако сокращение времени перемешивания не всегда представляется возможным в связи с необходимостью накопления объема осадка. Снижение скорости перемешивания до минимально возможных пределов также не

способствовало значительному увеличению влажности осадка. Полное отключение мешалки способствовало слеживанию осадка. Для увеличения влажности осадка на входе в декантер применена схема его разбавления осветленной промывной водой из резервуаров-отстойников.

Наладка режима обезвоживания осадка продолжается: подбор оптимальных параметров работы машины, флокулянтов и их концентраций для получения сыпучего и легко транспортируемого осадка.

Ввод в эксплуатацию СПИПВ позволил снизить объем забираемой из реки Дон воды в среднем на 1,2 млн. $м^3$ в месяц, что составляет около 8 % от общего водозабора АО «Ростовводоканал» и прекратить сброс неочищенных промывных вод в водоисточник.

УДК 628.33, 628.31

ДОПОЛНЕНИЯ К КЛАССИФИКАЦИИ ФАЗОВО-ДИСПЕРСНЫХ СОСТОЯНИЙ ПРИМЕСЕЙ В ВОДЕ

М.В. Абросимов
ООО «ЛенАкваСтрой», г. Санкт-Петербург, Россия;
Н.С. Серпокрылов, Е.В. Яковлева
Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Россия

Для получения оптимальной технологической схемы важно иметь информацию не только о химическом составе исходной воды и концентрации загрязняющих её веществ (примесей), но и правильно установить конкретные фазово-дисперсные состояния, в которых данные примеси находятся. Многообразие фазово-дисперсных состояний примесей в воде приводит к необходимости их классификации, в связи с чем, в данной статье существующая классификация была уточнена и дополнена.

Классификация фазово-дисперсных состояний загрязняющих веществ очень важна, поскольку определяет подход к их возможному выделению из воды, то есть практически формирует технологию очистки загрязнённых вод в целом [1]. На наш взгляд, классификация состояний примесей, находящихся в воде, привязанная только к размеру их частиц [2], не совсем корректна, так как создает неверное представление, что для отделения какой-либо примеси достаточно лишь подобрать фильтрующий элемент, обладающий соответствующими размерами пор. Поясним данное утверждение.

Из справочной литературы известно, что диаметр атома водорода составляет ~ 0,11 нм, а диаметр атома урана ~ 0,3 нм. Или, например, диаметры молекул газов: H_2 – 0,25 нм; O_2 – 0,3 нм; N_2 – 0,32 нм; CO_2 – 0,33 нм; Cl_2 – 0,37 нм, а диаметр молекулы воды равен 0,3 нм. Следовательно, растворенные газы, например, никак нельзя относить к III группе (по классификации Кульского Л.А.). Размеры атомов веществ, составляющих ионные растворы, в основном, находятся между диаметрами атомов водорода и урана, то есть сопоставимы по размеру с молекулой воды. Отсюда возникает опять же ложное представление о некоторых методах очистки, например, об обратном осмосе или ультрафильтрации, как о некой мембране, размеры пор которой позволяют проходить только молекулам воды, а остальные вещества из-за своих габаритов задерживаются, что, как правило, не соответствует результатам, наблюдаемым на практике.

Исходя из представленной информации, можно сделать вывод о необходимости дополнения существующей классификации фазово-дисперсных состояний загрязняющих веществ в воде, которая будет указывать не столько на зависимость состояния вещества от размеров его

частиц, сколько охватывать всю совокупность физико-химических свойств непосредственно самого загрязнения (примеси) [3]. За основной критерий, характеризующий как свойства, так и состояние какой-либо примеси, следует принять способность к её выделению из воды с помощью того или иного метода очистки. Дополненная классификация будет более плотно привязана к получению необходимой информации для разработки технологической схемы очистки конкретной сточной или природной воды:

I группу загрязнений составляют нерастворимые вещества, скорость осаждения или всплытия которых составляет более 0,2 мм/с [4], т.е. данные вещества способны осесть (или всплыть) на глубину 1 м быстрее, чем за 1,5 ч. Скорость осаждения зависит как от дисперсности частиц, так и от их плотности относительно плотности воды. Загрязнения I группы легко отделяются прямой сепарацией в гравитационном (отстойники) или центробежном (циклоны, центрифуги и т.д.) поле. Обозначим названные загрязнения как тяжелые крупнодисперсные включения и грубые пленки, а их фазово-дисперсное состояние в воде назовём «взвешенным». Показателями, характеризующими концентрацию тяжелых крупнодисперсных включений и грубых пленок, являются «взвешенные вещества» и «нефтепродукты».

II группа загрязнений состоит из нерастворимых веществ со скоростью осаждения или всплытия менее 0,2 мм/с, при этом их прямое отделение в отстойниках нецелесообразно по причине значительных габаритных размеров данных сооружений. Указанные вещества хорошо укрупняются с помощью флокуляции или коагуляции, а затем легко выделяются при отстаивании. Кроме того, практически полное их удаление наблюдается при фильтровании через материал с величиной поры 0,1 мкм. По своему состоянию указанные вещества располагаются между примесями первой группы и коллоидными частицами, назовем данное фазово-дисперсное состояние «ультравзвешенным», а названные загрязнения «мелкодисперсные частицы и эмульсии». Следует отметить, что при концентрации взвешенных веществ до 100 (мг/дм^3) и нефтепродуктов до 10 (мг/дм^3), перечисленные загрязнения находятся, как правило, в ультравзвешенном состоянии. При значительной концентрации загрязнений, находящихся в воде в ультравзвешенном состоянии, наблюдается быстрый кольматаж фильтрующих загрузок.

К ***III группе*** загрязнений относятся вещества, которые непосредственному отстаиванию или отстаиванию после флокуляции не подлежат, то есть их невозможно укрупнить, используя только флокулянты. В то же время данные вещества достаточно легко укрупняются методом коагуляции и после этого хорошо отделяются в отстойниках. Применение после коагулянтов, флокулянтов усиливает эффект укрупнения указанных загрязнений. Кроме того, возможно практически полное их удаление из воды при фильтровании через материал с величиной пор 0,01 мкм. По

своему состоянию названные вещества относятся к коллоидным растворам, назовем данное фазово-дисперсное состояние «коллоидным», а соответствующие загрязнения – «коллоидными частицами и микроэмульсиями». Концентрация загрязнений, находящихся в воде в коллоидном состоянии, может быть весьма значительной.

IV группу примесей составляют высокомолекулярные вещества, причем размеры данных молекул в некоторых случаях могут быть значительно большими, чем размеры коллоидных частиц, однако при этом данные загрязнения не поддаются укрупнению методом коагуляции, но зато хорошо удаляются методами флотации и пенной сепарации (отдувки), или разрушаются при их окислении специальными агентами (ГПХ, O_3, перманганат и т.д.). По своему состоянию указанные вещества располагаются между коллоидными и истинными молекулярными растворами и являются, своего рода, связующим звеном (сцепкой) между ними, что особенно ярко проявляется при коагуляции коллоидов. То есть при наличии высокомолекулярных соединений полного завершения коагуляции коллоидных частиц и микроэмульсий не наблюдается, т.к. примеси IV группы препятствуют данному процессу. Таким образом, по отношению к коагулянтам, высокомолекулярные вещества IV группы ведут себя как истинные молекулярные растворы, т.е. практически не реагируют. С другой стороны, у коллоидов и высокомолекулярных веществ также есть ярко выраженное общее свойство, а именно, как те, так и другие практически не подлежат очистке методом сорбции. То есть выделить их из воды посредством сорбента, конечно же, возможно, но загрузка при этом быстро расходует свою сорбционную способность (ёмкость) и за краткое время выходит из строя. Данное явление объясняется тем, что основную сорбционную активность загрузке придают микропоры (до 4 нм), количество же макропор и переходных пор ограничено, а коллоиды и высокомолекулярные вещества имеют значительные размеры и поэтому занимают именно последние, тем самым ощутимо понижая сорбционную ёмкость загрузки в целом. Концентрация примесей IV группы в воде может быть значительной и, как видим, они оказывают ощутимое влияние на процесс очистки в целом.

К ***V группе*** примесей относятся вещества, находящиеся в состоянии истинных молекулярных растворов. Размеры частиц данных веществ сравнимы по величине или немного больше (в 1,5 – 5 раз), чем молекулы воды (кроме молекулы H_2). Общим свойством названных загрязнений является возможность их отделения посредством использования различных сорбционных материалов, при этом сорбционная ёмкость данных материалов используется с максимальным эффектом. Этот факт объясняется тем, что для отделения молекулярных растворов используются микропоры, количество которых в сорбционной загрузке максимально. Нужно отметить, что сорбционная загрузка и создана именно для этого

случая, то есть для выделения из воды электрически нейтральных молекул, находящихся в растворенном состоянии. Кроме того, растворенные молекулярные газы могут эффективно замещаться атмосферными газами при осуществлении процесса интенсивной продувки слоя воды сжатым воздухом. Данный процесс называется отдувкой или пенным фракционированием (сепарацией).

VI группа загрязнений представляет собой атомарно-растворенные вещества. Указанное фазово-дисперсное состояние примесей в воде является переходным или пограничным между истинными молекулярными (V группа) и ионными (VII группа) растворами. Вещества, находящиеся в состоянии атомарных растворов, обычно нестабильны и стремятся к образованию либо молекул, либо ионов, например: $Na + H_2O \rightarrow NaOH + \underline{H_a}$; $\underline{H_a} + \underline{H_a} \rightarrow H_2\uparrow$; $NaOH \rightarrow Na^+ + OH^-$. В то же время, атомарно растворенные газы кислород (O_a) и водород (H_a) являются более химически активными, чем их молекулы (O_2 и H_2) и гораздо интенсивнее вступают в реакцию окисления и восстановления с другими веществами, содержащимися в воде. Именно поэтому свободные примеси из VI группы в исходной воде, как правило, отсутствуют.

VII группу загрязнений составляют примеси, молекулы которых находятся в воде в диссоциированном состоянии. Данные загрязнения соответствуют фазово-дисперсному состоянию истинных ионных растворов. Ионы могут быть сравнимы по размерам с молекулами воды, а также быть больше или меньше (в ~ 2,5 раза, например, атом водорода). Общим свойством названных загрязнений является возможность их отделения от воды на обратноосмотической мембране или путём ионообменной сорбции. Например, обратноосмотическая мембрана, по сути, и предназначена как раз для отделения электрически заряженных частиц (ионов), за счет особого свойства своей поверхности, которое позволяет проходить электрически нейтральным молекулам, и задерживает электрически заряженные ионы. Таким образом, примеси V и VI групп через обратноосмотическую мембрану пройдут. Кроме того, ионы, содержащиеся в воде, замещаются на другие ионы, находящиеся в ионообменном сорбенте, в процессе обработки воды на ионообменных фильтрах. К примесям, которые находятся в сточной воде в фазово-дисперсном состоянии ионных растворов (VII группа), относятся, например, следующие катионы веществ: натрий, калий, кальций, магний, тяжёлые металлы; анионы: хлориды, сульфаты, сульфиды, карбонаты, нитраты, нитриты, силикаты.

Предлагаем классификацию фазово-дисперсных состояний загрязняющих воду веществ в виде диаграммы, представленной на рисунке.

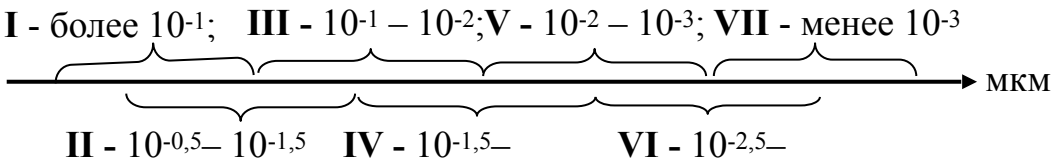


Рисунок. **Дополнения к классификации и групповому разделению фазово-дисперсных загрязнений ПСВ**

Приведенная классификация подразделяет загрязнения в воде на примеси, находящиеся в ***основных*** фазово-дисперсных состояниях, к которым относятся вещества I группы (взвешенное состояние), III группы (коллоидное состояние), V группы (молекулярно-растворенное состояние) и VII группы (ионно-растворенное состояние); и на примеси в ***переходных*** (пограничных) фазово-дисперсных состояниях, включающие в себя II группу (ультравзвешенное состояние), IV группу (постколлоидное состояние) и VI группу (атомарно-растворенное состояние).

ВЫВОДЫ

Вещества из II группы являются связующим звеном между крупнодисперсными частицами и коллоидами, примеси IV группы объединяют коллоиды с истинными молекулярными растворами, а VI группа сопрягает истинные молекулярные и ионные растворы. Вещества из названных пограничных групп отличаются нестабильностью и достаточно легко выводятся из состояния равновесия с их переходом либо в одну, либо в другую сопрягаемые основные группы. Однако концентрации веществ, находящихся в пограничных состояниях, могут быть значительными, а их влияние на процесс очистки воды в целом, весьма ощутимым.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дезагрегация фазово-дисперсных загрязнений производственных сточных вод / Н.С. Серпокрылов, Н.Н. Шпилова, Е.В. Яковлева // Инженерно-строительный вестник Прикаспия: научно-технический журнал. Астраханский инженерно-строительный институт. Астрахань: ГАОУ АО ВПО «АИСИ», 2015. № 4 (14). С. 52–59.

2. Проектирование и расчет очистных сооружений водопроводов / Л.А. Кульский, М.Н. Булава, И.Т. Гороновский, П.И. Смирнов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Киев: «Будівельник», 1972. 424 с.
3. Анализ общепринятой классификации // Эководхоз. Очистка сточных и природных вод. URL: http://ecovodhoz.ru/poleznaya-informaciya (дата обращения: 16.10.2018).
4. СанПиН 2.1.5.980–00. Гигиенические требования к охране поверхностных вод: изд. официальное. М.: Минздрав России, 2000. 23 с.

УДК 628.161.3

ВНЕДРЕНИЕ НОВЫХ КОАГУЛЯНТОВ ПРОИЗВОДСТВА ОАО «АУРАТ» В ПРИВОЛЖСКОМ ФЕДЕРАЛЬНОМ ОКРУГЕ

А.А. Рученин
ООО «Аурат-ВВ», г. Казань, Россия

Результатом работы ООО «Аурат-ВВ» стало освоение технологии производства и внедрение на рынок коагулянтов: «Эпоха» «Алюмохлорид», «Алюминий полиоксисульфат». Они относятся к разряду недорогих, современных, высокоэффективных реагентов.

Ужесточение норм сброса и контроля над сбросами сточной воды, привело к тому, что за последние четыре года многие предприятия вынуждены были либо строить новые очистные сооружения канализации, либо модернизировать и расширять уже существующие. В подавляющем большинстве случаев на очистных сооружениях канализации имеет место внедрение реагентных схем очистки. А учитывая, что сточные воды характеризуются высокой степенью загрязнений, потребление реагентов на таких объектах очень большое. Кроме того, отмечается большой рост потребления коагулянтов в бумажной промышленности. Здесь, кроме производственных канализационных очистных сооружений (в ряде случаев и водопроводных), коагулянты используются в технологии производства бумаги и картона для замещения дорогостоящего клея, а при производстве картона еще и для приготовления макулатурной массы. Поэтому, на ряде объектов целлюлозно-бумажной промышленности, потребление коагулянтов сопоставимо с их потреблением на водоочистных станциях для города с населением в 1 млн. человек и более. И здесь для большинства предприятий актуально использование недорогих, современных, высокоэффективных реагентов. В этом плане ОАО «Аурат» (г. Москва) предлагает новые, недавно выпущенные реагенты. Рассмотрим некоторые из них.

Полиоксихлорид алюминия марки «Эпоха». Водный раствор, выпускается по ТУ 163-81-00205067-2015, в зависимости от содержания Al_2O_3 и основности подразделяется на 13 марок. Данный реагент, например, был предложен для использования на водозаборных очистных сооружениях г. Иннополис в феврале 2017 г. В этот период времени, исходная вода в р. Волга характеризовалась низкой температурой (чуть более 1 °С), и высокой, для волжской воды в зимний период, цветностью до 60 градусов. Такая ситуация продержалась вплоть до середины апреля 2017 г. После проведения лабораторных испытаний, в сравнении с используемым на тот период времени ПОХА 19, производства ООО «ПЗХР» (табл. 1), по результатам технико-экономического сравнения

тут же было принято решение о промышленном испытании данного реагента. И далее, после успешного подтверждения рабочих характеристик, состоялся окончательный «переход на «Эпоху»». И уже по аналогии с 2017 г., в 2018 г. в самый тяжелый период, опять использовалась «Эпоха», весь остальной период – «АКВА-АУРАТ™18».

Таблица 1. **Результаты лабораторных испытаний на ОС АО ОЭЗ «Иннополис»**

Реагент	Очищенная вода			Содержание Al_2O_3, %	Доза коагулянта по Al_2O_3, мг/л	Доза коагулянта по товарному продукту, мг/л	Экономические показатели		
	Мутность, мг/л	Цветность, мг/л	Остаточный Al, мг/л				Расход коагулянта на 1000 м³ воды, т	Цена коагулянта р/т с НДС *	Затраты на очистку 1000 м³ воды, руб/
17.02.2017 г. Исходная вода Т=1 °С, pH 7,4, цветность 56,16, мутность 4,42 мг/л									
Поха 19	0,84	10,2	0,340	19,0	4,0	21,05	0,02105	35000	736,84
Эпоха	0,64	7,61	0,057	25,3	4,0	15,81	0,01581	34000	537,54
Поха 19	0,52	8,22	0,220	19,0	6,0	31,58	0,03158	35000	1105,26
Эпоха	0,50	6,43	0,054	25,3	6,0	23,71	0,02381	34000	809,54
Поха 19	0,20	6,42	0,051	19,0	8,0	42,11	0,04211	35000	1473,68
Эпоха	**0,28**	**6,04**	**< 0,04**	**25,3**	**8,0**	**31,62**	**0,03162**	**34000**	**1075,08**
Поха 19	0,32	4,05	0,062	19,0	10,0	52,63	0,05263	35000	1842,05
Эпоха	0,26	5,54	0,048	25,3	10,0	39,52	0,03952	34000	1343,68
Поха 19	0,44	4,70	0,064	19,0	12,0	63,16	0,06316	35000	2210,60
Эпоха	0,50	6,23	0,108	25,3	12,0	47,43	0,04743	34000	1612,62

Примечание: ПОХА 19 выпускается по ТУ 2163-001-47080012-2015, производство ООО «ПЗХР». Эпоха – Эпоха, выс. сорт, ТУ 2163-81-00205067-2015, производство ОАО «Аурат»

Заявленным критерием данных испытаний было получение минимального значения остаточного алюминия.

Также на «Эпоху» по результатам испытаний перешли ОС ООО «Палп Инвест» г. Казань (предприятие выпускающее бумагу, и имеющее запредельную нагрузку по расходу очищаемой воды).

Алюмохлорид. Водный раствор, выпускается по ТУ 2163-082-00205067-2015, имеет концентрацию по Al_2O_3 от 9 до 11 %, pH 0 – 2.

В случае использования алюмохлорида на очистных сооружениях водопровода, наиболее интересными являются результаты, полученные на зимних и паводковых испытаниях 2017 г. на ПАО «Казаньоргсинтез» (табл. 2). Результаты интересны в первую очередь тем, что в сравнительных лабораторных и промышленных испытаниях сошлись практически все основные производители коагулянтов России, со своей новой продукцией. Критериями испытаний было выявление дозы реагента (расхода реагентов) для достижения цветности очищенной воды в 20 град. и последующее сравнение полученных результатов по мутности, цветности, остаточному алюминию и другим параметрам. Результаты испытаний должны были лечь в основу при определении победителя на торгах при закупке реагентов. До испытания был проведен входной контроль всех реагентов.

Таблица 2. **Результаты входного контроля реагентов на ПАО «Казаньоргсинтез»**

Коагулянт/ производитель	Полиоксихлорид алюминия МетаРАС 18 / ООО «Метахим»	Полиоксихлорид алюминия МетаРАС Y10 / ООО «Метахим»	Оксихлорид алюминия / ООО«Химпродукт»	Полиоксихлорид алюминия ПОХА-19 / ООО «ПЗХР»	Полиоксихлорид алюминия ПОХА-19 / ООО «ЧЗК»	Алюмохлорид / ООО «АУРАТ-ВВ»	Полиалюминий гидрохлорид Бопак-Е / ООО «КВС»	Полиоксихлорид алюминия «Акванорм» / ООО «КВС»
По ПК*	17,2	9,91	20,4	18,6	18,8	10,5	20,1	16,8
По РА**	16,94	9,94	19,8	20,2	20,0	10,43	19,7	16,8

Примечание: * По паспорту качества на партию; **По результатам анализа входного контроля

Испытания проводились с дозами коагулянта и флокулянта, имевшими место в тот период времени в технологии очистки на данном объекте. Результаты лабораторных исследований сведены в таблицу 3.

Таблица 3. **Результаты сравнительного лабораторного исследования эффективности коагулянтов различных производителей на ПАО «Казаньоргсинтез»**

Коагулянт	Доза по Al_2O_3, мг/л	Доза флокулянта, мг/л	Цветность, град.	pH, ед.	Мутность, мг/л	Остаточный алюминий, мг/л	Хлопьеобразование
11.05.2017 г. Исходная вода: Т = 9,24 °С, pH 7,8, цветность 61,5, мутность 7,64 мг/л							
ОХА-18	8,0	0,1	29	7,55	0,63	< 0,04	Хорошее хлопьеобразование, осаждение, плотный осадок
ПОХА-19	8,0	0,1	27,1	7,61	0,63	< 0,04	-«-
Акванорм	8,0	0,1	22,4	7,17	≤ 0,58	0,072	Мелкие хлопья, опалесценция
МР18	8,0	0,1	25,1	7,57	≤ 0,58	< 0,04	Средние хлопья, осаждение
ПОХА-19*	8,0	0,1	25,9	7,6	≤ 0,58	< 0,04	Хорошее хлопьеобразование, осаждение, плотный осадок
МР Y 10	8,0	0,1	28,2	7,38	≤ 0,58	0,043	-«-
Бопак-Е	8,0	0,1	26,5	7,62	≤ 0,58	< 0,04	-«-
А-хлорид	**8,0**	**0,1**	**19,6**	**6,92**	**≤ 0,58**	**0,063**	**Мелкие хлопья, опалесценция**
Коагулянт	Доза по Al_2O_3, мг/л	Доза флокулянта, мг/л	Цветность, град.	pH, ед.	Мутность, мг/л	Остаточный алюминий, мг/л	Хлопьеобразование
2 серия опытов							
ОХА-18	9,0	0,1	26,3	7,61	≤ 0,58	< 0,04	Хорошее хлопьеобразование, осаждение, плотный осадок
ПОХА-19	9,0	0,1	22,9	7,64	≤ 0,58	< 0,04	-«-
Акванорм	9,0	0,1	20,2	7,15	≤ 0,58	0,044	Средне-крупные хлопья, осаждение
МР18	9,0	0,1	23,7	7,51	≤ 0,58	< 0,04	-«-
ПОХА-19*	9,0	0,1	24,3	7,6	≤ 0,58	< 0,04	Хорошее хлопьеобразование, осаждение, плотный осадок
МР Y 10	9,0	0,1	26,1	7,42	≤ 0,58	< 0,04	-«-
Бопак-Е	9,0	0,1	25,9	7,61	≤ 0,58	< 0,04	-«-
А-хлорид	**7,0**	**0,1**	**24,3**	**7,01**	**≤ 0,58**	**< 0,04**	**Опалесценция, хлопья отсутствуют**

3 серия опытов							
ОХА-18	10,0	0,1	23,9	7,63	≤ 0,58	< 0,04	Хорошее хлопьеобразование, осаждение, плотный осадок
ПОХА-19	10,0	0,1	22,2	7,63	≤ 0,58	< 0,04	-«-
Акванорм	10,0	0,1	18,4	7,14	≤ 0,58	< 0,04	-«-
МР18	10,0	0,1	20,0	7,52	≤ 0,58	< 0,04	-«-
ПОХА-19*	10,0	0,1	22,4	7,62	≤ 0,58	< 0,04	-«-
МР Y 10	10,0	0,1	22,4	7,39	≤ 0,58	< 0,04	-«-
Бопак-Е	10,0	0,1	21,2	7,59	≤ 0,58	< 0,04	-«-
А-хлорид	**9,0**	**0,1**	**15,5**	**6,87**	**≤ 0,58**	**< 0,04**	-«-
12.05.2017 г. Исходная вода: Т = 9,24 °С, рН 7,85, цветность 64,4, мутность 7,38							
ОХА-18	11,0	0,1	21,6	7,61	≤ 0,58	< 0,04	Хорошее хлопьеобразование, осаждение, плотный осадок
ПОХА-19	11,0	0,1	20	7,61	≤ 0,58	< 0,04	-«-
ПОХА-19*	11,0	0,1	19,8	7,69	≤ 0,58	< 0,04	-«-
ОХА-18	12,0	0,1	19,8	7,6	≤ 0,58	< 0,04	-«-

Вывод: из данной серии испытаний видно, что алюмохлорида, для достижения заявленных критериев, потребовалось на *20 – 40 %* меньше, чем другим реагентам, при сопоставимом качестве очищаемой воды.

Алюмохлорид уже получил широкое распространение на объектах бумажной промышленности, канализации и водоснабжения.

Алюминия полиоксисульфат. Водный раствор, выпускается по ТУ 20.13.41-091-00205067-2018, имеет концентрацию по Al_2O_3 от 7 до 8 %. Первые успешные испытания данного реагента прошли на УСВП УМУП «Ульяновскводоканал», результаты испытаний сведены в таблицы 4 и 5

Таблица 4. **Результаты лабораторных испытаний на УМУП «Ульяновскводоканал»**

Реагенты	Доза коагулянта, мг/л	Доза флокулянта, мг/л	Показатели питьевой воды					
			Т, °С	Цветность, град.	Мутность, мг/л	Щелочность, мгэкв/л	pH	Алюминий, мг/л
07.06.18 г. Исходная вода: Т = 15 °С, рН 7,8, цветность 63,7, мутность 5,68 мг/л								

СА	12,0	0,09	15	12,9	1,56	1,30	6,9	0,14
СА	10,0	0,09	15	13,8	1.82	1,35	7,0	0,16
ПОСА	12,0	0,09	15	9,4	0,26	1,15	6,8	0,03
ПОСА	10,0	0,09	15	10,1	0,26	1,25	6,9	0,04
ПОСА	8,0	0,09	15	10,5	0,52	1,35	7,2	0,08

Примечание: Реагенты: СА – сульфат алюминия технический (жидкий) ТУ 2163-069-0002050067; ПОСА – полиоксисульфат алюминия (водный раствор) ТУ 20.13.41-091-00205067-2018.

Хлопьеобразование: через 2 мин. после ввода флокулянта в пробах СА и ПОСА активно пошел процесс хлопьебразования, у СА хлопья мелкие,у ПОСА крупнее. Через 10 мин. после ввода флокулянта размер хлопьев у СА средний, у ПОСА крупный.

Отстаивание: через 35 мин. после ввода флокулянта (через 15 мин. после завершения перемешивания) оснавная часть хлопьев во всех пробах выпала в осадок, также во всех пробах наблюдалось небольшое количество взвесей мелких хлопьев.

Реагенты	Доза коагулянта, мг/л	Доза флокулянта, мг/л	Показатели осветленной воды			Показатели питьевой воды		
			Цветность, град	Мутность,мг/л	Алюминий, мг/л	Цветность, град	Мутность, мг/л	Алюминий, мг/л
13–15 06.18 г. Исходная вода: Т = 14.6 °С, рН 7,9, цветность 46, мутность 18 мг/л								
СА 1 блок	10,0	0,09	11,8	7,05	1,14	9,67	0,13	0,055
ПОСА 2 блок	10,0	0,09	11,4	6,52	1,23	9,67	0,15	0,054

Таблица 5. **Результаты производственных испытаний УМУП «Ульяновскводоканал»**

После подачи ПОСА на 2 блок, качество воды на 2 блоке выравнялось с качеством воды на 1 блоке, до этого качество воды на 2 блоке было хуже.

ВЫВОДЫ

На основании проведенных испытаний, можно утверждать, что полиоксисульфат алюминия, при практически одинаковой цене с сульфатом алюминия стабильно показывает более высокие потребительские качества.

УДК 628.16

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДОСНАБЖЕНИЯ МОНОГОРОДОВ РЕСПУБЛИКИ КАРЕЛИЯ: ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ

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

Все водозаборы моногородов поверхностные. Наблюдается снижение водопотребления от 15 до 60 % от проектной мощности, высокий износ водоочистных сооружений, отсутствует реагентная обработка цветных вод и эффективная эксплуатация сооружений. Необходим комплексный подход при выборе методов реконструкции.

В Республике Карелия официально насчитывается одиннадцать монопрофильных муниципальных образований (моногород). К их числу относятся такие населенные пункты как: Вяртсиля, Кондопога, Костомукша, Лахденпохья, Муезерский, Надвоицы Пиндуши, Питкяранта, Пудож, Сегежа, Суоярви.

Все вышеперечисленные моногорода, как и многие другие в России основаны в эпоху ускоренной индустриализации. Моногорода и их население находятся в зависимости от деятельности градообразующих предприятий, которые сейчас, как правило, функционируют с низкой эффективностью или вовсе ликвидированы во времена «перестройки».

Для восстановления экономической устойчивости моногородов необходимо провести ряд мероприятий, направленных на диверсификацию их экономики. Необходимыми действиями является определение приоритетных направлений диверсификации по каждому из населенных пунктов с поиском экономической привлекательности для инвесторов.

Как правило, прежде всего, необходимо оценить имеющиеся резервы и возможности моногородов, а именно, возможность использования существующих и новых территорий для новых или переориентированных производств, степень инженерного обеспечения: электроснабжения и водоснабжения. По современным требованиям при развитии новых производств необходимо применять наилучшие доступные технологии. При этом необходимо предусматривать системы охраны окружающей среды: очистка производственных и хозяйственно-бытовых стоков, очистка воздуха и обработка отходов производства и потребления [1].

Таким образом, прежде всего, необходимо провести анализ существующего состояния систем водоснабжения и водоотведения.

За последние 30 лет в моногородах Карелии наблюдается отток населения, снижение количества и мощности производств, что приводит к снижению водопотребления и, соответственно, водоотведения.

В связи с этим во всех моногородах наблюдается заметное снижение водопотребления (табл.).

Большинство водопроводных очистных сооружений Республики Карелия были построены в 70-х годах прошлого века по типовым проектам, без учета особенностей местности и характеристик водоемов.

Природные воды Карелии по природному химическому составу очень мягкие, маломутные и низкоминерализованные. Также в них присутствуют гумусовые вещества. Это приводит к высокой цветности и перманганатной окисляемости. Практически во всех водоисточниках мутность воды не превышает 1,5 мг/л. По цветности воды Карелии делятся на среднецветные, от 35 до 120 °Ц и высокоцветные, свыше 120 °Ц (табл.).

Таблица. **Показатели изменения производительности водопроводных сооружений Карелии**

Населенный пункт	Проектная производительность, тыс. $м^3$/сут.	Фактическая производительность, тыс. $м^3$/сут	Цветность макс., °Ц	Технология очистки	Обеззараживающий агент
г. Суоярви	4,7	3,0	120	Отсутствуют	Гипохлорит натрия
г. Кондопога	20	15	75	ОВО*, скорый фильтр	Газообразный хлор
пос. Муезерский	3,0	0,5	90	Отсутствуют	Газообразный хлор
пос. Надвоицы	5,0	2,6	56	Скорый фильтр	Гипохлорит натрия
г. Питкяранта	20	20	37	Барабанные сетки, КО**	Газообразный хлор
г. Пудож	6,0	2,5	95	ОВО*, скорый фильтр	Гипохлорит натрия
г. Сегежа	25	15	140	КО**	Газообразный хлор
пос. Пиндуши	2,0	0,5	95	Отсутствуют	отсутствуют
г. Костомукша	32	22	114	КО**	Газообразный хлор
г. Лахденпохья	5,0	3,5	53	Отсутствуют	Газообразный хлор

пос. Вяртсиля	2,0	0,3	42	Отстойник, скорый фильтр	Газообразный хлор

Примечение: *ОВО – осветлитель со взвешенным слоем взвешенного осадка, **КО – контактный осветлитель.

Воды в водоисточниках Питкяранты, Вяртсиля, Лахденпохья, Надвоиц в зависимости от времени года можно отнести к мало- и среднецветным. В населенных пунктах Кондопога, Муезерский, Пудож, Костомукша и Суоярви воды среднецветные. Все остальные населенные пункты используют воду с высокой или средней цветностью в зависимости от сезонных изменений.

Большинство построенных в 70-е годы и эксплуатируемых очистных сооружений, были спроектированы для малоцветных высокомутных вод – по типовым проектам, с очисткой на осветлителях со взвешенным слоем осадка, хотя вода в Республике Карелия в основном высокоцветная маломутная с содержанием железа. Реагентная обработка, если и была предусмотрена, то на сегодняшний день отсутствует из-за нехватки эксплуатационных средств.

Также большинство сооружений устарели, а используемое оборудование имеет критическую степень износа, требует замены или не соответствует необходимой производительности (таблица 1) [2].

Не менее важным обстоятельством, влияющим на качество воды, является отсутствие лабораторного контроля и не соблюдение зон санитарной охраны водоисточника.

Очистные сооружения гг. Пудож и Кондопога имеют один и тот же недостаток в технологической схеме, который был заложен еще при проектировании сооружений, предусматривающий в своем составе осветлители коридорного типа, которые обычно применяются для высокомутных вод. Данные сооружения показали свою полную несостоятельность на холодных маломутных низкоминерализованных Карельских водах. Более эффективным для высокоцветных вод является применение одноступенчатого или двухступенчатого фильтрования с предварительной реагентной обработкой [3].

Очистные сооружения в гг. Костомукша, Сегежа и Питкяранта спроектированы в соответствии с характеристиками своих водоисточников. Здесь основным водоочистным сооружением является контактный осветлитель. На сегодняшний день реагентная обработка поддерживается только в Костомукше и Питкяранте. В Сегеже с момента начала эксплуатации не поддерживается коагулирование воды.

Так же на всех сооружениях отсутствует система обработки промывных вод. Промывные воды, содержащие огромное количество загрязнений и непрореагированных коагулянтов после промывки скорых фильтров и контактных осветлителей, сбрасываются в водоисточники, что

является нарушением условий водопользования и приводит к загрязнению водоемов в пределах водоохранной зоны.

В большинстве населенных пунктов, и не только в моногородах, производится только обеззараживание воды. В то время, как при хлорировании воды, в особенности, при прехлорировании, хлор соединяется с органическими загрязнениями, образуя токсичные летучие галогенорганические соединения. При введении хлора в неочищенную воду образуются максимальные концентрации данных соединений, которых обнаружено свыше 30. В основном, они относятся к группе тригалогенметанов: например, хлороформ, бромдихлорметан, дихлорбромметан, дибромхлорметан, бромоформ, тетрахлорметан, четыреххлористый углерод, трибромметан, дихлорэтан, трихлорэтилен, хлорфенолы, бромдихлорметан, тетрахлорэтилен. Количество хлороформа на 1 – 3 порядка превышает содержание других летучих галогенорганических соединений. Причем чем выше значение ХПК и цветность воды, обусловленные присутствием гумусовых веществ, как это часто встречается в Карелии, тем больше концентрация хлороформа.

Некоторые из перечисленных соединений обладают выраженной мутагенной и канцерогенной активностью. Исследованиями [4], доказано, что для 31 обследованного ребенка (из 93), в том числе в 25 случаях вред выражен в виде заболеваний ЦНС, в 10 случаях – заболеваний эндокринной системы, в 8 – заболеваний печени, в 2 – заболеваний почек.

Неведение и бездействие эксплуатирующих, природоохранных и санитарных служб, а также отсутствие должного информирования населения о необходимости контроля за качеством и безопасностью питьевой воды приводит к заболеванию населения и отсутствию возможностей развития новых видов производств.

Тем не менее, реконструкция подобных сооружений в рамках работы эксплуатирующих организаций возможна. Чаще всего, основной проблемой в данном случае является отсутствие средств на реконструкцию сооружений и четкого представления о выборе эффективных технологий реконструкции. Принятие решения по реконструкции сооружений лежат на плечах собственников, которыми, в большинстве случаев, являются администрации населенных пунктов. Как правило, на местах местного уровня, специалисты отсутствуют. Поэтому администрациям населенных пунктов сложно принять оптимальное решение. Для этого на уровне региона необходима разработка эффективного плана. Разработанный специалистами план очередности реконструкции с заранее выбранными эффективными технологиями по очистке воды, уберег бы администрации от ошибок выбора неприменимых в условиях Карелии технологий.

Разработка единого плана позволит:

- применить идентичные решения по типам и мощностям сооружений;

- после разработки и внедрения первых типовых решений снизить стоимость проектирования и строительства (реконструкции) других сооружений того же типа;
- ускорить разработку технических заданий к конкурсным делам по проектированию и строительству (реконструкции) водоочистных сооружений;
- принятие решения по очередности и целесообразности финансирования реконструкции водоочистных сооружений;
- упростить дальнейшую эксплуатацию построенных сооружений путем межмуниципального взаимодействия;
- упростить обучение персонала, задействованного в эксплуатации.

Средства на реализацию проекта могут быть найдены путем поддержки предприятий ЖКХ через разработку и утверждение инвестиционных программ на 10 лет, что вполне реально в нынешних условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Урожаева Т.П. Моногорода в 1980-1990-е годы: зарубежный, российский и региональный опыт решения социально-экономических проблем // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2016. № 3 (156). С. 35–39.
2. Графова Е.О., Аюкаев Р.И., Гольденберг П.Г., Мирошниченко Ф.А., Графова Е.О. Водное законодательство России: штрафы или реконструкция очистных сооружений // Материалы научн.-практ. конф.: Ресурсосберегающие технологии, материалы и конструкции, 2012. С. 12–16.
3. Ким А.Н., Захаревич М.Б., Мартьянова А.Ю. Повышение надежности работы систем водоснабжения на основе внедрения безопасных форм организации их эксплуатации и строительства // Учебн. пос.: Санкт-Петербург, 2011. 62 с.
4. Клейн С.В., Седусова Э.В., Лебедева Т.М., Новоселов В.Г. Опыт формирования доказательной базы вреда здоровью населения в условиях загрязнения питьевой воды хлорорганическими соединениями // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Т. 17, N 5(2), 2015. С. 38–54.
5. Ким А.Н. Современные методы очистки воды локальных объектов: моног. / А.Н. Ким, Е.О. Графова. – СПб.: СПбГАСУ, 2016. 272 с.

УДК 628.16

К ВОПРОСУ ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ АДСОРБЦИОННОЙ ДООЧИСТКИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ ОТ ТРИХЛОРЭТИЛЕНА

Т.А. Краснова, А.К. Горелкина, И.В. Тимощук, С.Н. Савельев
Кемеровский государственный университет, г. Кемерово, Россия

Исследована эффективность адсорбции трихлорэтилена, образующегося при обеззараживании воды хлорагентами в процессе водоподготовки на углеродных сорбентах марок АГ-ОВ-1, АГ-3, СКД-515, ПФС, КАУ, БАУ, КАД-йодный, КсАУ, Пуролат-Стандарт, АБГ, отличающихся составом, способом получения, структурой и химическим состоянием поверхности. Установлены основные закономерности, особенности и механизм адсорбции трихлорэтилена на исследуемых сорбентах.

В последние годы обострились проблемы, связанные с загрязнением гидросферы. В природной воде, которая является основным источником хозяйственно-питьевого водоснабжения, содержится существенное количество загрязнений естественного и антропогенного происхождения, включая контаминанты органической природы. В поверхностных водах в период апрель-август обнаруживается хлороформ и трихлорэтилен. Сброс недостаточно очищенных сточных вод в водоемы приводит к снижению биологической продуктивности экосистем и истощению водных ресурсов. Кроме того, в процессе подготовки воды существует вероятность образования более опасных вторичных токсичных загрязнений. Обеззараживание воды из природных водоемов осуществляется в основном с использованием хлорсодержащих реагентов, которые в водной среде взаимодействуют с природными органическими соединениями, в том числе гумусовыми веществами, образуя галогенорганические соединения (тригалогенметаны), в том числе дополнительные количества хлороформа и трихлорэтилена, которые обладают аллергенным, токсическим, мутагенным действием на организм человека. Кроме того, многие авторы [1–3] отмечают возможность развития у людей онкологических заболеваний, чаще всего рака поджелудочной железы, мочевого пузыря, толстой и прямой кишки, связанных с употреблением хлорированной воды, содержащей тригалогенметаны. Комплексное исследование адсорбции хлороформа было проведено нами ранее [4].

В связи с этим исследования, направленные на разработку технологии доочистки воды системы централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения от трихлорэтилена являются своевременными.

Для очистки воды от органических соединений часто эффективным методом бывает адсорбция на активных углях. Для создания эффективной адсорбционной технологии доочистки воды системы централизованного

хозяйственно-питьевого водоснабжения от трихлорэтилена необходимо провести комплексное исследование процесса адсорбции углеродными сорбентами, включающее изучение равновесия, кинетики и динамики адсорбционного процесса.

Объектами исследования являлись промышленные активные угли марок: АГ-ОВ-1, АГ-3, СКД-515, ПФС, КАУ, БАУ, КАД-йодный (ОАО «Сорбент», г. Пермь), КсАУ (кокосовый уголь, «Eurocarb», Англия), Пуролат-Стандарт (ОАО «Синтез», г. Ростов-на-Дону), АБГ (буроугольный полукокс, ЗАО «Карбоника-Ф», г. Красноярск), отличающиеся сырьем, способом получения, химическим состоянием поверхности, техническими характеристиками; водные растворы с переменным содержанием трихлорэтилена ($2 \cdot 10^{-4}$ – 2,00 ммоль/дм^3).

Одним из основных критериев оценки адсорбционных свойств исследуемых сорбентов являются изотермы адсорбции. Для аналитического описания изотерм адсорбции использованы уравнения Фрейндлиха и Ленгмюра (теория мономолекулярной адсорбции), уравнение Дубинина-Радушкевича (теория объемного заполнения микропор) и уравнения БЭТ (теория полимолекулярной адсорбции Брунауэра, Эммета и Теллера) и Арановича [5].

Согласно расчетам, с высокой степенью корреляции ($R^2 > 90$ %) адсорбционное поведение трихлорэтилена описывается моделями Фрейндлиха и ТОЗМ на всех исследованных АУ и моделью Арановича для АУ марок КАУ и КАД-йодный. Остальные модели для описания адсорбции ТХЭ использоваться не могут.

Определены константы всех указанных уравнений и установлены особенности и механизм адсорбции, а так же получены основные равновесные параметры адсорбции в системе АУ-вода-трихлорэтилен, необходимые для инженерных расчетов.

Комплексная оценка адсорбционных характеристик исследованных углеродных сорбентов в статических условиях позволила расположить по эффективности их извлечения трихлорэтилена в ряд ПФС > КсАУ > АГ-3 ≥ КАУ ≥ СКД-515 > КАД-йодный ≥ АБГ > АГ-ОВ-1 > БАУ ≥ Пуролат-Стандарт.

По совокупности показателей (адсорбционная способность, прочность, стоимость и т.д.) для реализации в практике водоподготовки можно предварительно рекомендовать уголь АГ-3.

ЛИТЕРАТУРА

1. Славинская Г.В. Влияние хлорирования на качество питьевой воды // Химия и технология воды. 1991. Т. 12. № 11. С.1013–1022.

2. Егорова Н.А., Букшук А.А., Красовский Г.Н. Гигиеническая оценка продуктов хлорирования питьевой воды с учетом множественности поступления в организм // Гигиена и санитария, 2013. № 2. С. 18–23.
3. BaytakD., Sofuoglu A., InalF., Sofuoglu S.C. Seasonal variation in drinking water concentrations of disinfection by-products in IZMIR and associated human health risks. Science of The Total Environment. 2008, vol. 407 (1), pp. 286–296.
4. Krasnova T.A. The choice of sorbent for adsorption extraction of chloroform from drinking water / T.A. Krasnova, I.V. Timoschuk, A.K. Gorelkina, J. Dugarjav // Foods and Raw materials. 2017. № 2. С.189–196.
5. Когановский А.М. Адсорбция органических веществ из воды / Н.А. Клименко, Т.М. Левченко, И.Г. Рода. Л.: Химия, 1990. 256 с.

УДК 628.1

ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ОДНОСТУПЕНЧАТОМУ ОСВЕТЛЕНИЮ И ОБЕСЦВЕЧИВАНИЮ МАЛОМУТНОЙ ВОДЫ ДЛЯ ХОЗЯЙСТВЕННО-ПИТЬЕВЫХ ЦЕЛЕЙ

Э.Ш. Гулиев
ОАО «Азерсу», г. Баку, Республика Азербайджан

Приведено обоснование возможных вариантов одноступенчатой схемы очистки воды Джейранбатанского водохранилища для водоснабжения города Баку и Абшеронского полуострова и рекомендована технология водоподготовки.

Для увеличения объёма подачи питьевой воды в городе Баку и на Абшеронском полуострове в 1956 – 1961 гг. на месте озер Джейранбатан и Девейатагы было создано Джейранбатанское водохранилище. Вода в водохранилище поступает по Самур-Абшеронскому каналу. Объем водохранилища составляет 186 млн м^3, длина – 8,74 км, максимальная ширина – 2,15 км, максимальная глубина – 28,5 м, средняя глубина – 14,5 м. С 1956 года рядом с водохранилищем начато строительство Джейранбатанского комплекса водоочистных установок. Первая установка (осветлители со взвешенным слоем осадка, скорые фильтры) производительностью 2,64 м^3/сек была введена в эксплуатацию в 1961 году, вторая установка (осветлители со взвешенным слоем осадка, скорые фильтры) производительностью 2,64 м^3/сек – в 1968 году, а третья установка (горизонтальные отстойники, скорые фильтры) производительностью 2,22 м^3/сек – в 1978 году. И в 2015 году была введена в эксплуатацию одна из крупнейших ультрафильтрационных установок мира (с производительностью 6,6 м^3/сек) по очистке воды из Джейранбатанского водохранилища.

В настоящее время ведутся исследовательские работы реконструкции классических водоочистных сооружений Джейранбатанского комплекса для строительства новой водоочистной станции для обеспечения населения города Баку и Абшеронского полуострова высококачественной питьевой водой.

В соответствии с требованиями ГОСТ 2761-84 «Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения, гигиенические, технические требования и правила выбора» показатели качества воды Джейранбатанского водохранилища соответствуют первому классу, для которого ГОСТ 2761-84 (2006) рекомендует вести очистку воды до требований ГОСТ Р 51232-93, СанПиН 2.1.4.1074-01 в одну ступень: обеззараживание и фильтрование с коагулированием или

без него, при наличии фитопланктона – микрофильтрование. Из анализа качества воды отмечено превышение физико-химических показателей водоисточника только по мутности (не более 10 мг/л).

Таблица. **Сравнение результатов анализа качества воды Джейранбатанского водохранилища с показателями поверхностных источников водоснабжения (ГОСТ 2761-84)**

Наименование показателей	Показатели качества воды			
	Поверхностный источник водоснабжения			Джейранбатанское водохранилище
	1 класс	2 класс	3 класс	
Мутность, мг/л, нс более	20,0	1 500	10 000	1,57–9,69
Цветность, градусы, не более	35	120	200	0–8
Запах при 20 и 60 °С, баллы, не более	2	3	4	0
Водородный показатель (pH)	6,5–8,5	6,5–8,5	6,5–8,5	8,23–8,58
Железо (Fe), мг/л, нс более	1,0	3,0	5,0	0,002–0,118
Марганец (Мп), мг/л. не более	0,1	1,0	2,0	0,0003–0,108
Фитопланктон, мг/л, не более кл/л, не более	1,0 1 000	5,0 100 000	50,0 100 000	< 1,0 < 1 000
Окисляемость перманганатная, мгО/л, не более	7	15	20	3.2–4.9
$БПК_{полн}$, $мгО_2$/л, не более	3	5	7	2–3
Число лактозоположительных кишечных палочек в 1 л воды (ЛКП), нс более	1 000	10 000	50 000	20–670

Наряду с традиционными технологическими схемами осветления и обесцвечивания воды в одну ступень со скорыми или медленными фильтрами высокую надежность и технологичность подтвердили сооружения и аппараты, работа которых основана на принципе контактной коагуляции в толще фильтрующей загрузки. В сравнении с коагуляцией примесей в свободном объеме (отстойниках, осветлителях со слоем взвешенного осадка) метод контактной коагуляции положительно отличается не только высокой скоростью протекания процесса и степенью извлечения коллоидных примесей, но и независимостью процесса от щелочности и температуры воды, меньшие дозы коагулянта, меньшее влияние pH и др.. К сооружениям,

работающим в режиме контактной коагуляции, относятся контактные осветлители и контактные фильтры различных модификаций.

На Джейранбатанском комплексе водоочистных установок с ноября 2017 по февраль 2018 года проводили систематические исследования очистки воды, в результате которых установлена и подтверждена практическая целесообразность метода контактного фильтрования применительно к маломутным и малоцветным водам, как наиболее эффективного и экономичного в сравнении с традиционными двухступенными технологиями. Исследованиями определены также оптимальные дозы коагулянта, скорость фильтрования, продолжительность фильтроцикла, грязеёмкость загрузки.

Как отмечалось, предварительный выбор сооружений для осветления и обесцвечивания воды рекомендуется производить в соответствии с данными таблицы 10 СП 31.13330.2012 (СНиП 2.04.02-84* актуализированная редакция), в которой указано, что одноступенная обработка воды на открытых фильтрах реализуется при мутности исходной воды до 20 мг/л и цветности до 50 град.; контактное осветление при мутности до 120 мг/л и цветности до 120 град. Контактные фильтры по принципу своего действия аналогичны контактным осветлителям и устойчиво работают при мутности поступающей на них воды до 70 – 90 мг/л и цветности до120 град.. Однако, поскольку движение потока фильтруемой воды в контактных осветлителях осуществляется в восходящем направлении (снизу-вверх), скорость которого ограничена до $\upsilon_ф$ = 5,0 ÷ 5,5 м/ч (при большей скорости начинается вынос верхних мелких фракций фильтрующего слоя), то и удельная производительность (на единицу площади фильтрования $F_ф$ = 1 м^2) составит не более $q_{уд.} = F_ф \cdot V_ф = 1 \cdot 5{,}5 = 5{,}5$ м^3/ч. В отличие от контактных осветлителей важным преимуществом контактных фильтров является возможность значительного форсирования их работы повышением скорости фильтрования до 15 – 20 м/ч с одновременным увеличением полезной отдачи воды в сеть в периоды максимального водопотребления. Соответственно площадь фильтрования в сравнении с контактными осветлителями снижается в 3 – 4 раза.

Для обеспечения требуемого напора воды, смешения и контакта воды с реагентами, а также для выделения из воды воздуха перед фильтрами предусматривается входная камера. Для задержания фитопланктона перед входной камерой устанавливается микрофильтр. В целях улучшения процессов контактной коагуляции и обесцвечивания воды, поддержания надлежащего санитарного состояния водоочистных сооружений, а также для обеззараживания воды в технологии предусматривается предварительное (первичное) и вторичное хлорирование воды низкоконцентрированным гипохлоритом натрия.

Подача гипохлорита на первичное хлорирование осуществляется в первое отделение входной камеры, вторичное хлорирование производится в трубопровод очищенной (фильтрованной) воды перед ее подачей в РЧВ. Коагулянт вводится непосредственно в трубопровод перед фильтрами (после входной камеры). С тем, чтобы не происходило выпадение хлопьев в толще воды над фильтром, воду подают не по желобам (они предназначены только для отвода промывной воды), а через верхнюю распределительную систему, монтируемую над поверхностью загрузки на расстоянии 10 ÷ 15 см от нее (под желобами).

В соответствии с рекомендуемой технологией обработки воды методом контактного фильтрования применение флокулянта не требуется.

Наиболее перспективными и изученными из сооружений, работающих в режиме контактной коагуляции, считаются контактные фильтры типа КФ-5 с двух или многослойной загрузкой и скоростью фильтрования до 15 – 20 м/ч (против 4,5 ÷ 5,0 м/ч у контактных осветлителей). Наилучшие результаты (по данным литературных источников) получаются при использовании двухслойной загрузки: верхний слой имеет плотность зерен 1,3 ÷ 1,4 г/см^3; нижний – 2,6 ÷ 2,7 г/см^3. Различные плотности материалов обеспечивают их постоянное расположение по высоте фильтрующего слоя (после их взвешивания при промывке), а различные размеры фракций позволяют осуществлять фильтрование воды в направлении убывающей крупности зерен (сверху-вниз), что позволяет использовать всю 1,5 ÷ 2,0 метровую толщину загрузки, тогда как в обычных однослойных фильтрах работают только верхние 400 – 500 мм песчаного слоя, какой толщины бы он не был.

В итоге рекомендуем следующую технологию водообработки: исходная вода от насосной станции I-го подъема поступает на микрофильтр и далее во входную камеру, в первую секцию которой по опускной трубе дозируется гипохлорит натрия, поступающий по гипохлоритопроводу от электролизной установки. Из входной камеры вода самотеком направляется для глубокого осветления и обесцвечивания воды на высокопроизводительные контактные фильтры типа КФ-5. Коагулянт вводится непосредственно в трубопровод перед фильтрами (после входной камеры). Фильтрованная вода после КФ-5 вторично хлорируется и поступает в резервуары чистой воды.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 2761-84. Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Гигиенические, технические требования и правила выбора.

2. ГОСТ Р 51232-93.Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля качества.
3. СанПиН 2.1.4.1074-01. «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества». Санитарные правила.
4. Кульский Л.А., Строкач П.П. Технология очистки природных вод / 2-е изд., перераб. и доп. – К: Вища шк. 1986. 352 с.
5. МДК 3-02.2001. Правила технической эксплуатации систем и сооружений коммунального водоснабжения и канализации. М.: Госстрой, 2000.
6. Фрог Б.Н., Первов А.Г. Водоподготовка. – Издательство АСВ: 2015. 510 с.

УДК 628.16

БЕСПЫЛЕВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ УГОЛЬНОЙ ПУЛЬПЫ ИЗ АКТИВНЫХ АНТРАЦИТОВ ДОНБАССКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДЛЯ ДЕЗОДОРАЦИИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

С.Б. Сидаш
Администрация Ростовской области, г. Ростов-на-Дону, Россия
Л.Н. Фесенко, И.В. Пчельников, Р.В. Исраилов
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия
А.Ю.Черкесов, А.В. Маликова
ООО НПП «ЭКОФЕС», г. Новочеркасск, Россия

Рассмотрена проблема наличия сверхнормативных «запаха» и «привкуса» питьевой воды в летне-осенний период «цветения» р. Дон. Показана необходимость дезодорации воды на очистных сооружениях донских водопроводов. Предложена взрывобезопасная технология углевания питьевой воды на основе активированного каменноугольного антрацита.

Антропогенная деятельность оказывает отрицательное влияние на экологию. Интенсивно используя важнейшие природные ресурсы, такие как: земля, вода, воздух и полезные ископаемые, человек нарушает равновесие, создаваемое природой в течение миллионов лет. При этом в большей степени последствия негативного воздействия сказываются на источниках питьевого водоснабжения.

На фоне развития производства существенно ухудшилось состояние многих источников питьевого водоснабжения по таким показателям как: нефтепродукты, фенолы, полиароматические соединения и СПАВ [1]. Кроме того, одним из важнейших факторов нарушения экологического состояния водоемов является их антропогенное эвтрофирование, связанное с увеличением содержания азота, фосфора и других биогенных элементов, способствующих активному росту микроводорослей и высших водных растений в результате хозяйственной деятельности человека.

Массовое развитие микроводорослей в реке Дон в периоды «цветения» воды создает определенные трудности при ее очистке на станциях водоподготовки и негативно влияет на органолептические показатели качества воды, такие как «запах» и «привкус» [2]. В летне-осенний период питьевая вода приобретает затхлый, плесневый запах, что вызывает обоснованные претензии и жалобы потребителей. Так, на городских водопроводных станциях городов Ростовской области, в частности Ростова-на-Дону, Азова и Таганрога, Шахт и др. с водозабором из р. Дон в летне-осенний период, концентрация фитопланктона

превышает допустимый норматив для источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения более чем в четыре раза [3]. Аналогичная ситуация наблюдается также в городах, использующих воду бассейнов рек Волги, Урала, Кубани, Кумы, Северского Донца и Хопёр и многих других.

Методы борьбы с факторами, обуславливающими ухудшение органолептических показателей, разделяют на два вида: предотвращение чрезмерного развития микроводорослей и удаление продуктов их жизнедеятельности [4].

Наиболее эффективным методом борьбы с продуктами метаболизма микроводослей в мировой практике водоочистки признана сорбция порошкообразными или гранулированными активированными углями, которые в отличие от окислительных методов основаны не на деструкции органических соединений, а на их извлечении из воды.

Применение гранулированных активных углей требует больших капитальных и эксплуатационных затрат на строительство или реконструкцию фильтровальных сооружений и приобретение дорогостоящей сорбционной загрузки. Сезонность появления сверхнормативных «запаха» и «привкуса» в летне-осенний период с продолжительностью 2 – 3 месяца в году ставит под сомнение экономическую целесообразность применения данного способа.

Существующие технологии обработки питьевой воды порошкообразным активированным углем (ПАУ), предусматривающих использование готового сорбента, поставляемого на очистные сооружения в виде угольной пыли в деревянных барабанах или мешках. Преимуществом этого способа является возможность эпизодической дезодорации, кратковременно и в небольших количествах активного угля (АУ). Несмотря на высокую эффективность очистки (удаление нефтепродуктов 85 %, фенола – 80 %, цветности – 90 %, снижение перманганатной окисляемости на 50 % [5–7]) такие технологии имеют значительный эксплуатационный недостаток – опасность взрыва и пожара. Угольная пыль склонна к самовозгоранию, что является одной из главных причин взрывов в угольных реагентных хозяйствах [8].

Активный уголь изготавливают из углеродсодержащих материалов: угля, антрацита, древесины, кокосовой скорлупы, торфа и т. д. Процесс активации угля сложный и энергозатратный, что отражается на стоимости конечного продукта. Так, средняя стоимость ПАУ, например, типа БАУ (березовый) составляет 140 – 180 тыс. руб/т, при стоимости антрацитового активированного угля около 40 тыс. руб/т. Существенная разница в цене обусловлена стоимостью исходного сырья, используемого при производстве АУ.

На основании ранее проведенных нами исследований была определена перспективность дезодорации воды нижнего течения р. Дон

методом углевания с использованием ПАУ, получаемого активированием местных антрацитов угольного пласта «Обуховский» Шахтинского района Ростовской области [3]. Пилотные испытания очистки донской воды на опытно-производственной установке показали эффективность применения ПАУ полученного активированием местных антрацитов, при этом оптимальная доза ПАУ составляла 15 – 20 мг/л при дозе коагулянта оксихлорида алюминия – 20 – 25 мг/л. Лабораторными исследованиями установлено, что перманганатная окисляемость после введения угольной пульпы в воде снижалась на 49 % (с 4,48 мгO_2/л до 1,8 мгO_2/л). Также после введения угля и добавления геосмина (препарат, обуславливающий «землистый» запах), эффект очистки по удалению запаха составлял 100 %.

Наличие месторождений низкозольного антрацитового угля в Ростовской области, а также экономическая целесообразность производства на его основе сорбента, делает весьма перспективной разработку технологии сорбционной обработки питьевой воды активным порошкообразным каменноугольным антрацитом. Так, ООО НПП «ЭКОФЕС», г. Новочеркасск была разработана блочно-модульная станция углевания «БМС-СОРБЕНТ» предназначенная для приема, хранения, приготовления (измельчения) и дозирования ПАУ для сорбционной очистки природных вод на основе каменноугольного антрацита.

В предлагаемой станции блок-контейнерного исполнения полной заводской готовности, все этапы подготовки угля (хранение, перегрузка, измельчение и дозирование) осуществляются на месте его потребления по безпылевой технологии, предотвращающей какую-либо возможность взрыва. Станция обеспечивает прием, безпылевую растарку и хранение сорбента (фракцией 1 – 3 мм); перевод сорбента в его рабочее состояние, путем помола до фракции 20 – 50 мкм; приготовление рабочей пульпы концентрацией 5 %; подачу пульпы с заданным расходом в точки дозирования в течение сезонного периода появления запаха в сырой воде.

Технологическая схема станции углевания «БМС-СОРБЕНТ» производительностью 2500 кг/сут (по готовому продукту) приведена на рисунке 1, компоновочное решение на рисунке 2.

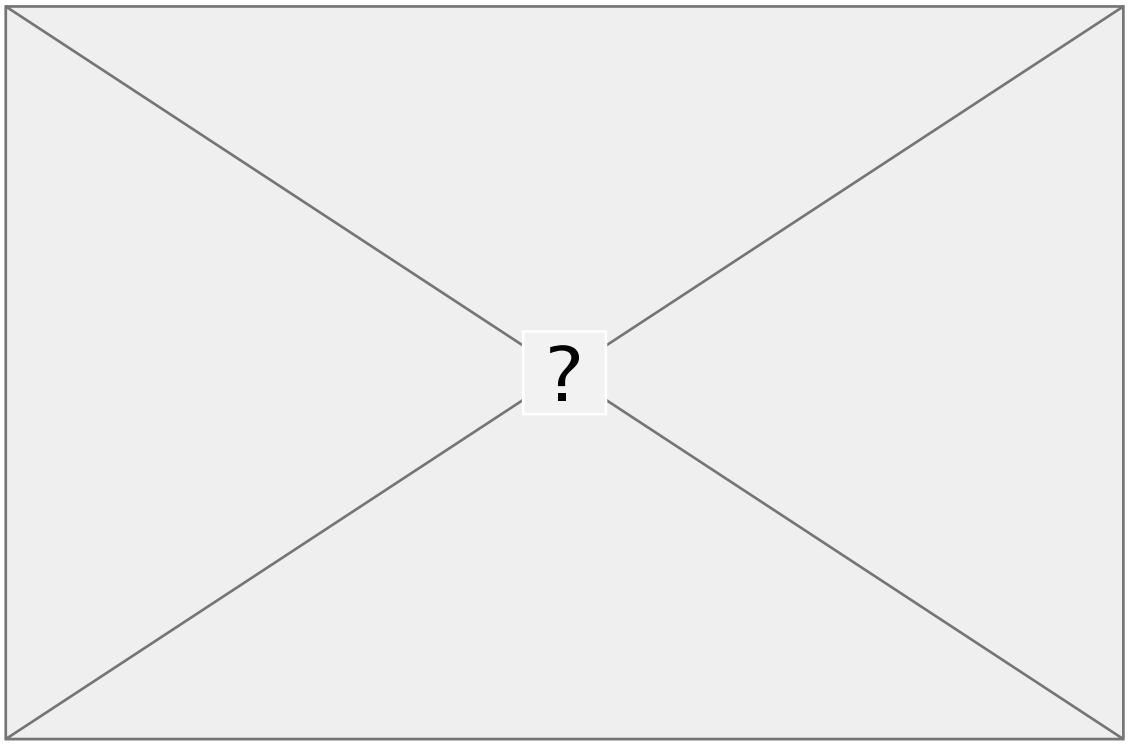
Дробленый активированный уголь (фракцией 1 – 3 мм, насыпной плотностью 1000 кг/м^3) доставляют на объект в мешках типа «биг-бег» (m = 1т), где распаковывают с помощью растаривателя (1) и перекачивают пневмокамерным насосом (2) в силос (4) (рис. 1).

Силос (4) оснащен фильтром очистки воздуха (5), датчиками уровня и системой вибровентиляции (6). Из силоса (4) уголь шнековым транспортером (7), подается в загрузочный бункер (13).

Рисунок 1. **Технологическая схема блочно-модульной**

станции углевания «БМС-Сорбент»:

1 – бункер-растариватель; 2 – насос пневмокамерный; 3 – компрессорные установки;



4 – силос; 5 – воздушный фильтр; 6 – система вибровентиляции; 7 – шнек;

8 – шнековый микродозатор; 9 – буферная ёмкость; 10 – вихревой электромагнитный гомогенизатор (ВЭГ); 11 – осушитель рефрежераторного типа; 12 – рессивер;

13 – загрузочный бункер; 14 – насос-дозатор угольной пульпы; 15 – мешалка;

16 – эжектор

Угольная масса из загрузочного бункера (13) поступает на микродозатор (8). Изменением скорости вращения привода микродозатора регулируется величина расхода угля.

Отмеренная микродозатором порция угля направляется в реактор вихревого электромагнитного гомогенизатора (ВЭГ) (10). ВЭГ предназначен для дробления термообработанного АУ с применением магнитных агитаторов – ферромагнитных стержней, вращающихся в электромагнитном поле.

В работающем ВЭГ’е происходит постоянный процесс измельчения угля, для отвода которого в эжекторе (16) создаётся вакуум, с помощью которого угольная взвесь смешивается с подаваемой туда водой. В смеси с воздухом угольная пыль при больших концентрациях (25 : 1) образует подвижную легко перекачиваемую массу.

После эжектора полученная угольная пульпа подается в буферную ёмкость (9) с постоянным её перемешиванием пропеллерной мешалкой и разбавлением водой до 5 % концентрации. Используемая для приготовления угольной пульпы вода подается из существующей сети хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Приготовленная пульпа дозируется центробежным насосом с частотным регулированием оборотов двигателя (14) в трубопровод сырой воды пропорционально расходу. Скорость движения пульпы в трубопроводе от насоса до точки ввода не менее 1,5 м/с.

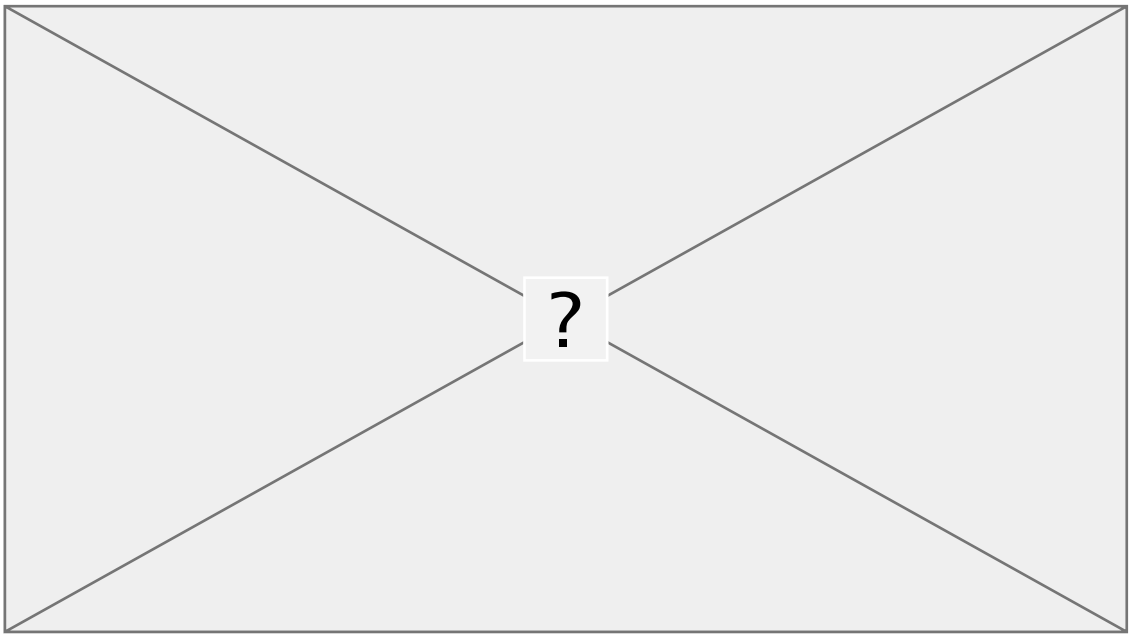


Рисунок 2. **Пример компоновки блочно-модульной станции «БМС-Сорбент»**

ООО НПП «ЭКОФЕС» разработан типоряд блочно-модульных станций углевания «БМС-СОРБЕНТ» разной производительности по приготовляемому ПАУ (табл.). Две станции углевания производительностью 1500 и 2500 кг/сут будут смонтированы и запущены в эксплуатацию в декабре 2018 года в гг. Азове и Таганроге.

Таблица. **Типоряд блочно-модульных станций углевания «БМС-СОРБЕНТ»**

Наименование параметра	Наименование станции углевания					
	БМС-СОРБЕНТ-100	БМС-СОРБЕНТ-500	БМС-СОРБЕНТ-1000	БМС-СОРБЕНТ-1500	БМС-СОРБЕНТ-2500	БМС-СОРБЕНТ-3000
Суточная производительность станции по приготовлению угля, не более, кг/сут.	100	500	1000	1500	2500	3000
Суточная производительность станции по обрабатываемой воде, не более, м^3/сут.	2 500	25 000	45 000	60 000	100 000	120 000

Наименование параметра	Наименование станции углевания					
	БМС-СОРБЕНТ-100	БМС-СОРБЕНТ-500	БМС-СОРБЕНТ-1000	БМС-СОРБЕНТ-1500	БМС-СОРБЕНТ-2500	БМС-СОРБЕНТ-3000
Габаритные размеры блок-контейнеров, не более (ДхШхВ), м	9х2,4х2,8	9х2,4х2,8	9х4,8х2,8	9х4,8х2,8	9х4,8х2,8	9х4,8х2,8
Габаритные размеры узла растаривания и хранения, не более (ДхШ), м	6х6	6х6	6х6	6х6	6х6	6х6
Количество блок-модулей, (ДхШ), шт./ габариты, м	1/9х2,4	1/9х2,4	2/9х2,4	2/9х2,4	2/9х2,4	2/9х2,4
Установленная мощность электрооборудования, кВт	15	30	50	75	125	150
Потребляемая мощность на технологические нужды станции, кВт	12,5	25	40	55	62	75

ВЫВОДЫ

Разработанная технология приготовления и дозирования сорбента позволит не только устранить запах и привкус питьевой воды, но и повысит барьерную роль очистных сооружений в отношении фенолов, нефтепродуктов. Беспылевая технология приготовления угольной пульпы не только взрывопожаробезопасна, но и экономически перспективна, в сравнении с существующими аналогами, может встраиваться в действующую схему водоподготовки ВОС без привлечения существенных капитальных затрат и в кратчайшие сроки. Позволяет функционировать как на древесных, так и на каменных активированных углях.

Технология станций «БМС-СОРБЕНТ» осуществляет:

– дезодорацию воды (удаление природных и антропогенных запахов воды);

– глубокое извлечение водорастворимых соединений по физико-химическим показателям качества воды (цветности, окисляемости и др.);

– временный (при ЧС на водоисточнике) или постоянный барьер в отношении широкого спектра токсикантов, нефтепродуктов, полиароматиков, фенолов, СПАВ и др.;

– снижение количества галогенорганических соединений в питьевой воде, образующихся при хлорировании.

ЛИТЕРАТУРА

1. Герасимов М.М. Пути усовершенствования технологий очистки природных поверхностных вод реагентными и сорбционными методами // НИИ ВОДГЕО, Москва.
2. Скрябин А.Ю., Поповьян Г.В., Тронь И.А. Фосфор как лимитирующий фактор «цветения» донской воды // Технологии очистки воды: «Техновод-2017»: материалы X-юбилейной Межд. науч.-практ. конф., г. Астрахань, 5-6 октября 2017 г. / Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т. (НПИ) имени М.И. Платова – Новочеркасск: Лик, 2017. С. 140–144.
3. Фесенко Л.Н., Бессарабов С.Ю., Щукин С.А., Игнатенко С.И. Экспериментальные исследования дезодорации донской воды углеванием с применением активных антрацитов донбасского угольного бассейна // Технологии очистки воды: «Техновод-2017»: материалы X-юбилейной Межд. науч.-практ. конф., г. Астрахань, 5-6 октября 2017 г. / Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т. (НПИ) имени М.И. Платова – Новочеркасск: Лик, 2017. С. 54–61.
4. Скрябин А.Ю., Поповьян Г.В., Тронь И.А. Микроводоросли как фактор, влияющий на органолептические свойства реки Дон // Водоснабжение и санитарная техника, 2015, № 8.
5. Домнин К.В., Архипова Е.Е., Алешко Д.С., Дунаевская Е.В., Кузьминова Ю.А., Герасимов М.М., Смирнов А.Д., Давлятерова Р.А. Обеспечение населения качественной питьевой водой в условиях чрезвычайной ситуации // Водоснабжения и санитарная техника, 2007, № 6, ч. 2.
6. Перемыкина Л.А., Смирнов А.Д., Герасимов М.М., Давлятёрова Р.А., Смагин В.А. Современные технологии водоподготовки в г. Челябинске // Водоснабжение и санитарная техника, 2012, № 8.
7. Смирнов А.Д., Миркис В.И., Кантор Л.И. Углевание воды при экстраординарных загрязнениях водоисточника р. Уфы // Водоснабжение и санитарная техника, 2001, № 5 (Ч. 2). С. 21–22.
8. Эстеркин Р.И. Свойства и характеристики угольной пыли. Промышленные котельные установки // http://toplivopodacha.ru/industrial-boilers.html

УДК 621.9.079

ОБЪЕМНО-ПАТРОННЫЕ ФИЛЬТРЫ ДЛЯ ОСВЕТЛЕНИЯ БОЛЬШИХ ОБЪЕМОВ ВОД

Е.М. Булыжев, А.Ю. Богданов
Ульяновский государственный технический университет, г. Ульяновск, Россия
Э.Е. Булыжев
ЗАО «Системы водоочистки», г. Ульяновск, Россия

Показано преимущество объемно-патронных фильтров при очистке водных технологических жидкостей от механических примесей в сравнении со скорыми напорными фильтрами.

Как известно, вода является важнейшим ресурсом страны и неотъемлемым элементом многих технологических процессов машиностроительных, металлургических и других производств. При этом объемы потребления воды неуклонно возрастают из года в год, а требования к её чистоте ужесточаются [1–3]. В связи с этим интенсифицируется поиск новых высокопроизводительных средств очистки воды от механических и иных примесей. В указе № 204 от 07.05.2018 «О национальных целях и стратегических задачах развития РФ на период до 2024 г.» в числе важнейших поставлена задача повышения качества питьевой воды посредством модернизации систем водоснабжения с использованием перспективных технологий водоподготовки. Как известно, одним из эффективных решений этой проблемы является очистка воды в тонком фильтрующем слое, намытом на патроны фильтра [1–2]. Эта технология позволяет многократно увеличить площадь фильтрующей поверхности без увеличения габаритных размеров фильтра и соответственно увеличить его производительность.

Однако возможности применения намывных патронных фильтров ограничены некоторыми присущими им технологическими особенностями:

– уровень показателей чистоты водной технологической жидкости (ВТЖ) ограничен небольшой толщиной намывного фильтрующего слоя (1 – 3 мм), обусловленной его склонностью к сползанию;

– эта же причина ограничивает шламоемкость намывного слоя, которая определяет длительность фильтрования до очередной регенерации фильтра, т.е. длительность его рабочего цикла;

– тонкий намывной слой уплотняется при попытке интенсификации процесса фильтрования (повышение производительности) путем увеличения перепада давления на входе и выходе фильтра.

К тому же следует учитывать, что конструкция намывных патронных

фильтров значительно сложнее конструкции скорых патронных фильтров (СНФ) [3, 5–6].

Увеличение толщины намывного фильтрующего слоя без изменения конструкции патрона неосуществимо и чревато спонтанным обрушением намывного слоя, а следовательно и ухудшением качества очищенной воды.

Однако возможно следующее техническое решение данной проблемы: можно разместить на поверхности патронов конструктивные элементы (перегородки), разделяющие слои фильтрующей загрузки. В этом случае толщину фильтрующего слоя можно увеличить до 10 мм и более и снять тем самым указанные ограничения. Этот фильтр назван авторами объемно-патронным (ОПФ).

Предлагаемое решение позволит одновременно и существенно повысить надежность фильтра, его удельную производительность и чистоту фильтрата по сравнению с СНФ.

Для увеличения длительности фильтроцикла в очищаемую воду добавляют 5 – 10 г/м^3 фильтрующего материала, что предотвращает образование сплошной слабопроницаемой пленки из взвешенных веществ. Разделительные элементы предотвращают сползание осадка.

Водопроницаемая перегородка определяет тонкость очистки в начальный момент времени.

Во время рабочего цикла фильтра контролируют его производительность, не допуская ее снижения более чем на 50 %, во избежание излишнего уплотнения слоя осадка на патронах. Фильтр отключают при увеличении перепада давления свыше 1,5 бар.

Эффективность предлагаемых ОПФ выявляли путем сопоставления значений их технических характеристик со значениями соответствующих показателей СНФ.

Сопоставление технических характеристик СНФ и ОПФ показывает, что:

- при фильтровании загрязненной жидкости в ОПФ обеспечивается практически полное удаление из жидкостей механических примесей;
- удельная производительность фильтрования в ОПФ значительно превышает значение этой характеристики для СНФ;
- удельная шламоемкость ОПФ в 15 раз превышает этот показатель для СНФ.

На основе приведенной выше информации в ЗАО «Системы водоочистки» (г. Ульяновск) спроектирован, изготовлен и испытан модельный небольшой объемно-патронный фильтр ОПФ-0,45. Этот фильтр имеет характеристики, приведенные в таблице. Внутри цилиндрического корпуса по окружности диаметром 160 мм расположены 3 патрона диаметром 60 мм.

Испытания фильтра ОПФ-0,45 проводили при температуре воды 20 °С. Очистке подвергалась вода, концентрация механических примесей в которой составляла 10 мг/дм^3. Расход воды определяли с помощью стандартного счетчика и секундомера или расходомера, а давление на входе в фильтр и выходе из него – по показаниям манометров РОСМА ТМ-110. Размеры частиц механических примесей определяли микроскопическим методом.

Результаты длительных испытаний фильтра ОПФ-0,45 выявили следующие факты и зависимости:

- чистота фильтрата соответствует чистоте воды по требованиям СанПиН;
- очищенная вода практически не содержит механических примесей;
- средняя за время рабочего цикла удельная производительность фильтрования воды в ОПФ-0,45 $q_ц$ равна 87 м^3/ч/м^2, что в 9 раз выше, чем у СНФ;
- удельная шламоемкость загрузки фильтров ОПФ-0,45 равна 2,46 г/кг;
- потеря напора на входе и выходе фильтра не превышают 0,8 бара;
- длительность операции регенерации фильтра – до 15 мин.

Таблица. **Технические характеристики напорного объемного патронного фильтра ОПФ-0,45**

Исходные условия: $D_ф$ = 0,25 м; $L_п$ = 1,0 м; $ρ_з$ = 1170 кг/м^3; η = 0,001 Па·с; t = 20 °С; $C_и$ = 2,5 мг/дм^3; $t_п$ = 0,08 м; $N_п$ =3 шт.

Техническая характеристика	Символ	Единица измерения	Значение
Площадь горизонтальной проекции фильтра	$S_г$	м^2	0,049
Удельная фильтровальная площадь	$S_{фуд}$	м^2/м^2	9,2
Объем фильтрующей загрузки	$υ_з$	м^3	0,0056
Масса фильтрующей загрузки	$G_з$	кг	6,6
Длительность цикла фильтрования	$t_ц$	ч	4
Объем фильтрата за цикл фильтрования	$υ_ф$	м^3	6,5
Суммарная шламоемкость фильтра за цикл фильтрования	$G_{шц}$	г	16,35
Удельная шламоемкость фильтра за цикл фильтрования	$g_{шц}$	г/кг	2,46

Расчетная удельная производительность за цикл фильтрования (приведенная к $S_г$ =1,0 м^2 при плотности упаковки патронов $К_п$*=0,45)	$q_ц$	(м^3/ч)/м^2	87
Перепад давления в фильтре	Δp	бар	0,1 – 1,2
Диаметр патрона	$d_{оп}$	м	0,05
Габаритные размеры фильтра: длина ширина высота	 L B H	 м м м	 1,0 1,0 3,5

Примечание: * $К_п$ – коэффициент плотности упаковки патронов в фильтре (отношение суммарной площади поперечного сечения патронов к площади фильтра).

Экспериментальные данные, полученные путем моделирования процесса фильтрования в опытном ОПФ, подтвердили корректность разработанной методики расчета значений технических характеристик ОПФ любых размеров, производительности и длительности цикла фильтрования.

ВЫВОДЫ

На основании вышесказанного, можно сделать следующие выводы:

1. Конструкция опытного патронного фильтра обеспечивает многократное увеличение площади фильтрования, хотя и сложнее конструкции скорого напорного фильтра.
2. При равной площади горизонтального сечения рабочего пространства и прочих равных условиях масса слоя фильтрующей загрузки в объемно-патронных фильтрах в 2 – 4 раза меньше по сравнению с той же технической характеристикой скорого напорного фильтра. Благодаря этому преимуществу удельная шламоемкость за цикл фильтрования объемно-патронного фильтра значительно превосходит тот же показатель скорых напорных фильтров.
3. Удельная фильтровальная площадь  объемно-патронного фильтра, пропорциональная длине патронов, в 30 раз (при $L_п$ = 1 м) превышает  скорого напорного фильтра. Благодаря этому удельная производительность фильтрования воды в объемно-патронных фильтрах превышает ту же техническую характеристику СНФ в 9 –15 раз.
4. Потери воды на собственные нужды (регенерацию) объемно-патронного фильтра составляют не более 5 – 10 % от объема очищенной воды, потери напора – около 1,2 бара, потери микропеска – 5 г/м^3, время регенерации – 15 мин.
5. Вода, очищенная в объемно-патронных фильтрах, не содержит механических примесей, что практически не наблюдается при очистке водных жидкостей в скорых напорных фильтрах.

6. Основным фактором, обеспечивающим высокую эффективность объемно-патронных фильтров, является большая удельная фильтровальная площадь.

На основании вышеизложенного можно утверждать, что объемно-патронные фильтры являются новым, значительно более производительным средством глубокой очистки водных жидкостей от механических примесей по сравнению со скорыми напорными фильтрами. Эти фильтры рекомендуются для использования в качестве очистителей второй ступени («полицейских» фильтров) в многоступенчатых системах очистки больших объемов воды и водных технологических жидкостей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Худобин Л.В. Технологии и техника применения смазочно-охлаждающих жидкостей при механической обработке / Л.В. Худобин, Е.М. Булыжев. – Старый Оскол: ТНТ, 2016. 228 с.
2. Булыжев Е.М. Высокопроизводительные намывные фильтры / Е.М. Булыжев, Л.В. Худобин // Наукоемкие технологии в машиностроении. 2016. № 7. С. 14 – 23.
3. Actiflo совершенный осветлитель / http://technomaps.veoliawatertechnologies.com /vwst-russia/ ressources /documents/ 1/14280,ACTIFLO_RUS.pdf.
4. Применение технологии фильтрации OFSY в промышленности. http:// aqualux. com. ua/sistemy-ochistki-vody-culligan/20-frontpage/378-ofsy-culligan.html.
5. Фильтрация на многослойных зернистых фильтрах / http:// www. filtechs.ru / TECH_Multimed_filt.html.
6. Очистные сооружения с двухступенчатой фильтрацией Culligan OFSY / http: // www.vodgeo-lab.ru / oborudovanie /voda/ofsy/index.html

УДК 628.823

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛИМЕРНЫХ МЕМБРАН ОБРАТНООСМОТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ДЛЯ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Д.В. Кашарин, С.Ю. Бессарабов, Н.А. Яценко

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

В статье рассматриваются вопросы водоподготовки подземных вод с применением обратноосмотических установок в условиях Ростовской области. Приведены исследования структуры и качественного состава полимерных мембран обратноосмотических установок после окончания срока службы их эксплуатации. Выполнен анализ причин снижения срока службы и предлагаются мероприятия по повышению эффективности их использования.

В настоящее время для целей хозяйственно-питьевого водоснабжения в Ростовской области используются ресурсы подземных вод, значительная часть которых имеет повышенную минерализацию, и задача ее снижения при водоподготовке является актуальной [1–2].

Перспективным является использование мембранных технологий, эффективность и конкурентоспособность которых может быть повышена за счёт снижения энергоёмкости установок, утилизации концентрата, а также снижение срока эксплуатации мембранных элементов за счёт загрязнения [2].

Мембранное загрязнение является одним из основных недостатков использование обратного осмоса для опреснения [1–3].

Причинами загрязнения обратноосмотической мембраны являются:

- снижение механической прочности за счет гидравлических ударов, абразивного воздействия частиц, колебательных деформаций при значительной турбулентности потока;
- наличие взвешенных частиц и взаимодействие с микроорганизмами, приводящими к росту бактериальных колоний;
- адсорбция органических соединений на поверхности мембраны;
- образование нерастворимых соединений;
- концентрационная поляризация (КП).

Для повышения сроков эксплуатации мембранных элементов нами рассматриваются вопросы режимов их эксплуатации, и проводится анализ результатов их исследования на основе результатов структурного

исследования мембран обратноосмотической установки, эксплуатирующийся в п. Чертково Ростовской области для водоподготовки подземных вод с целью технического и хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Был праведен анализ качественного состава прошедшей предварительную очистку исходной подземной воды, пермеата и концентрата после обратноосмотической установки (рис. 1).

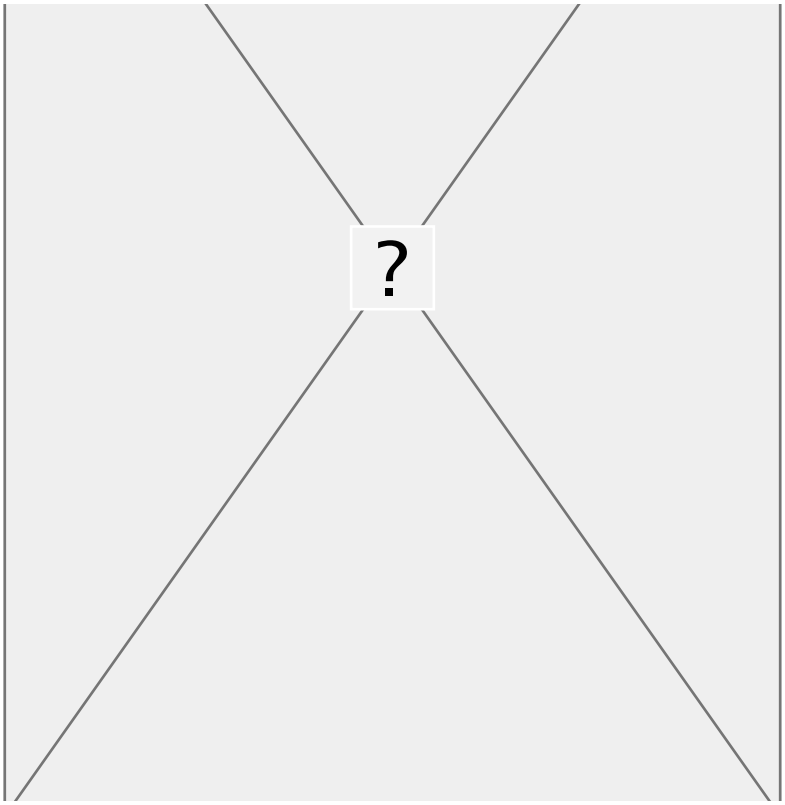


Рисунок 1. **Качественный состав воды до и после обработки на обратноосмотической установке, установленной в п. Чертково**

Однако срок службы мембранных элементов вместо расчётных пяти снизился до 3 лет из-за потери их селективности и производительности.

Рассмотрим причины снижения срока службы данных мембранных элементов (МЭ). В составе обратноосмотических установок применялись низконапорные МЭ КСН 4040-С фирмы Filmtec с мембраной из композитного полиамида, эксплуатировавшегося при давлении 0,6 МПа с входным потоком 3,6 $м^3$/ч при нормативном значении показателя степени загрязнения воды механическими и коллоидными примесями SDI < 5 (3 мгO_2/л и мутность менее 1 NTU (0,56 мг/л). В связи с этим основными причинами загрязнения мембран могут быть: образование нерастворимых соединений; концентрационная поляризация; снижение механической прочности. В рассматриваемой установке при водоподготовке использовалась одноступенчатая технологическая схема, включающая

мембранные элементы с фильтрованием тангенциальным потоком, преимущество которого заключается в постоянной промывке мембраны исходным потоком по схеме, приведённой на рисунке 2. При этой схеме происходит постепенное уменьшение скорости потока по длине мембраны ☒ при увеличении солесодержания в нем, что приводит к усилению эффекта КП и увеличивает неравномерность величины отложений [4–5].

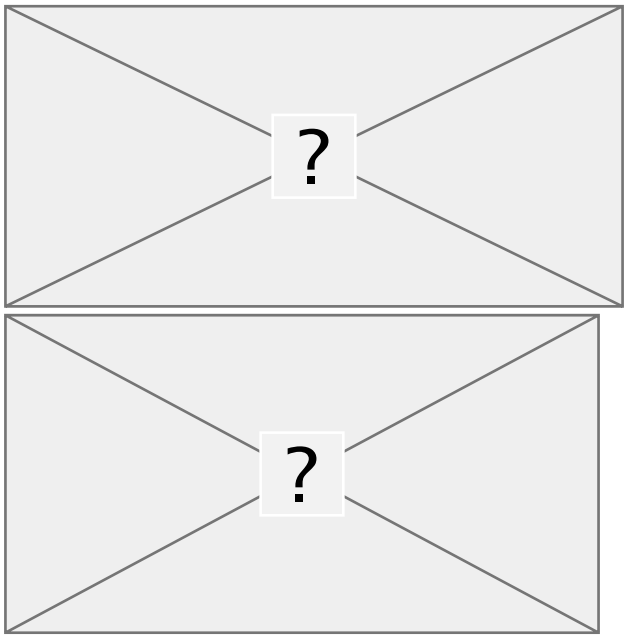
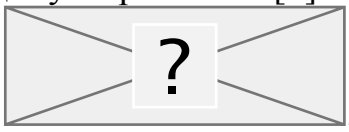


Рисунок 2. **Схема фильтрования из тангенциального потока:**
а – изменение средней скорости потока и концентраций при движении вдоль мембранного элемента; б – изменение концентраций в примембранном слое вдоль движения потока; 1 – напорный канал; 2 – ламинарного подслоя; 3 – мембрана

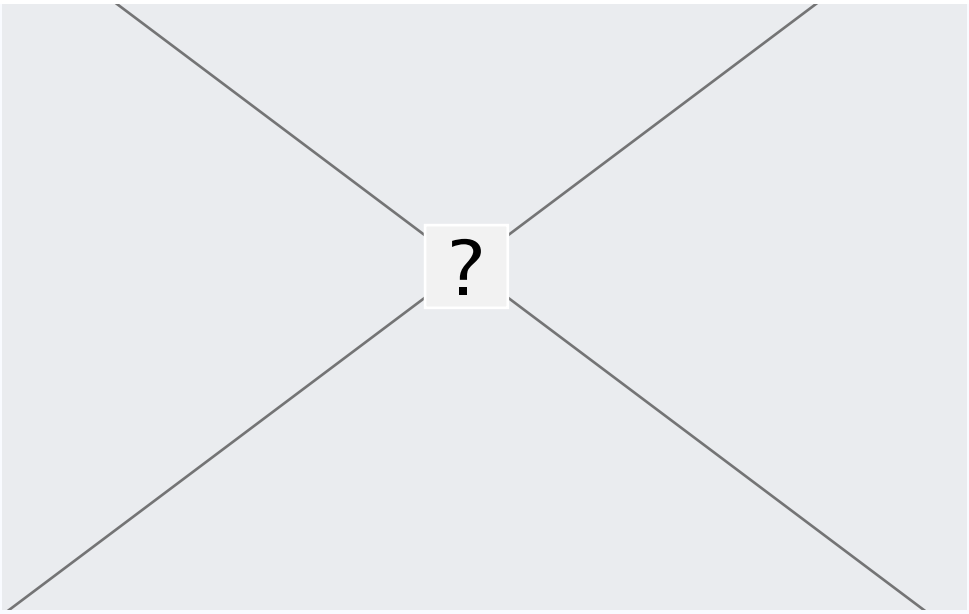
Вероятность появления КП зависит от режима движения потока и толщины ламинарного подслоя ☒, локальное солесодержание в котором будет повышенным. В результате пристеночная концентрация примесей начинает увеличиваться, что вызывает ее диффузионный отток. После установки равновесия диффузионный отток сравняется с задерживаемым притоком примесей, установится равновесие, и пристеночная концентрация стабилизируется (рис. 2). Качественной характеристикой фактора КП по рекомендациям А.Г. Первова является фактор КП, определяемый по следующему выражению [4].

 .

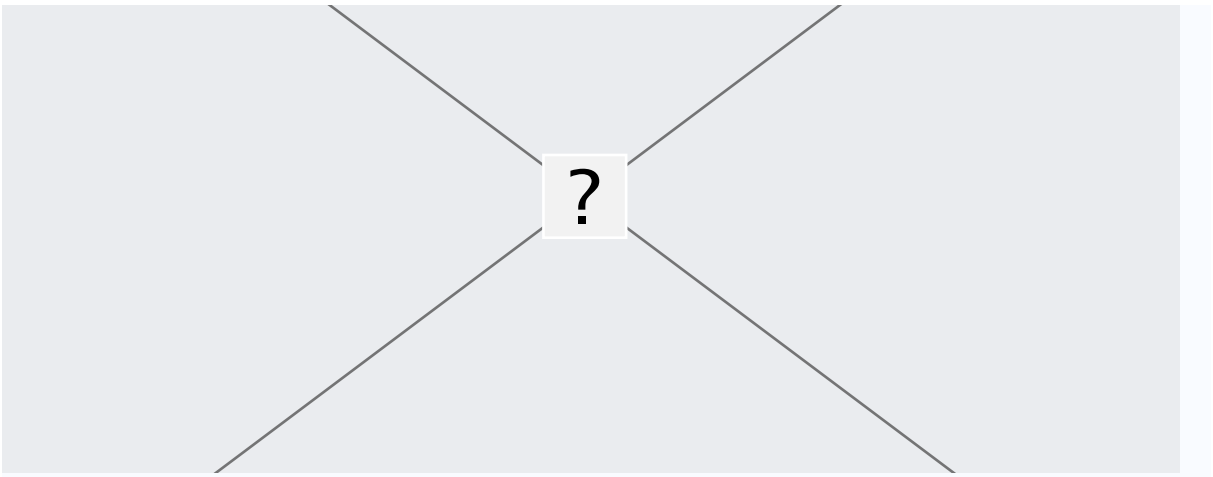
Значения КП > 1, свидетельствует о возникновении явления концентрационной поляризация и зависят от соотношения поперечных

и продольных составляющих скоростей, кинематической вязкости потока , а также коэффициента диффузии растворенного вещества . Данная зависимость не учитывает относ примеси от мембраны, происходящий под действием гидродинамических факторов напорном канале ( ), в том числе скоростной структуры и изменения шероховатости за счет нерастворимых отложений.

С помощью высоковакуумного сканирующего зондового микроскопа Solver HV в режиме полуконтактной атомно-силовой микроскопии были просканированы образцы мембраны, вырезаемые из среднего слоя мембранного элемента, эксплуатировавшегося более 3 лет на обратноосмотической установке в п. Чертково. Взятие образцов было осуществлено на удалении 0,1 м от начала мембранного элемента и 0,1 м от его конца. Выявлено, что наибольшая интенсивность образования отложений наблюдается на наиболее удалённом участке мембранного элемента (рис. 3), что свидетельствует о повышении шероховатости в конце участка мембранного элемента.



а

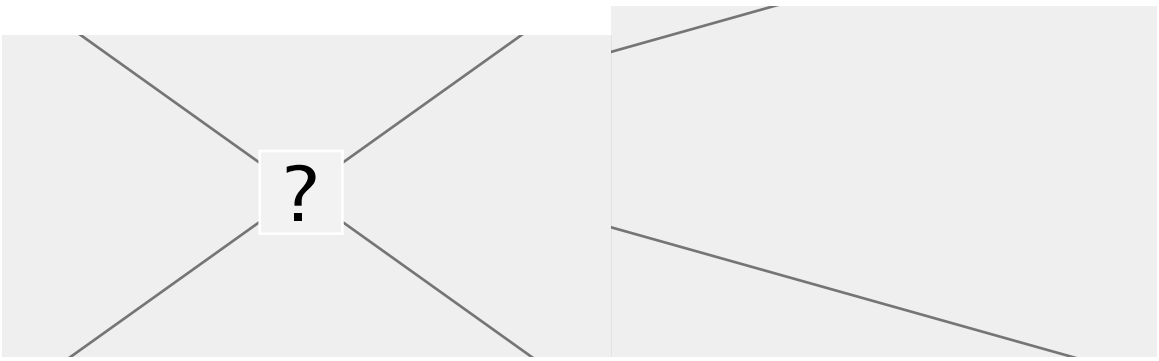


б

Рисунок 3. **Результаты сканирования начального и конечного участка поверхности мембраны в рулонном элементе:**

а – результаты сканирования начального участка; б – результаты сканирование конечного участка

Для изучения структуры образцов мембраны FILMTEC™ (рис. 4, а) был произведен разрез ионным пучком двух образцов и изучение атомарного состава трех слоев: ультратонкого полиамидного барьерного слоя толщиной 200 нм, непосредственно участвующего в процессе фильтрации; поддерживающего слоя; микропористого полисульфонного подслоя равномерно отводящего пермиат.



а б

Рисунок 4. **Структура мембраны фирмы FILMTEC**

а – схематическое сечение тонкопленочной композитной мембраны:
б – разрез мембраны на электронном микроскопе

Данные образцы были изучены по качественному составу по слоям 1–3, в первом образце начиная от полиамидного барьерного слоя и аналогично во втором образце – 4–6 слои (табл.).

Таблица 1. **Определение процентных соотношений веществ, содержащихся в слоях мембраны обратноосмотической установки**

№ п/п	Наименование вещества	Слой № 1	Слой № 2	Слой № 3	Слой № 4	Слой № 5	Слой № 6
1	C	67.28	62.81	69.67	69.99	57.07	54.58
2	O	32.19	35.78	7.22	15.55	4.02	4.61
3	Na		0.06	0.15	1.19	0.45	
4	Mg					0.06	
5	Al	0.43	1.23	4.01	2.13	3.44	2.90
6	Si			0.23	0.21	1.44	0.21
7	P					0.38	0.12
8	S	0.04		6.90	3.03	6.67	1.02
9	Cl	0.02	0.03	4.65	1.92	8.61	14.74
10	K			1.71		0.11	
11	Ca			0.88		1.35	43345
12	Ti	0.03	0.09	3.15	5.20		
13	Cr					0.10	0.21
14	Fe			0.56	0.78	16.13	18.82
15	Cu						0.35
16	Zn					0.18	0.34
17	Sb			0.87			54.58
Сумма		100	100	100	100	100	100

Как видно из таблицы в полиамидно барьерном слое на конечном участке (слой 5) возрастают концентрации составляющих щелочноземельных металлов. Так как адгезия кристаллов сульфатов щелочноземельных металлов по отношению к мембране низкая, то при пуске остановке установки при перемещении спейсера, начинается движение кристаллов, что может вызвать необратимые повреждения поверхности ОО-мембраны (рис. 4, б), что в свою очередь повлечет за собой снижение ее селективности.

ВЫВОДЫ

При проведении исследований структуры мембраны обратноосмотической установки выявлено, что для условий Ростовской области наиболее характерными причинами снижения срока эксплуатации является отложение нерастворимых соединений, увеличение концентрационной полимеризации и механического износа в конце

мембранного элемента. В связи с неравномерным воздействием на мембранный элемент необходимо предусматривать мероприятия, обеспечивающие более равномерную нагрузку на мембранный элемент при его эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анализ существующих технических решений, технологий и расчетных положений по децентрализованному и резервному водо- и энергоснабжению объектов рекреации в условиях южного региона Российской Федерации [Текст]: отчет о НИР (промежуточный этап № 1) / Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова»; рук. Кашарин Д.В. – Новочеркасск, 2018. – 595 с. № 13.1236.2017/ПЧ.
2. Кашарин Д.В., Бессарабов С.Ю Обоснование выбора систем водо-, энергоснабжения флото- и ботокемпингов для условий черноморского побережья Краснодарского края // Технологии очистки воды: «Техновод-2017»: материалы X-юбилейной Межд. науч.-практ. конф., г. Астрахань, 5-6 октября 2017 г. / Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т. (НПИ) имени М.И. Платова – Новочеркасск: Лик, 2017. С. 129–135.
3. Kasharin, D.V., Bessarabov S.Y. Borisova V.Y. Technical Solutions and Technological Schemes for the Engineering Protection of the Water and Energy Supply of Small Recreational Facilities on the Black Sea Coast of the Krasnodar Region // Nase more, vol. 65, № 2, 2018. С. 63–70.
4. Первов А.Г. Современные высокоэффективные технологии очистки питьевой и технической воды с применением мембран: обратный осмос, нанофильтрация, ультрафильтрация. М.: АСВ, 2009. 231 с.
5. Ефремов А.В. Кинетика процесса разделения растворов методом обратного осмоса с использованием ацетатцеллюлозных и боросиликатных мембран [Текст]: дис. ... канд. тех. наук. Москва, 2014. 153 с.

УДК 628.166

К ВЫБОРУ РЕЖИМА ПРЯМОГО ЭЛЕКТРОЛИЗА ВОДЫ ВЬЕТНАМСКОГО МОРЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ГИПОХЛОРИТА НАТРИЯ

Л.Н. Фесенко, И.В. Пчельников, Ю.А. Басанцева, Т.И. Гостева
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия
А.С. Териков
ООО НПП «ЭКОФЕС», г. Новочеркасск, Россия
Нгуен Тхи Туан Зъеп
Южно-Российский государственный политехнический университет
(НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия
г. Куань Винь, Социалисти́ческая Респу́блика Вьетна́м

В статье представлены исследования прямого электролиза воды Вьетнамского моря. Определены основные технологические параметры, позволяющие получать гипохлорит натрия прямым электролизом морской воды концентрацией до 2 г/л по активному хлору с минимальным расходом электроэнергии 3,5 кВт·ч/кг при использовании электродов ОИРТА.

В последнее десятилетие в системах водоподготовки, как в России, так и за рубежом наблюдается устойчивая тенденция роста практического применения гипохлорита натрия в качестве окислителя и дезинфектанта, не только на предприятиях ВКХ, но и в энергетике, химической промышленности, судоходстве и других отраслях [1]. 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 [2].

Низкоконцентрированный гипохлорит натрия получают электролизом искусственно приготовленных растворов пищевой поваренной соли и природных хлоридсодержащих вод – подземной, а также воды морей и океанов. Производство ГХН из 3 %-ных растворов NaCl связано с многотоннажными поставками поваренной соли, её складированием и хранением. Применение поваренной соли требует специальной подготовки солевых растворов и воды для ее растворения – декарбонизации или умягчения.

Использование природных хлоридсодержащих вод в качестве сырья существенно упрощает технологическую схему получения ГХН. Технология прямого электролиза может встраиваться в действующие схемы водоподготовки без их существенного изменения. Применение

природных вод, содержащих хлориды, позволяет отказаться от покупки поваренной соли, что снижает стоимость готового продукта на 30 – 40 % [3].

Существенное влияние на прямой электролиз оказывает состав природной воды: концентрация хлоридов, минерализация, жесткость; материал электродов, температура раствора и т.д. Для эффективной работы электролизера при прямом электрохимическом обеззараживании воды необходимы не только обоснованный выбор материала покрытия анодов, но и соблюдение оптимальных электрофизических параметров протекания процесса (анодная плотность тока, расход электролита, мероприятия по предотвращению катодных отложений солей жесткости), соответствующих конкретному составу воды.

Для расширения географии применения ГХН и более глубокого понимания процессов, оказывающих влияние на технологические параметры электролиза, нами были проведены исследования прямого электролиза воды Персидского залива, Черного и Средиземного морей, результаты которых представлены в работах [4–6].

Цель настоящих исследований – определение оптимальных технологических параметров бездиафрагменного электролиза воды Вьетнамского моря для получения низкоконцентрированного ГХН.

Исследования проводили на модельном растворе Вьетнамского моря, полученного растворением расчетных навесок солей. Химический состав модельного раствора представлен на рисунке 1 в виде диаграммы гипотетического состава солей по основным ионам.

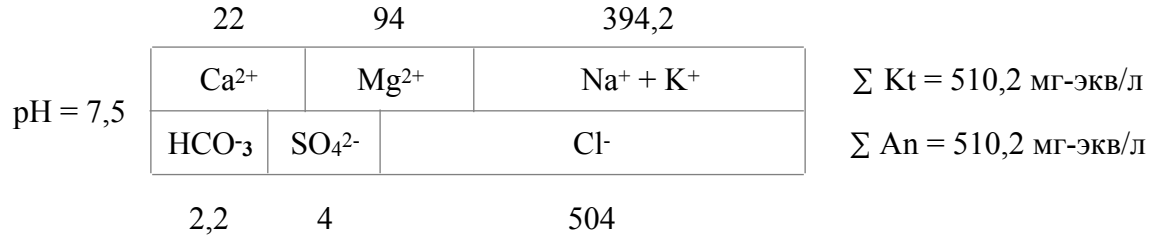


Рисунок 1. **Диаграмма химического состава воды Вьетнамского моря**

Исследования проводили в бездиафрагменной электрохимической ячейке ($W_{яч}$ = 18 мл) на постоянном электрическом токе в проточном режиме работы при плотностях тока 300, 500 и 1000 А/м^2, исходной температуре раствора 27 °С (рис. 2). В качестве электродов использовали оксидный иридиево-рутениевый титановый анод (ОИРТА). Рабочие площади анода и катода составляли по 33 см^2.

Прямой электролиз воды Вьетнамского моря с минерализацией 35 ‰ и концентрацией хлоридов 14,2 г/дм^3 (рис. 1) протекал с напряжением: 4,0 В при плотности тока 1000 А/м^2; 3,5 В – 500 А/м^2; 3,1 В – 300 А/м^2. Величина pH при электролизе находилось в пределах от 8,7 до 9,2 ед.

С увеличением продолжительности электролиза (уменьшением расхода морской воды через ячейку), наблюдался разогрев электролита при всех исследуемых плотностях тока температура возрастала в среднем на 1,5 °С во время электролиза.

В ходе исследований определяли влияние расхода морской воды и плотности тока на концентрацию активного хлора в получаемом гипохлорите, изменение величины выхода хлора по току и удельный расход электроэнергии на килограмм образующегося активного хлора.

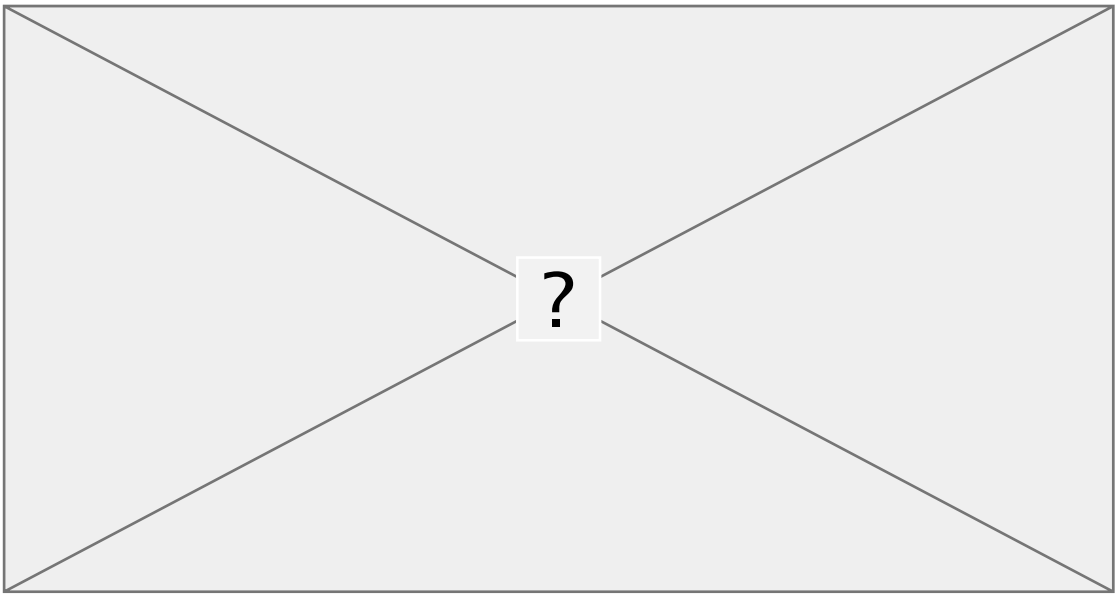


Рисунок 2. **Схема экспериментальной установки проточного типа:**
1 – электролизная ячейка; 2 – электроды; 3 – блок питания; 4 – емкость исходной морской воды; 5 – термометр; 6 – кран регулирования расхода; 7 – pH-метр; 8 – накопитель ГХН

В результате проведенных экспериментов получены зависимости концентрации активного хлора от времени пребывания морской воды в электролизной ячейке (рис. 3) которые характеризуются постепенным снижением концентрации активного хлора при уменьшении времени пребывания раствора в электролизере. Максимальную концентрацию по активному хлору 6,2 г/дм^3 при электролизе воды Вьетнамского моря удалось получить при минимальном расходе 3,4 мл/мин при плотности тока 1000 А/м^2. При анодной плотности 500 А/м^2 концентрация активного хлора достигла максимума 4,9 г/дм^3, а при 300 А/м^2 – 3,6 г/дм^3. Минимальная концентрация 0,8 г/дм^3 была получена при анодной плотности 300 А/м^2, при 500 и 1000 А/м^2 – 1,1 и 2,0 г/дм^3 соответственно.

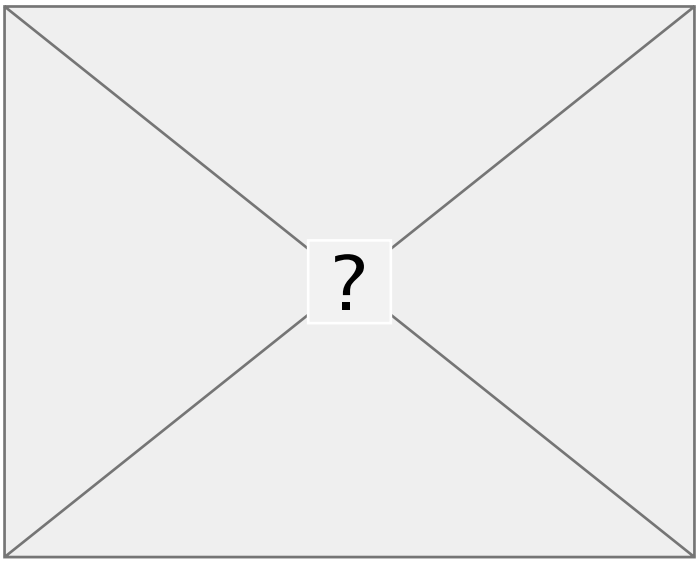


Рисунок 3. **Зависимость концентрации активного хлора от расхода электролита и плотности тока**

Эффективность процесса электролиза оценивали по выходу активного хлора по току (рис. 4), который находился в пределах 15 – 95 % в зависимости от продолжительности электролиза (расхода электролита). Для плотности тока 1000 А/м^2 максимальные значения величин выхода хлора по току (85 – 90 %) были получены при электролизе воды Вьетнамского моря при концентрации по активному хлору 2,0 г/дм^3 в интервале расходов 30 –35 мл/мин. Для плотности тока 500 А/м^2 те же значения выхода хлора по току были получены в том же интервале расходов, при этом концентрация активного хлора составила 1,0 г/дм^3. При анодной плотности тока 300 А/м^2 максимальный (90 %) выход тока по хлору был получен в интервале расходов от 20 мл/мин до 30 мл/мин, с минимальной концентрацией активного хлора 0,8 г/дм^3.

Высокие показатели выхода активного хлора (более 100 %), объясняются сопутствующим образованием иных окислителей, таких как: перекись водорода, озон, атомарный кислород [4], которые увеличивают показатели при йодометрическом определении активного хлора.

При электролизе хлоридных растворов эффективность работы характеризуется не только сравнением выхода хлора по току, но и сопоставлением удельных затрат электроэнергии на килограмм вырабатываемого активного хлора. Для оценки расхода электроэнергии, отнесенного к производству 1 кг активного хлора, была построена зависимость в координатах: «концентрация активного хлора – удельные затраты электроэнергии» для исследуемых плотностей (рис. 5). Из графика следует, что при плотности тока 300 А/м^2 рост концентрации хлора начинается с 2,2 кВт·ч/кг, при плотности 500 А/м^2 – с 2,7 кВт·ч/кг, 1000 А/м^2 – 3,5 кВт·ч/кг.

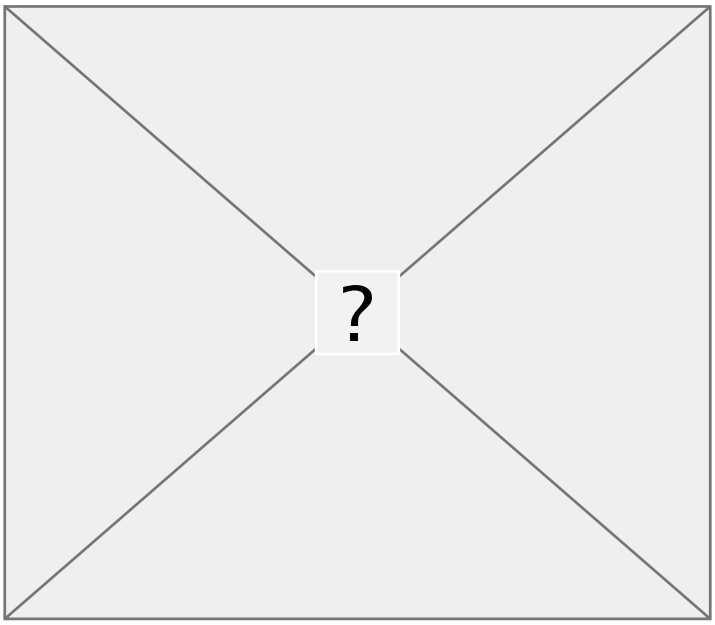


Рисунок 4. **Зависимость выхода хлора по току от расхода электролита и плотности тока**

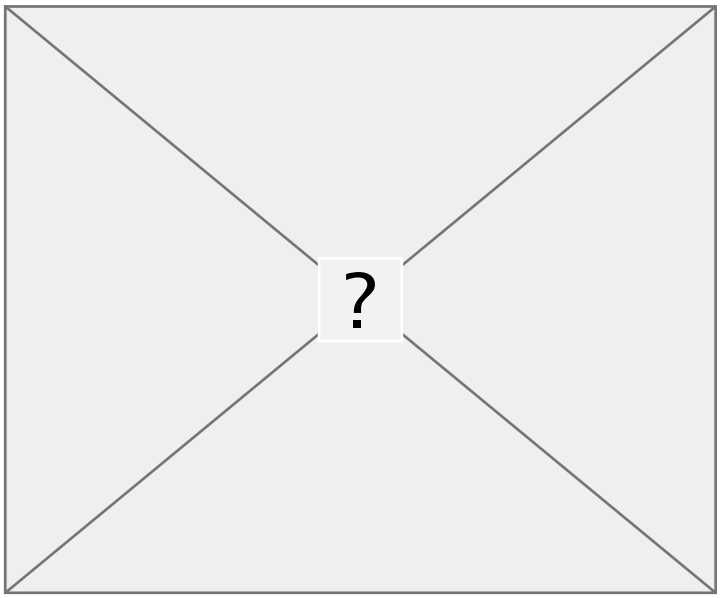


Рисунок 5. **Количество электроэнергии, расходуемой на получение 1 кг активного хлора в зависимости от концентрации ГХН при электролизе воды Вьетнамского моря**

Анализ графиков на рисунках 3–5 приводит к выводу, что наибольший выход хлора по току при плотностях тока 1000 А/м^2, 500 А/м^2 и 300 А/м^2 отвечает и наименьшим затратам электроэнергии, при этом концентрация активного хлора составляет 2,0, 1,0 и 0,8 г/л соответственно.

Анализ литературных источников свидетельствует, что большинство производителей электролизного оборудования, предназначенного для работы на природной морской воде, регулируют производительность электролизеров так, чтобы на выходе из установки получать концентрацию

активного хлора не более 2 г/дм^3. Данное обстоятельство, объясняется тем, что именно такая концентрация отвечает минимальным энергозатратам при максимальном выходе хлора по току, что подтверждается и результатами настоящих исследований. Поскольку сырье (хлориды) представляет собой практически бесплатный неисчерпаемый продукт (в отличие от искусственно приготовленного 3 %-ного солевого раствора из покупаемой пищевой соли), то и нет необходимости в получении максимального количества активного хлора (до 8 – 9 г/дм^3) из единицы объема сырья. Немаловажно и то, что при более высокой скорости протока морской воды через электролизный аппарат (более высокий расход воды) образующиеся карбонат кальция и гидроксид магния не успевают кристаллизоваться на катоде и выносятся потоком из электролизного аппарата.

Как было отмечено ранее, при концентрации генерируемого гипохлорита около 2,0 г/дм^3 наблюдается минимальный удельный расход электроэнергии на кг получаемого продукта (рис. 5), при этом выход по току достигает максимальных показателей и составляет около 90 % (рис. 4).

ВЫВОДЫ

Экспериментально подтверждена возможность получения гипохлорита натрия прямым электролизом воды Вьетнамского моря. При электролизе с анодной плотностью тока 1000 А/м^2 возможно достичь максимальной концентрации по активному хлору – 6,2 г/дм^3, при 500 А/м^2 – до 4,9 г/дм^3, при 300 А/м^2 – 3,6 г/дм^3 на анодах ОИРТА. Минимальные удельные энергозатраты 2,0 – 3,5 кВт·ч на 1 кг вырабатываемого могут быть получены при концентрации активного хлора в генерируемом гипохлорите в интервале от 1,0 до 2,0 г/дм^3. При этом выход хлора по току также достигает своих максимальных значений и составляет 85 – 90 %, что определяет технологическую и экономическую целесообразность получения гипохлорита натрия из морской (океанской) воды для концентрации в продукте 2,0 ± 0,2 г/дм^3 активного хлора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фесенко Л.Н., Игнатенко С.И., Пчельников И.В. Области применения гипохлорита натрия, получаемого электролизом морской воды // Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2012»: материалы VII Межд. науч.-практ. конф.; г. Санкт-Петербург, 18 – 21 апр. 2012 г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. (НПИ). – Новочеркасск: Лик, 2012. С. 93 –98.
2. Кудрявцев С.В. Совершенствование технологических параметров установок получения электролитического гипохлорита натрия для обеззараживания воды: дис. … канд. техн. наук: Новочеркасск, 2009. 161 с.

3. Фесенко Л.Н., Игнатенко С.И., Пчельников И.В., Фесенко А.Л. К выбору режима электролиза морской воды при производстве гипохлорита натрия // Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2014»: материалы VIII Межд. науч.-практ. конф.; Красная Поляна, г. Сочи, 23-24 октября 2014 г. / Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т. (НПИ). – Новочеркасск: Лик, 2014.– С 237–244.

4. Фесенко Л.Н., Игнатенко С.И., Пчельников И.В., Косолапова С.В., Геркен А.Е. Исследования получения электролитического гипохлорита натрия электролизом морской воды Персидского залива для нужд ТЭС «Хормозган» Исламской Республики Иран // Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2016»: материалы IX Межд.. научн.-практ. конф., г. Ростов-на-Дону, 5-7 октября 2016 г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. (НПИ). – Новочеркасск: Лик, 2016. С. 157–165.

5. Пчельников И.В. Совершенствование технологии производства обеззараживающего реагента – гипохлорита натрия электролизом морской воды // Автореферат дисс. … канд. техн. наук: Волгоград. 2015.

6. Териков А.С., Пчельников И.В., Терикова И.А. Получение низкоконцентрированного гипохлорита натрия электролизом воды Средиземного моря // Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2017»: материалы X Межд. научн.-практ. конф., г. Астрахань, 5-6 октября 2017 г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. (НПИ). – Новочеркасск: Лик, 2017. С. 125–129.

УДК 628.161.2

ПИЛОТНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ЦВЕТНОЙ МАЛОМУТНОЙ ВОДЫ ФИЛЬТРОВАНИЕМ

А.В. Селюков, П.А. Рафф, М.Ю. Семенов, Т.Ф. Мишина
АО «ДАР/ВОДГЕО», г. Москва, Россия

Пилотные технологические испытания по очистке воды р. Зея (Амурская обл.) проведены для уточнения параметров разрабатываемой технологии и определения достигаемой эффективности очистки воды с целью ее использования в хозяйственно-питьевом и производственном водоснабжении проектируемого промышленного объекта. Промышленное потребление воды предполагает ее применение в качестве подпиточной (добавочной) для оборотных систем предприятия, производства пара и других целей технического водоснабжения.

Работы включали тестовые (лабораторные) испытания по очистке речной воды и пилотные технологические испытания. Они были выполнены осенью 2017 года.

Река Зея – левый приток р. Амур. Длина 1242 км, площадь бассейна составляет 233 тыс. км^2.

Река находится в зоне муссонного климата. Основными факторами, определяющими климат бассейна реки Зея и химический состав воды, являются географическое положение на материке Евразия, сложное устройство подстилающей поверхности, муссонный характер циркуляции атмосферы и циклоническая деятельность. Осадки 500 – 600 мм выпадают преимущественно летом. Питание реки преимущественно дождевое. Летние паводки превышают весеннее половодье, нередки катастрофические наводнения (25 за 155 лет). Ледостав длится 180 дней (с ноября по апрель), однако ниже плотины Зейской ГЭС река не замерзает на протяжении 50 – 100 км. Это объясняет хороший кислородный режим реки (минимальная концентрация растворенного кислорода – 6,7 мг/дм^3), что, в свою очередь, позволяет рассчитывать на присутствие, в основном, окисленных форм железа и марганца в речной воде, которые могут быть удалены без применения окислителей.

Сводные данные по фоновым концентрациям компонентов состава воды р. Зея за 2014 – 2016 г.г. приведены в таблице 1.

Таблица 1. **Сводные данные по концентрациям компонентов состава воды р. Зея за 2014 – 2016 гг.**

№ п/п	Наименование	Единицы измерения	Фоновая концентрация
1	Прозрачность	мг/дм^3	29

2	Цветность	град.	87
3	Взвешенные вещества	мг/дм^3	15,7
4	Водородный показатель	ед. pH	6,35
5	Магний	мг/дм^3	1,01
6	Хлориды	мг/дм^3	2,77
7	Сульфаты	мг/дм^3	3,82
8	Растворенный кислород	мг/дм^3	10,79
9	Минерализация	мг/дм^3	38,03
10	Жесткость общ.	мг-экв/дм^3	0,43
11	Гидрокарбонаты	мг/дм^3	21,7
12	Кальций	мг/дм^3	6,94
13	Сумма ионов калия и натрия	мг/дм^3	2,34
14	ХПК	мгО/дм^3	22,25
15	$БПК_5$	мгO_2/дм^3	1,52
16	Азот аммонийный	мг/дм^3	0,73
17	Азот нитритный	мг/дм^3	менее 0,010
18	Азот нитратный	мг/дм^3	0,620
19	Фосфаты (по фосфору)	мг/дм^3	0,020
№ п/п	Наименование	Единицы измерения	Фоновая концентрация
20	Кремний	мг/дм^3	5,99
21	Железо общее	мг/дм^3	0,605
22	АПАВ	мг/дм^3	0,010
23	Нефтепродукты	мг/дм^3	0,034
24	Медь	мг/дм^3	0,0020
25	Цинк	мг/дм^3	0,012
26	Свинец	мг/дм^3	0,0017
27	Кадмий	мг/дм^3	0,0003

При выполнении контрольных анализов состава речной воды в период испытаний нами выявлено наличие дополнительного компонента – марганца – в концентрациях 0,21 – 0,38 мг/дм^3 (в среднем, 0,295 мг/дм^3).

Повышенное содержание железа, марганца, меди, цинка в р. Зея обусловлено природными геохимическими условиями региона. Главными источниками соединений тяжелых металлов являются процессы химического выветривания пород, сопровождающиеся их механическим разрушением и растворением.

Источниками органических соединений, включая соединения цветности, являются многочисленные заболоченные территории поймы р. Зея. Основная масса органического вещества поступает в речную воду с ливневыми и талыми водами.

В процессе взаимодействия содержащихся в поверхностных водах минеральных и органических веществ образуются сложные соединения тяжелых металлов, находящихся в воде в растворенном, коллоидном и взвешенном состояниях.

Нами был выполнен также контрольный расчет величины индекса Ланжелье (индекса насыщения карбонатом кальция) речной воды и получена величина J = -2,7. Такая вода является агрессивной по отношению к бетону и металлу.

При обработке воды реагентами, как правило, происходит дальнейшее снижение pH и щелочности, поэтому стабилизационная обработка воды р. Зея должна предусматриваться круглогодично.

При выполнении анализов состава воды в полевых условиях нами использовались мобильные приборы фирм Merck и Hanna (Германия).

На стадии тестовых испытаний нами были выполнены пробные реагентные обработки воды с использованием следующих коагулянтов: АКВА-АУРАТ™30 (ОАО «Аурат», г. Москва); гидроксохлорид алюминия, сульфат алюминия очищенный (ООО «Аквахим», г. Москва), полиоксисульфат железа (ООО «Дальреагент», г. Уссурийск), сульфат железа (3) (ООО «Номитек», г. Москва).

Была также сопоставлена эффективность флокулянтов Праестол (650TR, 2500, 2540TR).

По результатам тестовых испытаний предпочтение было отдано коагулянту АКВА-АУРАТ™30 и флокулянту Праестол 650TR. Стартовые дозы реагентов составили соответственно 35 и 0,1 г/м^3. Полный набор реагентов включал также гипохлорит натрия (5 г/м^3) и кальцинированную соду (6 г/м^3).

Технологическая схема пилотной установки производительностью 50 ± 5 л/ч приведена на рисунке.

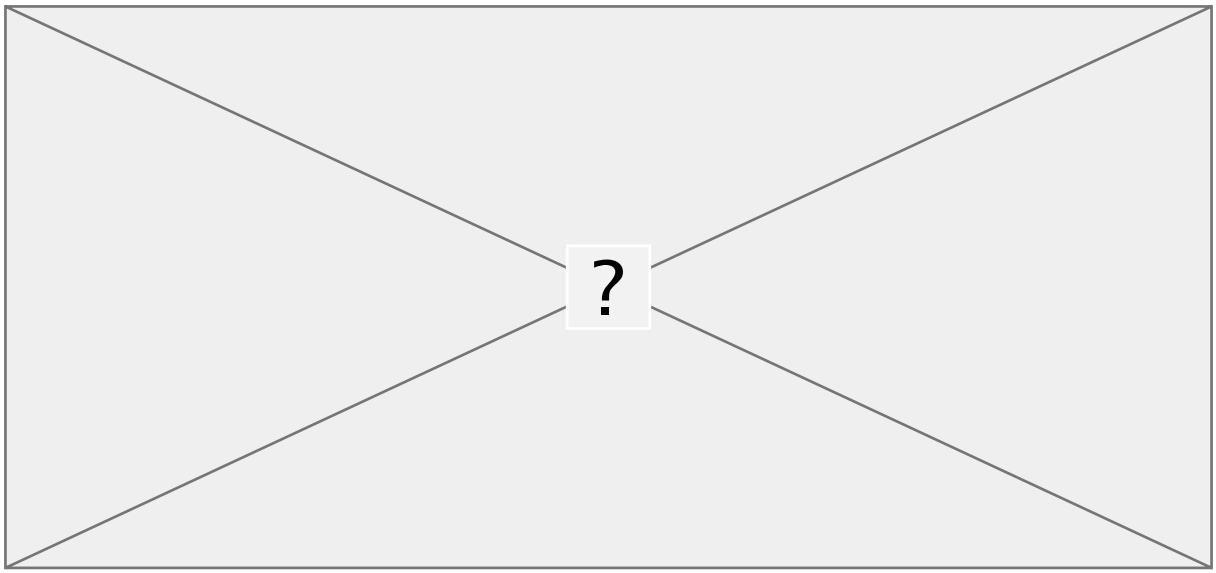


Рисунок 1. **Технологическая схема пилотной установки:**
1 – питающий насос; 2 – приемный бак; 3 – подающий насос; 4 – манометры; 5 – сетчатый фильтр (1 мм); 6.1, 6.2, 6.3 – ротаметры; 7,8 – узлы ввода реагентов; 9 – смеситель (d 20, H 800); 10 – контактная камера (d 120, H 2200); 11, 12, 13 – фильтровальные колонны (d 120, H 3500; d 100, H 2400; d 80, H 3500); 14 – накопительный бак; 15 – промывной насос; 16 – компрессор; 17–20 – насосы-дозаторы; 21–24 – емкости растворов реагентов; 25–31 – пробоотборные краны

Речная вода отбиралась насосом 1 на расстоянии 5 м от берега с глубины около 1,0 м (0,5 м от дна) и по армированному шлангу d_y= 15 мм длиной 10 м подавалась в приемный бак (200 л). Из последнего посредством насоса 3 производился отбор воды на обработку реагентами. Через делитель расхода вода поступала на сетчатый фильтр 5 механической предочистки (1 мм). Измерение текущего значения расхода производилось при помощи ротаметра 6.1.

Согласно принятой схеме реагентной обработки в воду дозировались рабочие растворы гипохлорита натрия (узел ввода 7, насос-дозатор 17, расходная емкость 21) и рабочий раствор кальцинированной соды (узел ввода 8, насос-дозатор 18, расходная емкость 22), после чего вода поступала на перегородчатый смеситель 9.

В смеситель производилось дозирование основных реагентов – коагулянта (насос-дозатор 19, расходная емкость 23) и флокулянта (насос-дозатор 20, расходная емкость 24).

Поток воды с реагентами далее проходил или камеру хлопьеобразования вихревого типа 10 или гравийный слой контактного префильтра 11. Осветление производилось загрузкой последнего, а затем – загрузкой стандартного скорого фильтра 12.

Доочистка воды от окисляемых примесей и дехлорирование производились на угольном фильтре 13.

Промывка фильтров установки производилась из бака чистой воды 14 (200 л) посредством промывного насоса 15. Измерение расхода промывной воды обеспечивалось ротаметром 6.2. При промывке контактного префильтра использовался режим водовоздушной промывки. Воздух подавался компрессором 16, его расход измерялся ротаметром 6.3.

Пробоотбор по всем стадиям очистки воды производился через краны 25–31.

В таблице 2 приведены основные характеристики загрузок, использованных при испытаниях процессов фильтрования.

Таблица 2. **Основные характеристики загрузок, использованных при испытаниях процессов фильтрования**

№ п/п	Тип фильтровального процесса	Вид загрузки	Высота слоя, м	Скорость фильтрования, м/ч
1	Контактное предварительное фильтрование	Щебень 2–5 мм Песок 1–2 мм	0,5 2,0	5,5
2	Скорое фильтрование	Песок 0,7–1,6 мм	1,30	6,0
3	Сорбционное фильтрование – дехлорирование	АГ-3	2,10	10,0

В таблице 3 перечислены режимы работы пилотной установки при испытаниях, соответствующие различным технологическим схемам очистки речной воды.

Таблица 3. **Режимы работы пилотной установки**

№№ режимов работы	Реализуемая технологическая схема очистки речной воды
1	Реагентная обработка – контактное префильтрование – скорое фильтрование
2	Реагентная обработка – контактное префильтрование – скорое фильтрование – сорбционное фильтрование
3	Реагентная обработка – флокуляция – скорое фильтрование – сорбционное фильтрование

Величина показателя	Цветность, град	Мутность,ЕМФ	ХПК, мгO_2/дм^3	Железо общее, мг/дм^3	Марганец, мг/дм^3	Алюминий, мг/дм^3

Речная вода						
Макс. знач.	76	3,2	31	0,40	0,28	0,05
Средн. знач.	73	2,45	28	0,39	0,25	0,04
Мин. знач.	70	1,2	23	0,38	0,21	0,04
Контактный префильтр						
Макс. знач.	31	6,0	28	0,30	0,21	0,61
Средн. знач.	27	4,17	24	0,26	0,17	0,56
Мин. знач.	22	2,0	20	0,20	0,15	0,50
Скорый фильтр						
Макс. знач.	12	0,2	24	0,14	0,11	0,29
Средн. знач.	11	0,08	21	0,11	0,10	0,17
Мин. знач.	10	0,0	18	0,10	0,09	0,12
Угольный (сорбционный) фильтр						
Макс. знач.	9	0,2	19	0,12	0,08	0,05
Средн. знач.	6	0,075	17	0,10	0,08	0,05
Мин. знач.	3	0,0	13	0,07	0,07	0,03

При эксплуатации пилотной установки рабочий режим поддерживался в течение 10 – 12 часов (дневная смена). В ночное время во избежание промерзания водоотборной системы во включенном состоянии оставался питающий насос (1).

Промывка песчаных фильтров производилась по факту резкого увеличения мутности фильтрата. Угольный фильтр в течение периода эксплуатации (10 суток) промывался 1 раз.

Вода реки в период испытаний отличалась низкой температурой (3,5 – 7,5 °С) и низкими значениями величин pH (6,5 – 6,7) и щелочности (0,4 – 0,5). Было установлено, что в таких условиях процесс хлопьеобразования в свободном объеме (камера хлопьеобразования) протекал вяло и не заканчивался полностью. Завершение процесса хлопьеобразования проходило в загрузке скорого и даже угольного фильтров. В связи с этим режим очистки воды по схеме «камера хлопьеобразования – скорый фильтр – сорбционный фильтр» отличался минимальной эффективностью.

В таблице 4 представлено качество очищенной воды по стадиям технологического процесса.

Таблица 4. **Качество очищенной воды по стадиям технологического процесса**

Как видим, предлагаемая технологическая схема обеспечивает необходимое качество питьевой и технической воды.

УДК 621.357.1:628.162.8

ЭФФЕКТИВНЫЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Ф.И. Лобанов
ООО «КНТП», г. Москва, Россия
Yuan Gao
Newtec Umwelttechnik GmbH,
г. Берлин, Германия
А.К. Кинебас
ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга», г. Санкт-Петербург, Россия
О.Ю. Тарарыков
Совет партнерства «Союз производителей извести»,
г. Воронеж, Россия

В докладе рассмотрены основные методы химической дезинфекции: соединения хлора, перекиси водорода с различными добавками, твердый быстрорастворимый пероксисульфат калия, негашеная известь. Отмечены особенности применения тех или других продуктов с позиций экологической безопасности и условий использования. Приведенные данные позволяют подойти к выбору того или другого средства дезинфекции для решения конкретных задач в водоподготовке и водоочистке.

Обеззараживание воды сжиженным хлоргазом не соответствует современным требованиям по обеспечению безопасности производства и окружающей среды. Возможная утечка хлора представляет опасность не только для обслуживающего персонала, но и для населения, прилегающей к водоочистному сооружению территории, так как большинство водоочистных сооружений располагается в населенных пунктах или в непосредственной близости к ним. С экономической точки зрения, этот метод перестал быть рентабельным в связи с вступлением в силу федерального закона «О промышленной безопасности производственных объектов», предусматривающим страхование потенциально опасных производств и взимание страховых взносов с потребителей сжиженного хлора.

Наиболее распространенные существующие средства обеззараживания на мировом рынке представлены на рисунке.

В свою очередь, применение распространенного современного метода обеззараживания воды методом обработки воды ультрафиолетовым излучением также не исключает необходимость дополнительного хлорирования воды. Дело в том, что длительность действия такого обеззараживания практически равна нулю, так как при применении бактерицидных ламп в воде не остается ни одного реагента, который бы

мог угнетать вирусы и бактерии, оставшиеся или появившиеся в воде на какой-либо стадии ее транспортировки до потребителя.

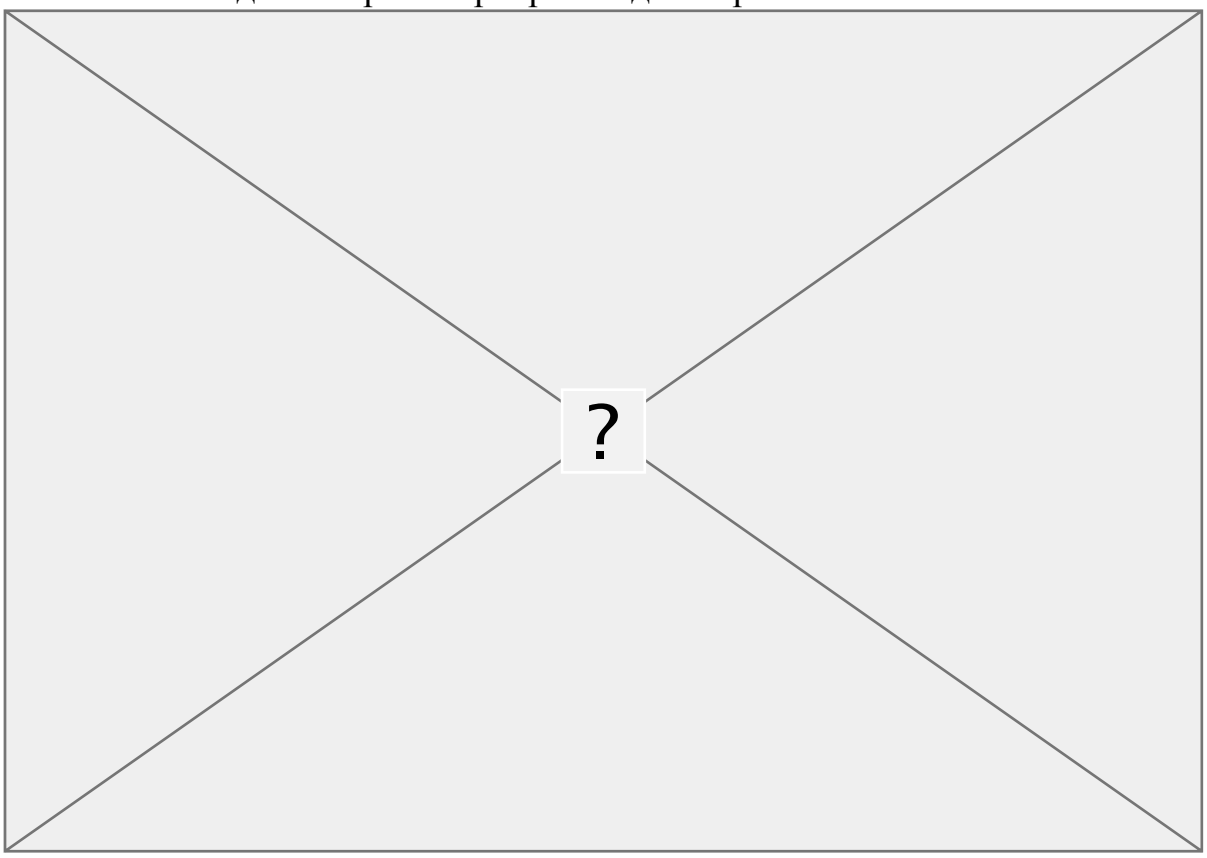


Рисунок. **Существующие на рынке средства обеззараживания**

При сравнении современных методов хлорирования следует отметить, что единственным преимуществом применения промышленного гипохлорита натрия (19 %) является отсутствие необходимости крупных первоначальных капиталовложений [1]. При этом необходимо учесть, что применение промышленного гипохлорита натрия также связано с повышенным риском. Преимущества и недостатки применения промышленного и низкоконцентрированного гипохлорита натрия представлены в нижестоящих таблицах 1 и 2.

Низкие «очевидные» эксплуатационные расходы и отсутствие необходимости первоначальных капиталовложений часто являются аргументом при положительном решении вопроса применения высококонцентрированного гипохлорита натрия.

Однако, учтя «скрытые» расходы на материально-техническое обеспечение безопасности, износ оборудования этот аргумент теряет свою силу. Сравнение эксплуатационных расходов при применении промышленного и низкоконцентрированного гипохлорита натрия на Южной водопроводной станции города Санкт-Петербурга показало, что эксплуатационные расходы, даже без учета быстрого износа оборудования,

при применении промышленного гипохлорита натрия даже выше, чем при использовании низкоконцентрированного гипохлорита натрия [2].

Таблица 1. **Промышленный гипохлорит натрия**

Преимущества	Недостатки
Отпадает необходимость первоначального капитального вложения на приобретение оборудования для производства гипохлорита на месте	Агрессивность промышленного раствора NaOCl
Более низкие расходы на ввод в эксплуатацию необходимого оборудования	Высокий риск контаминации при транспортировке и хранении
	Быстрая кристаллизация при низких температурах и связанная с этим необходимость подогрева транспортных средств
	Образование большого количества хлоратов (промышленный NaOCl (15 %) при температуре 22 °C: преобразуется в хлорат 0,6 % /день
	Высококонцентрированный гипохлорит натрия является причиной быстрой коррозии цистерн, покрытий, грунтовок, дозирующего оборудования
	Быстрая потеря свойств готового продукта (нормальный распад: 4 % в день, распад при контакте с металлом: 2~3 % в час) и связанная с этим необходимость постоянного контроля концентрации
	Необходимость мер по обеспечению безопасности при обращении с высококонцентрированным гипохлоритом натрия

Основные преимущества при производстве низкоконцентрированного гипохлорита натрия:

- поставка сбалансированного, полностью автоматизированного комплексного оборудования, обеспечивающего безопасность и бесперебойность производства низкоконцентрированного гипохлорита натрия;

- особое техническое решение строения электролизера, обеспечивающее высокую производительность оборудования;
- долговечность титановых электродов за счет специального покрытия, позволяющего обеспечивать электродные пакеты гарантийным сроком, на пять лет;
- процесс производства, контролируемый автоматизированной системой управления при помощи программируемых логических контролеров. Все этапы производственного процесса объединены в одну систему наблюдения, аварийного оповещения и протоколирования всех важных производственных параметров;
- разнообразие ассортимента оборудования, позволяющее найти идеально подходящее решение для любых потребностей.

Таблица 2. **Низкоконцентрированный гипохлорит натрия**

Преимущества	Недостатки
Раствор NaOCl не агрессивен, так как его концентрация не превышает 1 %	Необходимость первоначального капитального вложения
Необходимость в транспортировке и специализированном дорогостоящем хранении готового продукта отпадает	Расходы на ввод в эксплуатацию
Длительное сохранение свойств готового продукта (распад 0.8 % NaOCl < 0.1 % в месяц)	Организация поставки и хранения соли, как исходного вещества, затрата электроэнергии как производственного фактора
Отсутствие необходимости мер по обеспечению безопасности	
Более медленный износ оборудования за счет не агрессивности готового продукта	
Упрощенная дозировка за счет стабильности готового продукта	
Быстрая окупаемость оборудования (средний срок амортизации: 4,5 года)	
Независимость от поставщиков благодаря автономному производству	

К сожалению, при применении хлора (гипохлорита) возможно образование побочных продуктов, особенно при первичном хлорировании. Для понижения возможности образования хлорорганических соединений рассмотрена возможность применения сульфата аммония. В результате конкурирующих реакций образуются хлорамины вместо хлороформа и

четыреххлористого углерода. Концепция вводимых хлор агентов имеет важное значение, поскольку, чем выше их концентрация, тем больше вероятность образования хлорорганических соединений.

Вероятность образования хлорорганических соединений повышается в ряду:

$$ClO^{-}\ (0{,}8\ \%) < ClO^{-}\ (10 - 18\ \%) <<< Cl_2.$$

В настоящее время при комплексном рассмотрении применяющихся в последнее время методов обеззараживания можно, в первую очередь, выделить перекись водорода с различными добавками, твердые быстрорастворимые соединения перекиси водорода и готовые к употреблению растворы диоксида хлора.

Перекись водорода является широко используемым дезинфицирующим средством в первую очередь в медицине. При использовании перекиси водорода, являющимся сильным окислителем, основным является разрушающее воздействие на микроорганизмы. В процессе выделения активного кислорода при разложении перекиси водорода по схеме:

$$2H_2O_2 \rightarrow 2H_2O + O_2$$
$$H_2O_2 + 2H^{+} + 2e \rightarrow H_2O$$

повреждается структура протеинов, в частности в дисульфидных связях и в водородных мостичных связях третичной структуры. Перекись водорода оказывает бактериостатическое споростатическое действие вследствие ингибирования и подавления роста и усиление необходимой активности обменных процессов, а также вследствие препятствования прорастанию и активизации клеток спор.

При проведении многочисленных исследований оказалось, что добавка микро количеств соединений серебра приводит к резкому повышению окислительной способности. Было установлено, что происходит повышение редокс-потенциала со значением 1,76 (H_2O_2) до значения 2,8 mB (H_2O + Ag).

Благодаря добавке соединения серебра происходит распад перекиси водорода с образованием радикала гидроксида по схеме:

$$H_2O \rightarrow 2\ O_2\ \ H_2O_2 \rightarrow 2\ ´OH.$$

При этом за счет добавления соединений серебра получается олигодинамическое воздействие и синергетический эффект. За счет радикала OH достигается сильное дезинфицирующее действие, так как и в случае радикала кислорода (OH или O_2) и характеризуется как механизм защиты организмов от бактерий [3].

Перекись водорода в виде твердого продукта может быть получена в составе сульфата калия. Многие европейские страны и США в конце 80-х годов начали производство продукции с моно персульфатом калия, как основного действующего компонента для обеззараживания питьевой воды.

Были последовательно внедрены национальные стандарты в Германии (DIN EN 12678:2000), Франции (NFT 94-309-2001), Великобритании (BSEN 12678:2002). В дальнейшем производство моно персульфата калия было организовано в Китае, который в настоящее время является основным производителем. Основной механизм действия реагентов на основе моно персульфата калия заключается в образовании при растворении в воде свободных радикалов [O]/[SO_4], [OH], [H_2O_2], HClO, которые активно участвуют в окислительно-восстановительных процессах и позволяют достичь пролонгированного действия. Многие активные ингредиенты делают продукт, выпускаемый в Китае, максимально эффективным, с широким спектром обеззараживания и дезинфекции за 72 часа, антибактериальный спектр включает: бактерии, вирусы, грибки, бактериальные споры, простейшие, водоросли. Применяемая доза реагента при дезинфекции питьевой воды находится в интервале от 0,2 г до 1,5 г/м^3. В случае экстренной обработки воды в районах стихийных бедствий расход может достигать до 10 г/м^3.

Эффективность порошкового дезинфектанта позволяет уменьшить и избежать образование вредных веществ при дезинфекции, которые могут привести к канцерогенезу, тератогенезу и мутагенезу.

Порошковая форма продукта позволяет полностью исключить опасности во время хранения, транспортировки и применения.

Низкий расход дезинфектанта, рентабельное оборудование, длительный срок службы и низкая стоимость обслуживания позволяет предположить эффективность применения для малых населенных пунктов, особенно, в северных районах страны.

Проектом Федерального закона о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации предусматривается внедрение наилучших доступных технологий.

Одной из таких доступных технологий является переработка обезвоженных осадков сточных вод в почвогрунт с использованием оксида кальция (негашеной извести).

Технология заключается в том, что обезвоженный кек, который подается в накопительный бункер для его дальнейшего вывоза на иловые карты, смешивается с оксидом кальция (негашеной известью) непосредственно перед бункером, а затем пропускается через шнековый смеситель, где достигается его равномерное перемешивание с известью.

После этого процесса перемешивания в бункер попадает уже готовый продукт – почвогрунт, который в дальнейшем можно перевозить от цеха механического обезвоживания на площадки временного хранения и там складировать до момента его дальнейшего использования по назначению.

Взаимодействие обезвоженного осадка с оксидом кальция заключается в связывании свободной воды по реакции (1).

(1)

При прохождении реакции происходит образование гидроокиси кальция и выделение тепла.

В результате происходит полная дезинфекция за счет высокотемпературной обработки осадка и частичный переход гидроокисей металлов из коллоидного состояния в нерастворимые оксиды (2).



(2)

Таким образом, образующийся продукт, исходя из состава входящих в него компонентов, может быть отнесен к органо-минеральному раскислителю почв («ОМР-почва»), и с таким названием выведен на потребительский рынок.

Преимущества стабилизации осадков сточных вод негашёной известью очевидны.

Известь – легкодоступное сильное основание. Её преимущества заключаются в том, что она:

а) подходит для всех видов осадков;

б) обеспечивает выпадение в осадок токсичных металлов;

в) разрушает болезнетворные вещества;

г) уменьшает химическое потребление кислорода (ХПК), биологическое потребление кислорода (БПК) и содержание взвешенных частиц;

д) устраняет неприятный запах.

Рассмотренные в работе средства дезинфекции не претендуют на полноту охвата широкого спектра применяемых веществ и только подчеркивают направление экологической безопасности и эффективности обеззараживания водных сред и осадка сточных вод канализационных очистных сооружений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Селезнев Г.М., Лыков С.М., Бураков Ю.В., Кармазинов Ф.В., Лобанов Ф.И. Новые технологии и оборудование для дезинфекции воды – альтернатива хлору // Безопасность труда в промышленности. 2007. № 2. С. 64.
2. Кинебас А.К., Нефедова Е.Д., Бекренев А.В., Лобанов Ф.И., Яковлев В.Ю. Обеззараживание воды низкоконцентрированным гипохлоритом натрия на водопроводных станциях Санкт-Петербурга // Водоснабжение и санитарная техника. 2010. № 3. С. 24.
3. Petzoldt K., Kirchhoff H., Kompendium der veterinarmedizinischen Mikrobiologie. 2. Auff., Verlag M H Scharper, Hamburg, 1986.

УДК 544.7

ВЛИЯНИЕ ЩЕЛОЧНОСТИ ВОДЫ И ОСНОВНОСТИ КОАГУЛЯНТА НА ЕГО ДОЗУ

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

Приведена формула для расчета дозы коагулянта, учитывающая его основность и щелочность обрабатываемой воды. Выполнено сравнение рабочих доз коагулянта с расчетными на ряде водохозяйственных объектов, при этом была получена хорошая сходимость результатов.

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:



(1)

где Д – доза коагулянта по $Al_2(SO_4)_3$ или в пересчете на эквивалентное количество $AlCl_3$, $FeCl_3$, $Fe_2(SO4)_3$ по безводному веществу), г/м^3; Ц – цветность обрабатываемой воды, градусы.

Формула (1) имеет ограниченную область применения, так как учитывает только один нормируемый показатель очистки воды. Следовательно, для расчета дозы коагулянта желательно располагать более универсальной расчетной формулой. Как известно, оптимальная доза коагулянта зависит от большого количества параметров. Учитывая совокупность всех параметров, вряд ли реально получить точное расчетное уравнение дозы коагулянта, однако приблизиться близко к ее оценке, учитывая тип коагулянта (основность) и щелочной резерв воды, **возможно**.

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_o;
- с увеличением дозы коагулянта значение X_o должно монотонно снижаться, стремясь к нулю;
- с увеличением значения X_o 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_o.

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 показателя X_o пропорционально массовой доле загрязняющего вещества C_o в очищаемой воде, значение диктующего показателя X пропорционально массовой доле загрязняющего вещества C в очищенной воде:



(2)



(3)

Запишем уравнение баланса масс:



(4)

где: C_o 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:



(5)

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



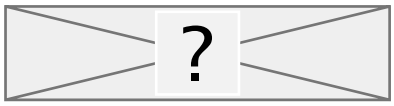
(6)

Так же можно принять, что поверхность сорбционно-активного осадка пропорциональна дозе коагулянта:



(7)

Подставляя уравнения (5–7) в уравнение (4), получим:



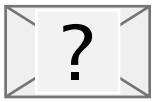
(8)

где:  .

Подставляя уравнения (2), (3) в (8), получим простую формулу:



(9)

где 

– коэффициент, зависящий от состава коагулянта (основности) и совокупности всех параметров очищаемой воды.

Остается понять чему же все таки равен коэффициент . Проанализировав массив экспериментальных данных, наработанный различными исследованиями, в том числе и на модельной воде, имеем следующее:

1. Зависимость дозы коагулянта от щелочности для коагулянтов различной основности, имеет линейный характер. При этом увеличение щелочности на 1 мг-экв/дм^3 дает увеличение дозы в 2,68 раза (рис. 1).
2. Из рисунка 1 видно, что с увеличением основности доза коагулянта возрастает при любой щелочности и рост дозы коагулянта также имеет линейный характер (рис. 2).
3. Учитывая изложенное в п. 2, можно сделать вывод, что лучше всего применять низкоосновные коагулянты для уменьшения дозы коагулянта, но это не совсем так. Низкоосновные коагулянты, довольно сильно снижают щелочной резерв воды и диапазон доз коагулянта в низкощелочных водах очень мал, что приводит к необходимости подщелачивания исходной воды. Коагулянты со средней, или высокой основностью, на щелочной резерв воды оказывают меньшее влияние, что позволяет дозировать большую дозу коагулянта в низкощелочных водах. Подобрав наиболее эффективный коагулянт методом пробного коагулирования, становится возможным достигать показатели качества воды, удовлетворяющие требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01, **без прироста остаточного алюминия** (рис. 3).

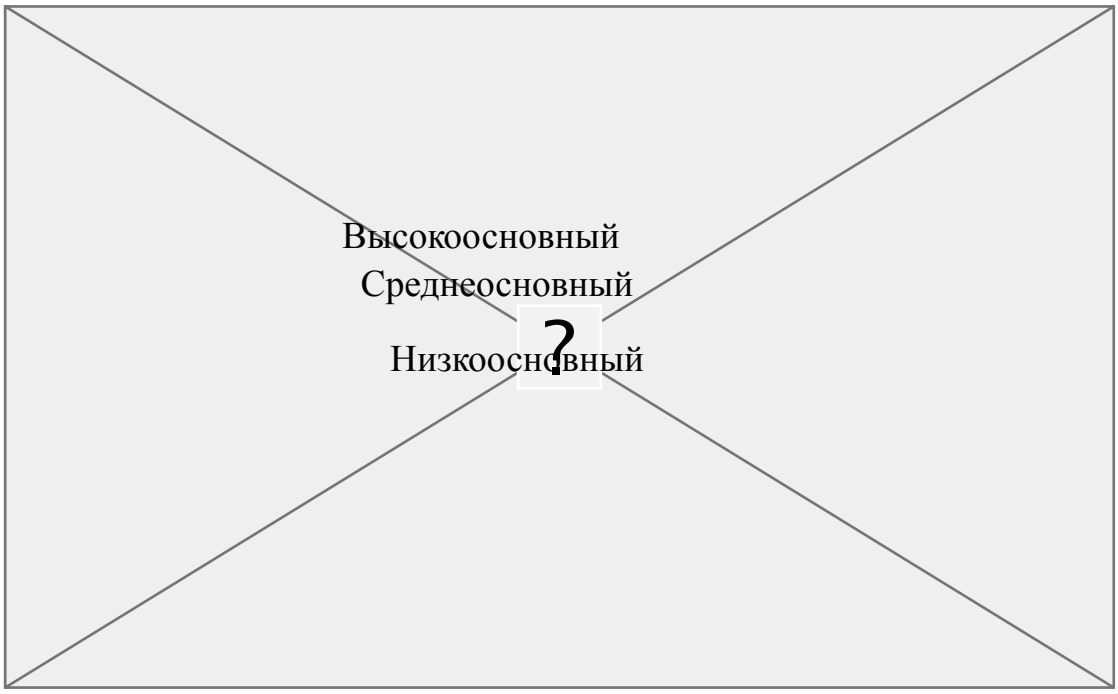
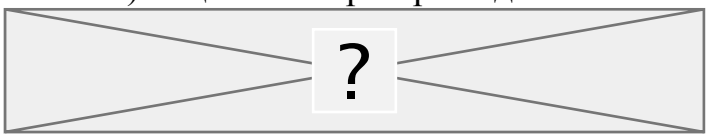
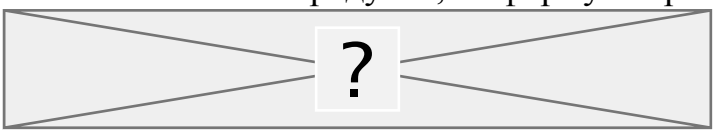


Рисунок 1. **Влияние щелочности воды на дозу коагулянта для полиоксихлоридов различной основности**

Подставляя в уравнение (9) полученные значения из рисунков 1 и 2, получим расчетное уравнение дозы коагулянта, учитывающее тип коагулянта (основность) и щелочной резерв воды:



Учитывая, что коэффициенты (рис. 1 и рис. 2) были получены при максимальном значении  = 100 градусов, то формула примет вид:



где:  – доза коагулянта по оксиду алюминия, г/ м^3; Щ – щелочной резерв исходной воды, мг*экв/дм^3; В – основность коагулянта, %; X_0 – исходная цветность очищаемой воды, градусы; Х – диктующий показатель цветности, градусы.

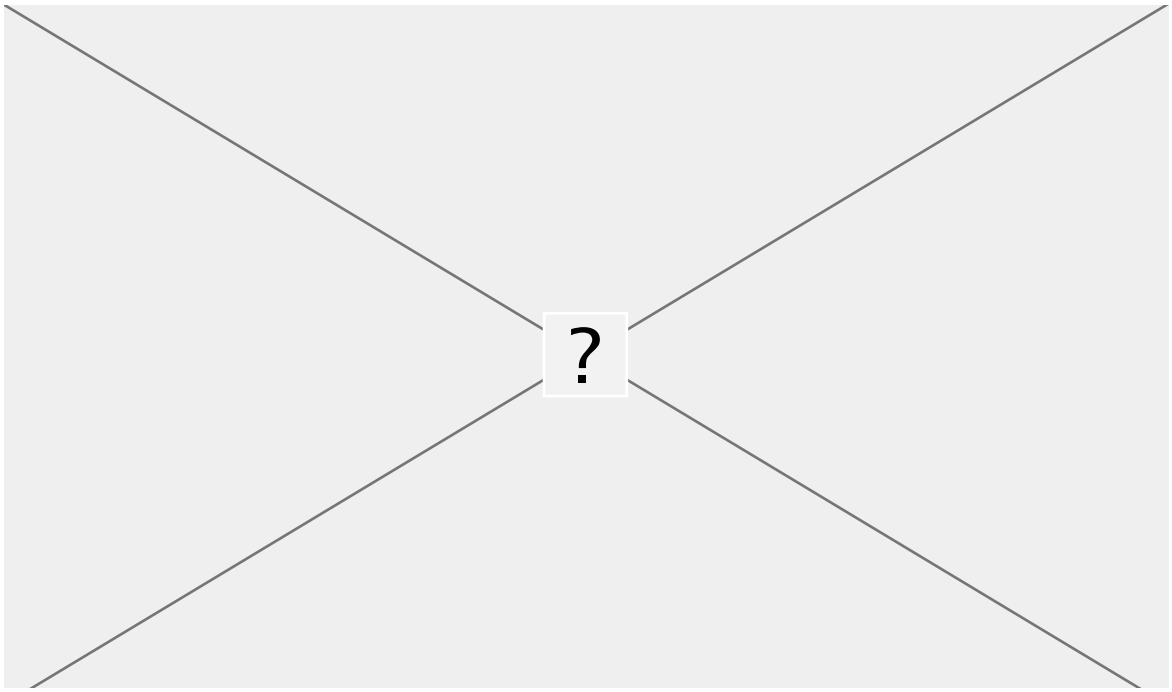


Рисунок 2. **Влияние основности на увеличения дозы**

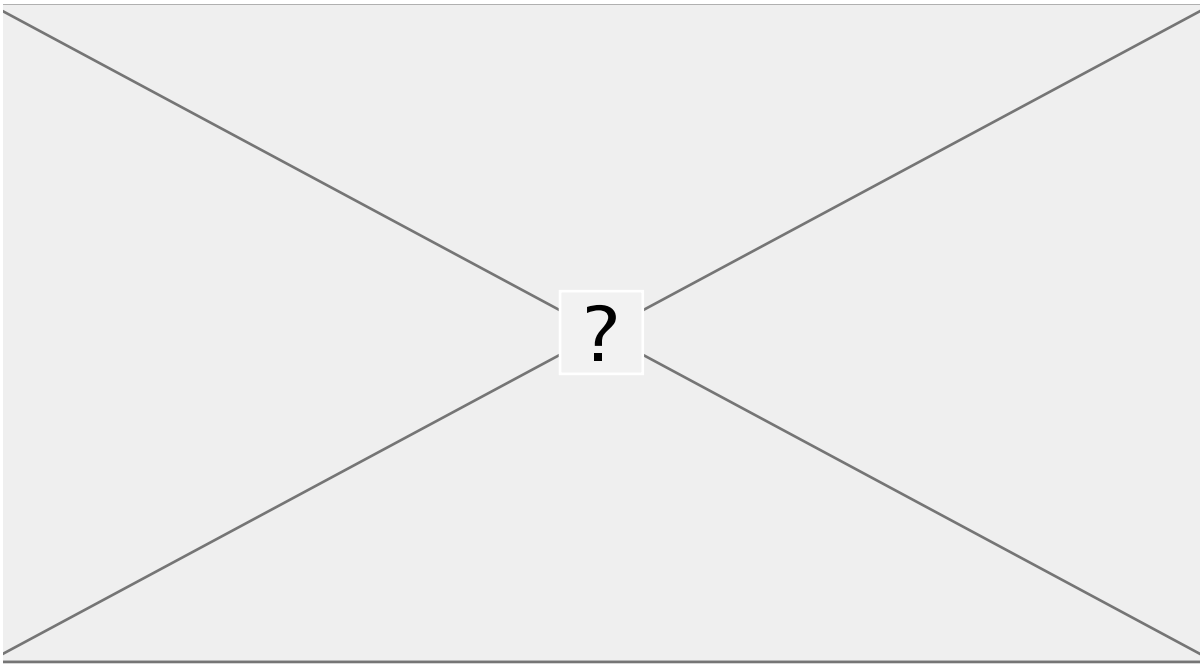


Рисунок 3. **Диапазон доз коагулянта в зависимости от основности для низкощелочной воды**
(щелочность 0,2 мг-экв/дм^3)

Таблица. **Сравнение рабочих доз коагулянта с расчетными на некоторых объектах**

Исходная щелочность воды, мг·экв / дм^3	Исходная цветность, градусы	Цветность очищенной воды, градусы	Основность применяемого коагулянта, %	Рабочая доза на очистных сооружениях, мг/дм^3 по Al_2O_3	Расчетная доза по формуле $4\sqrt{Ц}$	Формула учитывающая влияние щелочности и основности	Наименование объекта
1,5	47	8	83	8–10	8,1	6,9	Участок НФС цеха № 19, г. Златоуст
3,7	118	20	80	19–22	12,9	16,6	НФС «Воскресенская», г. Калачинск
3,7	118	15	15	16–18	12,9	14,2	НФС «Воскресенская», г. Калачинск
3,6	25	9	80	6–10	5,9	6,4	МУП г. Ижевска «Ижводоканал», СВП «Пруд-Ижевск»
2,56	61,5	10	0	8–9	9,3	9,5	ПАО «Казаньоргсинтез», г. Казань
2,4	19	8	40	5–6	5,2	3,8	МУП «Азовводоканал», г. Азов
4,4	103	10	40	28	12,0	16,1	МУП «Владимирводоканал», г. Владимир

УДК 628.112

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ВОДЫ ИЗ ПОВЕРХНОСТНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Л.В. Боронина
Астраханский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Астрахань, Россия

Для повышения оперативности и точности принятий инженерных и управленческих решений тех или иных технологических схем очистки воды создан инструментарий компьютерной поддержки формирования и оптимального выбора технологических схем очистки питьевой воды на основе разработанного во ВНИИ ВОДГЕО классификатора технологических схем очистки воды – база данных и программа на ЭВМ.

Очистка питьевой воды – это комплексная задача, требующая для своего решения комбинации различных способов для достижения максимальной эффективности. Комплексность задачи очистки обуславливается характером загрязнения. Обычно в качестве нежелательных компонентов выступает целый ряд веществ, требующих разного подхода. Наличие большого количества загрязнителей в природной воде требует разного подхода при выборе технологических схем очистки. Каждая из технологических схем включает в себя множество конкретных вариантов реализации процесса очистки и его аппаратного оформления [1–7].

Для объективной оценки возможностей тех или иных технологических схем очистки воды сотрудниками Комплексного научно-исследовательского и конструкторско-технологического института водоснабжения, канализации, гидротехнических сооружений и инженерной гидрогеологии г. Москва (д.т.н., проф. Журба Н.Г., д.т.н. Нечаев А.П., к.т.н. Ивлева Г.А. и др.) разработаны классификаторы технологической очистки природных вод в зависимости от предложенных классов водоисточников, факторов антропогенного воздействия на них и фазо-дисперсного состояния примесей в очищаемых водах [2–4, 7].

Система выбора технологических схем очистки воды может быть усовершенствована путем автоматизации данного процесса [3–6, 9].

Авторами создана база данных технологических схем очистки воды и их аппаратное оформление [4]. База данных разработана в среде Microsoft Access 2010. Выбор системы управления базами данных (СУБД) обусловлен рядом ее достоинств: очень простой графический интерфейс, хранение всех данные в одном файле, большое количество предлагаемых Мастеров, распространенность, постоянное обновление производителем, полная совместимость с операционной системой Windows,

ориентированность на пользователя с разной профессиональной подготовкой, широкие возможности по импорту/экспорту данных в различные форматы. Кроме того, использование Microsoft Access для пользователя является мало затратным вследствие отсутствия необходимости ее приобретения, т.к. она входит в состав MS Office.

База данных спроектирована с учетом предъявляемых требований по быстродействию, простоте обновления, независимости данных, совместного использования данных многими пользователями, безопасности данных. Для использования базы данных был разработан пользовательский интерфейс «Классификатор технологий очистки природных вод», отвечающий современным требованиям по внешнему виду и по доступу к внутренней функциональности системы.

Использование системы начинается с формирования справочников: временного фактора присутствия примесей, групп методов, подклассов поверхностных водоисточников по характеру их антропогенного загрязнения, структурных систем, условных обозначений. После завершения формирования справочников с использованием соответствующих интерфейсов вводится информация о технологических методах и технологических схемах. Затем заполняются классификаторы: поверхностных водоисточников хозяйственно-питьевого водоснабжения, классификатор по Кульскому, классификатор поверхностных водоисточников по характеру их антропогенного загрязнения, классификатор технологий водоочистки по группе примесей (рис. 1), классификатор технологий водоочистки с учетом антропогенного воздействия.

После завершения ввода полной информации система готова для использования по поддержке принятия решения по выбору оптимальной технологической схемы для каждого конкретного случая проектирования. Для этой цели также разработан специальный интерфейс (рис. 2). Вводится вся необходимая информация о водоисточнике: временной фактор воздействия вредных примесей (до трех месяцев в году, в течение всего года), параметры воды (цветность, мутность, температура, водородный показатель pH, перманганатная окисляемость, общая минерализация, количество клеток фитопланктона, жесткость). Виды примесей и информация об ингредиентах антропогенного загрязнения выбираются из соответствующих списков. Затем по запросу пользователя система представляет возможные варианты технологических схем очистки водоема. Окончательный выбор остается за проектировщиком.

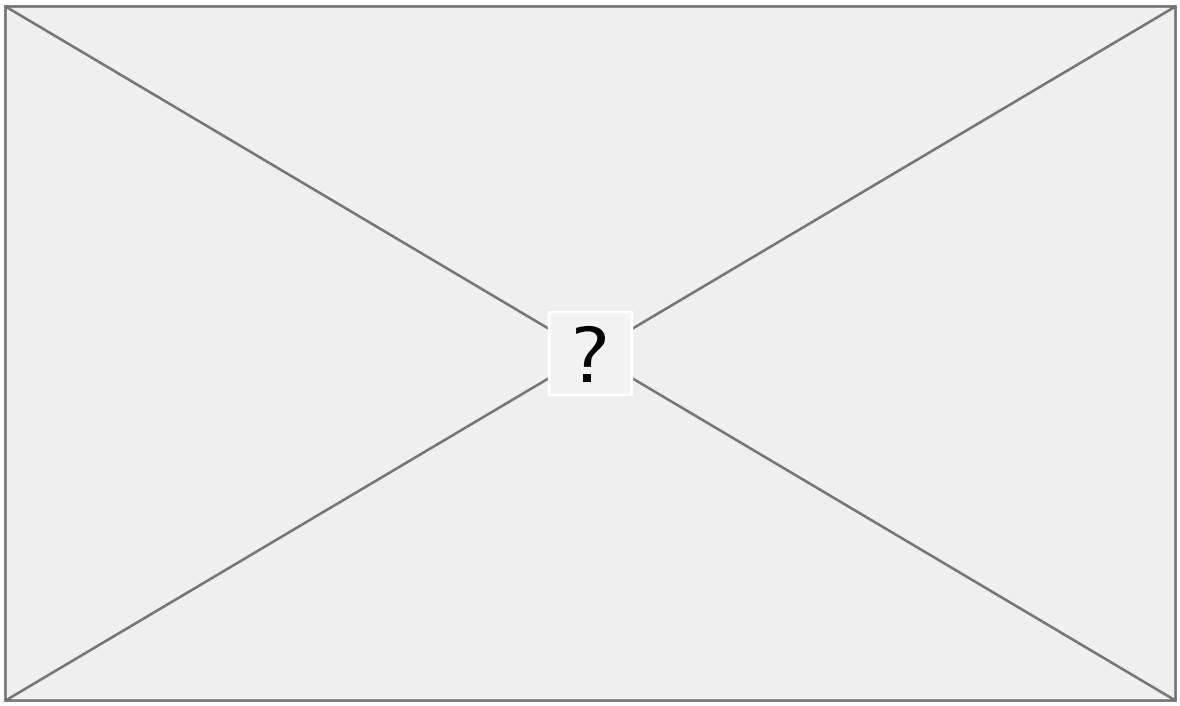


Рисунок 1. **Классификатор технологий водоочистки по группе примесей**

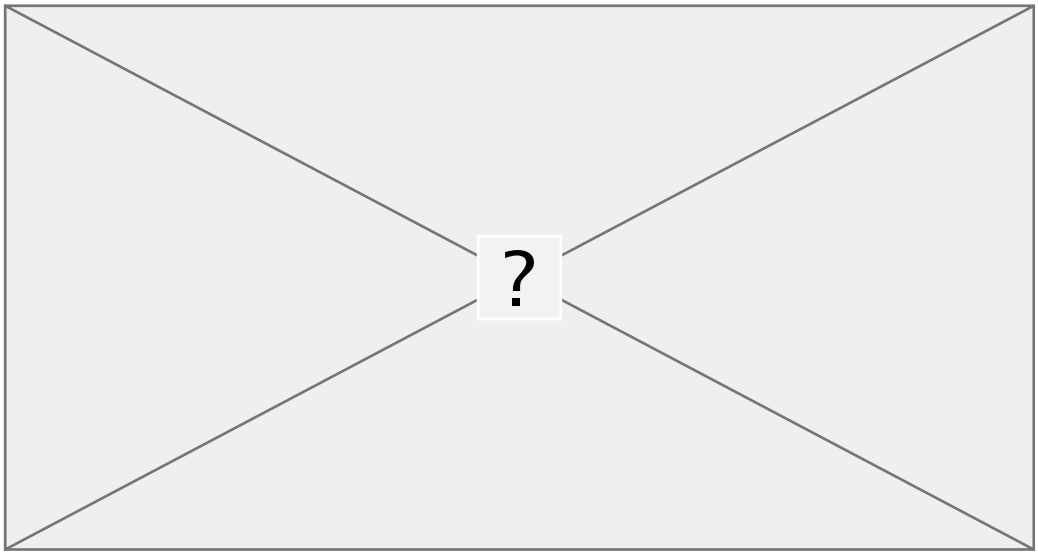


Рисунок 2. **Форма ввода информации по проекту**

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Боронина Л.В., Садчиков П.Н., Тажиева С.З., Москвичева Е.В. Исследование сезонной динамики загрязненности поверхностных вод Нижневолжского бассейна // Водные ресурсы. – 2016. Т. 43. № 4. С. 419.
2. Журба М.Г. Классификаторы технологий очистки природных вод / Под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. М. Г. Журбы. М.: ГНЦ «НИИ ВОДГЕО», 2000. 118 с.
3. Боронина Л.В., Садчиков П.Н. Эффект от автоматизации процесса выбора оптимальной технологии очистки воды // Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании: сборник материалов Международной научной конференции, 2015. С. 520–525.
4. 2016615823 30.05.2016 Электронный классификатор технологий очистки природных вод // Боронина Л.В., Шикульская О.М.
5. Абуова Г.Б., Боронина Л.В., Рахметова М.К., Ситников С.Г. Оценка эффективности работы канализационных очистных сооружений в малых населенных пунктах аридной зоны // Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2017»: материалы X-юбилейной Межд. науч.-практ. конф.; г. Астрахань, 5 –6 октября 2017г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. (НПИ) имени М.И. Платова – Новочеркасск: Лик, 2017. С. 196–202.
6. Боронина Л.В. Новые подходы к очистке питьевой воды в условиях техногенного воздействия на водоисточники // В сб.: ЯКОВЛЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ: сборник докладов XII Международной научно-технической конференции, посвященной памяти академика РАН С.В. Яковлева. – МГСУ. 2017. С. 24–30.
7. Усынина А.Э., Можайская А.С., Боронина Л.В., Москвичева Е.В. Модернизация технологической схемы очистки воды из резервных источников водоснабжения // В сб.: Потенциал интеллектуально одаренной молодежи – развитию науки и образования: материалы VI Международного научного форума молодых ученых, студентов и школьников. Под общей редакцией Д. П. Ануфриева. 2017. С. 34–37.
8. Боронина Л.В., Онкаев В.А., Серпокрылов Н.С., Тажиева С.З. Оптимизация элементов системы водоснабжения для вододефицитных районов // В сб.: Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании сборник материалов международной научной конференции. – МГСУ. 2017. С. 745–749.
9. Eu environmental policy. Saleh M., Boronina L.V., Shikulskaya O.M. Перспективы развития строительного комплекса. 2017. № 1. С. 100–103.

УДК 628.161.2

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО РЕКОНСТРУКЦИИ ВОДОПРОВОДНЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ Х. ХАПРЫ МЯСНИКОВСКОГО РАЙОНА РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Л.Н. Фесенко, Н.И Чепкасова, Р.В. Федотов, А.С. Дружинин
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия

Представлены проектные технологические решения по реконструкции водопроводных очистных сооружений с применением методов микрофильтрации, углевания и умягчения воды в процессе водоподготовки.

Водопроводные очистные сооружения (ВОС), расположенные в х. Хапры Мясниковского района Ростовской области, выполнены по типовому проекту ТП 901-3-25, разработанному «ЦНИИЭП инженерного оборудования городов, жилых и общественных зданий» в 1968 году. Источником водоснабжения площадки ВОС является р. Дон (водозабор х. Дугино). Проектная производительность очистных сооружений водопровода – 12 500 м^3/сут.

Существующая технологическая схема работы очистных сооружений представлена двумя вертикальными вихревыми смесителями, четырьмя осветлителями со слоем взвешенного осадка (ОСВО) коридорного типа и четырьмя скорыми фильтрами с центральным каналом. В качестве реагента в настоящий момент используется катионный флокулянт ПолиДАДМАХ (полидиметилдиаллиламмоний хлорид или ВПК-402), для обеззараживания воды применяется газообразный хлор. Образующийся осадок с ОСВО и промывные воды скорых фильтров направляются на иловые площадки.

В таблице представлены усредненные результаты многолетнего наблюдения за составом природной воды по физико-химическим показателям.

Согласно приведенных данных вода в водоисточнике не соответствует требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01 по следующим показателям: мутность, цветность, жесткость, запах и привкус.

Существующие технологические решения позволяют снизить до ПДК мутность и цветность воды применением современных флокулянтов, но добиться решения таких актуальных и важных проблем, как снижение жесткости и устранение неприятного запаха применением только существующей технологии кондиционирования воды не представляется возможным.

В рамках реализации муниципальной программы Мясниковского района «Обеспечение качественными жилищно-коммунальными услугами населения Мясниковского района» ООО НПП «ЭКОФЕС» г. Новочеркасск были разработаны проектные решения по реконструкции водоочистных сооружений в х. Хапры, которые были направлены не только на устранение мутности и цветности воды, но и на минимизацию образования летучих хлорорганических соединений, снижение жесткости, а также удаление запаха и привкуса воды.

Таблица. **Усредненные показатели качества р. Дон** (11.05.2015 – 06.07.2018 гг.)

№ п/п	Определяемый показатель	Единицы измерения	Усредненные значения по сезонам года		
			февраль–май	июль–сентябрь	май-июль, октябрь-январь
1	Запах	балл	1	2–3	1–2
2	Щелочность	мг/дм³	278,6	219,6	250,1
3	Мутность	мг/дм³	9,67	14,5	5,07
4	Цветность	град. ПКШ	16,45	18,36	18,52
5	Перманганатная окисляемость	мгO_2/дм³	4,8	5,46	5,32
6	Общая минерализация	мг/дм³	953,2	792,3	886,5
7	Жесткость общая	°Ж	10,38	6,39	6,66
8	Алюминий	мг/дм³	0,03	0,023	0,03
9	Аммоний-ион	мг/дм³	0,27	0,23	0,3
10	Бор	мг/дм³	0,27	0,22	0,21
11	Кальций	мг/дм³	126,5	64,15	69,12
12	Магний	мг/дм³	49,45	38,86	39,16
13	Нитраты	мг/дм³	6,42	3,9	5,25
14	Нитриты	мг/дм³	0,04	0,038	0,019
15	Сульфаты	мг/дм³	342,05	304,8	323,75
16	Хлориды	мг/дм³	176,0	135,2	145,85

В течение года в водоисточнике возможно выделить три основных этапа, характеризующихся различными показателями качества воды (таблица):

- февраль-май – период интенсивного таяния снегов и разлива рек, в нижнем течении Дона резко увеличивается содержание общей жесткости в воде до 10,3 – 11,2 ºЖ;
- июль-сентябрь – период интенсивного цветения реки, вода приобретает неприятные запах и привкус, обусловленные наличием таких соединений как геосмин, 2-метилизоборнеол и прочими продуктами метаболизма сине-зеленых водорослей;
- май-июль, октябрь-январь – вода водоисточника характеризуется отсутствием трудно удаляемых загрязнений.

Предлагаемые технологические решения по кондиционированию воды р. Дон на ВОС х. Хапры были разработаны с учетом выделенной сезонности изменения качества воды водоисточника, что вызвало необходимость включения в существующую технологическую схему узлов микрофильтрации, углевания и реагентного умягчения.

Для снижения концентрации летучих хлорорганических соединений перед первичной обработкой воды гипохлоритом натрия предложена преаммонизация воды, которая достигается введением в воду раствора сульфата аммония перед ее хлорированием.

Для решения проблемы наличия в воде фито- и зоопланктона, продукты метаболизма которых приводят к появлению неприятных запахов и привкусов, предложено установить на первом этапе водоочистки дисковые микрофильтры производства DynaDisc модели TDC-2420/20-10 ВВК с размером сетки 10 микрон и производительностью 320 м^3/ч. Эффективность работы микрофильтров в летне-осенний период обеспечивается предварительным дозированием раствора флокулянта Praestol 650 TR. Дезодорация воды достигается введением в отводящий трубопровод микрофильтров порошкообразного активного угля (ПАУ), приготовленного на установке «БМС-сорбент-500» [1]. Продолжительность контакта ПАУ и обрабатываемой воды обеспечивается временем пребывания в смесителях и осветлителях со слоем взвешенного осадка. Принципиальная технологическая схема кондиционирования воды в период цветения воды водоисточника приведена на рисунке 1.

Снижение общей жесткости воды достигается применением метода реагентного едко-натрового умягчения воды. На едко-натровое умягчение направляется до 50 % очищаемой воды, что после смешения потоков умягченной и осветленной на ОСВО воды позволяет добиться требований СанПиН 2.1.4.1074-01 – не более 7 ºЖ. Сравнительные характеристики предлагаемого метода с существующими аналогами, результаты исследований и ключевые выводы по ним опубликованы в материалах международной научно-технической конференции «Техновод-2016» [2–3].

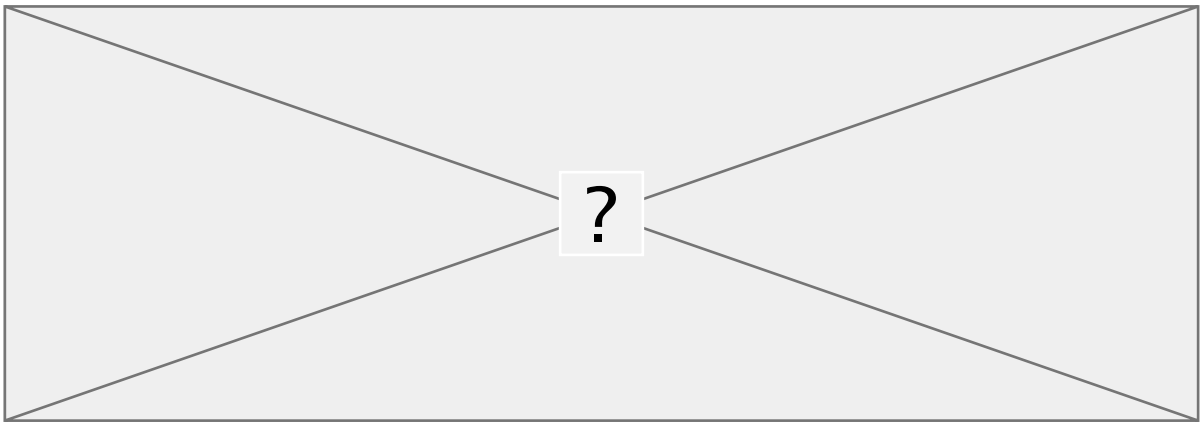


Рисунок 1. **Технологическая схема кондиционирования воды ВОС х. Хапры,** июль–сентябрь:
1 – дисковый микрофильтр; 2 – вертикальный смеситель; 3 – осветлитель со слоем взвешенного осадка; 4 – скорый фильтр; 5 – насосная станция второго подъема; 6 – РЧВ; 7 – резервуар прием промывных вод; 8 – резервуар приема осадка; 9 – цех механического обезвоживания осадка; 10 – башня промывной воды

Принципиальная технологическая схема кондиционирования воды в период повышенного содержания жесткости в воде водоисточника приведена на рисунке 2.

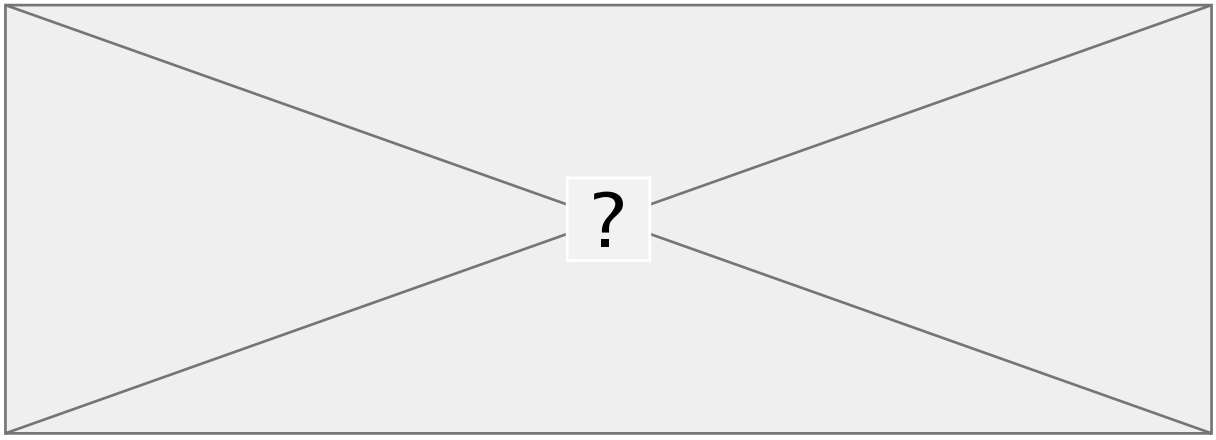


Рисунок 2. **Технологическая схема кондиционирования воды ВОС х. Хапры,** февраль-май:
1 – вертикальный смеситель; 2 – осветлитель со слоем взвешенного осадка; 3 – скорый фильтр; 4 – насосная станция второго подъема; 5 – РЧВ; 6 – резервуар приема осадка; 7 – цех механического обезвоживания; 8 – резервуар приема промывных вод; 9 – башня промывной воды

Процесс умягчения в двух осветлителях протекает достаточно эффективно за счет невысокой скорости восходящего потока V = 0,5 – 1,0 мм/с, при которой вода проходит дополнительную очистку в образующемся «кипящем» слое осадка. Для интенсификации процесса осветления умягченной воды и предотвращения выноса осадка на скорые

фильтры предусмотрена установка тонкослойных модулей в зонах осветления. При реагентном умягчении значительно увеличивается объем осадка, накапливаемого в коридоре осаждения осветлителя и, соответственно, увеличивается нагрузка на сооружения обработки осадков. Накопленный в виде нерастворимых солей кальция и магния осадок с периодичностью 1 раз в 12 часов удаляется из ОСВО и направляется в резервуар приема осадка.

Умягченная вода после осветлителей подвергается стабилизационной обработке введением в отводящий трубопровод раствора соляной кислоты, что препятствует дальнейшему образованию осадков при смешении потоков и транспортировании воды потребителю в подающей сети.

С целью повышения эффективности работы скорых фильтров предложена замена кварцевого песка на сорбционно-фильтрующий материал ОДМ-2Ф (опока дробленная модифицированная). Применение фильтрующего материала, обладающего меньшей гидравлической крупностью, позволило в 1,5 раза сократить объем промывных вод, поскольку для кварцевого песка интенсивность промывки составляет 16 –18 л/с, против 8 – 12 л/с для ОДМ-2Ф.

Существующая технологическая схема работы очистных сооружений предусматривала сброс промывных вод на иловые площадки, дальнейшая эксплуатация которых невозможна по причине размещения их в санитарно-защитной зоне жилой застройки.

Поскольку применение нового фильтрующего материала позволило сократить объемы промывных вод, то было принято решение для их накопления использовать один из существующих резервуаров промывных вод, разделив его перегородкой на две равные части для соблюдения требований СП 31.13330.2012. Из накопителей промывные воды возвращаются в качестве замутнителя перед вертикальными смесителями, что повышает концентрацию взвешенных веществ в воде, поступающей в осветлители со слоем взвешенного осадка, и способствует стабилизации их работы.

Второй существующий резервуар промывных вод после его разделения на две равные половины предложено использовать для приема осадков ОСВО и в летний период промывных вод микрофильтров. Накопленный в резервуаре приема осадка шлам равномерно подается в цех механического обезвоживания, в котором установлены центробежные декантеры. Применение для обезвоживания осадков декантеров C2E-4/454 производства Flottweg позволяет снизить влажность осадка с 99,6 – 98,8 % до остаточного значения 70 – 75 %. Обезвоженный осадок шнековым транспортером направляется в контейнер для мусора объемом 8 м^3 и подлежит вывозу на ПТБО.

Третий этап водообработки в периоды май-июль, октябрь-январь не характерен наличием в воде превышающих нормативы концентраций и

обработка воды производится по стандартной технологической схеме без применения дисковых микрофильтров, дозирования угольной пульпы и умягчения воды.

ВЫВОДЫ

1. Многолетний анализ состава воды водоисточника показал выраженную сезонность превышения предельно допустимых концентраций загрязнений по таким показателям, как жесткость, запах, привкус, наличие микроводорослей, что обусловило необходимость учитывать последнее при разработке новых проектных решений при реконструкции ВОС.
2. Предлагаемая новая технологическая схема учитывает сезонные колебания концентрации загрязнений в водоисточнике и реализуется в рамках модернизации существующих очистных сооружений.
3. Предлагаемая новая технологическая схема позволяет добиться снижения концентраций таких трудноудаляемых загрязнений как жесткость воды, геосмин, 2-метилизоборнеол и не допустить образования летучих хлорорганических соединений в питьевой воде.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фесенко Л.Н., Бессарабов С.Ю., Щукин С.А., Игнатенко С.И. Экспериментальные исследования дезодорации донской воды углеванием с применением активных антрацитов донбасского угольного бассейна // Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2017»: материалы X-юбилейной Межд. науч.-практ. конф.; г. Астрахань, 5–6 октября 2017г. / Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т. (НПИ) имени М.И. Платова. Новочеркасск: Лик, 2017. С. 54–62.
2. Игнатенко С.И., Черкесов А.Ю., Фесенко Л.Н., Пчельников И.В., Федотов Р.В. Технологические и проектные решения реконструкции сооружений очистки воды нижнего течения р. Дон. // Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2016»: материалы IX Межд. науч.-практ. конф.; г. Ростов-на-Дону, 5–7 октября 2016г. / Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т. (НПИ) имени М.И. Платова. Новочеркасск: Лик, 2016. С. 75–85.
3. Фесенко Л.Н., Игнатенко С.И., Чепкасова Н.И., Федотов Р.В., Гетманцев С.В. Исследования эффективности коагулянта оксихлорида алюминия в технологии едко-натрового умягчения донской воды для хозяйственно-питьевых целей // Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2016»: материалы IX Межд. науч.-практ. конф.; г. Ростов-на-Дону, 5–7 октября 2016г. / Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т. (НПИ) имени М.И. Платова. Новочеркасск: Лик, 2016. С. 85–92.

УДК 628.161.3

ВЫБОР МОДИФИКАЦИЙ ОКСИХЛОРИДА АЛЮМИНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ПРИРОДНЫХ ВОД

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

Показано, что основным параметром, определяющим степень совместимости реагента и обрабатываемой воды, является его основность – отношение алюминия к хлоридам.

Оксихлорид алюминия (ОХА) или Полиоксихлорид алюминия (ПОХА), как коагулянт известен достаточно давно, приблизительно с 20-х годов прошлого века. Но по разным причинам широкое внимание российских специалистов в области водоподготовки он обратил на себя лишь к середине 90-х годов 20-го века.

Основными стимуляторами повышения интереса к данному продукту явились:

- ужесточение медико-санитарных требований к питьевой воде;
- наличие у ОХА некоторых уникальных свойств, не имеющихся у других коагулянтов (например – работоспособность при температурах воды ниже +3 °С, работоспособность на водах с низким щелочным резервом…) и позволяющих достичь необходимого уровня качества при обработке вод хозяйственно-питьевого назначения.

На сегодняшний день известно около 50-ти различных технологий получения коагулянта ОХА, которые отличаются принципами получения, аппаратурным оформлением, применяемым сырьём, свойствами конечного продукта и различными сочетаниями данных факторов.

Одним из важнейших свойств ОХА, выделяющим его из ряда других коагулянтов является возможность получения широкого спектра модификаций, из которого может быть выбрана наиболее подходящая для обработки воды каждого конкретного водоисточника.

Основным параметром, определяющим степень совместимости реагента и обрабатываемой воды является его основность (или мольное соотношение) – отношение алюминия к хлоридам (Al/Cl), которое выражается либо в процентах, либо в числовом виде.

Оптимальные значения параметров поставляемого реагента для каждого конкретного водоисточника определяются на основе анализа полученных результатов при проведении опытов пробного коагулирования непосредственно на объекте водоподготовки или водоотведения.

В качестве примера приведём несколько сканированных таблиц из отчётов по опытам пробной коагуляции, проведённым в разное время на

различных станциях водоподготовки и водоотведения.

Во всех случаях проводились сравнительные испытания образцов ПОХА производства ГК «Аурат» с различными значениями Al/Cl и образцов реагентов, применяемых в данное время на объектах испытаний.

Анализ полученных результатов всех представленных к рассмотрению опытов показывает, что образцы с различными значениями Al/Cl работают по-разному в одинаковых условиях. И различия в значениях показателей обработанной воды могут достигать достаточно существенных величин. Из чего следует, что при использовании коагулянта ОХА с верно подобранным значением Al/Cl его расход будет минимальным, что является одним из главных определяющих факторов при выборе реагента.

Следует отметить, что теоретический прогноз оптимального значения основности – Al/Cl для реагента, предполагаемого к поставкам в зависимости от свойств исходной воды Потребителя, представляется некорректным и может быть определен только опытным путём.

1. г. Златоуст, ВОС 10.11.2015 г.

Отчет

по результатам лабораторных испытаний коагулянтов производства ОАО «АУРАТ» (г. Москва)

Цель: Сравнительные лабораторные испытания коагулянтов полиоксихлорид алюминия производства ОАО «АУРАТ» на пробе воды, подаваемой на НФС АО «Златмаш».

10.11.2015 г.

Исходная вода:

- цветность – 76 град,
- мутность – 2,38 ЕМ/дм^3,
- общее железо – 1,27 мг/дм^3,
- алюминий – 0,31 мг/дм^3.

При проведении пробного коагулирования применялся флокулянт Праестол 650 TR.

Таблица 1.

№ п/п	Мольное отношение A1/C1	Доза коа гулянта мг/дм^3	Доза флокулянта мг/дм^3	Цветность, градусы	Мутность, ЕМ/дм^3	Алюминий, мг/дм^3	Железо, мг/дм^3
1.	1,0	7,0	0,35	13	0	0,03	0,1
2.	1,25	7,0	0,35	13	0	0,37	0,1
3.	1,50	7,0	0,35	11	0	0,8	0,09
4.	1,79	7,0	0,35	11	0	0,25	0,09

5.	1,95	7,0	0,35	9	0	0,17	0,12
6.	ОХА «КЗХР»	7,0	0,35	11	0,2	0,17	0,15

Таблица 2.

№ п\п	Мольное отношение А1/С1	Доза коагулянта, мг/дм^3	Доза флокулянта, мг/дм^3	Цветность, градусы	Мутность, ЕМ/дм^3	Алюминий, мг/дм^3	Железо, мг/дм^3
1.	1,0	5,0	0,3	14	0,66	0,05	0,12
2.	1,25	5,0	0,3	14	0,76	0,07	0,13
3.	1,50	5,0	0,3	12	0,71	0,18	0,12
4.	0,79	5,0	0,3	12	0,61	0	0,1
5.	1,95	5,0	0,3	12	0,76	0,02	0,11
6.	АУРАТ18	5,0	0,3	10	0,56	0,005	0,08
7.	ОХА «КЗХР»	5,0	0,3	15	1,58	0,23	0,23

2. г. Уссурийск, ВОС 16.09.2015 г.

Муниципальное унитарное предприятие Уссурийского городского округа
«УССУРИЙСК-ВОДОКАНАЛ»
ПРОИЗВОДСТВЕННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ ЛАБОРАТОРИЯ

Наименование продукции Полиоксихлорид алюминия «ЭПОХА» марка 3
Партия № 1
Дата изготовления 16.09.15г.
Масса нетто 50 т
Наименование и адрес потребителя МУП «Уссурийск-Водоканал» г. Уссурийск, ул. Карбышева 27.
НД на методы исследования и отбора проб: ТУ 2163-081-00205067-2015

Результаты испытаний полиоксихлорида алюминия «ЭПОХА» марка 3.
Результаты пробного коагулирования при дозе 6 мг/дм^3. Исходная вода: цветность 42,41 град.; мутность 4,44

Таблица 3.

Мольное отношение А1/С1	Мутность	Цветность

0,98	2,22	6,66
1,2	1,96	7,07
1,43	0,16	5,45
1,61	1,11	6,46
1,88	0,16	5,05
1,30	0,16	4,85

3. г. Екатеринбург, ВОС 19.02.2016 г.

Результаты лабораторных исследований на воде Волчихинского водохранилища (исходная ЗФС), дата: 19.02.2016 г.

Таблица 4.

№ п/п	Марка ОХА, № образца	Массовая доля Al_1/C_1	Мольное отношение Al_1/C_1	Доза ОХА по Al_2O_3 мг/дм³	Доза Суперфлок С492 по продукту, мг/дм³	Доза Проестол б50 TR по продукту, мг/дм³	Хлопье образование	Фильтрованная проба				
								Цветность, град.	Мутность, мг/дм³	ПО, мгO_2/дм³	pH, ед.pH	Al_1, мг/дм³
Доза ОХА – 10 мг\дм³, доза С-492 – 0,35 мг\дм³												
1.	ЭПОХА (№ 1)	22,3	1,22	10	0,35	-–	Очень крупные хлопья	13,42	< 0,58	4,48	7,09	0,23
2.	ЭПОХА (№ 5)	22,4	2,05	10	0,35	–	Средние хлопья	20,63	< 0,58	6,08	6,99	0,18
3.	ЭПОХА (№ 6)	23,8	1,43	10	0,35	–	Крупные хлопья	15,73	< 0,58	5,60	7,17	0,196
4.	Аква-Аурат™18 (№ 7)	17,2	-	10	0,35	–	Очень крупные хлопья	16,12	< 0,58	4,48	6,84	0,58
5.	БОПАК-Е	22,4	1,98	10	0,35	–	Средние и крупные хлопья	17,25	< 0,58	5,76	7,21	0,65
Доза ОХА – 12 мг/дм³, доза С-492 – 0,35 мг\дм³												
1.	ЭПОХА (№ 1)	22,3	1,22	12	0,35	–	Очень крупные хлопья	15,02	< 0,58	4,00	6,99	0,27
2.	ЭПОХА (№ 5)	22,4	2,05	12	0,35	–	Мелкие и средние хлопья	17,10	< 0,58	5,20	7,07	0,161

3.	ЭПОХА (№ 6)	23,8	1,43	12	0,35	–	Средние и крупные хлопья	15,71	< 0,58	4,32	7,10	0,181
4.	Аква-Аурат™18 (№ 7)	17,2	-	12	0,35	–	Средние и крупные хлопья	14,67	< 0,58	4,40	6,76	0,35
5.	БОПАК-Е	22,4	1,98	12	0,35	–	Средние и крупные хлопья	14,32	< 0,58	4,56	7,19	0,168
Доза ОХА – 12 мг\дм³, доза TR650 – 0,35 мг\дм³												
1.	ЭПОХА (№ 1)	22,3	1,22	12	-	0,35	Очень крупные хлопья	10,71	< 0,58	3,68	7,02	0,44
2.	ЭПОХА (№5)	22,4	2,05	12	-	0,35	Мелкие хлопья	15,56	< 0,58	4,56	7,09	0,148
3.	ЭПОХА (№ 6)	23,8	1,43	12	-	0,35	Средние хлопья	12,75	< 0,58	4,08	7,13	0,262
4.	Аква-Аурат™18 (№ 7)	17,2	-	12	-	0,35	Средние и крупные хлопья	12,54	< 0,58	4,32	6,81	0,47

4. Нижнетуринская ГРЭС 01.11.2017 г.

Доза коагулянта 7 мг\л по оксиду алюминия. В пробной коагуляции использовались растворы 1 %-е по $A1_2O_3$.

Исходная вода с Нижнетуринского водохранилища за 01.11.2017 года:

- pH – 7,74;
- перманганатная окисляемость – 9,76 мг*O_2д/м³,
- A1 – 0,033 мг\дм³,
- Fe – 0,522 мг\дм³;
- щелочность – 1,25 мг*экв/дм³;
- цветность – 51 град.

Таблица 5.

Коагулянт	Хлопье образование через 30 мин	pH	Фильтрованная вода					
			Щелочность мг*экв\дм³	Мутность, мг/дм³	Цветность, град.	Fe, мг/дм³	A1, мг/дм³	ПО, мг*O_2/дм³
БОПАК-Е Основность 5/6	Крупные хлопья	7,44	1,15	0,039	11	0,078	0,15	6,24

Полиоксихлорид алюминия Основность 10 %	Мелкие хлопья	6,77	0,87	0,035	10	0,075	0,41	5,12
Полиоксихлорид алюминия Основность 40 %	Мелкие хлопья	6,98	1,03	0,041	11	0,094	0,115	6,88
Полиоксихлорид алюминия Основность 72 %	Средние хлопья	7,29	1,15	0,04	13	0,081	0,159	5,92
Полиоксихлорид алюминия Основность 83 %	Крупные хлопья	7,56	1,2	0,039	15	0,079	0,0	6,4

Вывод: в результате полученных испытаний видно, что полиоксихлорид алюминия с низкой основностью (10 %) очень хорошо снижает значение перманганатной окисляемости, щелочности и pH, но имеет высокий остаточный алюминий.

Полиоксихлорид алюминия средней основности (72 %) показал неплохую коагулирующую способность и хорошие результаты по очистке воды.

БОПАК-Е и Полиоксихлорид алюминия с высокой основностью (83 %) показали примерно равные результаты и средние результаты по очистке воды.

5. г. Шелехов, КОС 6.12.2016 г.

ОТЧЕТ
о проведении опытов пробной коагуляции с целью определения возможности удаления фосфатов из биологически очищенной сточной воды канализационных очистныхсооружений
МУП «Водоканал» г. Шехехова

В период 06 – 07.12.2016 г. в лаборатории КОС МУП «Водоканал» г. Шелехова была проведена серия опытов пробного коагулирования с различными модификациями коагулянта типа «Полиоксихлорид алюминия» на биологически очищенной сточной воде.

Цель проведения опытов: определение возможности коагуляционной обработки для доведения качества обработанной сточной воды до нормативных показателей и выдача рекомендаций для проектирования станции доочистки сточных вод КОС МУП «Водоканал» г. Шелехова.

Результаты опытов представлены в таблицах.

Результаты сравнительного коагулирования сточных вод различными модификациями «Полиоксихлорид алюминия».

Условия проведения опытов:

- доза коагулянта по AL_2O_3 – 10 мг/л,
- время отстаивания – 90 мин.

Таблица 6.

	Исходная вода	Суточная вода, обработанная коагулянтом концентрацией 1 % по активной части (AL_2O_3)				
		ПАКС AL_2O_3 12,9 %	ЭПОХА AL/CL 1,22	ЭПОХА AL/CL 1,43	ЭПОХА AL/CL 1,88	АКВА-АУРАТ™ 30
Содержание фосфатов (по Р), мг/л	1,67	1,0	0,88	0,98	1,21	0,27

Результаты сравнительного коагулирования сточных вод различными модификациями «Полиоксихлорид алюминия». Условия проведения опытов:

- доза коагулянта по AL_2O_3 – 12,15 мг/л,
- время отстаивания – 30 мин.

Таблица 7.

	Исходная вода	Сточная вода, обработанная коагулянтом концентрацией 1 % по активной части (AL_2O_3)			
		ЭПОХА AL/CL 1,22	ЭПОХА AL/CL 1,22	АКВА-АУРАТ™30	АКВА-АУРАТ™30
		Доза 12, мг/л	Доза 15, мг/л	Доза 12, мг/л	Доза 15, мг/л
Содержание фосфатов (по Р), мг/л	3,15	1,03	0,66	0,42	0,29

Учитывая вышеизложенное, в данный момент на рабочих площадках ГК «АУРАТ» развернут ряд производств коагулянтов типа ПОХА любых возможных модификаций по основности – А1/С1 и другим определяющим конкурентно-значимым характеристикам в любых требуемых количествах.

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

УДК 628.31.504.3.054

ПРИМЕНЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО ДЕЗОДОРИРОВАНИЯ ДЛЯ УСТРАНЕНИЯ ЗАПАХА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЖКХ

Ф.И. Лобанов
ООО «КНТП», г. Москва, Россия

Рассмотрены основные направления использования дезодорирования для устранения запаха дурно пахнущих веществ за счет использования межмолекулярного взаимодействия с кислородсодержащими органическими соединениями. Устранение запаха достигается за счет взаимодействия в воздухе между молекулами, содержащими в своем составе серу или азот (с запахом тухлых яиц или рыбы) и кислородсодержащими молекулами.

В зависимости от состава дурно пахнущей воздушной среды, как правило, содержащей до 5 – 8 различных соединений (сероводород и производные меркаптана; аммиак и разнообразные амины), подбираются различные комбинации альдегидов и

кетонов. Использование разных комбинаций дезоблокаторов позволяет достичь оптимального результата по дезодорации воздуха. Подчеркнуто, что использование дезодорирующих составов допускается только в случае, когда концентрация дурно пахнущих веществ ниже предельно допустимых значений для атмосферного воздуха.

Источниками неприятного запаха в воздухе являются различные источники, где происходит гниение органических веществ. В первую очередь следует отнести мусоропроводы, баки сбора и хранения отходов, канализацию, автотранспорт, перевозящий смешанные отходы, в том числе и пищевые, канализационные очистные сооружения, санкционированные и несанкционированные свалки бытовых отходов.

Воздействие неприятного запаха на организм человека является чисто физиологическим процессом, основанным на чувствительности системы обоняния.

Запах – это ощущение, которое возникает при стимулировании органов обоняния. Каждый обнаруживает запах по-разному. Порог обнаружения каждого запаха может различаться в десятки и сотни раз для двух разных людей. Некоторые детекторы могут определять очень низкие концентрации, однако и человеческий нос способен обнаружить присутствие молекул некоторых запахов при таких низких уровнях.

В некоторых странах есть законы, регулирующие присутствие запахов в воздухе, правда они редко исполняются. В нашей стране введен ГОСТ 32673-2014 «Правила установления нормативов и контроля выбросов дурно пахнущих веществ в атмосферу».

При обработке городских и промышленных сточных вод образуются запахи, которые могут быть сильными, устойчивыми, неприятными для работников, жителей, бизнесменов и нежелательными для производств, расположенных вблизи заводов, по очистке сточных вод.

Запахи образуются на станциях канализации с различной интенсивностью. Основные места, где образуются запахи – осветлители, метантенки, аэрационные бассейны, отстойники и основные площади для обработки осадка, поля аэрации.

В работе [1] детально рассмотрены различные способы устранения неприятного запаха на сооружениях систем канализации, в канализационных коллекторах и колодцах, полигонах захоронения осадков сточных вод на примере объектов ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» [2]. Для борьбы с запахом на полигонах захоронения осадков сточных вод предложено мелкодисперсное распыление дезодорирующего состава по периметру полигона. При этом очень важен принцип действия дезодорирующих составов (дезоблокаторов). Воздействие неприятного запаха на организм человека является чисто физиологическим процессом, основанным на чувствительности системы обоняния. В связи с этим существуют два различных подхода к устранению неприятного запаха. Первый – введение в воздушную среду веществ с ароматом, который

полностью перекрывает неприятный запах. Этот эффект достигается только в случае многократного превышения концентрации дезоблокатора по отношению к концентрации дурно пахнущих веществ. Второй подход – химическое дезодорирование воздуха с неприятным запахом.

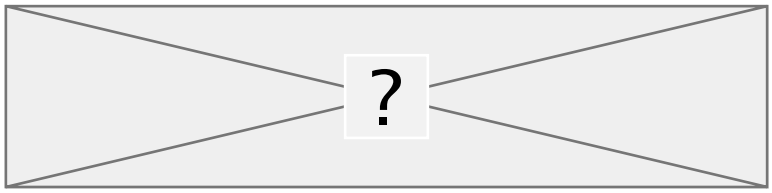
Химическое дезодорирование, основанное на реакции взаимодействия в воздушной среде молекул дурно пахнущих веществ и кислородсодержащих молекул, является перспективным направлением и служит для устранения неприятного запаха на открытых территориях. В первую очередь это относится к иловым накопителям, решеткам, песколовкам, первичным отстойникам и другим объектам, связанным с канализованием коммунальных стоков.

Межмолекулярное взаимодействие дурно пахнущих и кислородсодержащих веществ может происходить только в случае создания благоприятных условий (в первую очередь аэрозольного тумана). Создать в воздухе туман из аэрозоля с активными молекулами кислородсодержащих веществ можно с помощью специальных форсунок, через которые подается раствор исходного продукта под давлением не менее 80 атм.

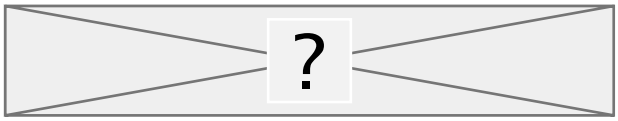
Расстояние между форсунками должно обеспечивать создание слоя аэрозольного тумана, через который проходит воздух с неприятным запахом. В слое аэрозольного тумана протекают химические реакции дезоблокаторов с дурно пахнущими веществами. В этом случае концентрация дезоблокатора в воздушной среде соответствует концентрации вещества с неприятным запахом, например, при реакции альдегида и кетона с меркаптаном, сероводородом, аммиаком, первичным и вторичным аминами.

Реакция альдегида:

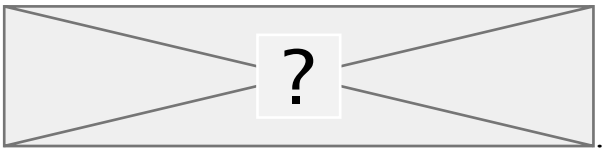
– с аммиаком (в газовой фазе):



– с первичным амином:

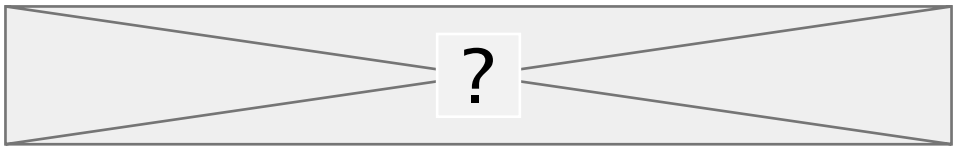


– с вторичным амином:

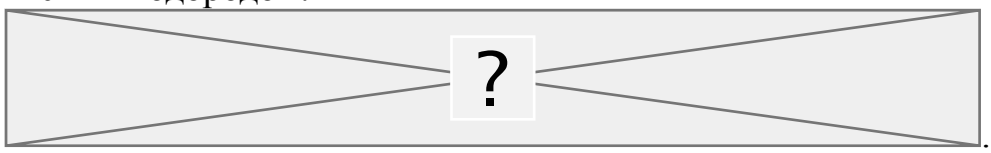


Реакция альдегида с:

– с меркаптаном:



– с сернистым водородом:



В результате многолетних исследований и всесторонних испытаний были выбраны различные соединения альдегидов и кетонов и получены различные комбинации натуральных и синтетических эфирных масел. Установлено, что эти группы химических веществ способны взаимодействовать в воздушной среде с дурно пахнущими соединениями: аммиаком, аминами, сероводородом, меркаптанами, которые встречаются в основном в биошламе, мусоре, компосте, сточных водах и практически являются основным источником неприятных запахов в окружающей среде.

Различные комбинации альдегидов и кетонов действуют лучше, чем каждый элемент в отдельности (синергетический эффект). В продукции, выпускаемой компанией *Westrand International*, используются точные смеси альдегидов и кетонов для повышения эффективности устранения неприятного запаха. Эффективность действия этих соединений обеспечивает хорошие результаты при нейтрализации различных неприятных запахов. Все органические вещества, используемые в различных комбинациях соединений, запатентованы. [3–4]. Опыт использования производимых продуктов в течение длительного времени подтвердил их эффективность на различных объектах – иловых накопителях, свалках твердых бытовых отходов и отходов животноводческих комплексов.

При любом варианте использования препараты первоначально испытываются в реальных условиях, их эффективность подтверждается различными группами людей (жителями, рабочими). При обработке воздуха особое внимание должно быть уделено токсичности продукции. Она проверяется официальными лабораториями и контролируется специальными органами. Разработанные препараты нетоксичны для человека и окружающей среды, на них получены все необходимые сертификаты. Производимые продукты биоразлагаемы, нетоксичны для растений, водной фауны и флоры, могут использоваться в закрытых помещениях, где работают люди, что подтверждается сертификатами органов производственной гигиены. Все препараты зарегистрированы в перечне Международной ассоциации ароматических веществ (IFRA). В 2007 г. был получен документ о соответствии данной продукции законам ислама (для применения в Алжире, Марокко и Малайзии).

При химическом дезодорировании воздуха с неприятным запахом, в

отличие от предыдущего случая, используются водные растворы препаратов. В первую очередь химическое дезодорирование воздуха с неприятным запахом применяется на открытых площадках. В зависимости от размера обрабатываемой площади используются аэрозольные пушки с различным приводом или рампы с распыляющими форсунками.

Химическое дезодорирование осуществляется путем распыления аэрозоля с размером частиц 10 мкм и при низкой концентрации препарата (0,1 % и менее). Процесс распыления автоматизирован: дезодорирующий комплекс взаимодействует с метеостанцией, которая в зависимости от погодных условий выбирает нужный вариант его работы.

Кроме динамических способов распыления применяются и статические методы. В этом случае химическое дезодорирование может осуществляться за счет испарения активных компонентов с различных органических или неорганических нейтральных носителей. В качестве нейтрального носителя выступает полиуретановый гель, содержащий летучие компоненты. Пластины с гелем могут вставляться в воздуховоды или подвешиваться в шахтных колодцах. Полимерный гель производится на водной основе, также содержит летучие компоненты и может применяться непосредственно расфасованным в банках. Оба варианта дезодорирования используются в цехе механического обезвоживания осадков сточных вод, на насосных станциях, в канализационных коллекторах, отстойниках и системах вентиляции.

Перспективным направлением химического дезодорирования является применение технологии сухого пара. При этом осуществляется моноточечное распыление в отводящий воздуховод. Для большей безопасности резервуар с реагентом встроен в шкаф устройства подачи сухого пара. С этой целью необходимо обеспечить подачу сжатого воздуха в устройство с помощью компрессора. Реагент, который не содержит воды, испаряется в виде газа (менее 1 μ).

Принцип распыления заключается в том, что распыляющая форсунка расположена в верхней части резервуара с реагентом и подключена к сжатому воздуху. Сухой пар производится внутри резервуара. Пар подается к месту обработки по трубкам, которые подсоединены к верхней части бака с реагентом. Автомат, присоединённый к воздушному электроклапану позволяет программировать циклы распыления. Резервуар снабжен уровнемером, клапаном для заполнения и сливным клапаном, применение сухого пара позволяет получить ряд преимуществ распыления: устойчивая стабильность распыления; качественное распыление, сухое и естественное; равномерное распределение распыления; безопасный резервуар; распыление на протяжении нескольких месяцев без заполнения резервуара; отсутствие химических газов и нагрева реагента.

Для устранения неприятного запаха в водных средах выпускаются препараты, представляющие собой микроэмульсии (типа масло-вода),

которые легко смешиваются с водой. Рабочие концентрации составляют 1 – 10 %. Рекомендуется использовать разбавленные растворы на городских очистных сооружениях при обезвоживании биошлама, в промывных башнях и т. д. При вводе реагента в стационарные объекты его действие при устранении неприятного запаха сохраняется в течение 5 – 7 дней.

В настоящее время технологии дезодорации и препараты, выпускаемые компанией *Westrand International*, нашли применение в разных городах России, в первую очередь на коммунальных объектах Санкт-Петербурга, где в 2013 г. введены в эксплуатацию распыляющие рампы (на юге и севере города) общей протяженностью более 4 км.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рублевская О.Н. Мероприятия по предотвращению распространения неприятных запахов на объектах ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» // Водоснабжение и санитарная техника. 2013. № 10. С. 46–55.
2. Патент 2331442, РФ. Способ устранения запахов полигонов отходов, свалок и полей орошения (варианты) / Кармазинов Ф.В., Лобанов Ф.И., Казщук Б. // Изобретения. Полезные модели. 2008.
3. Патент Франции № 2599257 от 29 мая 1986 г., дополнительное удостоверение № 2623717 от 1 декабря 1987 г.
4. Патент Евросоюза № 0401140 от 28 мая 1990 г.

УДК 628.336

НЕКОТОЫЕ ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ ОСАДКОВ СОДЕРЖАЩИХ ИОНЫ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

В.И. Нездойминов, В.Н. Чернышев, В.Ф. Кижаев, А.В. Могукало
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
г. Макеевка, Украина

В статье рассмотрены вопросы удаления ионов тяжелых металлов в осадках городских сточных вод. На основании анализа существующих методов удаления ионов металлов из осадков, выбраны направления исследований и проведены эксперименты по изучению возможности применения методов выщелачивания. Установлено, что выщелачивание может обеспечить извлечение не всех ионов металлов, содержащихся в осадках. Более радикальным способом решения проблем с утилизацией осадков содержащих ионы тяжелых металлов, является применение технологии глубокой минерализации, с последующей обработкой иловой воды реагентами. Установлены дозы и вид применяемых реагентов.

На городских канализационных очистных станциях при очистке сточных вод образуется значительное количество органических осадков, которые требуют в дальнейшем утилизации. Наиболее рациональным способом утилизации осадков является их использование в качестве органоминеральных удобрений. Однако зачастую в осадках присутствуют вредные примеси, в том числе и тяжелые металлы, которые могут препятствовать такому использованию. В этом случае приходится решать задачи их извлечения из осадков.

Существующие методы удаления ионов тяжелых металлов можно подразделить на: химические, физико-химические, реагентно-биологические. Химические методы заключаются в обработке осадков реагентами, в технической литературе этот метод называют реагентным выщелачиванием. [1]. Реагентное выщелачивание основано на химическом взаимодействии кислот с ионами металлов, с образованием растворимых солей.

При этом образующиеся соли в кислой среде (pH 2–3) переходят в иловую воду, и их концентрация в твердой фазе осадка уменьшается. Жидкую фракцию осадка, полученную фильтрованием, в дальнейшем подвергают обработке щелочным реагентом с целью освобождения ее от тяжелых металлов.

Физико-химические методы включают: экстракцию соединений тяжелых металлов органическими кислотами, обработку осадка кальцийсодержащими материалами, а также термические методы [2]. Эти методы технологически сложны и требуют специального оборудования.

Реагентно-биологический метод основан на сочетании биологических процессов и реагентной обработки осадка. Он включает анаэробную стабилизацию осадков в метантенке, последующую промывку сброженного осадка, аэробную биологическую обработку его ацидофильными микроорганизмами в кислой среде с добавлением железного купороса. После этого иловая вода, образующаяся при фильтр-прессовании в дальнейшем обрабатывается флокулянтом для извлечения из нее тяжелых металлов. Обезвоженный осадок нейтрализуется карбонатом кальция [3]. Данный метод обработки позволяет сохранить высокие удобрительные свойства осадка, обладает более высоким эффектом удаления металлов. Анализ рассмотренных методов показывает, что все они обладают разного рода недостатками, которые затрудняют их применение. К таким недостаткам можно отнести сложность технологических схем и большие расходы реагентов.

Однако с нашей точки зрения для извлечения металлов наиболее простым в реализации методом является реагентное выщелачивание. Недостатком метода является повышенный расход кислоты, так как значительная ее часть идет на реакцию с веществами, входящими в состав твердой фазы осадка. С целью уменьшения расхода кислоты можно было бы предложить предварительную аэробную минерализацию осадка, в результате которой величина pH иловой смеси может снизиться до 4,5. Для подтверждения этого предположения были проведены две группы экспериментов. Задачей первой группы экспериментов явилось определение продолжительности аэробной минерализации с целью получения минимальных значений величины pH. Эксперименты проводились на лабораторной установке, как с уплотненным, так и с неуплотненным активным илом. Установлено, что на продолжительность минерализации оказывает влияние концентрация активного ила, а минимальное значение pH, равное 4,5, можно получить при минерализации уплотнённого ила (11 г/л) при ее продолжительности не менее 12 суток. Эксперименты кроме того показали что, для достижения такого же значения pH продолжительность минерализации неуплотнённого ила требует более длительного времени.

Задачей второй группы экспериментов явилось определение возможности выщелачивания с применением предварительной аэробной минерализации активного ила. Эксперимент проводился с уплотненным активным илом – при концентрации 17,8 г/дм^3.

Минерализация уплотненного ила проводилась на лабораторной установке путем аэрации в течение определенного времени. После завершения иловая смесь подкислялась соляной кислотой до pH 2. Контроль по содержанию тяжелых металлов проводился в иловой воде, до минерализации, после минерализации и после подкисления соляной кислотой. Анализ выполнялся атомно-адсорбционным методом на приборе

«Сатурн 3-П1» с приставкой «Графит 2» предназначенный для электронного обсчета результатов анализа. Контролировалось содержание следующих металлов: свинца, никеля, хрома, цинка, железа, меди и кадмия.

Минерализация уплотненного активного ила проводилась в течение 12 суток, исходная концентрация активного ила составляла 17,84 г/дм^3, после завершения минерализации концентрация снизилась до 16,6 г/дм^3. При этом величина pH достигла величины 4,7. Результаты выщелачивания уплотненного ила при минерализации приведены в таблице 1.

Таблица 1. **Результаты эксперимента по выщелачиванию уплотненного активного ила в процессе минерализации**

№ п/п	Наименование ионов металлов	Содержание ионов металлов			Кол-во ионов металлов, перешедшее в иловую воду, мг/кг
		В иле до минерализации, мг/кг сухого вещества	В иловой воде		
			до минерализации, мг/ дм^3	после минерализации, мг/ дм^3	
1	Свинец	60,4	0,0027	0,0032	0,09
2	Никель	117,6	0,0100	0,1031	5,23
3	Хром	44,3	0,0031	0,0063	0,17
4	Цинк	375,6	0,1114	0,7091	33,5
5	Железо	5200	0,3300	2,4100	116,6
6	Медь	53,1	0,0253	0,1945	9,5
7	Кадмий	1,8	0,0003	0,0011	0,05

Примечание: в графе 6 приведены данные, отнесенные к массе сухого вещества ила до стабилизации.

Данные таблицы свидетельствуют о том, что в иловую воду переходят ионы никеля, цинка, меди и железа.

На следующем этапе экспериментов было произведено подкисление стабилизированного ила раствором соляной кислоты до pH 2. После подкисления ил перемешивался при помощи аэрации в течение 2-х часов и отстаивался в течение часа. После отстаивания иловая вода подверглась анализу на содержание ионов металлов. Окончательные результаты выщелачивания с применением предварительной минерализации приведены в таблице 2.

Таблица 2. **Эффективность выщелачивания ионов металлов при обработке стабилизированного уплотненного ила соляной кислотой до pH 2**

№ п/п	Наименование ионов металлов	Содержание ионов металлов				Эффект выщелачивания, %
		В иле		В иловой воде		
		до минерализации, мг/кг сухого вещества	после минерализации и подкисления, мг/кг сухого вещества	до минерализации, мг/ дм^3	после минерализации и подкисления, мг/ дм^3	
1	Свинец	60,4	64,6	0,0027	0,0072	–
2	Никель	117,6	49,5	0,0100	1,2870	57,9
3	Хром	44,3	45,1	0,0031	0,0448	–
4	Цинк	375,6	150,5	0,1114	4,3141	60,0
5	Железо	5200	5453,5	0,3300	2,5700	–
6	Медь	53,1	23,7	0,0253	0,5796	55,4
7	Кадмий	1,8	1,5	0,0003	0,0068	14,3

Из таблицы 2 видно, что в наибольшей степени подвергаются выщелачиванию ионы никеля, цинка и меди. Однако снижение содержания концентраций ионов свинца, хрома и железа в твердой фазе осадка после минерализации и подкисления соляной кислотой фактически не происходит. Эксперименты показали, что выщелачивание с использованием предварительной аэробной минерализации и последующей обработкой соляной кислотой, не приводит к выделению из осадка всех без исключения металлов. Поэтому рассматриваемый метод можно рекомендовать только для металлов, выделение которых подтверждается экспериментальными данными, в нашем случае это цинк, медь и никель.

Таким образом, метод выщелачивания не всегда эффективен для извлечения ионов тяжелых металлов из осадков. Проблему можно решить более рациональным методом, используя технологию глубокой минерализации, разработанной на кафедре ВВиОВР ДонНАСА [4–5]. Она позволяет обеспечить распад беззольного вещества осадка на 95 % и выше. При этой технологии из минерализатора отводится только иловая вода, содержащая значительную часть ионов тяжелых металлов, а извлечение металлов из иловой воды производится значительно легче, чем из твердой

фазы фракции осадка [6].

Анализ существующих методов извлечения ионов металлов из водной среды показал, что наиболее подходящим методом их извлечения из иловой воды может быть реагентный метод. Метод основан на выделении металлов в виде нерастворимых соединений. Для выбора реагента были проведены эксперименты по удалению металлов с использованием едкого натрия, гашеной извести и смеси извести с карбонатом кальция, а также некоторыми видами флокулянтов. В экспериментах использовалась иловая вода из илоотделителя после глубокой минерализации действующей очистной станции г. Макеевки. Эксперимент проводился с использованием отстаивания, по следующей методике.

В цилиндры с обрабатываемой иловой водой высотой 0,5 м добавлялись приготовленные растворы реагентов с различными дозами и содержимое цилиндров тщательно перемешивалось. В течение одной минуты после перемешивания, наблюдалось интенсивное хлопьеобразование, свидетельствующие об образовании нерастворимых соединений и коагуляции мелкодисперсных взвесей. Продолжительность отстаивания составила 2 часа. После завершения отстаивания, из цилиндра с определенной глубины на анализ содержания ионов тяжелых металлов отбиралась проба осветленной иловой воды с помощью сифона.

Установлено, что при обработке иловой воды едким натрием и гашеной известью доза реагента для получения достаточной эффективности удаления тяжелых металлов составляет 150 мг/л, при этом величина pH иловой воды повышается до 11, что может вызвать проблемы ее подачи в технологию очистки сточных вод. Кроме того неконтролируемое повышение pH может привести к обратному эффекту, то есть растворению гидроксидов металлов. Поэтому дозы вводимых щелочных реагентов ограничивались. Подщелачивание смесью извести и карбоната кальция обеспечивает максимальную эффективность при дозе извести 50 мг/л и карбоната кальция 150 мг/л , при этом pH не выходит за пределы 10. Данные по эффективности удаления тяжелых металлов приведены в таблице 3.

Таблица 3. **Эффективность удаления ионов тяжелых металлов различными реагентами**

Вид реагента	pH	Эффективность удаления иона металла, %				
		хрома	меди	никеля	цинка	кадмия
Едкий натр 50 мг/л	9,5	92	34	50	88	–
Едкий натр 150 мг/л	11,15	95	50	86	78	–

Известь 150 мг/л	11,1	74	56	58	70	53
Известь 50 мг/л + карбонат кальция 150 мг/л	9,74	81,7	66	54,2	85,1	76

Данные таблицы свидетельствуют о целесообразности применения для обработки иловой воды смеси извести и карбоната кальция, в связи более низкой стоимости реагента, возможностью замены смеси низкосортной известью, и достаточной высокой эффективности удаления. Более полно удаляется хром, цинк и кадмий.

Таким образом, обработка осадков с использованием глубокой аэробной минерализации позволяет радикальным образом решить проблему обезвреживания осадков с практически полным распадом органической части и последующем выделением ионов металлов в виде нерастворимых соединений.

ВЫВОДЫ

Удаление металлов из осадка городских сточных вод методом выщелачивания эффективно не для всех металлов. Эффективность следует проверять экспериментально.

Наиболее радикальным способом решения проблем с утилизацией осадков, содержащих ионы тяжелых металлов, является применение технологии глубокой минерализации осадка с последующей реагентной обработкой иловой воды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Котюк Ф.А., Штонда Ю.И. Разработка методов удаления тяжёлых металлов из осадков городских сточных вод // Коммунальное хозяйство. 2004. № 72. С. 165–169.
2. Зыкова И.В. Обезвреживание избыточных активных илов и осадков сточных вод от тяжелых металлов. Автореферат дисс. … докт. хим. наук. Санкт-Петербург. 2008. 32 с.
3. Данилович Д.А., Аджиенко В.Е. Способ обработки осадков сточных вод с удалением тяжёлых металлов // патент России. 1996.
4. Чернышев В.Н., Пономаренко А.В., Кижаев В.Ф. К вопросу удаления металлов из осадков городских сточных вод // Вестник ДонНАСА, вып. № 2(70). 2008. С. 60–64.
5. Чернышев В.Н., Кижаев В.Ф. Биотехнология глубокой минерализации осадков городских сточных вод, содержащих ионы тяжелых металлов /

Материалы межд. научн.-практ. конф. «Вода, экология, общество». Харьков: ХНАГХ 2010.
6. Чернышев В.Н., Нездойминов В.И., Кижаев В.Ф. Глубокая минерализация в технологии обработки осадков городских сточных вод содержащих ионы тяжелых металлов // Водоснабжение и водоотведение, 2011. № 5. С. 15–22.

УДК 628.33

ПРОГРЕССИВНЫЕ СИСТЕМЫ ГЛУБОКОЙ ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА НА МОДУЛЬНЫХ УСТРОЙСТВАХ ПАССИВНОГО ТИПА

А.Н. Ким
ООО «ЭКОВОД», г. Санкт-Петербург, Россия
С.Ю. Лютин
ООО «Эковод Инжиниринг», г. Санкт-Петербург, Россия
Е.В. Давыдова
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

В целях снижения вредного воздействия и предотвращения загрязнения водных объектов, правительством Российской Федерации принимаются меры по контролю условий водоотведения, качества сбрасываемых стоков и очистке отводимых вод, выраженные в виде принятых федеральных законов, приказов министерств и постановлений правительства, устанавливающих соответствующие правила водоотведения и использования сетей городской канализации. Российское природоохранное законодательство постоянно совершенствуется, что накладывает дополнительные трудности при выборе подхода к очистке загрязнённого поверхностного стока с территории хозяйствующих субъектов не только в техническом плане, но, что наиболее важно, в экономическом плане, особенно на отдалённую перспективу.

Сохранение и поддержание состояния здоровья населения на уровне, соответствующем критериям цивилизованного общества, является одной из стратегических задач социальной политики Российской Федерации [1].

Эта проблема не может быть решена в отрыве от проблем защиты и воспроизводства водных ресурсов, от обеспечения их чистоты в естественных условиях [1–3].

Однако большая часть проводимых в России исследований воздействия урбанизации на окружающую среду в большинстве своем сводятся к оценке загрязнения воздушной среды и шумового уровня, при этом внимание к загрязнению прилегающих к автомобильной дороге водоемов поверхностным стоком с дорожного покрытия и не только уделяется незначительно [4].

В крупных городах поверхностный сток представляет собой внушительные объемы загрязненных вод, которые чаще всего без очистки, с превышением норм ПДК в несколько, а иногда и в сотни раз, попадают в водные объекты и на прилегающую территорию, что противоречит требованиям природоохраны.

Общий объем сброса загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты находится на стабильно высоком уровне [1–2].

Для решения вопроса глубокой очистки поверхностного стока очень важно уже сегодня выбрать наиболее эффективную и целесообразную технологию очистки, основываясь на данных по объему поверхностного стока и его загрязнённости. Качественные показатели степени очистки поверхностных сточных вод при сбросе их в водные объекты представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. **Концентрации загрязняющих веществ в сточных водах, которые допускаются к сбросу в централизованные дождевые системы водоотведения**

Параметры	Допустимое значение концентрации загрязняющих веществ в натуральной пробе
Взвешенные вещества, мг/л	300
$БПК_5$, мг/л	7,0
Азот аммонийный, мг/л	1,2
Нефтепродукты, мг/л	0,5

Таблица 2. **Концентрации загрязняющих веществ в сточных водах, которые допускаются к сбросу в водные объекты рыбохозяйственного назначения**

Параметры	Допустимое значение концентрации загрязняющих веществ в натуральной пробе
Взвешенные вещества, мг/л	10
$БПК_5$, мг/л	3,0
Азот аммонийный, мг/л	0,39
Нефтепродукты, мг/л	0,05

Стоит отметить, что в России, в отличие от других стран, к качеству очищенной сточной воды предъявляются более высокие (в некоторых случаях и чрезмерно жесткие) требования. Если сопоставить требования по удалению из сточной воды органических и химических загрязнений, можно выявить ингредиенты, которые нужно удалить в первую очередь. Удаление остальных загрязнений будет происходить в качестве сопутствующего эффекта [4–10].

Двухступенчатая схема фильтрования для глубокой очистки поверхностного стока позволяют получать высококачественную воду, которая соответствует нормам и ПДК для сброса в водоемы [5, 9]. При этом предлагаемый метод является экономически целесообразным, т. к. фильтрующие модули монтируются в существующую сеть ливневой канализации, и не требует дополнительного строительства сооружений, а так же не занимают свободные зоны городского пространства. При

нормальной работе очистного устройства фильтрация очищаемой жидкости происходит через боковую (вертикальную) и нижнюю (донную) поверхности фильтрующего модуля. Конструкция фильтрующего модуля первой и второй ступеней при сверхнормативном расходе ливневых стоков предусматривает возможность перелива жидкости через его верхнюю часть первой ступени (рис. 1).

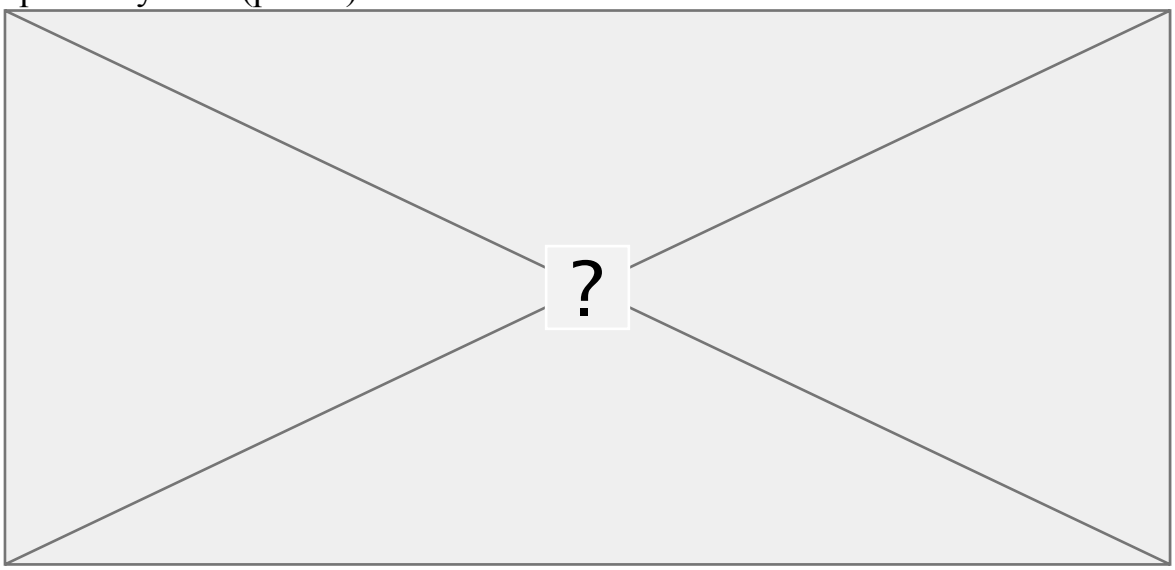


Рисунок 1. **Схема очистки поверхностного стока двухступенчатым фильтрующим модулем:**
1 – люк с решеткой; 2 – колодец дождеприемный с фильтрующим модулем первой ступени – 3; 4 – колодец дождеприемный с фильтрующим модулем второй ступени – 5; 6 – козырек защитный; 7 – подводящий трубопровод (вариант) H1-H2 ≥ 300 мм; 8 – соединительный трубопровод; 9 – отводящий (сбросной) трубопровод H2-H3 ≥ 200 мм

Для подтверждения эффективности глубокой очистки поверхностного стока по двухступенчатой схеме фильтрования были проведены испытания. Для проведения испытаний использовался испытательный стенд (рис. 2). Испытания были проведены на современном техническом уровне в условиях приближенных к натурным.

На испытательном стенде очистке подвергалась исходная модельная вода (ИМВ), которая приготавливалась на водопроводной воде путем добавления в нее навески мелкозернистого песка дисперсностью 50 – 150 мкм, а также мерной порции нефтепродуктов (отработанное машинное масло) с тем, чтобы концентрация взвешенных веществ (ВВ) в ИМВ составляло порядка 200 мг/л, а нефтепродуктов (НП) – 10 мг/л.

Технологическая схема испытательного стенда предусматривала последовательное напорное двухступенчатое фильтрование, при котором обеспечивалась непрерывность потока фильтрования на первой и второй ступенях очистки.

Приготовление ИМВ производилось в баке 1 вместимостью 100 л,

устанавливаемым на заданной высоте (рис. 2), где осуществлялось постоянное перемешивание при помощи электромешалки 2. Из бака 1 ИМВ поступала по прозрачному полиэтиленовому шлангу в фильтровальную колонку первой ступени 3 диаметром 50 мм, выполненную из оргстекла.

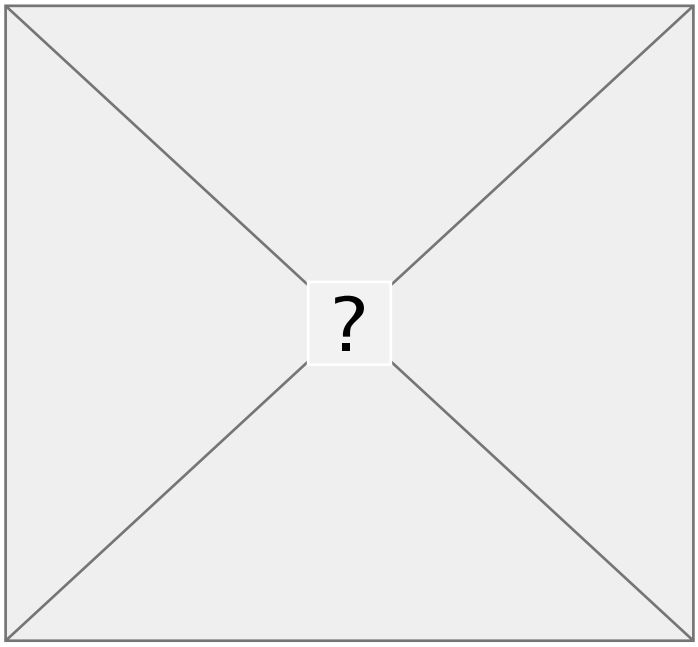


Рисунок 2. **Схема испытательного стенда двухступенчатого фильтрующего модуля:**
1 – бак исходной модельной воды (ИМВ); 2 – мешалка; 3 – фильтровальная колонка первой ступени; 4 – фильтровальная колонка второй ступени; 5 – подложка из волокнисто-пористого полиэтилена; 6 – фильтрующий материал торфосорбент; 7 – сорбционный материал (БАУ); 8 – пробоотборник; 9 – зажим, регулятор расхода

В колонке 3 фильтрующая загрузка состояла из 2-х слоев: нижний слой в виде подложки 5 из волокнисто-пористого полиэтилена толщиной 4 мм (фильтрующий элемент ФЭС-Пл-700Х2000-4 «ФФМК, ТУ 2291-001-27536148-2013), а верхний слой 6 – ТОРФОСОБЕНТ толщиной слоя 200 мм (материал фильтрующий, изготовленный из верхового торфа моховой группы по ТУ 039133-001-12872024-16.

Расход очищенной воды на выходе из колонки 4, а, следовательно, и заданная скорость фильтрования регулировались зажимом 9 таким образом, чтобы скорость фильтрования в колонках 3 и 4 имела задаваемое значение – 5; 7,5; 10 м/ч, при этом расход воды определялся при помощи мерной емкости (цилиндра, пробоотборника) 8 и секундомера.

Отбор проб воды для анализа производился через заданные промежутки времени (1 час) в течение фильтроцикла продолжительностью в одном опыте 5 часов. Содержание взвешенных веществ определялось на

фотоэлектрокалориметре ФЭК-56М, а нефтепродукты – флуориметрическим методом на анализаторе жидкости «Флюорат-02».

Содержание загрязнений в исходной модельной воде ИМФ, поступающей на колонку 3: взвешенные вещества ВВ – 200 мг/л; нефтепродукты НП – 10 мг/л. Задаваемые скорости фильтрования на обеих колонках Vф – 5; 7,5; 10 м/ч. Продолжительность фильтроцикла в одном опыте составляла 5 ч. Число опытов в одной серии – 3.

Осредненные результаты опытов приведены в табл. 3.

Таблица 3. **Показатели качества очищенной воды после первой и второй ступеней очистки**

Серия опытов	Vф, м/ч	Первая ступень, мг/л		Вторая ступень, мг/л	
		ВВ	НП	ВВ	НП
1	5	7,1–7,8	0,22–0,31	5,7–6.4	0,037–0,042
2	7,5	8,8–10,7	0,27–0,36	4,8–5,3	0,045–0,052
3	10	12,9–17,3	0,43–0,55	7,3–1,5	0,055–0,068

Из таблицы 3 видно, что при скорости фильтрования 7,5 м/ч достигаются приемлемые параметры очистки, соответствующие нормам сброса очищенных поверхностных стоков в природные водоемы, по нефтепродуктам – 0,05 мг/л.

ВЫВОДЫ

Двухступенчатая схема фильтрования для глубокой очистки поверхностного стока (ФМС-2ДВ «ЭКОВОД») с учетом новых технических решений, обеспечивает качество очищенного поверхностного стока по взвешенным веществам 5 мг/л, по нефтепродуктам – 0,05 мг/л.

ЛИТЕРАТУРА

1. Приказ Федерального агентства по рыболовству от 18 января 2010 г. № 20 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения». – М; «Российская газета», № 46 от 05.03.2010, изд-во «Российская газета».
2. Государственный доклад (2016) «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2015 году». – М.: Минприроды России; НИА-Природа.
3. Дикаревский В.С., Курганов А.М., Нечаев А.П., Алексеев М.А (1990) Отведение и очистка поверхностных сточных вод // Учебное пособие для вузов. – Л.: Стройиздат.

4. Ильина А.А. Влияние автомобильного транспорта на загрязнение поверхностных стоков с автомобильных дорог и мостов // Новости в дор. деле: Науч.-техн. информ. сб. / ФГУП «ИНФОРМАВТОДОР». – М, 2004. Вып. 2.
5. Ким А.Н., Михайлов А.В., Графова Е.О. Технические аспекты поверхностного стока с урбанизированных территорий. / Монография: Санкт-Петербург, 2017.
6. Мануйлов М.М., Московкин В.М. (2016) Влияние поверхностного стока (дождевых и талых вод) на экологическую и техногенную ситуацию в городах // Вода и экология: проблемы и решения. № 2. С. 35–47.
7. Ким А.Н., Давыдова Е.В., Полянская Д.И. Отведение и очистка поверхностного стока в Астрахани: современное состояние и перспектива развития // Градостроительство и архитектура. 2016. № 2 (23). С. 31–35.
8. Графова Е.О., Кузьменков А.А. Водоотведение и очистка поверхностных стоков. Особенности проектирования и очистки: учеб. пособ. Петрозаводск: ПетрГУ, 2015. 52 с.
9. Сизов А.А., Серпокрылов Н.С., Каменев Я.Ю. Методика выбора технологии очистки периодических сбросов сточных вод // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2012. № 4(8). С.71–74.
10. Ким А.Н., Давыдова Е.В. Модернизация фильтрующего модуля ФМС на дождевой канализационной сети // Изв. вузов. Строительство. 2017. № 7. С. 48–58.

УДК 628.2

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ ФАКТИЧЕСКОГО ПРЕБЫВАНИЯ СТОЧНЫХ ВОД В ПЕРВИЧНОМ ОТСТОЙНИКЕ

А.А. Тарасова, А.А. Алексеев, К.А. Соловьев
Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Россия

В данной статье рассмотрен вопрос об определении коэффициента полезного использования объема первичного отстойника в реальных условиях эксплуатации очистных сооружений с применением в виде трассера раствора хлорида натрия. На основе экспериментальных данных сделан вывод об удовлетворительном гидравлическом режиме работы первичных отстойников на КОС г. Ставрополя.

Радиальные отстойники применяют для расходов сточных вод свыше 20 000 м^3/сут [1–2]. Обычно время пребывания сточной жидкости определяется делением рабочего объёма отстойника на часовой расход, также экспериментально подкрашивают воду индикатором в распределительной камере и берут пробы каждые 4 минуты в течении 2–х часов, замеряют оптическую плотность проб на фотоэлектрокалориметре [3].

В рамках обследования рабочих режимов очистных сооружений канализации г. Ставрополя проведены исследования по определению фактического времени пребывания сточной воды в радиальном отстойнике диаметром 30 м и рабочей высотой отстаивания 3 м с расходом 1225 м^3/ч, основанные на измерении солесодержания в отобранной пробе жидкости прибором TDS.

Методика проведения исследований включала следующие действия:

1) 10 кг NaCl растворили в 40 л водопроводной воды, в полученном растворе солесодержание по TDS составило 820 мг/л;

2) ввод солевого раствора осуществляли залпом в подводящий дюкер исследуемого отстойника в распределительной чаше;

3) отбор проб сточной жидкости в объеме 500 мл проводили на выходе из сборного лотка отстойника;

4) первый отбор пробы и измерение солесодержания произвели в 17 часов 20 минут, далее для установления равномерности смешения сточных вод и раствора NaCl отбирали 5 проб через каждые 2 минуты (таблица);

5) установив по замерам относительную равномерность смешения (среднее солесодержание 654,9 мг/л, максимальное отклонение от среднего значения 1,05 %), до нахождения пика солесодержание фиксировали с

17 часов 30 минут каждые 5 минут, в течении 1 часа 25 минут, и установление снижения концентраций при дальнейшем потоке.

Результаты показаний прибора TDS зафиксированы в таблице.

Таблица. **Результаты измерения солесодержания сточных вод**

№ п/п	Солесодержание, мг/л	Время
1	654	17:20
2	652	17:22
3	656	17:24
4	654	17:26
5	651	17:28
6	662	17:30
7	677	17:35
8	682	17:40
9	681	17:45
10	679	17:50
11	662	17:55
12	660	18:00
13	676	18:05
14	672	18:10
15	677	18:15
16	671	18:20
17	687	18:25
18	693	18:30
19	698	18:35
20	700	18:40
21	695	18:45
22	681	18:50
23	675	18:55

Исходя из опытных данных, виден рост солесодержания до 700 мг/л. Следовательно, искусственно введенный раствор циркулировал в рабочем объеме отстойника 1 ч 20 мин.

В день измерений приток сточных вод на ОСК с 17 до 19 часов составлял 4900 м³/ч, на один из группы 4 отстойников – 1225 м³/ч.

Согласно типовому проекту 902-2-378.83 («Отстойники канализационные радиальные первичные из сборного железобетона, 1983 г.») объем зоны отстаивания составляет 2190 м³, пропускная способность – 1477 м³/ч. Теоретический коэффициент полезного использования объема отстойника составляет (1477/2190) 0,67.

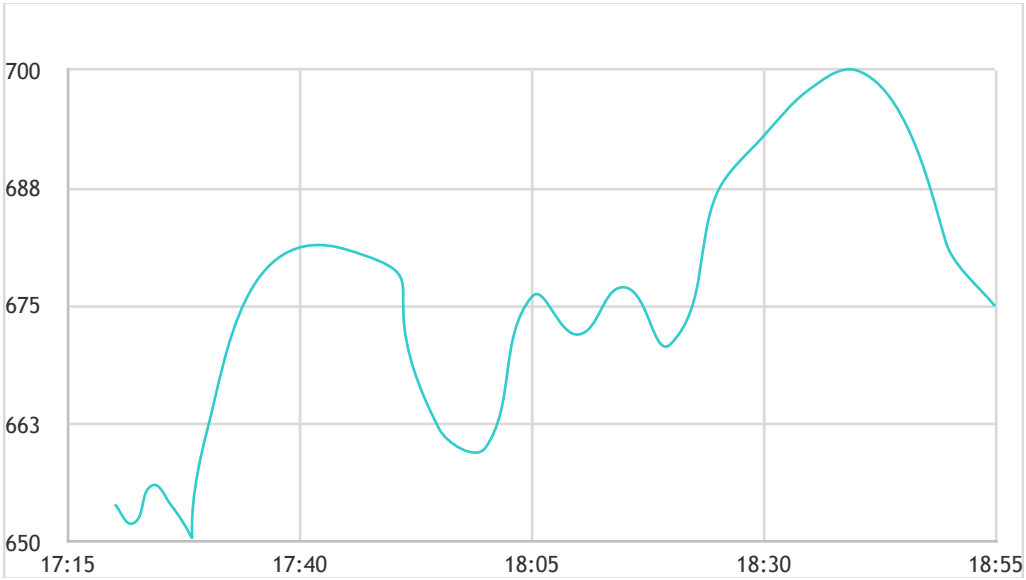


Рисунок. **Изменение солесодержания в сточных вод на выходе из отстойника**

По фактически данным измеренного солесодержания определено время пребывания в отстойнике, составляющее 1 ч 20 мин (1.33 ч).

За 1 час через отстойник прошло (1225/1,33)м³ 921 м³ сточных вод. Тогда реальный коэффициент полезного использования объема отстойника составляет (921/2190) 0,42, что близко к нормативному значению [1].

Поэтому можно сделать вывод об удовлетворительном гидравлическом режиме работы первичных отстойников на КОС г. Ставрополя.

ЛИТЕРАТУРА

1. СП 32.13330.2012 Канализация. Наружные сети и сооружения.
2. Колова А.Ф., Пазенко Т.Я. Водоснабжение и водоотведение. 2012.
3. http://ru-ecology.info/post/101987102310023/ 30.10.2018

УДК 628

АДСОРБЦИОННОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ РУТИНА ИЗ ВОДНЫХ СРЕД НА АКТИВНЫХ УГЛЯХ

Т.А. Краснова, Н.В. Гора, Н.С. Голубева, А.Е. Якушина
Кемеровский государственный университет,
г. Кемерово, Россия

Исследована кинетика адсорбции рутина из водных растворов активными углями. Установлено, что время достижения равновесия в системе рутин–вода–активный уголь варьируется в интервале 15 – 150 мин. Показано, что скорость адсорбции рутина контролируется внешним массопереносом. Рассчитан коэффициент внешнедиффузионного массопереноса, необходимый для инженерных расчетов производственной установки.

Проблема очистки промышленных сточных вод с каждым годом приобретает все большее значение. Стоки фармацевтических производств сложны по своему составу и содержат большое количество различных веществ, в том числе полифенольные соединения. Рутин является полифенолом, применяемым в ряде фармацевтических производств при изготовлении поливитаминных комплексов.

Для очистки производственных сточных вод от растворимых органических примесей применяют сорбционные методы. При адсорбционной очистке происходит поглощение загрязняющих соединений из стоков твердыми веществами – сорбентами. Наиболее эффективными сорбентами являются активные угли.

С целью получения параметров необходимых для инженерных расчетов производственной установки было проведено исследование сорбционного процесса в кинетических условиях.

В качестве сорбентов были использованы: наиболее широко применяемый в практике активный уголь марки АГ-ОВ-1 (ОАО «Сорбент», г. Пермь) и полукокс марки АБГ (ПО «Карбоника Ф», г. Красноярск).

Адсорбционное поведение исследовалось на растворах рутина с концентрацией исследуемого соединения равной 20 мг/дм^3. Время контакта раствора полифенола с образцами активных углей составляло от 1 мин до 6 ч. Концентрацию рутина в растворах контролировали спектрофотометрическим методом по собственному поглощению.

Экспериментальные кинетические кривые адсорбции рутина представлены на рисунке 1.

Полученные результаты показывают, что при извлечении рутина на сорбенте марки АГ-ОВ-1 время достижения адсорбционного равновесия составило 15 мин., а при использовании полукокса АБГ 150 мин.

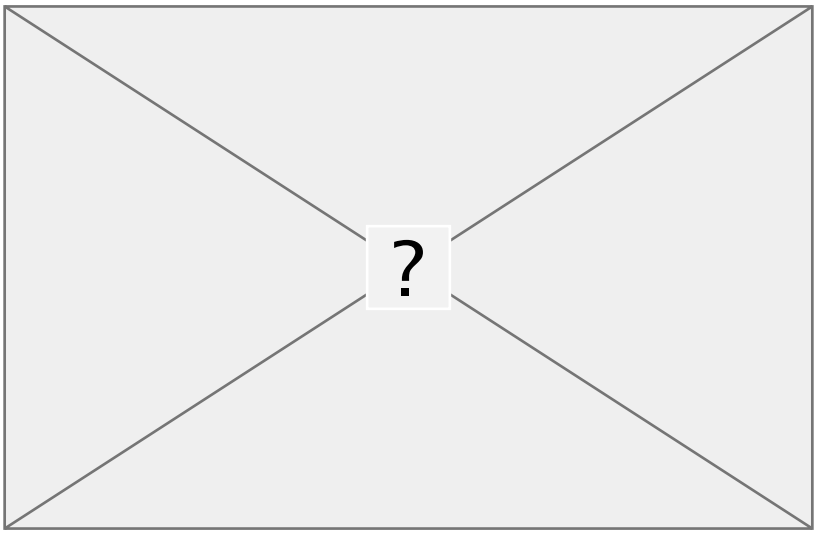


Рисунок 1. **Кинетические кривые адсорбции рутина активными углями марок АБГ (1) и АГ-ОВ-1 (2)**

Для получения информации о соответствии гранул исследуемых активных углей, одной из двух известных моделей пористой структуры, проведен расчет степени достижения адсорбционного равновесия (γ). Анализ полученных экспериментальным путем кривых зависимости степени достижения адсорбционного равновесия от длительности перемешивания сорбента с раствором исследуемого соединения позволяет определить тип пористой структуры представленных активных углей. Зависимость степени достижения адсорбционного равновесия от времени носит прямолинейный характер до $\gamma = 0{,}7 – 0{,}9$, что позволяет предположить соответствие гранул применяемых сорбентов квазигомогенной модели пористой структуры и выполнить расчет кинетики по этой модели [1–2].

Прямолинейность начального участка кривой зависимости безразмерного кинетического параметра (Т) от длительности перемешивания свидетельствует о том, что на этом этапе процесс адсорбции лимитируется внешним массопереносом [1, 3].

Коэффициенты внешнедиффузионного массопереноса рутина представлены в таблице 1.

Таблица 1. **Коэффициенты внешнедиффузионного массопереноса рутина**

Марка активного угля	Коэффициент внешнего массопереноса, мин$^{-1}$
АГ-ОВ-1	0,0009
АБГ	0,0017

Полученные значения коэффициента внешнедиффузионного массопереноса при адсорбции рутина из растворов близки по значению и

позволяют ожидать высокую степень извлечения исследуемого соединения из водного раствора при пропускании через неподвижный слой сорбента при средней скорости фильтрации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Когановский А.М. Адсорбция органических веществ из воды / А.М. Когановский, Н.А. Клименко, Т.М. Левченко, И.Г. Рода. – Л.: Химия, 1990. 256 с.
2. Петьков В.И. Химические реакторы: электронное учебно-методическое пособие / В.И. Петьков, А.К. Корытцева. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2012. 71 с.
3. Douven S. The range of validity of sorption kinetic models / Douven S., Paez C.A., Gommes C.J. // Journal of colloid and interface science. – 2015. № 448. p. 437–450.

УДК 623.16

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ЛИВНЕВЫХ ВОД В УСЛОВИЯХ СОЧИНСКОГО КУРОРТНОГО РЕГИОНА

Н.И. Куликов, Л.Н. Приходько
Сочинский государственный университет, г. Сочи, Россия
О.Г. Панченко
ООО «Инекс-Сочи», г. Сочи, Россия

Рассмотрено влияние крупномасштабного дорожного строительства в г. Сочи на качественный состав поверхностных сточных вод и на экологию. В связи с этим разработана и предложена новая высокоэффективная технология очистки дождевых сточных вод.

Организованное отведение и очистка дождевых вод является одним из основных требований благоустройства городов и важной проблемой охраны окружающей среды. В зависимости от физико-географического положения, климатических и геологических условий, эта проблема решается по-разному для большинства регионов нашей страны, в частности, для г. Сочи.

Условия, влияющие на характер формирования потоков поверхностных сточных вод с территории г. Сочи, являются уникальными по сравнению с большинством других регионов и климатических зон России. Из основных гидрометеорологических параметров, определяющих уникальность климата Сочинского курортного региона, можно выделить высокие показатели суммарной величины годовых атмосферных осадков (до 2 500 мм/год), величины наблюдаемых суточных максимумов слоя атмосферных осадков (до 247 мм/сут), количество дождей со слоем осадков более 10 мм (до 50 в году), интенсивности выпадения дождевых осадков (до 200 л/с·га), а также незначительность зимнего периода с отрицательными среднесуточными температурами, что приводит к круглогодичному формированию больших объемов поверхностных сточных вод [1].

Современный Сочи – это, с одной стороны, уникальный приморский и горноклиматический курорт федерального значения, самый крупный бальнеологический курорт, а с другой – быстроразвивающаяся столица спортивных игр. Строительство спортивных объектов нанесло огромный вред экосистемам всех уровней Сочинского курортного региона. Значительное загрязнение поверхностных водоемов стало неизбежным при столь крупном строительстве, это отразилось на ухудшении качества воды

в реках рыбохозяйственного и питьевого назначения, а также в прибрежной зоне Черного моря.

Особые условия формирования ливневых стоков, высокие требования к степени очистки ливневых вод, неравномерность расхода и состава поверхностного стока, необходимость обеспечения круглогодичной готовности к работе очистных сооружений, все это требует принятия особого технологического решения в вопросе сбора, регулирования, очистки и сброса ливневых вод.

При выборе технологической схемы очистки ливневого стока с селитебных территорий городов необходимо ориентироваться на следующие основные показатели качества воды: содержание взвешенных веществ, нефтепродуктов, значение показателей БПК и ХПК.

Исходя из характеристик ливневого стока, наиболее целесообразными для его очистки могут предусматриваться сооружения механической и физико-химической очистки. В большинстве случаев состав очистных станций ливневой канализации включает в себя следующие технологические узлы: аккумулирующий резервуар, отстойник, двухступенчатые адсорбционные фильтры, систему обеззараживания воды, обезвоживания и подготовки к утилизации осадков.

С целью изучения параметров работы локальных очистных станций ливневой канализации, в модельных условиях была разработана и смонтирована на площадке действующих очистных сооружений хозяйственно-бытовой канализации опытная установка. В качестве основного метода механической очистки, учитывая высокие требования к ее эффективности для последующей очистки сорбцией, в установке был рассмотрен метод тонкослойного отстаивания. Отстаивание является одним из основных методов выделения из сточных вод взвешенных веществ, а применение тонкослойного отстойника для этих целей интенсифицирует процесс осветления [2]. Адсорбция является одним из наиболее перспективных методов выделения из поверхностных сточных вод ароматических углеводородов, нефтепродуктов и других органических веществ, в качестве адсорбера использовалась, ранее не апробированная в очистке поверхностного стока, волокнистая загрузка типа «ёрш» [3]. В состав установки вошли: тонкослойный отстойник особой конструкции [4], две ступени адсорбционного фильтра – волокнистый (ершовых), зернистый, объединенные между собой технологическими трубопроводами обвязки. Так же, установка была оборудована реагентным хозяйством, включающим в себя: рабочий бак раствора флокулянта, насос-дозатор, запорно-регулирующую арматуру. На время проведения испытаний установку подключали к трубопроводу, подающему воду из накопительного резервуара в тонкослойный отстойник. На очистку подавался сток, привезенный с места выпуска неочищенной ливневой канализации в р. Сочи (Хлудовский ручей), предварительно отстоянный в

баке, играющем роль аккумулирующего резервуара-отстойника. Состав стока характеризуется следующими показателями: ПАВ 3 мг/л, азот аммония 5 мг/л, $БПК_{поля}$ менее 50 мг/л, взвешенные вещества менее 200 мг/л, нефтепродукты менее 20 мг/л. Схема опытной установки представлена на рисунке.

Пилотная установка работает следующим образом: ливневый сток из накопительного бака поступает по напорной линии в пазухи тонкослойного отстойника, куда насосом-дозатором добавляется раствор флокулянта ПРАЕСТОЛ, в результате реагентного отстаивания сток осветляется в полочном пространстве, и через водосборные лотки, расположенные над ним направляется в двухступенчатый фильтр глубокой очистки. Фильтрация в первой ступени фильтра осуществляется сверху вниз, нисходящий поток проходит через ершовую загрузку и через перелив направляется на вторую ступень фильтрации, где движение воды проходит также сверху вниз через сорбционный фильтр с насадкой из углеволокна в виде «сорбционных ершей» [3].

В конструкции предлагаемой пилотной установки был использован тонкослойный отстойник противоточного типа с пирамидальным днищем для накопления и удаления выделившегося осадка. Тонкослойный отстойник выполнен из металла, а полочное пространство из пластиковых пластин толщиной 3 мм, расстояние между пластинами 50 мм, размеры полочного пространства в плане 1х1 м и высотой 1,2 м, ширина пазух 150 мм, габаритные размеры отстойника 1,7 х 1,3 м, высотой 2,1 м. Для периодической регенерации полочного пространства под ним устроена система водовоздушной регенерации, состоящая из перфорированных пластмассовых трубок диаметром 32 мм. Тонкослойный отстойник данной конструкции широко используется в действующих комплектно-блочных установках очистки бытовых сточных вод, а также при реконструкции действующих очистных станций. Основными параметрами режима работы тонкослойного отстойника являются скорость движения нисходящего потока осветляемой воды, обеспечивающая флокуляцию взвесей и хлопьеобразование, а также скорость движения воды и нагрузку на зеркало воды в полочном пространстве. В ходе экспериментов на тонкослойном отстойнике были получены следующие параметры: скорость нисходящего потока (в пазухах) 12 – 15 мм/с, скорость движения воды в полочном пространстве (восходящий поток) не более 5 м/ч (1,4 мм/с), нагрузка на зеркало воды 5 – 6 $м^3/м^2 \cdot ч$. Данные параметры позволили добиться 80 – 90 % (с 200 до 20 мг/л) снижения загрязненности воды по взвешенным веществам, и 75 % по нефтепродуктам (с 20 до 5 мг/л). Удаление нефтепродуктов происходит благодаря их адсорбции на образовавшихся за счет флокуляции хлопьях, которые в процессе отстаивания остаются в пирамидальном днище.

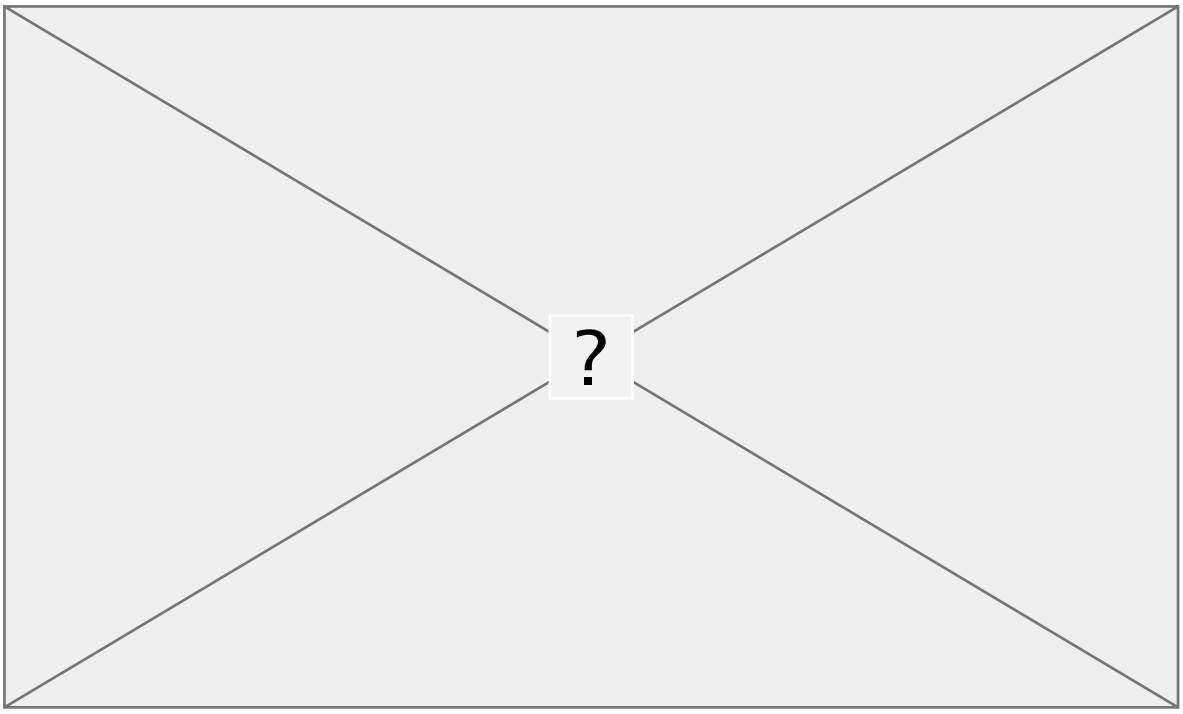


Рисунок. **Пилотная очистная установка дождевых вод**

Для глубокой очистки используются две ступени сорбционного фильтра – волокнистый и специальный. Грязеёмкость и скорость фильтрования являются основными параметрами работы сорбционных фильтров, они и были получены на пилотной установке.

Волокнистый фильтр на первой ступени представляет собой емкость в виде пластмассовой трубы диаметром 300 мм и высотой 2 м, заполненную синтетическими водорослями типа ерш: супертонкие (10 мк) полиамидные в смеси с капроновой леской (сечение волокна 0,2 мм, диаметр ерша 140 мм, вес 140 г/п.м., объем загрузки составил 0,17 м^3). В своей нижней части фильтр оборудован системой водовоздушной регенерации, состоящей из трех трубчатых перфорированных аэраторов. Шаг ерша между осями составляет 100 х 100 мм, что позволяет максимально использовать пространство фильтра. Ершовая нагрузка фильтра обладает развитой поверхностью 120 м^2/м^3 и гидравлическим сопротивлением 1 см/м, эффективная грязеёмкость (вынос из фильтра взвешенных веществ не превышает 3 – 5 мг/л) этой ступени фильтра по взвешенным веществам составила 10 г/м^2, а по нефтепродуктам 1,5 г/м^2 поверхности ершей.

Вторая ступень фильтра, предназначенная для снижения концентрации нефтепродуктов до уровня 0,05 мг/л, представляет собой такую же трубу, заполненную ершами с супертонкими углеволокнами. Сток в фильтр подается через перфорированную трубу, расположенную внутри фильтра для максимального задействования поверхности фильтра. Обещанная производителем данного сорбента степень очистки по

нефтепродуктам 96 – 98 % при скорости фильтрования 5 – 6 м/ч была подтверждена анализами стока на выходе – концентрация нефтепродуктов снизилась с 3 мг/л до < 0,05 мг/л.

Блок реагентного хозяйства предназначен для приготовления и подачи раствора флокулянта в пазухи тонкослойного отстойника. Работа коагулянта оказалась не эффективной по сравнению с флокулянтом, это связано с низкой карбонатной щелочностью ливневого стока (менее 1 мг-экв/л), что характерно для поверхностного стока Сочинского региона, в процессе гидролиза коагулянта привносятся ионы водорода, понижающие величину pH стока, в результате происходит сдвиг pH, а это приводит к ухудшению процесса коагуляции. Щёлочность воды играет роль буферной системы, которая не позволяет колебаться величине pH, ионы щелочности нейтрализуют ионы водорода. Без регулирования pH применение коагулянтов для интенсификации удаления взвешенных веществ нецелесообразно. Оптимальные условия работы пилотной установки были отработаны при использовании катионактивного флокулянта ПРАЕСТОЛ 853 – снижение взвешенных веществ составило 90 %.

В связи с необходимостью готовности очистной станции к круглогодичной работе, каждый ее узел должен иметь возможность к быстрой регенерации или замене. Так, в предложенной пилотной установке, тонкослойный отстойник оснащен системой воздушной регенерации полочного пространства; волокнистые сорбционные фильтры также легко регенерируется с помощью воздуха, подаваемого аэраторами системы регенерации, закрепленными на дне фильтра, регенерационные воды из тонкослойного отстойника и волокнистого фильтра отводятся в аккумулирующий резервуар; сорбционный с углеволокнами, либо регенерируется за счет биологической саморегенерации в период между дождями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Режим атмосферных осадков по г. Сочи, ГУ «СЦГМС ЧАМ», Сочи, 2009.
2. Климухин И.В., Посупонько С.В., Климухин В.Д., Скрябин А.Ю., Носов С.В. Опыт использования ячеистых тонкослойных модулей при реконструкции очистных сооружений канализации г. Ростов-на-Дону // Водоснабжение и санитарная техника. 2005. № 11. С. 50 – 54.
3. Куликов Н.И., Омельченко В.В., Куликова Е.Н., Приходько Л.Н., Куликов Д.Н. Создание искусственных круговоротов пресной воды, воздуха и пищевых продуктов. – М. Изд. Ленанд, 2017г. 92 с.
4. Фесенко Л.Н., Куликов Н.И., Попов Д.В. Особенности технологии очистки ливневых вод в условиях Сочинского курортного региона / Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2011»: Материалы VI Межд.

науч.-практ. конф.; г. Чебоксары, 20 – 23 сент. 2011 г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. (НПИ). – Новочеркасск: «Лик», 2011. С. 141–146.

УДК 628.2

УМЕНЬШЕНИЕ СЕРОВОДОРОДА В СТОЧНЫХ ВОДАХ НА СТАДИИ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ

А.А. Алексеев, А.А. Тарасова, К.А. Соловьев
Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Россия

В данной статье рассмотрены варианты реагентного снижения выделения сероводорода в реальных условиях эксплуатации городской системы канализации. На основе экспериментальных данных сделано заключение о наиболее эффективных реагентах для удаления сероводорода.

Образование сероводорода в городской канализационной сети оказывает пагубное воздействие на систему трубопроводов. Причиной образования сероводорода является процесс сульфатредукции [1]. Сульфаты поступают в городскую сеть водоотведения с водопроводной водой, продуктами жизнедеятельности, моющими средствами, а также со сточными водами промышленных предприятий.

Городская канализационная сеть проложена из труб разных материалов и в том числе из железобетонных. Протекая по трубопроводу, в сточной воде происходит процесс анаэробной деструкции загрязнений, в том числе и сульфатов, продуктами разрушения которых являются сульфиды, гидросульфиды и сероводород (в зависимости от pH).

Бактерии рода Tiobacillus t. в процессе метаболизма окисляют сероводород, результатом чего является серная кислота, которая вступает в реакцию с материалом железобетонных труб, колодцев, лотков и т. д.:

$$H_2S + \text{Tiobacillus T.} \rightarrow H_2SO_4 + Ca(OH)_2 = CaSO_4 + H_2O.$$

В г. Таганроге Ростовской области весной 2018 г. произошло разрушение около 8 км канализационного железобетонного трубопровода. Проведя обследование причин аварий, специалисты Водоканала выявили причину разрушения – это были последствия сульфатредукции.

На кафедре «Водоснабжение и водоотведение» ДГТУ по этапам в лабораторных и опытно-промышленных условиях проведены исследования и предложены технологические решения по снижению выделения сероводорода из сточных вод [2].

Технологическое решение состоит в проведении предочистки сточных вод (СВ) в трубах (или в каналах при самотечном режиме) водоотводящей системы перед очистными сооружениями канализации. Транспортируемые в трубопроводах или каналах канализации СВ обрабатываются многофункциональными реагентами, применение которых ингибирует сульфатредукцию или замещает ее на нитратредукцию, а также подавляет развитие паразитарных организмов.

Этап 1. Выбор реагентов для ингибирования процесса сульфатредукции в лабораторных условиях проводили по следующей методике: из приемного резервуара ГКНС отобрали и тщательно перемешали 15 л СВ. Исходную пробу разлили в 5 емкостей, в которых вели реагентную обработку (табл. 1). В емкость вводили реагент, перемешивали 5 мин, отбирали пробы по 100 мл в цилиндр на 100 мл, определяли прозрачность «по кольцу», отстаивали 15 – 30 минут и вновь определяли прозрачность «по кольцу».

Далее отбирали пробу 1,5 л на анализ в аккредитованной химлаборатории «ЮВэнергочермет».

Таблица 1. **Показатели экспресс - контроля очистки СВ в зависимости от способа обработки по прозрачности и запаху**

№ варианта обработки	Обработка, доза	Прозрачность, мм		Время отстаивания, мин	pH	Запах, баллы
		начальная	конечная			
Исходные СВ	–	23	30	30	6,5–7,5	5
1. H_2O_2	2 мг/л	27	30	18	6,5–7,5	3
2. Аэратор, воздух	60 мин, 3,2 л/мин	27	29	15	6,5–7,5	3
3. Нитрат натрия	5 мг/л	19	30	15	6,5–7,5	4
4. Технический кислород	5 мин	25	27	15	6,5–7,5	1
5. H_2O_2	5 мг/л	22	29	15	6,5–7,5	1

Наилучшие показатели очищенных СВ по данным химанализа получены (табл. 2) при обработке СВ перекисью водорода и нитратом натрия.

Этап 2. Отработка подавления сульфатредукции в опытно-промышленных условиях

Методика проведения. В задании главной канализационной насосной станции г. Аксая установлен узел дозирования реагентов, в который входили емкости по 200 л, снабженные дозатором постоянного расхода (дозатор Хованского): 1 – для дозирования реагента, 2 – для дозирования препарата «БИНГСТИ». Дозаторы были оттарированы на дозу 12 мг/л (г/м^3) по перекиси водорода и на 20 мг/л (г/м^3) по нитрату натрия. Доза препарата «БИНГСТИ» составляла 0,001 мг/л.

Таблица 2. **Показатели СВ при обработке перекисью водорода**

и нитратом натрия по нормируемым ингредиентам

№ варианта обработки	pH	Электро-проводность, мкСм/см	Сероводород, мг/л	ХПК, мг/л	Аммонийный азот, мг/л	Фосфаты, мг/л
Исходные СВ	7,3	–	76,3	1150	77,8	13,4
1. Обработка H_2O_2	7,08	5066	0,02	900	0,05	13
2. Обработка нитратом натрия	8,0	5704	0,02	840	0,05	14

По методике электропроводности с дозированием раствора хлорида натрия определено время пребывания СВ в напорном трубопроводе длиной 6852 м, которое с учетом неравномерности работы насосов составило 7 ч 30 мин.

2.1. Для исключения влияния остаточных многолетних отложений на показатели в трубопроводе в течение 12 суток дозировали перекись водорода, после чего определяли эффективность обработки: отбирали среднечасовую пробу из приемного резервуара ГКНС, которая являлась исходной, а через 7,5 ч отбирали пробы на выходе СВ из напорного коллектора.

2.2. При проверке эффективности применения нитрата натрия дозирование без отбора проб проводили в течение 7 суток.

Отобранные пробы проанализированы в аккредитованной лаборатории (табл. 3).

Анализируя данные таблицы 3, можно видеть, что процесс сульфатредукции подавляется практически полностью, а также на 10 – 60 % обеспечивается снижение других компонентов состава СВ (ХПК, БПК, взвешенные вещества, нитриты, органолептические показатели и т. п.), что уменьшает нагрузку на очистные сооружения, а это, в свою очередь, ведет к снижению расхода электроэнергии на технологию, а также выбросов в окружающую среду.

Таблица 3. **Показатели очистки СВ при обработке перекисью водорода и нитратом натрия по нормируемым ингредиентам в опытно-промышленных условиях**

	Дозирование	
	перекиси водорода	нитрата натрия

Наименование показателей, мг/л	исходная СВ из приемного резервуара ГКНС, мг/л	обработанная СВ на выходе из коллектора, мг/л	исходная СВ из приемного резервуара ГКНС, мг/л	обработанная СВ на выходе из коллектора, мг/л
pH	7,0	7,4	8,1	7,7
ХПК	800	600	4600	4200
Сероводород	76,3	0,96	0,002	0,04
Фосфаты	10,0	9,0	13,9	13,0
Взвешенные вещества	539	157	742	335
Аммонийный азот	87,2	111	96,4	84
Нитрит	0,02	0,02	0,11	0,02
Нитрат	0,85	1,2	0,68	1,1
БПК	424	386	416	390

Выбор того или иного метода предочистки в напорном трубопроводе при транспортировании сточных вод необходимо проводить с учетом эколого-экономических показателей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Серпокрылов Н.С., Максименко И.В. Предварительная очистка сточных вод на стадии транспортирования: Тезисы докладов международной научно-практической конференции «Строительство» Ростов н/Д-98», РГСУ, 1998. С. 32–34.
2. Серпокрылов Н.С., Хуторненко К.О. К вопросу о предотвращении коррозии канализационных трубопроводов / Инженерно-строительный факультет: материалы научн.-практ. конф. (Ростов н/Д, 28–30 ноября 2017 г.): ДГТУ, 2017. С. 244–248.

УДК 628.21:661.9

ИССЛЕДОВАНИЯ И ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ ПРЕДОЧИСТКИ В ТРУБОПРОВОДЕ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД НА ОЧИСТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

Н.С. Серпокрылов, Е.В. Вильсон
Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Россия
А.В. Махов
ООО «БЕЗОПАСНАЯ СРЕДА», г. Таганрог, Россия

Изложены результаты лабораторных и опытно-промышленных исследований по предочистке в напорном трубопроводе транспортирования городских сточных вод на очистные сооружения реагентным ингибированием процесса сульфатредукции и дегельминтизации, что позволило снизить содержание гельминтов на 100 %, сероводорода на 95 % и на 15 – 30 % – органических и азотных загрязнений.

В последние годы по объективным причинам в населенных пунктах России отмечается заметное снижение объемов водопотребления и, соответственно, водоотведения. Сточные воды поступают в сети водоотведения, которые были запроектированы и выполнены для пропуска более высоких расходов, и для нынешних объемов имеют увеличенные диаметры и, следовательно, уменьшенные, меньше незаиливающих, скорости течения. В этой связи увеличивается время пребывания сточных вод в трубопроводах, что создает благоприятные условия для протекания процесса сульфатредукции, сопровождающейся выделением сероводорода, который поступает в атмосферу, а также служит источником серной кислоты, образующейся при микробном и/или химическом окислении. Образующаяся на шелыге серная кислота взаимодействует с материалами труб, приводя их к разрушению и обвалам больших участков, а также к сбросу неочищенных сточных вод в водоприемник. Свежий пример, г. Таганрог – в марте 2018 г. на главном коллекторе образовались провалы суммарной длиной более 1500 м.

Образование сероводорода в сетях водоотведения обусловлено природными биохимическими трансформациями серосодержащих компонентов сточных вод, прежде всего сульфатов. Сульфатредукция с последующим микробным и / или химическим окислением сероводорода с образованием серной кислоты приводит к разрушению материалов труб, колодцев и оборудования, к дискомфорту населения, к большим затратам на восстановление и т. д. [1]. К тому же, снижение окислительно-восстановительного потенциала провоцирует азотфиксацию и повышение содержания аммонийного азота в сточных водах и, как следствие, затрат на их очистку [2–3].

Поэтому предотвращение или ингибирование процесса сульфатредукции является комплексной экологической, экономической и социальной задачей, решаемой специалистами во всем мире.

За рубежом применяют различные способы предотвращения образования сероводорода в канализационных сетях: инжекция кислорода или воздуха в трубопровод, реагентные методы (введение нитратов, солей железа, едкого натра, гидроксида магния). При этом выбор того или иного способа ведется, как правило, экспериментально, с учетом местных условий [4–6].

В России предотвращение или ингибирование процесса сульфатредукции чаще рассматривают с двух взаимосвязанных позиций: создание условий для торможения процесса с одновременным снижением компонентов загрязнений сточных вод [7–8].

Трехмесячные наблюдения (табл. 1) за превращением некоторых загрязнений в напорном трубопроводе сточных вод с инжекцией воздуха на главной канализационной насосной станции показывает на достаточно высокую эффективность предварительной очистки на стадии транспортирования, что, соответственно, снижает нагрузку на очистные сооружения [9].

Таблица 1. **Показатели и удельные величины трансформации загрязнений сточных вод в напорном режиме транспортирования**

Наименование	Размерность	Показатель состава сточных вод				
		ХПК	БПК	NH_4^+	SO_4^{2-}	NO_3^-
Уменьшение ингредиента	единиц	1,75	1,74	2,12	1,05	3,70
Общее снижение	%	43	43	53	5	73
Удельное снижение	% / км	5.38	5.38	6.63	0,63	9,1

Принципиально оценить эффективность и выбрать способ предварительной очистки городских сточных вод кислородом воздуха или техническим кислородом с учетом коррозии металлических труб возможно по результатам лабораторных исследований в модели напорного трубопровода (табл. 2). Окончательный выбор может быть произведен с учетом затрат на очистку вод на очистных сооружениях и затрат на способ получения кислорода [9].

Таблица 2. **Сравнение эффективности очистки сточных вод от некоторых загрязнений в модели напорного трубопровода кислородом воздуха и техническим**

Показатели процесса	Отношение концентраций остаточных загрязнений в очищенных водах к исходным при окислении кислородом		Преимущество очистки вод техническим кислородом, ед.
	воздуха	техническим	
$БПК_5$	0,841	0,785	1,35
ХПК	0,653	0,449	1,59
NH_4^+	0.98	0,800	10
Сульфиды	0.160	0,019	1,17
Фосфаты	0.960	0,740	6,5
Скорость коррозии, мг/ч $м^2$	1.850	2,570	–1,39

В современных условиях снижения расходов и повышенных концентраций загрязнений сточных вод появилась необходимость проверки результатов прежних исследований по сульфатредукции и азотфиксации с учетом появления новых реагентов в последние годы.

Цель проверяемого технологического решения состоит в проведении предочистки сточных вод (СВ) в трубах водоотводящей системы перед очистными сооружениями канализации. Транспортируемые в трубопроводах СВ обрабатываются многофункциональными реагентами, применение которых ингибирует сульфатредукцию или замещает ее на нитратредукцию, а также подавляет развитие паразитарных организмов. Исследования проводили в 2 этапа – лабораторный и опытно-промышленный.

Этап 1. *Выбор реагентов для подавления сульфатредукции в лабораторных условиях*.

Выбор реагента и технологии предочистки СВ в «трубе» проводили по следующей методике: из приемного резервуара ГКНС отобрали и тщательно перемешали 15 л СВ.

Исходную пробу разлили в 5 емкостей, в которых вели реагентную обработку (табл. 3). В емкость вводили реагент, перемешивали 5 мин, отбирали пробы по 100 мл в цилиндр на 100 мл, определяли прозрачность «по кольцу», отстаивали (15 – 30 мин) и вновь определяли прозрачность «по кольцу». Далее отбирали пробу 1,5 л на анализ в аккредитованной химлаборатории.

Таблица 3. **Показатели экспресс-контроля очистки СВ в зависимости от способа обработки по прозрачности и запаху**

№ варианта	Условия	Прозрачность, мм	Время		Запах.

обработки	обработки	начальная	конечная	отстаивания, мин	pH	баллы
Исход. СВ	–-	23	30	30	6,5–7,5	5
1. Перекись водорода	2мг/л	27	30	18	6,5–7,5	3
2. Аэратор, воздух	30 мин, 3,2 л/мин	27	29	15	6,5–7,5	3
3. Нитрат натрия	5 мг/л	19	30	15	6,5–7,5	4
4. Технический кислород	5 мин	25	27	15	6,5–7,5	1
5. Перекись водорода	5мг/л	22	29	15	6,5–7,5	1

Наилучшие показатели очищенных СВ по данным химанализа получены (табл. 4) при обработке перекисью водорода и нитратом натрия.

Таблица 4. **Показатели очистки СВ при обработке перекисью водорода и нитратом натрия по нормируемым ингредиентам в лабораторных условиях**

№ варианта обработки	pH	Электропроводность, мкСм/см	Сероводород, мг/л	ХПК, мг/л	Аммонийный азот, мг/л	Фосфаты, мг/л
Исход. СВ	7,3	–	7,6	1150	77,8	13,4
1.Перекись водорода	7,08	5066	< 0,02	900	0,05	13
2.Нитрат натрия	8,0	5704	< 0,02	840	0,05	14

Этап 2. *Исследование ингибирования сульфатредукции в опытно-промышленных условиях*

Методика проведения: в задании главной канализационной насосной станции г. Аксая Ростовской области смонтировали узел дозирования реагентов. В него входили емкости по 200 л, снабженные дозатором постоянного расхода (дозатор Хованского): 1 – для дозирования реагента, 2 – для дозирования препарата «БИНГСТИ». Дозаторы были оттарированы на дозу 12 мг/л по перекиси водорода и на 20 мг/л по нитрату натрия. Доза препарата «БИНГСТИ» составляла 0.001 мг/л.

По методике электропроводности с дозированием раствора хлорида натрия определено время пребывания СВ в напорном трубопроводе длиной

6852 м, которое с учетом неравномерности работы насосов составило 7 час. 30 мин.

Для исключения влияния остаточных многолетних отложений в трубопроводе на показатели в течение 12 сут дозировали перекись водорода, после чего определяли эффективность обработки: отбирали среднечасовую пробу из приемного резервуара ГКНС, которая являлась исходной, а через 7.5 час отбирали пробы на выходе СВ из напорного коллектора. При проверке эффективности применения нитрата натрия дозирование без отбора проб проводили в течение 7 сут (табл. 5).

Таблица 5. **Показатели очистки СВ в напорном трубопроводе при обработке перекисью водорода и нитратом натрия в опытно-промышленных условиях**

Наименование показателей, мг/л	Дозирование перекиси водорода		Дозирование нитрата натрия	
	Исходная сточная вода из приемного резервуара ГКНС, мг/л	Обработанная сточная вода на выходе из коллектора, мг/л	Исходная сточная вода из приемного резервуара ГКНС, мг/л	Обработанная сточная вода на выходе из коллектора, мг/л
pH	7,0	7,4	8,1	7,7
ХПК	1150	600	4600	3500
Сероводород	7,6	0,16	0,04	0,002
Фосфаты	10,0	9,0	13,9	13,0
Электропроводность	–	–	2382	2205
Взвешенные вещества	539	157	742	335
Аммонийный азот	87,2	71,1	96,4	84
Нитрит	0,02	0,02	0,11	0,02
Нитрат	0,85	1,2	0,68	1,1
БПК	424	346	2360	1680

Анализируя данные таблицы 5 можно видеть, что процесс сульфатредукции подавляется практически полностью, а также на 10 – 60 % обеспечивается снижение других компонентов состава СВ (ХПК, БПК, взвешенные вещества, нитриты, органолептические показатели и т. п.), что уменьшает нагрузку на очистные сооружения, а это, в свою

очередь, ведет к снижению расхода электроэнергии на технологию, а также выбросов в окружающую среду.

Выбор того или иного метода предочистки в напорном трубопроводе при транспортировании СВ необходимо проводить с учетом эколого-экономических показателей.

Контроль показателей инвазии сточных вод проведен до и после внесения препарата «Бингсти». До обработки в СВ обнаружены: 2 яйца аскариды (Ascaris spp.) жизнеспособные, и одно яйцо энтеробиоза (Enterobius spp.) нежизнеспособное. Пробы являются положительными и показывают присутствие жизнеспособных возбудителей паразитарных болезней в СВ, свидетельствуя о наличии жизнеспособного потенциала возбудителей паразитозов, что обуславливает необходимость проведения дезинвази. в процессе осуществления технологии предочистки на данном объекте.

Введение препарата производилось в приёмную камеру ГКНС перманентно, с предварительным разведением препарата водой в соотношение 1 : 10. Доза препарата «БИНГСТИ» в обрабатываемом субстрате составляла 0.001 мг/л.

Согласно протоколам лабораторных исследований в пробах (с 3-х кратной повторностью отбора) яиц и личинок гельминтов, цист патогенных кишечных не обнаружено. В одной из проб обнаружены 2 яйца аскариды (Ascaris spp.) нежизнеспособные, в другой – 1 яйцо токсокары (Toxocara spp.) нежизнеспособное, 1 яйцо аскариды (Ascaris spp.) нежизнеспособное.

Полученные результаты свидетельствуют об эффективности применения овицидного препарата «БИНГСТИ» для обеспечения степени очистки СВ по паразитологическим показателям.

ВЫВОДЫ

Проведенный комплекс лабораторных и опытно-промышленных исследований по предочистке сточных вод в напорном трубопроводе позволил установить:

- 100 % обеззараживание сточной воды от возбудителей паразитарных инфекций;
- улучшение органолептических показателей на 80 %;
- ингибирование метаболизма сульфатредукции и предотвращение образования серной кислоты, разрушающей материалы труб, оборудования и т. п.;
- удаление в процессе транспортирования сточных вод на 15 – 30 % органических и азотных загрязнений;
- замедление износа канализационной трубопроводной системы;

- повышение эффективности работы ОСК в 1,2 – 1,5 раза и уменьшение их габаритов на 25 – 30 %.

С апреля 2017 г. в г. Аксае данная технология реализована в промышленных условиях, подтверждая, в основном, установленные показатели предочистки СВ в напорном трубопроводе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кофман В.Я. Сероводород и метан в канализационных сетях // Водоснабжение и санитарная техника. 2012. № 11, С. 24–29.
2. Вольпин В.Б. Проблемы химической фиксации молекулярного азота // Вестник АН СССР, № 1 (1965), С. 51–58.
3. Новосельцева И.В., Максименко И.В., Серпокрылов Н.С. Исследование химической фиксации азота на очистных сооружениях г. Адлер / «Строительство-2006»: Материалы Межд. научн.-практ. конф. – Ростов н/Д: РГСУ, 2006, С. 51–53.
4. Gutierrez O., Mohanakrishnan J., Sharma K.R., et al. Evaluation of oxygen injection as ameans of controlling sulfide production in a sewer system // Water Research. 2008. № 42 (17).
5. Ganigue R., Gutierrez O., Rootsey R., Yuan Z. Chemical dosing for sulfide control in Australia: An industry survey // Water Research. 2011. № 45.
6. Rodriguez-Gomez L. E., Delgado S., Alvarez M., Elmaleh S. Inhibition of sulfide generation in a reclaimed wastewater pipe by nitrate dosage and denitrification kinetics // Water Environment Research. 2005. № 77 (2).
7. Серпокрылов Н.С., Вильсон Е.В., Серпокрылов Е.Н. Влияние фазовых переходов серы и химической азотфиксации сточных вод на эксплуатацию систем водоотведения // Водоснабжение и канализация, 2014. № 7–8. С. 22–30.
8. Вильсон Е.В. Исследования в области удаления восстановленных соединений серы из сточных вод / Интернет-журнал «Науковедение». 2013. № 3 (16) [Электронный ресурс]. –М. 2013.
9. Максименко И.В. Подготовка сточных вод к очистке на стадии их транспортирования // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. 2002, № 1. С. 32–36.

УДК 628.35

ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ В РАЙОНЕ БОЛЬШОГО СОЧИ

А.В. Смирнов, М.М. Богатырев, Ю.А. Иванова
МУП города Сочи, «Водоканал», г. Сочи, Россия

Очистные сооружения канализации в г. Адлере (район Большого Сочи), одни из самых современных сооружений в России, были построены как часть олимпийской инфраструктуры. Проектирование Адлерских очистных сооружений осуществлялось на основе инновационных решений: впервые было применено 3D-проектирование; учитывались наилучшие доступные технологии; реализована система нулевой эмиссии – все сооружения накрыты герметичными укрытиями, воздух с сооружений подается на газоочистку; система утилизации осадка включает обезвоживание и сушку, что помимо снижения объема приводит к обеззараживанию осадка. Принятая проектом технологическая схема предусматривает предварительную механическую очистку сточных вод, полную биологическую очистку, доочистку и обеззараживание очищенных стоков. Для утилизации образующегося осадка предусмотрен комплекс механического обезвоживания на центрифугах с последующей дополнительной сушкой. Проектные решения, заложенные более 10 лет назад (проект 2008 г.), во многом определили пути развития современных технологий очистки и являются примером очистных сооружений, реализованных по принципам наилучших доступных технологий.

В 2018 г. исполняется 5 лет очистным сооружениям канализации, которые были построены в г. Адлере (район Большого Сочи) как часть олимпийской инфраструктуры. Это одни из самых современных очистных сооружений в России, после ввода в эксплуатацию которых всерьез заговорили о наилучших доступных технологиях (НДТ).

Для обслуживания группы олимпийских объектов в прибрежном кластере и основной части Адлерского района г. Сочи было решено построить новые очистные сооружения канализации. Действовавшие до этого сооружения работали в режиме, близком к предельному уровню мощности. Их пропускная способность составляла 40 тыс. м^3/сут, что было недостаточно для обеспечения потребностей олимпийского строительства, а сами сооружения, построенные еще в 1970-е годы, технически устарели. При этом сброс осуществлялся через глубоководные выпуски в море, которые по протяженности не соответствовали современным нормативным требованиям. В условиях строительства олимпийских объектов требовалось значительное увеличение производительности очистных сооружений канализации без снижения эффективности очистки и

надежности работы всех сооружений в целом, что было невозможно в рамках существующих мощностей.

В результате проведенного госкорпорацией «ОлимпСтрой» тендера в качестве основного проектировщика была выбрана компания ООО «Ростовгипрошахт». Выполнить технологическую часть проекта было поручено инженерной компании ЗАО «Экополимер-М» (с 2014 г. – АО «МАЙ ПРОЕКТ»).

В 2008 г. проект очистных сооружений канализации, выполненный в кратчайшие сроки, прошел государственную экспертизу, общественные и экологические слушания, после чего был подготовлен комплект рабочей документации и был дан старт строительству (рис. 1).

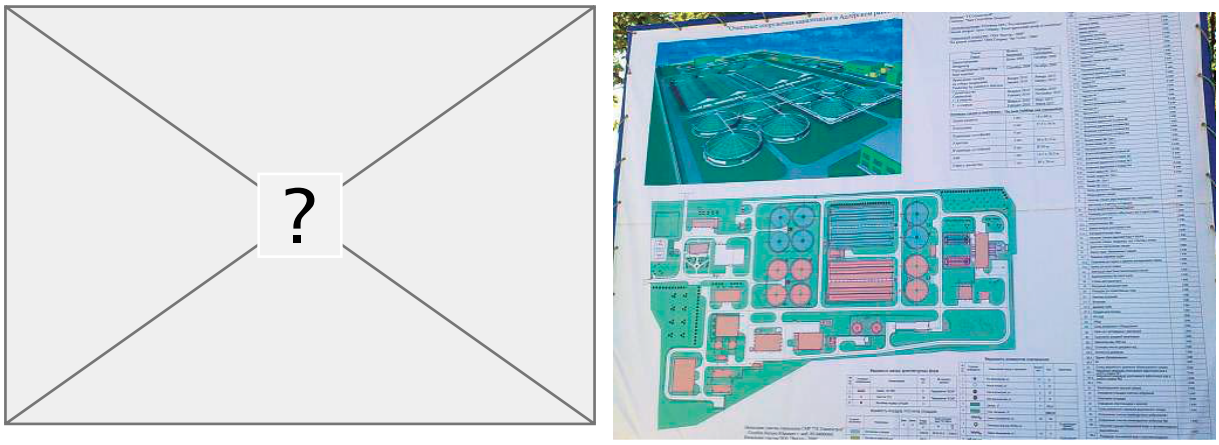


Рисунок 1. **Проект и площадка строительства Адлерских ОСК**

\

Проектирование Адлерских очистных сооружений осуществлялось на основе инновационных решений, которые определили развитие ВКХ в некоторых отраслях:

- впервые было применено 3D-проектирование (рис. 2);

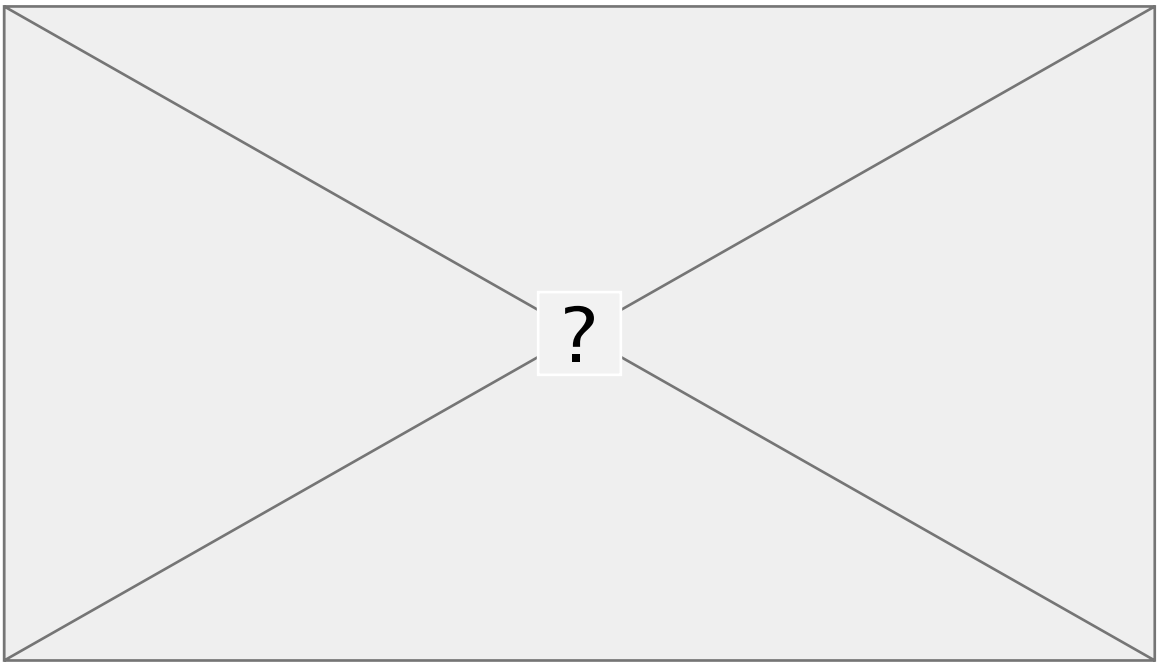


Рисунок 2. **3D-модель очистных сооружений**

- учитывались наилучшие доступные технологии, соответствующие ИТС 10-2015 по нормам НДТ 4, НДТ 7, НДТ 9, НДТ 10, НДТ 13, НДТ 14, НДТ 15 (на тот момент это не являлось обязательным требованием);
- реализована система нулевой эмиссии – все сооружения накрыты герметичными укрытиями, воздух с сооружений подается на газоочистку;
- внедренная система утилизации осадка включает обезвоживание и сушку, что помимо снижения объема приводит к обеззараживанию осадка.

Принятая проектом **технологическая схема очистки сточных вод** предусматривает предварительную механическую очистку, полную биологическую очистку, доочистку и обеззараживание очищенных стоков. Для утилизации образующегося осадка предусмотрен комплекс механического обезвоживания на центрифугах с последующей дополнительной сушкой.

Узел механической очистки. В соответствии с проектом, смесь городских сточных вод (100 тыс. м^3/сут) поступает в приемную камеру по четырем напорным трубопроводам диаметром 800 мм. На каждом подводящем коллекторе установлен расходомер. Из приемной камеры (рис. 3) сточные воды направляются по шести распределительным каналам и поступают в здание решеток, где последовательно установлены решетки грубой (40 мм) и тонкой очистки (6 мм). Для тонкой очистки проектом предусмотрены барабанные решетки с интегрированной системой уплотнения задержанных веществ (рис. 4). Отбросы с решеток уплотняются и выгружаются в горизонтальный шнековый транспортер, а

далее – в контейнер, который вывозится автотранспортом на дальнейшую утилизацию. Для дополнительного удаления остаточного фосфора из сточных вод предусмотрен узел реагентного осаждения, установленный в здании решеток.



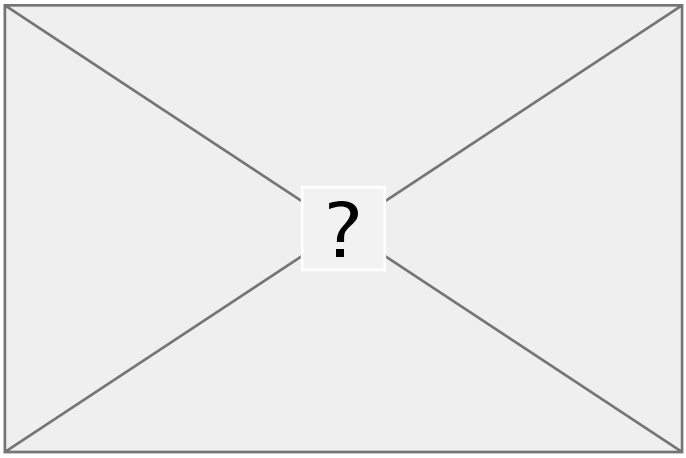


Рисунок 3. **Приемная камера и решетки грубой очистки**



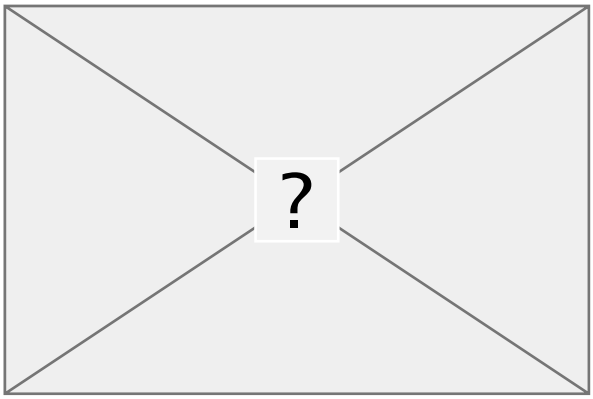


Рисунок 4. **Решетки тонкой очистки и узел химического удаления фосфатов**

После здания решеток сточные воды по лоткам поступают в аэрируемые горизонтальные пескожироловки (рис. 5), где проходят очистку от механических примесей. На этих сооружениях происходит задержание минеральных примесей (песка) и всплывающих веществ (жира). Сгребание песка к песковому приямку осуществляется при помощи донной скребковой цепной системы против движения воды. Песок, осевший в приямке песколовок, удаляется периодически при помощи песковых насосов.



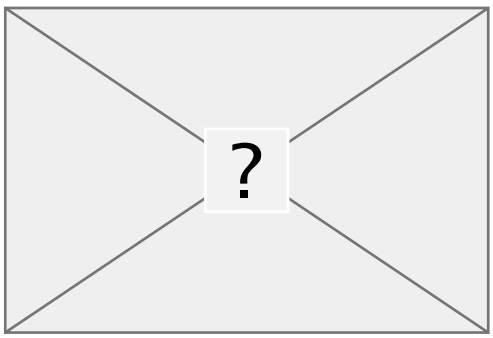


Рисунок 5. **Горизонтальные песколовки**
(после и до установки укрытия)

Обезвоживание пескопульпы от песколовок осуществляется в устройствах отмывки и уплотнения песка, которые расположены в здании решеток (рис. 6). Отмытый от органических примесей и обезвоженный песок наклонным шнековым транспортером выгружается в контейнер и далее вывозится автотранспортом на утилизацию. Вода от пескопульпы самотеком поступает в лоток после решеток.

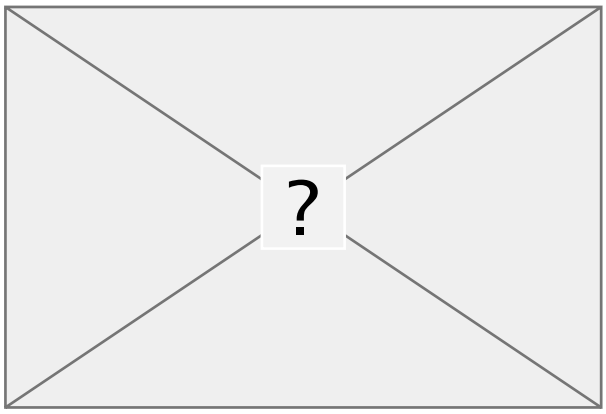
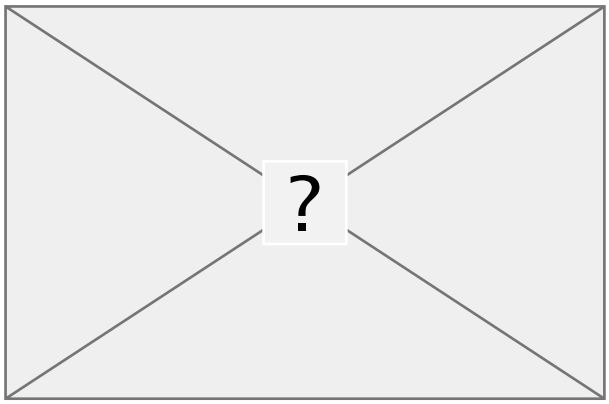




Рисунок 6. **Устройство отмывки и обезвоживания песка**

После каждой аэрируемой песколовки сточные воды собираются в лоток, а затем поступают на осветление в первичные отстойники (рис. 7).



После песколовок установлено измерительное устройство для контроля распределения сточных вод по технологическим линиям.



Рисунок 7. **Первичные отстойники (вид снаружи и внутри)**

Распределение сточных вод между первичными отстойниками осуществляется через распределительную чашу, оборудованную двумя электрифицированными шиберными затворами. Первичные радиальные отстойники оборудованы илоскребным механизмом, который сгребает осевший осадок в иловый приямок, расположенный в центре отстойника. Удаление осадка из отстойников производится на насосной станции сырого осадка. Всплывающие вещества задерживаются при помощи полупогружных досок, укрепленных перед переливным бортом сборного лотка.

Узел биологической очистки. После механической очистки сточные воды подаются на биологическую очистку в аэротенки. Биологическая очистка запроектирована с использованием технологии нитри-денитрификации. Для этого аэротенки разделены на зоны перемешивания и зоны аэрации. Смесь сточных вод с активным илом последовательно проходит обработку в зонах перемешивания (анаэробные и бескислородные условия) и зонах аэрации. Возвратный активный ил подается в начало первых коридоров аэротенков. Сточные воды после первичных отстойников поступают в распределительные камеры аэротенков (рис. 8), в которых сточные воды делятся между двумя секциями аэротенков. Также при помощи камер распределяется и подача осветленной сточной жидкости между двумя зонами перемешивания в каждой секции аэротенков.

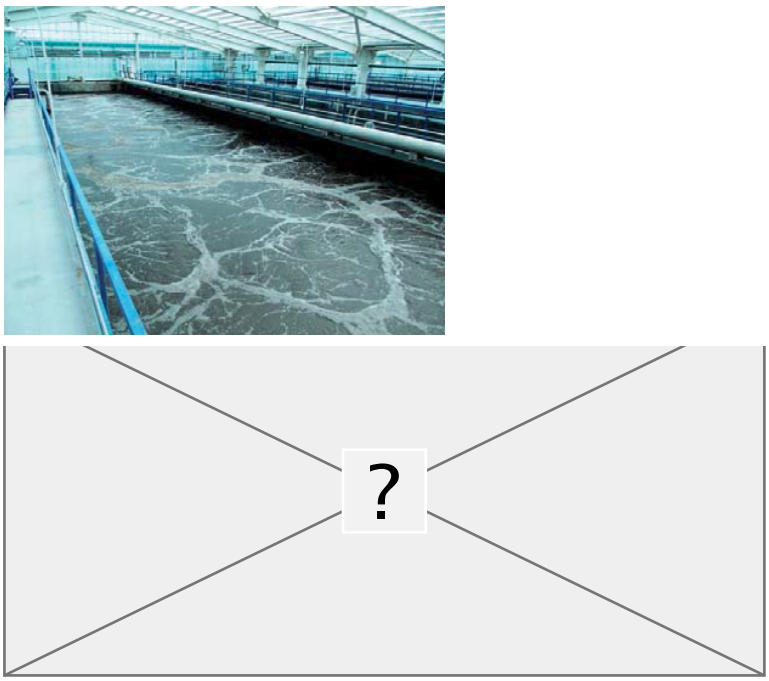


Рисунок 8. **Аэротенки нитри-денитрификации и их технологическая схема**

Зоны перемешивания выделены в первой половине первого коридора и первой половине второго коридора каждой секции аэротенков. Поступление сточных вод в зоны аэротенка регулируется при помощи электрифицированных шиберных затворов, установленных в распределительных камерах. Сигнал о работе направляется в диспетчерскую.

Для поддержания иловой смеси во взвешенном состоянии в зонах перемешивания предусмотрены погружные механические мешалки, в зонах аэрации – торообразные аэраторы. Сигнал о работе мешалок передается в диспетчерскую. Воздух для аэрации и перемешивания иловой смеси подается от воздуходувок, установленных в воздуходувной станции. На подводящих воздуховодах каждой секции аэротенков установлены расходомеры воздуха.

Для обеспечения внутренней рециркуляции иловой смеси предусмотрены погружные насосы. Рециркуляция осуществляется из конца второго коридора (зона аэрации) в начало первого коридора (зона перемешивания). В конце третьего коридора каждой секции аэротенков установлены автоматические пробоотборники и автоматические анализаторы непрерывного действия, которые измеряют азот аммонийный, азот нитратный, фосфаты, взвешенные вещества, растворенный кислород. Информационный сигнал от автоматических анализаторов направляется в диспетчерскую.

После аэротенков иловая смесь подается для отстаивания в восемь вторичных отстойников (рис. 9). Для илоразделения впервые в РФ

использованы илососы с возможностью индивидуальной регулировки расхода возвратного ила от каждого сосуна (с контролем расхода ила).

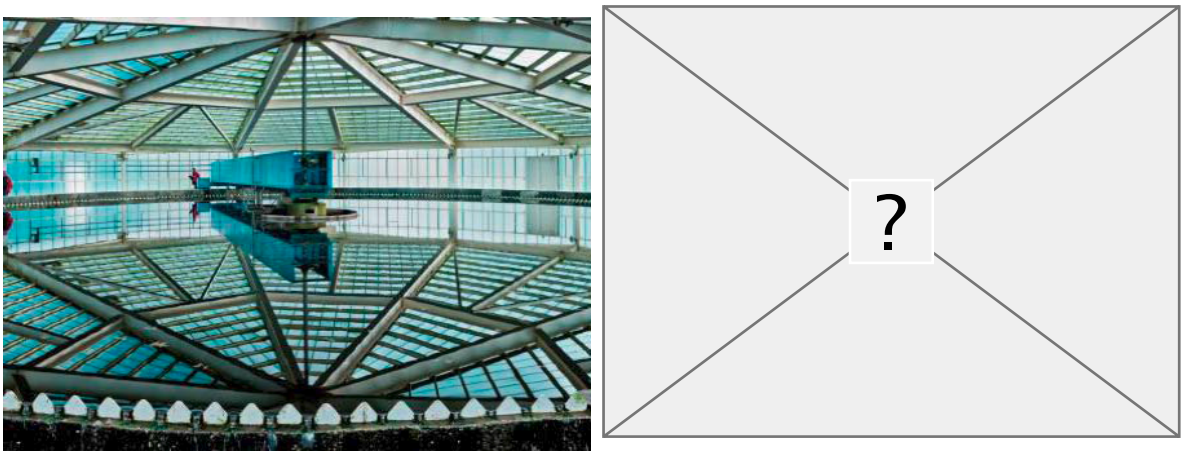


Рисунок 9. **Вторичные отстойники**
(в работе и опорожненные)

Иловая смесь после аэротенков направляется в распределительную чашу вторичных отстойников. Поступление иловой смеси регулируется при помощи электрифицированных шиберных затворов, установленных в распределительной чаше отстойников.

Осевший активный ил удаляется при помощи илососного механизма под действием гидростатического давления. Регулирование количества удаляемого осадка (активного ила) производится при помощи шиберных устройств, установленных в иловых камерах. Активный ил в самотечном режиме поступает в насосную станцию циркуляционного ила.

Узел доочистки и обеззараживания. Осветленные биологически очищенные сточные воды после вторичных отстойников поступают на доочистку, которая осуществляется на барабанных дисковых фильтрах, установленных в корпусе доочистки и обеззараживания (рис. 10). На доочистку сточные воды подаются в самотечном режиме.

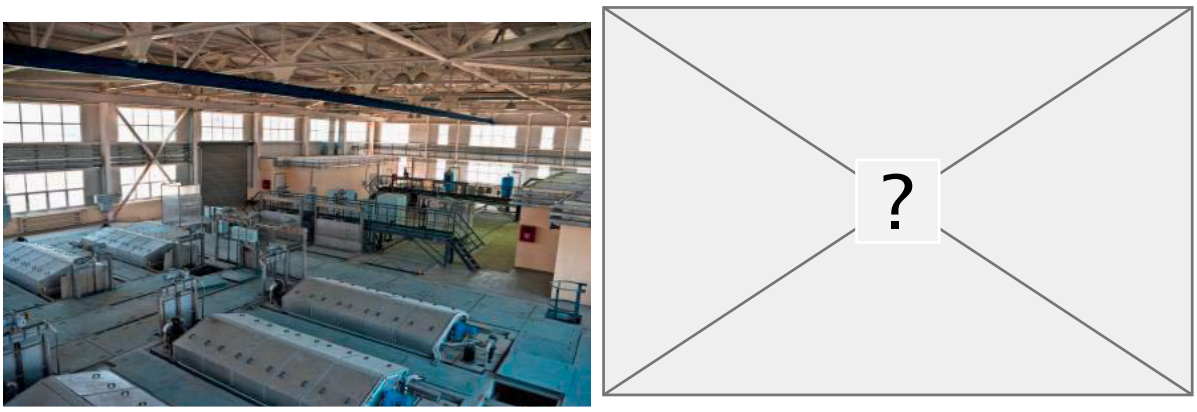


Рисунок. 10. **Доочистка и обеззараживание сточных вод**

Фильтры работают на основе проверенного принципа барабанного фильтра: установка состоит из вращающихся фильтровальных дисков, закрепленных на горизонтальном полом валу и погруженных на 60 % в воду. Каждый диск состоит из взаимозаменяемых сегментов сита из нержавеющей стали. С обеих сторон на сегментах диска, как на барабане, натянута тонкая сетка из нержавеющей стали с размером ячейки сита 18 мкм. Сточные воды, подлежащие очистке, протекают сквозь сегменты, а фильтрат сливается через заднее отверстие фильтра. Когда сопротивление фильтра повышается, включается режим промывки фильтра. Промывка осуществляется промывными форсунками путем медленного вращения фильтрующих дисков. Подача промывной воды в форсунки осуществляется насосом, отбирающим часть отфильтрованной сточной воды. Для отключения фильтров доочистки предусмотрен обводной канал.

После сооружений доочистки стоки подаются на установку ультрафиолетового обеззараживания лоткового типа, размещенную в корпусе доочистки и обеззараживания. Для распределения сточных вод по лоткам предусмотрены электрифицированные шиберные затворы. Ультрафиолетовое обеззараживание сточных вод производится при помощи лотковых модулей, установленных по 4 штуки в двух каналах. На сборном лотке установлены: ультразвуковой расходомер, автоматический пробоотборник, мутномер. Сигнал работы оборудования КИП направляется в диспетчерскую.

Очищенные и обеззараженные сточные воды по сбросному лотку поступают в камеру и далее, по самотечному коллектору, к месту сброса в Черное море. Глубоководный выпуск протяженностью около 4 км расположен в районе устья р. Мзымта и состоит из двух частей: наземная часть – 400 м и морская часть – 3260 м. Коллектор уходит в море на глубину до 24 м. При строительстве морской части выпуска использовались трубы из полиэтилена, стойкие к агрессивной среде моря. Трубы обладают высокой устойчивостью к истиранию стенок и коррозии, им не требуется электрохимическая защита и дополнительная гидроизоляция. Морская часть коллектора укладывается в специально разработанную подводную траншею. Особенностью выпуска является раструб длиной 260 м, который оборудован 17-ю рассеивающими выпусками. Таким образом, обеспечивается лучшее смешение очищенных сточных вод с морской водой.

Узел обработки осадка сточных вод и избыточного активного ила. Проектом предусмотрено механическое обезвоживание смеси осадка сточных вод и уплотненного избыточного активного ила с дополнительной сушкой. Смесь образующихся осадков аккумулируется в резервуаре осадка перед цехом механического обезвоживания.

Избыточный активный ил насосами перекачивается в распределительную камеру илоуплотнителей (рис. 11). Уплотненный ил удаляется при помощи системы илоскребных механизмов с системой низкоградиентного перемешивания.

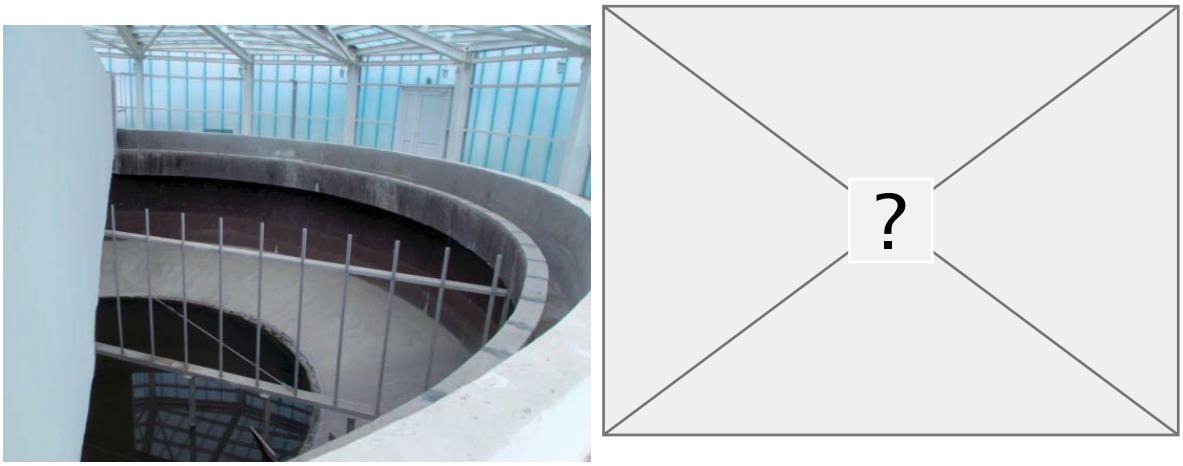


Рисунок 11. **Илоуплотнитель и центрифуги**

Уплотненный избыточный активный ил через регуляторы выпуска осадка самотеком поступает в резервуар перед цехом механического обезвоживания осадка, который представлен тремя технологическими линиями. В их состав входят: центрифуга с гидроприводом, подающий насос с мацератором, узел приготовления флокулянта с насосом-дозатором, транспортер обезвоженного осадка, расходомеры осадка и флокулянта. После центрифуг обезвоженный осадок от каждой технологической линии подается на линию дополнительного обезвоживания на барабанной высокотемпературной сушке (рис. 12).

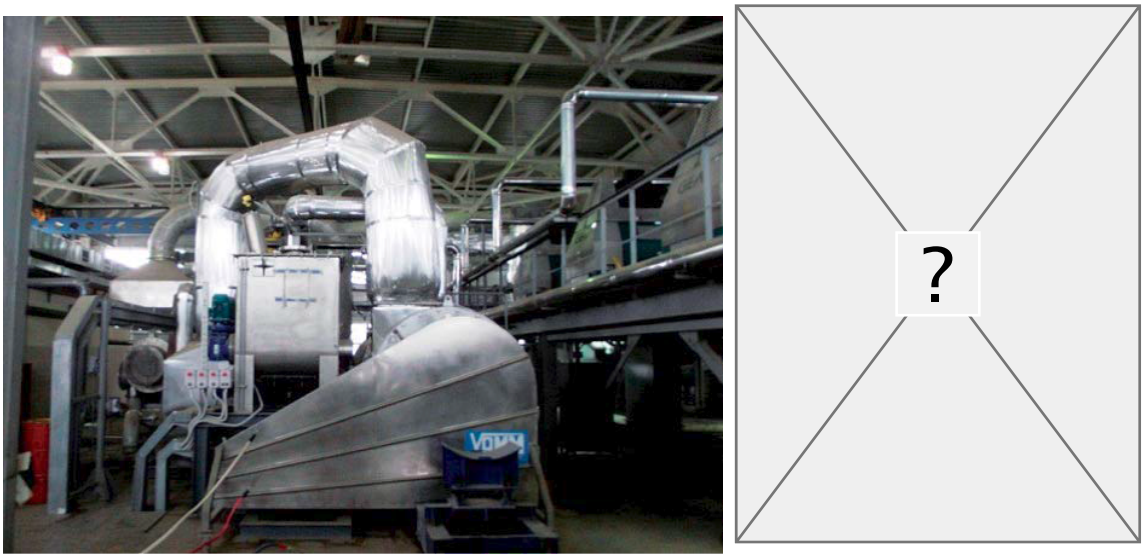


Рисунок 12. **Барабанная сушка и бункер хранения высушенного осадка**

Очистка газа. На Адлерских очистных сооружениях используется система герметичного укрытия всех сооружений и откачки газов для очистки на плазмокаталитических реакторах (два корпуса очистки газовоздушных выбросов). Благодаря этому удалось избежать попадания газов в атмосферу, сократить санитарно-защитную зону до 50 м и улучшить экологическую обстановку района, в котором располагаются очистные сооружения.

Диспетчерская и КИПиА. На сооружениях реализована самая современная система управления технологическим процессом очистки сточных вод: на каждом этапе установлены датчики контроля, расходомеры и уровнемеры, все оборудование имеет местное и дистанционное управление. Все сигналы с каждого узла выведены на верхний уровень АСУ – в диспетчерскую (рис. 13).

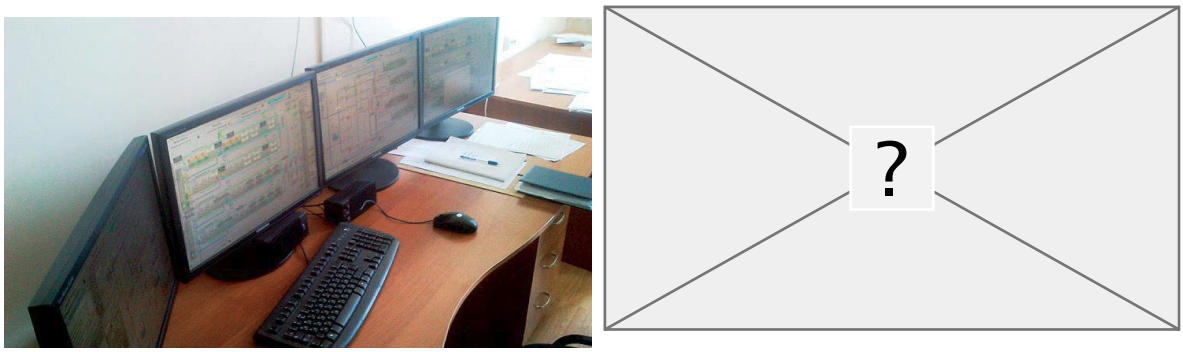


Рисунок 13. **Диспетчерская очистных сооружений**

Спустя более 5 лет сооружения отлично справляются с поставленными задачами очистки воды и обработки осадков. Данные по проектному и фактическому составу сточных вод приведены в таблице.

Таблица. **Проектный и фактический состав сточных вод**

Показатель, мг/л	Исходная вода	Очищенная вода	Норматив сброса в Черное море
ХПК	293,4/247	30,8/29	–
$БПК_5$	173,4/148,4	7,1/2,4	3
Взвешенные вещества	184,7/121	5,0/3,6	10
Азот аммонийный	22,84/21,6	0,2/0,16	2,3
Азот нитритный	–	0,02/0,01	0,02
Азот нитратный	–	8,8/7,6	9
Фосфор фосфатов	3,27/2,54	0,4/0,1	0,2

АПАВ	0,4/1,76	0,1/0,025	0,1
Нефтепродукты	0,67/1,77	0,05/0,04	0,05
Примечание. В числителе – проектные значения, в знаменателе – фактические за 2017 г.			

ВЫВОДЫ

Адлерские очистные сооружения канализации г. Сочи на сегодняшний день являются одними из самых современных станций на территории Европы. Проектные решения, заложенные более 10 лет назад (проект 2008 г.), во многом определили пути развития современных технологий очистки и являются примером очистных сооружений, реализованных по принципам НДТ.

УДК 628.312

КОМПЛЕКСНАЯ СИСТЕМНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТНЫХ СТОЧНЫХ ВОД

О.А. Продоус
ООО «ИНКО-инжиниринг», г. Санкт-Петербург, Россия
А.В. Михайлов
ООО «НПКФ «Эпицентр», г. Санкт-Петербург, Россия

Предложена системная схема комплексного подхода решения проблемы загрязнения водоемов поверхностными стоками в основе которой лежит использование инновационных торфяных фильтрующих материалов.

Действующий СП 32.13330-2012 п. 4.9 [1], запрещает предусматривать сброс в водные объекты неочищенных до установленных нормативов дождевых, талых и поливочных вод, организованно отводимых с селитебных территорий и площадок предприятий.

Причем 100 % талых и поливочных стоков должно подвергаться обязательной очистке. При этом поверхностные сточные воды с территорий промышленных зон, строительных площадок, складских хозяйств, автохозяйств, бензозаправочных станций, автобусных станций, торговых центров перед сбросом в дождевую или централизованную систему коммунальной канализации должны подвергаться очистке на локальных очистных сооружениях, п. 4.12 [1].

Основными загрязняющими компонентами поверхностного стока, формирующегося на городских территориях, являются продукты эрозии почвы, смываемые с грунтовых поверхностей и газонов, пыль, бытовой мусор, компоненты дорожных покрытий, а также нефтепродукты, попадающие в канализацию с поверхностей водосбора в результате неисправностей автотранспорта и другой различной техники.

Поверхностный сток с городских, промышленных территорий и транспортных магистралей является интенсивным фактором антропогенной нагрузки на водные объекты. Это обусловлено тем, что в последнее время при существующих системах очистки бытовых и производственных сточных вод загрязненность водных объектов продолжает нарастать, также, за счет сброса в них поверхностного стока без очистки.

В перечень вопросов природоохранной деятельности государства одним из основных входит проблема предотвращения загрязнения природных водоемов, в том числе и поверхностными сточными водами с урбанизированных территорий.

Варианты решения этой проблемы должны обеспечить: с одной стороны – выполнение перечня требований государственных законов и нормативов, а с другой – создать условия и вызвать интерес у предпринимательского сообщества, науки и бизнеса, заниматься решением самой проблемы.

Однако, большинству регионов, средним и малым городам, населенным пунктам и отдельным промышленным предприятиям, строительство новых или реконструкция действующих очистных сооружений в современных условиях – практически не решаемая финансовая проблема, так как у них отсутствуют необходимые и достаточные денежные средства на разработку современных проектных и технологических решений, строительство, закупку оборудования и запуск в эксплуатацию построенных очистных сооружений.

Поэтому имеет место постоянное нарушение водного законодательства и сброс в водоемы неочищенных поверхностных сточных вод [2].

Государственные надзорные структуры, естественно, выявляют и наказывают нарушителей, однако, серьезных изменений для водоемов пока не наблюдается.

Сложившиеся в последнее время в стране политическая и экономическая ситуации, вызванные введением международных санкций для России, заставляют существенно сократить использование импортных комплектующих, материалов, реагентов и т.п.

Безусловным выходом из этой ситуации является интенсивный переход на использование отечественных инновационных технологических разработок, новейших материалов, оборудования и др., в том числе и для очистки поверхностных сточных вод.

Уникальным материалом, отвечающим современным условиям, в полной мере отвечает природный торф, изученные возобновляемые запасы которого на территории России составляют более 180 млн. т. [2].

Фильтрующие материалы из торфа, полученные на основе использования природоохранных эффективных технологий, могут использоваться при последующей разработке на их основе инновационных технологий очистки поверхностных сточных вод.

К этому неоднократно призывает Президент России В.В. Путин и Правительство страны [3].

Причем подтвержденная эффективность использования изделий из торфа в качестве фильтрующего материала показывает, что торф является одним из самых доступных по ценовым характеристикам для его использования при очистке поверхностных сточных вод с последующей утилизацией, например, путем сжигания в котельных на твердом топливе.

Технологические аспекты решения проблемы очистки поверхностного стока с использованием торфяных фильтров достаточно

глубоко разработаны и широко реализованы на практике в разных регионах страны [2].

Представляют интерес результаты анализа комплексной эффективности использования торфяных фильтрующих материалов, которые ранее не публиковались.

Решение проблемы очистки поверхностного стока перед сбросом в водоемы возможно только на основе разработанного комплексного системного подхода, предусматривающего следующие этапы (рис. 1):

- решение природоохранных вопросов на стадии добычи сырья (торфа);
- использования инновационных технологий получения фильтрующих материалов из торфяного сырья;
- широкое использование эффективных технологий очистки поверхностного стока на торфяных фильтрах без существенных капитальных затрат, простоте технологических решений без дополнительного использования химических реагентов и энергетических затрат.

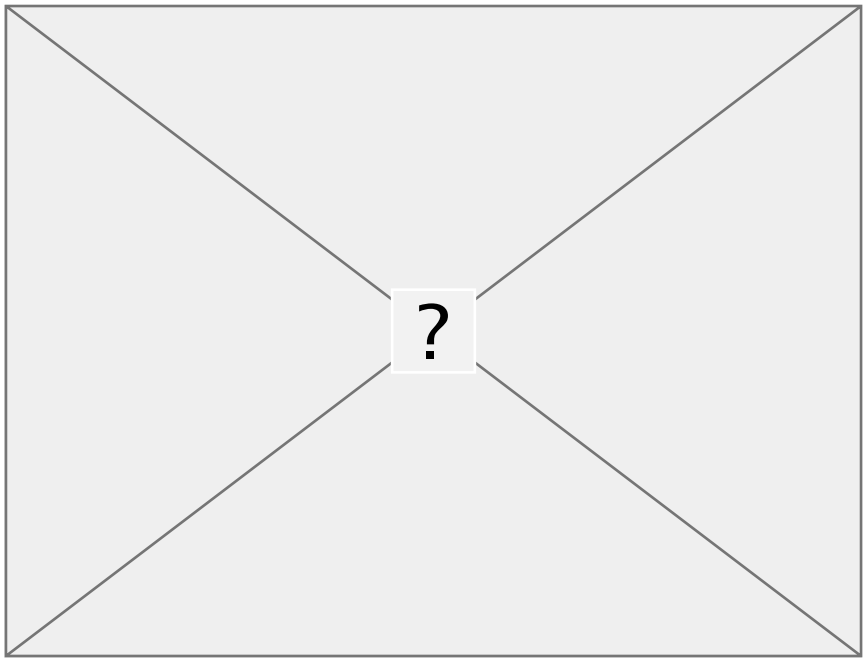


Рисунок 1. **Блок схема системного комплексного подхода для решения проблемы загрязнения водоемов поверхностными стоками:**
1 – природоохранная проблема – загрязнение водоемов поверхностными сточными водами; 2–4 – этапы решения проблемы; 5–7 – эффективность на каждом этапе; 8 – суммарная комплексная эффективность решения проблемы; 9 – государственные законы и нормативы; 10 – предпринимательское бизнес-сообщество

При таком системном подходе суммарный комплексный эффект очистки поверхностного стока будет складываться из эффектов, полученных на трех перечисленных этапах:

– при добыче торфяного сырья;

– при производстве инновационных торфяных фильтрующих материалов;

– при использовании эффективных технологических решений при очистке поверхностных стоков на торфяных фильтрах.

Таким образом, суммарная комплексная эффективность очистки поверхностных сточных вод будет выражаться:

- в политическом эффекте, в ответ на усиливающиеся санкции против Российской Федерации;
- в народнохозяйственном эффекте – снижении объемов неочищенных сточных вод, сбрасываемых в водоемы;
- в финансово-экономическом эффекте – эффективность очистки стоков;
- в природоохранном эффекте;
- в социальном эффекте (занятость населения в добывающей торф, как сырье) в промышленности и в производстве продукции (фильтрующих материалов) природоохранного назначения и т.д.;
- в эффекте от продажи на экспорт востребованной продукции природоохранного назначения (торфяных фильтрующих материалов);
- в отсутствии аналогов торфу в мире, как натуральному, природному, возобновляемому, экологически чистому, широко распространенному сырью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Свод правил СП 32.13330-2012. Канализация. Наружные сети и сооружения. / Актуализированная редакция СНиП 2.04.03.-85. М., 2012. 91 с.
2. Михайлов А.В., Ким А.Н., Продоус О.А., Графова Е.О., Рублевская О.Н. Водоотведение и очистка поверхностного стока на торфяных фильтрах. Монография. // СПб: Сборка, 2014. 134 с.
3. Основы государственной политики в области экологического развития России на период до 2030 года. Утверждены Президентом Российской Федерации 30 апреля 2012 года.

УДК 628.356

ВЛИЯНИЕ ВНУТРЕННИХ ЦИРКУЛЯЦИОННЫХ ПОТОКОВ В АЭРОТЕНКЕ-ОСВЕТЛИТЕЛЕ НА ОБРАЗОВАНИЕ ПОДВИЖНОГО ФИЛЬТРУЮЩЕГО ВЗВЕШЕННОГО СЛОЯ

В.И. Нездойминов, Д.В. Заворотный
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
г. Макеевка, Украина

Представлена структура затопленной турбулентной струи в условиях эрлифтного реактора, совмещённого с илоотделителем. Приведены расчётные зависимости для определения основных параметров взвешенного слоя аэротенка-осветлителя с затопленной эрлифтной системой аэрации. Определены максимальные и минимальные допустимые значения интенсивности циркуляции при различных гидравлических нагрузках.

В настоящее время за рубежом наиболее эффективными реакторами для проведения биохимических процессов при очистке сточных вод признаны эрлифтные реакторы (ALR) с внутренней циркуляцией иловой смеси [1–2]. Первые эрлифтные реакторы были запатентованы во Франции в 1955 г. [3]. С этого времени опубликовано достаточно большое количество публикаций на эту тему, но крупномасштабных исследований ALR в промышленных условиях не проводилось. Практически все исследования [1, 4–5] проводились в лабораторных условиях со свободноплавающими и прикрепленными микроорганизмами [6]. Эрлифтные реакторы относятся к пневматическим системам аэрации. Степень использования кислорода воздуха достигает 15 %. Несомненными преимуществами ALR являются высокая степень растворения кислорода, отсутствие вращающихся деталей, простота, надежность и долговечность конструкции.

В ALR имеются зоны или каналы, по которым движется жидкость по замкнутому контуру. Зоны отделены перегородкой, которая образует зазоры у дна и у поверхности. В одну из зон подается воздух для создания газлифтного эффекта, обеспечивающий движение жидкости по замкнутому контуру. Перегородки в эрлифтных биологических реакторах позволяют эффективно перемешивать жидкость с активным илом в сооружении и обеспечивать создание зон с высокой и низкой концентрацией кислорода. Наличие таких зон обеспечивает способность активного ила к одновременному изъятию органических загрязнений и азота аммонийного.

Однако, широкого внедрения в практику очистки сточных вод эти реакторы не получили. Это связано с тем, что не найдены обобщенные теоретические зависимости, описывающие гидродинамические характеристики внутренних циркуляционных потоков, влияющих на кинетику процессов биологической очистки.

В Донбасской национальной академии строительства и архитектуры разработан новый тип компактного эрлифтного биореактора с внутренней циркуляцией, в котором процесс биохимической обработки сточной жидкости совмещён с процессом осветления иловой воды (аэротенк-осветлитель с затопленной эрлифтной системой аэрации) [7]. Осветление осуществляется в условно выделенной зоне сооружения фильтрованием иловой смеси через постоянно обновляющийся взвешенный слой ила. Конструктивные особенности и принцип работы аэротенка-осветлителя подробно изложены в предшествующих публикациях [7–8].

Для теоретического обоснования параметров взвешенного слоя в аэротенке-осветлителе используется теория затопленных турбулентных струй [9]. На рисунке 1 представлена структура турбулентной струи, которая возникает в аэротенке-осветлителе с затопленной эрлифтной системой аэрации.

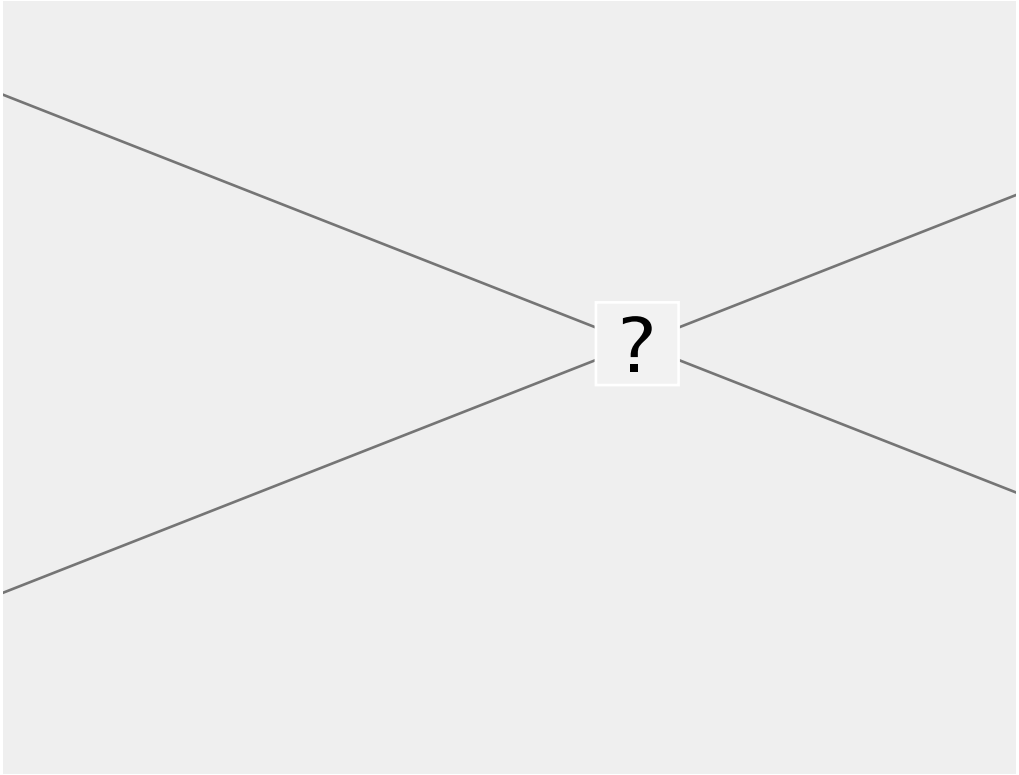
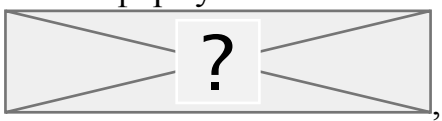


Рисунок 1. **Структура пристенной затопленной турбулентной струи в аэротенке-осветлителе с затопленной эрлифтной системой аэрации:**
1 – условная эпюра скорости струи в начальном сечении; 2 – пристенная часть струи; 3 – ось струи на основном участке; 4 – ядро постоянных скоростей; 5 – внешняя часть струи; 6 – среда за пределами струи; 7 – эпюра вертикальных составляющих скоростей движения жидкости в произвольном сечении начального участка струи

Основываясь на исследованной закономерности распределения скоростей по горизонтальному сечению пристенной затопленной струи [9], предложена расчётная модель для вычисления ряда параметров взвешенного слоя. Средняя скорость восходящего потока во взвешенном слое зависит от гидравлической нагрузки на осветлитель и интенсивности циркуляции иловой смеси в биологическом реакторе. Вертикальная составляющая скорости восходящего потока v в осветлителе изменяется по высоте, её можно рассчитать по формуле 1:



, (1)

где $Q_{ст}$ – производительность аэротенка-осветлителя, $м^3/с$;

h – глубина дна аэротенка осветлителя относительно начального сечения, м;

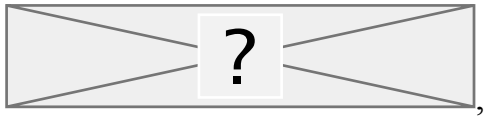
s – расстояние от начального сечения струи до произвольного рассматриваемого сечения, м;

L – длина аэротенка-осветлителя, измеряемая в перпендикулярном к плоскости рисунка 1 направлении, м;

B_c – ширина осветлителя на уровне начального сечения струи, м;

α_2 – угол между внешней границей струи и вертикальной поверхностью;

w – вертикальная составляющая скорости в осветлителе, м/с, вычисляемая по формуле 2 без учёта гидравлической нагрузки на осветлитель:



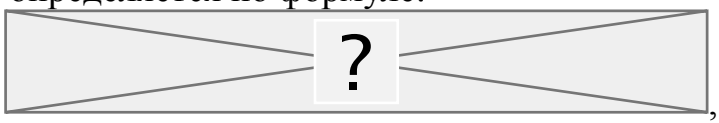
, (2)

где u_0 – скорость нисходящего потока в начальном сечении струи, м/с;

S_0 – длина начального участка струи (рис. 1), м;

δ_0 – ширина пристенного слоя струи на расстоянии S_0 от начального сечения, м.

За счёт эжекции иловая смесь из осветлителя увлекается в основной циркуляционный поток. Величина рециркуляционного расхода увлекаемой иловой смеси определяется по формуле:

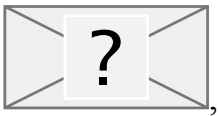


, (3)

где S_w – глубина условной оси водоворотной зоны, м.

В водоворотной зоне осуществляется циркуляция. Выше оси водоворотной зоны иловая смесь из взвешенного слоя эжектируется нисходящим струйным потоком. Ниже условной оси водоворотной зоны иловая смесь перетекает из основного циркуляционного потока в осветлитель.

Важным параметром, влияющим на жизнедеятельность активного ила, является время его пребывания в осветлителе. Время t следует соблюдать в пределах, не допускающих ухудшения физиологических свойств ила в результате нахождения в бескислородных условиях. Время пребывания зависит от рециркуляционного расхода и рассчитывается по формуле 4.



, ч (4)

где $W_{осв}$ – объём осветлителя, м^3.

Для количественной оценки основной циркуляции иловой смеси в аэротенке-осветлителе с затопленной эрлифтной системой аэрации используется интенсивность циркуляции I_c [7]. Интенсивность циркуляции является прямо пропорциональной скорости нисходящего потока u_0 в начальном сечении струи. Производительность аэротенка-осветлителя удобно выражать через гидравлическую нагрузку на осветлитель q_c, которая равна отношению расхода $Q_{ст}$ к площади осветлителя на уровне начального сечения струи.

На рисунке 2 представлены предельно допустимые значения интенсивности циркуляции I_c в зависимости от гидравлической нагрузки q_c на осветлитель. Представленные на графике значения максимальных допустимых значений интенсивности циркуляции вычислены на основании экспериментальных данных [7]. Соблюдение максимальных значений нагрузки и циркуляции позволяет предотвращать размытие взвешенного слоя. При соблюдении минимальных допустимых значений интенсивности циркуляции обеспечивается достаточный рециркуляционный расход Q_R, позволяющий поддерживать такое время пребывания t иловой смеси в осветлителе, при котором не происходит ухудшений физиологических свойств ила. Значения минимальных допустимых интенсивностей циркуляции получены в программе Mathcad по формулам 1-4.

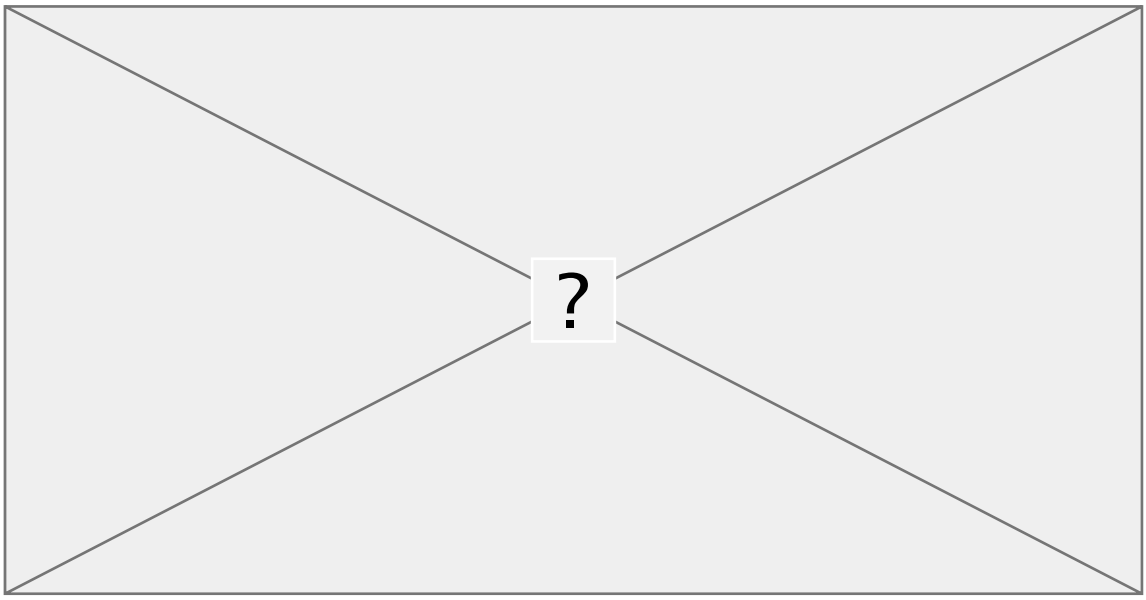


Рисунок 2. **Допустимые значения интенсивности циркуляции в зависимости от гидравлической нагрузки при Bj = 0,3 м, Bc = 0,9 м, h = 2 м**

Как видно из рисунка 2, графики максимальных и минимальных допустимых значений интенсивности циркуляции позволяют определить максимальную гидравлическую нагрузку на осветлитель. Для геометрических параметров, применённых при расчёте графиков, максимальная допустимая гидравлическая нагрузка составляет $q_{c.max}$ = 1,65 м^3/(м^2·ч). Для обеспечения обновления взвешенного слоя и предотвращения его размытия интенсивность циркуляции должна составлять I_c = 90 м^3/(м^2·ч). При поддержании гидравлической нагрузки, которая не достигает максимального значения, величину интенсивности циркуляции можно варьировать.

ВЫВОДЫ

На основании теории турбулентных струй для аэротенков-осветлителей с затопленной эрлифтной системой аэрации получены зависимости для вычисления основных параметров взвешенного слоя: скорости восходящего потока жидкости во взвешенном слое v, расхода иловой смеси Q_R, возвращаемой из взвешенного слоя в циркуляционный поток эрлифтного реактора, времени пребывания иловой смеси во взвешенном слое аэротенка-осветлителя t и максимальной гидравлической нагрузки на осветлитель $q_{c.max}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Peter M., Argyrios M., Bergougnou M., JunTang Yu. Influence of the baffle clearance design on hydrodynamics of a two riser rectangular airlift reactor with inverse internal loop and expanded gas–liquid separator, Chemical Engineering Journal 121. 2006. P. 17–26.

2. Kaustubh M., Dasb D., Biswasa M. Hydrodynamics of a novelmulti-stage external loop airlift reactor, Chemical Engineering Science 61. 2006. P. 4617–4624.
3. Lefrancois M., Mariller C., Mejane J. Effectionnements aux procedes de cultures forgiques et de ermetations industrielles. Brevet d'rnvention, France, No. 1102200. 1955.
4. Blažej M., Kiša M., Markoš J. Scale influence on the hydrodynamics of an internal loop airlift reactor, Chemical Engineering and Processing 43. 2004. P. 1519–1527.
5. Tsao-Jen Lin, Po-Chou Chen. Studies on hydrodynamics of an internal-loop airlift reactorin gas entrainment regime by particle image analyzer, Chemical Engineering Journal 108. 2005. P. 69–79.
6. Chaoyu Yan, Chunxi Lu, Yiping Fan, Rui Cao, Yansheng Liu. Experiments and simulations of gas–solid flow in an airlift loop reactor, Particuology 9. 2011. P. 130–138.
7. Заворотный Д.В. Экспериментальное определение параметров моделирования аэротенков-осветлителей с затопленной эрлифтной системой аэрации // Сборник научных трудов ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ». 2018. № 10 (53). С. 104–109.
8. Нездойминов В.И. Аэротенк-отстойник с обновляющимся взвешенным слоем / В.И. Нездойминов, Д.В. Заворотный // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Инженерные системы и техногенная безопасность. 2016. № 5 (121). С. 15–19.
9. Абрамович Г.Н. Теория турбулентных струй. – М.: Физматгиз, 1960. 715 с.

УДК 628.316.13

ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ПРОИЗВОДСТВА ВОДНО-ДИСПЕРСИОННЫХ КРАСОК

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

Представлены результаты исследований по очистке сточных вод лакокрасочного производства. Предложена схема обработки сточных вод и осадка.

Объём российского рынка краски составляет около 500 тыс. т продукции в год. Значительную долю производства занимают водоэмульсионные краски. Они находят всё больше областей применения в частном и промышленном строительстве благодаря разнообразию составов и свойств.

Основными составляющими водоэмульсионных красок являются: латексная дисперсия (около 40 %), пигмент и наполнители (около 37 %), пластификатор (3 %), функциональные добавки: эфиры целлюлозы, диоксид титана и т. д. (9 %), мел тонкодисперсный (11 %).

Согласно классификатору, отходы лакокрасочных производств относятся к 3 классу опасности. Следовательно, эти отходы нуждаются в обезвреживании и утилизации.

Основное количество сточных вод лакокрасочных производств образуется при мытье оборудования и полов. Сточные воды загрязнены компонентами, использующимися при производстве красок.

Основной задачей очистки сточных вод лакокрасочных производств является извлечение из них взвешенных веществ и пигментов. Среди наиболее применимых методов очистки можно выделить реагентную обработку с последующим отстаиванием и фильтрованием.

Процесс седиментации традиционно реализуется в отстойных сооружениях. При очистке производственных сточных вод целесообразно использовать неорганические коагулянты и флокулянты с высокой молекулярной массой.

На первом этапе исследований изучали возможность применения известных методов очистки отходов конкретного лакокрасочного производства.

Состав сточных вод, образующихся при производстве водно-дисперсионных лакокрасочных материалов (ВД-ЛКМ), является непостоянным и варьируется в широких пределах в зависимости от вида производимой в конкретный момент продукции. В состав водно-

дисперсионных ЛКМ входят многочисленные компоненты органической и неорганической природы, такие как дисперсии сополимеров с различным (часто сложным) мономерным составом, диспергаторы, органические и неорганические пигменты и наполнители, загустители, пеногасители, консерванты, антифризы и др. всевозможные добавки, являющиеся, в свою очередь, композициями, состоящими из смеси нескольких органических соединений. Суспензия, которую представляют собой сточные воды после промывки лакокрасочного оборудования, седиментационно чрезвычайно устойчива благодаря соответствующей технологии измельчения пигментов и наполнителей. В составе ЛКМ присутствуют антифлокулирующие добавки, которые обеспечивают необратимость такой суспензии в течение довольно длительного времени.

В таблице приведены типовые рецептуры водно-дисперсионных красок для наружных и внутренних работ, образующих матовые покрытия. Основные различия рецептур интерьерных красок для стен и высококачественных фасадных красок состоят в использовании разных пленкообразователей, разных марок диоксида титана и наполнителей, а также различных количеств этих компонентов.

Исходя из состава исходного сырья (ВД-ЛКМ) для обработки сточных вод рассматриваемого производства наиболее предпочтительно применение электролитов-коагулянтов.

На основании предварительного анализа существующих технологических решений по обработке определено направление изучения эффективности реагентной обработки отходов производства ВД-ЛКМ.

С целью возможности возврата жидкой фазы в основной технологический процесс применяли реагенты, не окрашивающие обрабатываемые растворы.

В качестве коагулянта применен «АКВА-АУРАТ™30», дозы 10 % раствора реагента составили 10; 20 и 50 мл на 1 л образца, переданного представителем предприятия, что в пересчете на Al составило 160; 320 и 800 мг/л. Результат непосредственно после введения коагулянта представлен на рисунке 1.

Таблица. **Типовые рецептуры водно-дисперсионных красок**

		Краски для внутренних водостойких покрытий	Краски для наружных покрытий, устойчивых к мокрому истиранию

Компонент	Вид сырья	общее количество, % (по массе)	количество на сухой остаток, % (по массе)	общее количество, % (по массе)	количество на сухой остаток, % (по массе)
Пленкообразователь	50 %-ная водная дисперсия	7–10	3,5–5	20–40	10–20
Пигменты	Диоксид титана Неорганические цветные пигменты	5–15	5–15	15–20	15–20
Наполнители	Мел (кальцит) Тальк Каолин Барит Слюда	35–50	35–50	20–30	20–30
Функциональные добавки (суммарно)	Диспергаторы Загустители Консерванты Коалесценты Нейтрализующие агенты Пеногасители	1–3	0,5–1,5	1–4	0,5–2
Другие	Вода Пропилен-(этилен) гликоль	30–40 0–3	– –	15–20 2–4	– –
Всего		100	55–60	100	55–60
Объемная концентрация пигментов (ОКП)			75–85		40–60

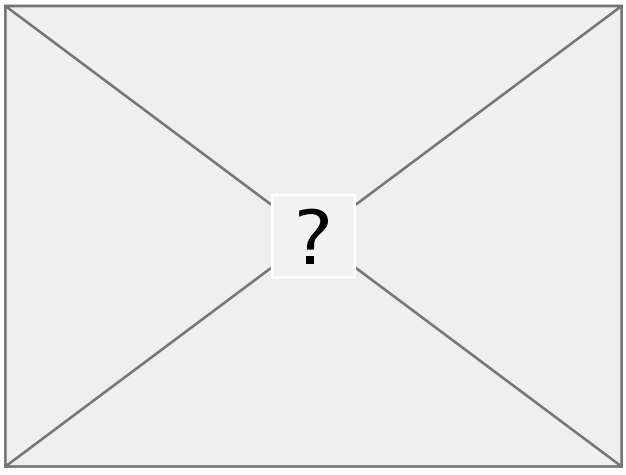
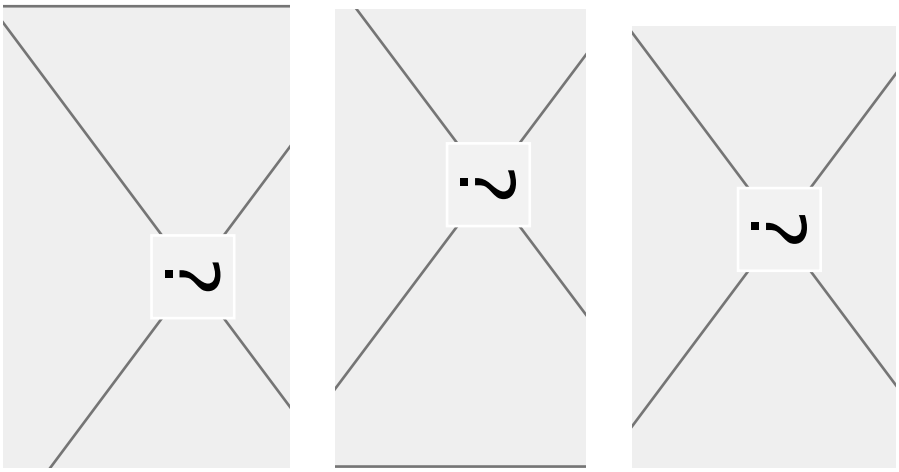


Рисунок 1. **Исследуемые пробы после введения коагулянта**

Через сутки отстаивания наблюдали расслоение с образованием осадка (рис. 2 а, б, в). При увеличении времени отстаивания развитие процесса расслоения отмечено в пробе с дозой 50 мл/л (рис. 3)

Дополнительное введение флокулянта интенсифицирует образование хлопка с расслоением эмульсии, что представлено на рисунке 4. В качестве флокулянта использовали флокулянт Praestol 845. Доза флокулянта составила 10 мг/л. В качестве рабочего раствора применяли 0,1 % раствор флокулянта в водопроводной воде.



а б в

Рисунок 2. **Расслоение осадка после суточного отстаивания:**
а – при дозе коагулянта 10мл/л, б – 20 мл/л, в – 50 мл/л

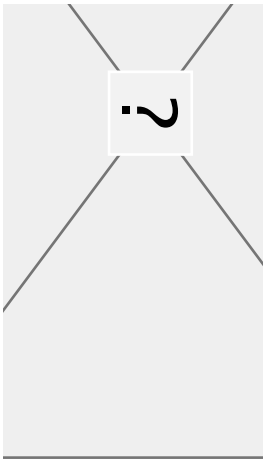


Рисунок 3. **Усиление процесса расслоения**

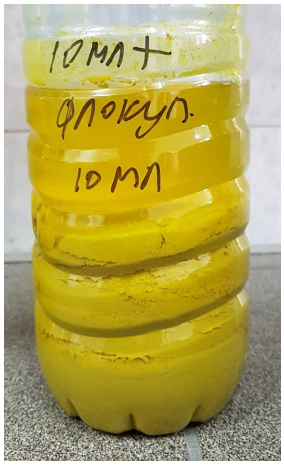


Рисунок 4. **Интенсификация процесса хлопьеобразования с помощью**

После слива проводили повторное введение реагентов в надосадочную жидкость для пробы с дозой 50 мл/л (рис. 5), в результате чего наблюдали интенсивное хлопьеобразование и хорошее оседание взвеси.

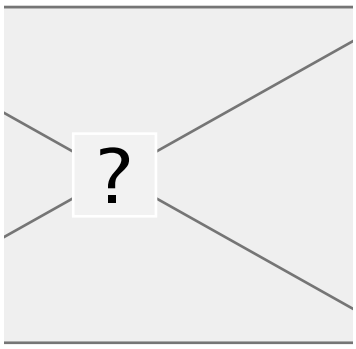


Рисунок 5. **Повторное коагулирование осадка**

В результате как первичного коагулирования, так и при повторном введении реагентов сточные воды оставались окрашенными. С целью обесцвечивания раствора проводили его обработку гипохлоритом натрия концентрацией 8 г/л по активному хлору. После введения 50 мл раствора гипохлорита надосадочная жидкость обесцвечивалась полностью с образованием белого рыхлого осадка (рис. 6).

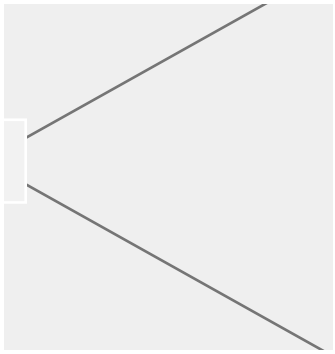


Рисунок 6. **Проба после введения гипохлорита натрия**

Поскольку в качестве одной из ступеней обработки сточных вод рассматривали фильтрование, проводили качественную оценку фильтруемости смеси после обработки коагулянтом и флокулянтом.

Смесь сточных вод с реагентами фильтровалась хорошо. Фильтрат оставался окрашенным в цвет применяемого пигмента, который впоследствии устранялся введением гипохлорита. Влажность осадка на фильтре составила 92 %. Вид осадка после высушивания при температуре 105 °С представлен на рисунке 7.

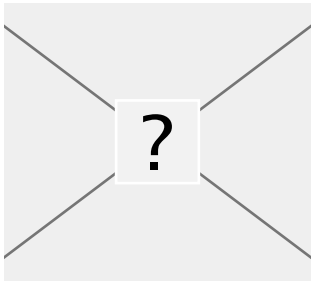


Рисунок 7 .**Осадок после высушивания**

По результатам пробных исследований рекомендуемая технологическая схема обработки сточной жидкости должна иметь две ступени.

Первая ступень необходима для снижения основной части сухого остатка, предусматривает введение алюминий содержащего коагулянта дозой не менее 800 мг/л и флокулянта – не менее 10 мг/л с последующим фильтрованием.

Вторая ступень предусматривает обесцвечивание полученного на первой ступени фильтрата обработкой гипохлоритом натрия. Доза гипохлорита регулируется по достижению обесцвечивания фильтрата. Отделение образующегося осадка производится на второй ступени фильтрования. Фильтрование на второй ступени обработки следует проводить через загрузку из активного угла для удаления остаточного активного хлора.

В результате обработки по предложенной технологической схеме образуется вода технического качества с возможностью возврата в основное производство и влажный осадок, при этом достигается уменьшение объема сточных вод не менее чем в 3 раза.

УДК 628.32

ОБЕЗВОЖИВАНИЕ, СУШКА И ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД. НОВАЯ РАЗРАБОТКА ЭКОС ГРУПП - УСТАНОВКА SRP ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД С ПРИМЕНЕНИЕМ ВОДЫ В СВЕРХКРИТИЧЕСКОМ СОСТОЯНИИ

М.Г. Зубов
ООО «ЭКОС ИНВЕСТ», г. Новочеркасск, Россия
А.А. Кадревич
АО «ЭКОС», г. Москва, Россия

Обработка осадка сточных вод является технически сложным процессом и требует значительных финансовых затрат. При выборе метода обработки и утилизации осадка учитываются множество факторов, ключевыми из которых являются эффективность процесса и цена. В связи с этим актуальность поиска инновационных технологий обработки осадка возрастает год от года.

Специалисты ЭКОС Групп создали инновационную установка SRP (Sludge Recycling Plant) для переработки трудноокисляемых органических отходов 1 и 3 класса опасности, осадка образующегося в процессе очистки сточных вод, а также органических отходов с высоким уровнем ХПК, таких как фильтрат со свалок ТБО.

Установка SRP. SRP (Sludge Recycling Plant) – инновационная установка для переработки трудноокисляемых органических отходов 1 и 3 класса опасности, осадка образующегося в процессе очистки сточных вод, а также органических отходов с высоким уровнем ХПК, таких как фильтрат со свалок ТБО.

Процесс основывается на окислении органических загрязнений при сверхкритическом состоянии жидкости. В процессе окисления образуются такие газы как: водород (H_2), метан (CH_4), этилен (C_2H_4), этан (C_2H_6), ацетилен (C_2H_2), диоксид углерода (CO_2), оксид углерода (CO), сероводород (H_2S) и азот (N), также дополнительно образуются соли и оксиды тяжёлых металлов и неорганических элементов.

Сверхкритическое состояние воды – это состояние, при котором вода является и не жидкостью и не газом, а так называемым флюидом. Переходной точкой считается 374 градуса Цельсия и 22.1 МПа давления. В этих условиях происходит разделение части молекулы воды на водород и кислород. И уже свободный кислород выступает как сверхокислитель.

Работы по разработке установки SRP инженеры ЭКОС Групп проводили совместно с ГК «Росатом».

Первые испытания на пилотной установке SRP были проведены в 2017 году и показали перспективность дальнейших работ. Так степень

разложения органических соединений по беззольному веществу составила 90 – 95 %. Выход газа 0,85 м^3/кг БОВ, с содержанием метана более 70 %.

Сферы применения установки SRP:

- жидкие отходы производств пищевой промышленности – жиры, сахарное производство, кофейное производство и т.д.;
- жидкие отходы нефтяных производств – масла, СПАВы и т.д.;
- опасные жидкие биологические и медицинские отходы – кровь, лекарственные препараты, физрастворы;
- различные химические средства и ядохимикаты, такие как – пестициды, гербициды, инсектициды и т.д.;
- фильтрат с полигонов ТБО, имеющий высокую концентрацию ХПК и аммонийного азота, а также огромное количество вторичных загрязнений, включающих всю таблицу Менделеева;
- осадок сточных вод.

Преимущества применения установки:

- любые органические соединения могут быть переведены в сжигаемый газ;
- неорганические соединения (тяжелые металлы, неорганические кислоты) будут переведены в соли и другие безвредные вещества.

Принципиальная схема работы установки:

Жидкие отходы поступают в приемный резервуар, затем пропускаются через систему фильтров. Система фильтров предназначена для задержания крупных включений размером >1 мм. Далее раствор подается шнековым насосом в напорный трубопровод плунжерного насоса, который создает избыточное рабочее давление до 30 МПа, после раствор поступает в реактор.

В реакторе, представляющем из себя стальной цилиндр, установлены электрические ТЭНы для подогрева поступающего раствора. В процессе работы реактора, при окислении загрязнений, происходят экзотермические процессы – с выделением тепла, благодаря чему в процессе работы часть ТЭНов отключается, экономя электрическую энергию, затрачиваемую на обогрев.



После протекания процесса окисления, на выходе из реактора образуется водогазовая смесь, которая подается в стабилизатор,

где происходит снижение температуры до 40 градусов Цельсия и давления 0,5 МПа.

На выходе из стабилизатора водогазовая смесь подается в сепаратор, он выделяет влагу из газа, очищая его. Вместе с влагой уходит зольная (нерастворимая) часть исходного раствора.

Очищенный газ может сжигаться на факельных установках, или отводится на когенерационные установки для получения электричества и тепла которые могут быть использованы для работы установки, а его избыток для иных производственных целей.

Вода с золой поступает на шнековый обезвоживатель. Инертный (безвредный) осадок утилизируется на полигон ТБО, а вода в зависимости от исходной концентрации раствора, сбрасывается в канализацию или в систему биологической доочистки для дальнейшего сброса в различные виды систем водоотведения или водоемы.

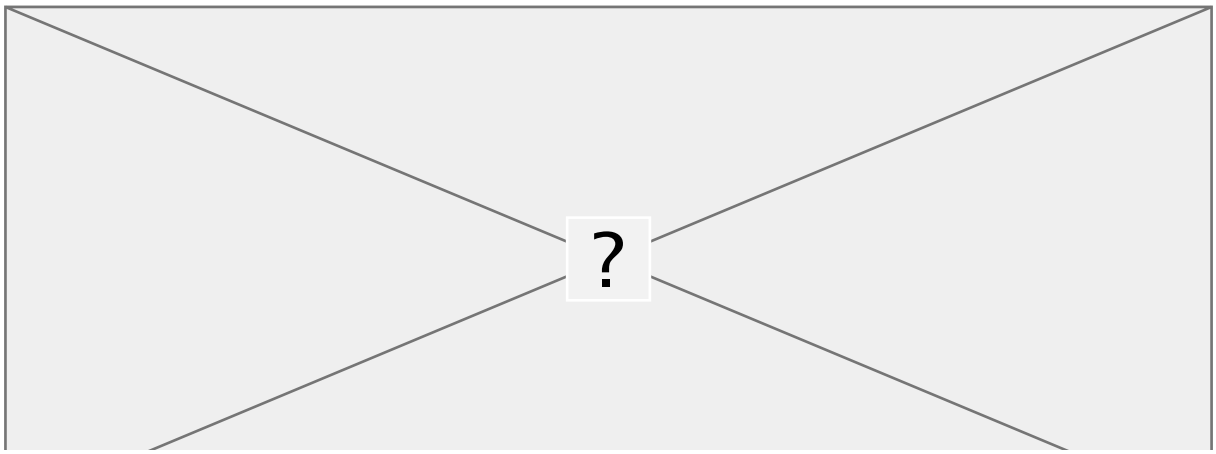


Рисунок. **Технологическая схема установки SRP для фильтрата ТБО**

Испытания сегодня.

Сегодня на производственной базе ЭКОС Групп проходят испытания рабочей установки «SRP-300 Pilot Plant». На данный момент проведены успешные гидравлические испытания на дистиллированной воде. В октябре 2018 г. инженеры ЭКОС Групп проведут второй этап испытаний на тестовом растворе, с содержанием 10 % сахара. На третьем этапе планируются испытания на избыточном активном иле.

Целью проведения испытаний являются:

- проверка работоспособности всего оборудования в целом с достижением рабочих параметров воды по температуре 500 °С при давлении 30 МПа. Этап проводится на воде;
- проверка образования газа при достижении сверхкритического состояния воды в тестовом растворе;
- проверка всех рабочих параметров – температуры, давления, расхода, выхода газа, состава газа и химического состава обработанной среды – избыточного активного ила.

Подробнее обо всех этапах испытаний вы сможете узнать, оформив подписку на новости проекта в разделе «Исследования и разработки» нашего сайта ecosgroup.com.

ЛИТЕРАТУРА

1. Куликов Н.И., Ножевникова А.Н., Зубов Г.М. и др. Очистка муниципальных сточных вод с повторным использованием воды и обработанных осадков: теория и практика. – М.: Логос, 2015. 400 с.
2. Галкин А.А., Лунин В.В. Вода в суб- и сверхкритическом состояниях – универсальная среда для осуществления химических реакций / Успехи химии, 74 (1), 2005.
3. Горбатый Ю.Е., Бондаренко Г.В. Сверхкритическое состояние воды // Сверхкритические флюиды. Теория и практика, 2007, № 2.
4. Лившиц С.Х. Механизм образования нефти в сверхкритическом потоке глубинных флюидов. Вестник РАН, 2009, Т. 79, № 3, С. 261–265.

УДК 628.35

КОНЦЕПЦИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД С ЭРЛИФТНЫМИ БИОРЕАКТОРАМИ

В.И. Нездойминов, В.С. Рожков, В.Н. Чернышев
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
г. Макеевка, Украина

Представлена концепция биологической очистки городских сточных вод в сооружениях с эрлифтными биореакторами (БОСЭБ), которая обеспечивает качество воды для сброса в водоемы любой категории на уровне НДТ по ИТС 10-2015 и выше. Предлагаемая технология относится к классу Б1 по ИТС, что достигается за счет удаления азота в том числе через нитрит. Концепция предполагает удаление фосфора биологическим и химическим методами и доочистку на зернистых фильтрах.

Современные решения в области очистки городских сточных вод должны соответствовать ряду критериев по качеству очистки, энергоэффективности, расходу реагентов, экологической безопасности и другим показателям [1–2]. В Российской Федерации, равно как и в большинстве государств постсоветского пространства, основная масса сооружений очистки городских сточных вод разработана в 70 – 80-х годах прошлого века [3] и зачастую эти станции не могут выполнить требования нормативов по качеству очистки сточных вод, кроме того, сектор коммунального хозяйства является слабо финансируемым и наряду с вопросами качества очистки также остро стоят вопросы экономической эффективности.

Для большинства станций наиболее сложным элементом обработки сточных вод является очистка по биогенным элементам, особенно по удалению соединений фосфора [4]. Исходя из вышеизложенного, можно сформулировать основные задачи научных исследований в области очистки городских сточных вод:

- разрабатываемые технологии должны соответствовать либо превышать показатели *Наилучших Доступных Технологий*, в части энергоэффективности и качества очистки;
- технологии должны допускать возможность апробации и внедрения для различных категорий очистных сооружений по производительности и для различных водных объектов в качестве сброса;
- предлагаемые технологии должны позволять проводить их внедрение в рамках действующих станций очистки с минимизацией капитальных затрат на реконструкцию.

На кафедре водоснабжения, водоотведения и очистки сточных вод

ГОУ ВПО «ДонНАСА», г. Макеевка разработана концепция биологической очистки сточных вод с применением эрлифтных биоректоров (аэротенков-осветлителей с затопленной эрлифтной системой аэрации) [5–6].

Основными технологическими положениями данной концепции являются:

1. *Удаление органических веществ и соединений азота* осуществляется в аэротенке-осветлителе с затопленной эрлифтной системой аэрации (эрлифтный биореактор). Качество очистки и высокая энергоэффективность реактора обеспечивается, в том числе за счет удаления азота через нитрит.
2. *Илоразделение в аэротенке-осветлителе* осуществляется за счет самообновляющегося взвешенного слоя активного ила. Высокая эффективность данного элемента концепции достигается за счет конструктивных особенностей организации зон реакции и илоразделения в сооружении, что позволяет совместить их [7].
3. *Удаление соединений фосфора* в данной технологии осуществляется комбинированным биологическим и химическим способом. Для конструктивной реализации данного метода перед эрлифтным биоректором по ходу движения сточной жидкости устраивается анаэробный реактор с перемешиванием. В данный реактор осуществляется также подача активного ила из основного реактора. Здесь в анаэробных условиях производится культивирование фосфор-аккумулирующих микроорганизмов (РАО).
4. Для сброса очищенных сточных вод в водные объекты 1-ой и 2-ой категории, при производительности более 20 000 м^3/сут, а также при сбросе в водоемы 1-ой категории при производительности 200 – 20 000 м^3/сут, эрлифтный аэротенк-отстойник не обеспечивает необходимого качества очистки по взвешенным веществам, и, соответственно, по БПК. Для таких случаев применения технологии концепция предусматривает устройство *доочистки сточных вод на фильтрующей загрузке* из дробленого антрацита.
5. Концепция предлагает в качестве *обработки осадка технологию аэробной минерализации* в сооружениях с затопленной эрлифтной системой аэрации. Надиловая вода при этом обрабатывается реагентом для удаления соединений фосфора с последующим отстаиванием и (в зависимости от применяемого реагента) фильтрованием на зернистых фильтрах.

В привязке к характеристикам наилучших доступных технологий, конструктивные элементы технологии (БОСЭБ) приведены в таблице.

Концепция технологии БОСЭБ предусматривает конкретный набор сооружений для каждой из существующих категорий станции очистки

городских сточных вод по производительности и для каждой категории водоема, куда осуществляется сброс.

Экономическое преимущество нитри-денитрификации через нитрит в технологии БОСЭБ согласно уже апробированным и внедренным решениям заключается в снижении затрат на электроэнергию для аэрации и перекачивания жидкости и составляет 18 – 25 % в зависимости от производительности станции очистки. [8]

Возможность реконструкции существующих сооружений до конструктивного исполнения технологии БОСЭБ проработана для Макеевских, Донецких очистных сооружений, очистных сооружений п.г.т. Новый Свет Старобешевского района, где была внедрена. [8]

Таблица 1. **Конструктивные элементы технологии БОСЭБ**

Технологический блок БОСЭБ	Производительность станции, м³/сут						
	200–2 000		2 000–20 000		более 20 000		
	Сброс в водоемы категории						
	1	2	1	2	1	2	3
Механическая очистка (решетки, песколовки)	+	+	+	+	+	+	+
Анаэробный реактор культивирования РАО	+	–	+	+	+	+	+
Эрлифтный биореактор-осветлитель	+	+	+	+	+	+	+
Доочистка фильтрованием на дробленом антраците	+	-	+	+	+	+	–
Аэробная минерализация осадка	+	+	+	+	+	+	+
Реагентная обработка минерализованной части	+	–	+	+	+	+	+
Фильтрование воды отделенной от осадка	+	–	+	+	+	+	–

Проекты реконструкции действующих сооружений характеризуются использованием 60 – 70 % емкостных мощностей действующих станций с выводом остальных сооружений в резерв либо на консервацию, что соответствует требованиям производства работ на действующем предприятии.

ВЫВОДЫ

1. Представлена концепция биологической очистки городских сточных вод в сооружениях с эрлифтными биореакторами (БОСЭБ), которая обеспечивает качество воды для сброса в водоемы любой категории на уровне НДТ по ИТС 10-2015 и выше.
2. Реализация технологии БОСЭБ возможна на действующих станциях очистки городских сточных без остановки предприятия, характеризуется минимальными капитальными затратами на реконструкцию сооружений при последующем снижении эксплуатационных затрат.

ЛИТЕРАТУРА

1. Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений городских округов: ИТС 10-2015 [Электронный ресурс] / Электронный фонд правовой и нормативной технической документации – 01.07.2016. – Режим доступа: http://docs.cntd.ru/document/1200128670 - частичный.
2. Березин С.Е., Баженов В.И., Черненко А.В. Обоснование выбора технологического оборудования по очистке сточных вод // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. 2014. № 2. С. 48–58.
3. Серпокрылов Н.С., Вильсон Е.В. К вопросу о статусе справочника по НДТ в разделе «Очистка городских сточных вод» // Строительство и архитектура. 2015. С. 55–58.
4. Юрченко В.А., Смирнов А.В., Бахарева А.Ю. Влияние редокс потенциала среды на миграцию фосфора в иловой смеси // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2015. №. 6 (6). С. 78–84.
5. Нездойминов В.И., Заворотный Д.В. Аэротенк отстойник с обновляющимся взвешенным слоем //Вестник ДонНАСА. Вып. 5(121). 2016. С. 15–18.
6. Нездойминов В.И., Рожков В.С. Гидродинамическая модель работы аэротенка с затопленной эрлифтной системой аэрации // Коммунальное хозяйство городов. 2010. № 93. С. 353–358.
7. Нездойминов В.И., Заворотный Д.В., Рожков В.С. Процессы осветления иловой смеси во взвешенном слое в сооружениях с эрлифтной системой аэрации // Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2018»: материалы X-юбилейной Межд. науч.-практ. конф.; г. Астрахань, 5–6 октября 2017 г. / Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т. (НПИ) имени М.И.Платова – Новочеркасск: Лик, 2017. С.268–271.
8. Нездойминов В.И. Одноиловая нитрификация денитрификация в биологических реакторах с затопленной эрлифтной системой аэрации // дисс. … докт. техн. наук. Макеевка: ДонНАСА, 2012. 280с.

УДК 628.35.52

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЛОКАЛЬНОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПРОИЗВОДСТВА ПОДСОЛНЕЧНОГО МАСЛА

Н.С. Серпокрылов, А.С. Смоляниченко, Е.В. Яковлева, Г.С. Хачатурян
Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Россия

В данной статье предложено решение актуальной проблемы очистки масло-, жиросодержащих сточных вод. Предложен фазовый сепаратор дисперсий для предварительной очистки производственных сточных вод, загрязненных жирами, проверена эффективность его работы при очистке сточных вод на локальных очистных сооружениях промышленного предприятия по производству подсолнечного масла.

В рамках импортозамещения актуальнее встает вопрос об очистке промышленных сточных вод (ПСВ) и утилизации отходов. Ухудшающаяся экологическая ситуация вынуждает ужесточать требования к сбросу отходов и сточных вод предприятий.

Для достижения предъявляемых требований требуется поиск и разработка наиболее эффективных решений в области очистки ПСВ.

Решением этой задачи для уже построенных локальных очистных сооружений предприятий (ЛОС), но неудовлетворяющих требованиям сброса сточных вод в системы канализации, является их ретехнологизация [1].

Исследования проводились в лабораторных и опытно-промышленных условиях на реальных сточных водах предприятия по производству растительного масла в Ростовской области, контроль велся по таким параметрам, как: взвешенные вещества, жиры, pH. Анализ отобранных проб проводился в аккредитованной лаборатории.

Образующиеся в технологических процессах сточные воды предприятия, в основном, содержат жиры (до 30 000 мг/л) и взвешенные вещества (до 25 000 мг/л), pH находится в пределах 6,0 – 8,8.

Производительность станции очистки около 7 000 м^3/сут, максимальный часовой расход составляет 475 м^3/ч.

На ЛОС применена технология физико-химической очистки ПСВ с использованием пневматического флотатора, горизонтального отстойника с блоком тонкослойных модулей, резервуара осветленной воды, вертикальных отстойников, ершовых фильтров и реагентного хозяйства, в состав которого входят растворный/расходный бак и система дозирования. Опытным путем установлено время пребывания сточной жидкости в каждом сооружении и в трубопроводах, которое составляет 120 –125 минут [2].

В настоящее время качество очищенных сточных вод на ЛОС не соответствует установленным временно допустимым концентрациям загрязняющих веществ (ВДК) приема в городскую сеть водоотведения [3]. Это приводит к повышенной плате за сброс загрязнений, а также (при залповых сбросах) к отравлению активного ила на городской станции аэрации и выводу на 1 – 1,5 месяца аэротенков из режима работы.

Мачигиным В.С. предложена классификация жировых и сопутствующих примесей в жиросодержащих сточных водах (ЖСВ) [4], развивающая известную классификацию академика Кульского Л.А. [5]. В основу ее положено понятие о фазовом состоянии вещества в водной среде, которое, в известной степени, определяется его дисперсностью.

ЖСВ включает в себя все четыре группы примесей и представляют собой сложную многокомпонентную полидисперсную систему, содержащую крупные и мелкие взвешенные вещества, коллоидно-, молекулярно- и ионорастворимые вещества. Такой порядок групп с повышающейся дисперсностью предполагает последовательность этапов очистки и в первую очередь – удаление грубодисперсных примесей и коллоидных частиц. Таким образом, удалив первую группу частиц отстаиванием или безреагентной флотацией, а вторую – ультрафильтрацией, можно выйти в большинстве случаев очистки ЖСВ на концентрацию жировых веществ, соответствующую нормативным показателям.

Данный подход реализован в установке для предварительной очистки сточных вод, содержащих дисперсные загрязнения в виде твердой, жидкой и газообразной фаз или их комбинаций, предложен фазовый сепаратор дисперсий (ФСД) [6].

Фазовый сепаратор (рис.) представляет собой прямоугольный резервуар, разделенный перегородками на последовательно связанные отделения: гидрофобного фильтра, аэрации, отстойника с коалесцентным фильтром на входе с выделенной камерой смешения сточных вод с раствором реагента и хлопьеобразования и регулируемыми тонкослойными модулями.

В ФСД (рис.) подается сточная вода, содержащая загрязнения в виде суспендированных, эмульгированных и газообразных примесей (взвешенных веществ, масел, нефтепродуктов, жиров, сероводорода и др.).

Коалесцентный фильтр узла грубой очистки формируется из плавающего слоя гидрофобных очищаемых загрязнений сточных вод. Эмульгированные (жидкие) загрязнения сточных вод, находящиеся в дисперсном состоянии, проходя через слой одноименных загрязнений, имеющих одинаковое поверхностное натяжение, укрупняются и, в основной массе, коалесцируют, т.е. переходят из дисперсного состояния в объем. Прирост (избыток) гидрофобного слоя коалесцентного фильтра отводится.

В камере хлопьеобразования происходит образование коллоидных частиц коагулянта, сорбирующих взвешенные загрязнения, и с подачей воздуха через мелкодисперсный аэратор газообразные примеси отдуваются в зону выделения, сбора, отведения и очистки газовых примесей сточных вод. Выделившиеся из сточных вод газообразные примеси (сероводород, меркаптаны, аммиак т.п.) отводятся на узел очистки газовых примесей.

Освобожденная от газовых примесей сточная вода со сформировавшимися хлопьями из узла средней очистки поступает в узел тонкой очистки. Тонкослойные модули смонтированы по противоточной схеме: с нисходящим потоком для выделения дисперсных загрязнений плотностью меньше 1 и с восходящим потоком для выделения дисперсных загрязнений плотностью больше 1.

Для проведения исследований режима работы ФСД была изготовлена опытно-промышленная установка, представляющая собой модель фазового сепаратора размером (L x B x H = 2.4 x 0,4 x 2,7) м. Были предусмотрены пробоотборники, позволяющие вести контроль качества очистки вод при прохождении каждого отделения ФСД, в т.ч. и по высоте установки. В качестве реагентов применялись «АКВА-АУРАТ™30» (АУ) и СКИФ.

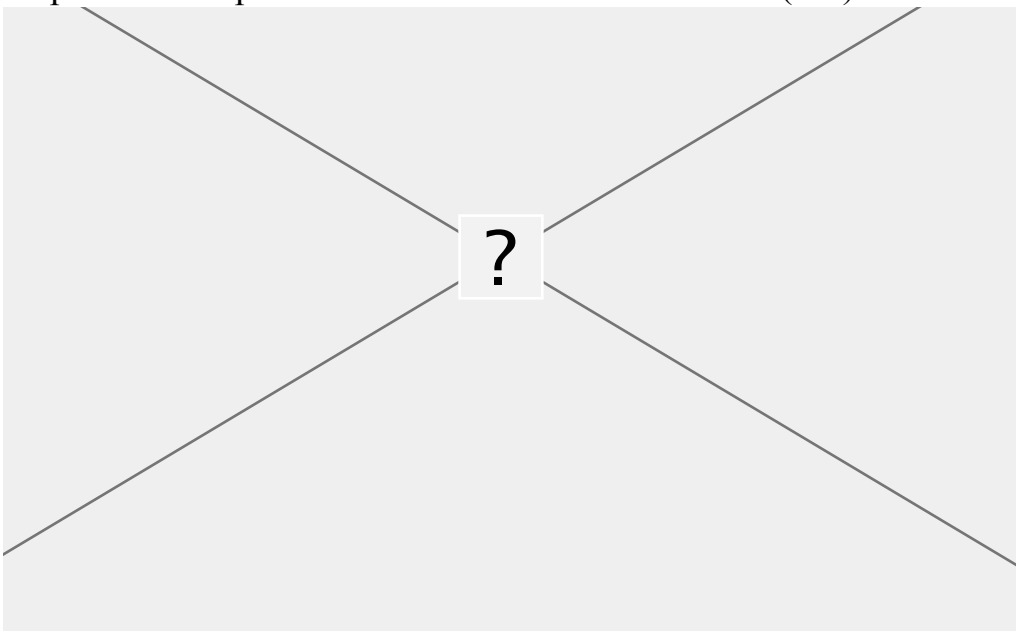


Рисунок. **Фазовый сепаратор дисперсий для очистки сточных вод:**
1 – резервуар в виде емкости с наклонным днищем; 2 – узел грубой очистки; 3 – узел средней очистки; 4 – узел тонкой очистки; 5 – трубопроводы подачи и распределения сточных вод; 6 – трубопровод отвода сточных вод; 7 – трубопроводы сбора и отвода плавающих загрязнений; 8, 9 – трубопровод сбора и отвода оседающих загрязнений; 10, 11 – зоны выделения, сбора, отведения и очистки газовых примесей сточных вод; 12 – камера смешения; 13 – коалесцентный фильтр узла грубой очистки; 14 – коалесцентный фильтр узла средней очистки; 15 – вертикальная не доходящая до дна перегородка; 16, 17 – зоны нисходящего и восходящего потока сточных вод;

18 – подвижные в вертикальной плоскости тонкослойные модули; 19 – шарнирная опора тонкослойных модулей; 20 – гибкие разделительные фартуки; 21, 22 – отверстия и стержни в фартуках; 23 – трубопроводы промывки тонкослойных модулей; 24 – трубопровод подачи реагентов; 25 – камера хлопьеобразования; 26 – трубопровод отвода шламов; 27 – рециркуляционный трубопровод подачи промывной жидкости на тонкослойные модули; 28 – трубопровод подачи воздуха; 29 – мелкодисперсный аэратор; 30 – поворотный привод тонкослойных модулей

При очистке жиросодержащих сточных вод ФСД располагался в производственном корпусе ЛОС промышленного предприятия. Подача сточных вод осуществлялась из приемного резервуара одновременно на существующие жироловушки и на ФСД расходом 0.55 – 0.95 м^3/час.

Исследованы следующие режимы работы ФСД: 1 – подача сточных вод без реагентов, с аэрацией, начальный угол наклона тонкослойных модулей (ТМ) 60°; 2 – то же по по п. 3, с изменением угла ТМ, доза АУ – 60 мг/л.

Пробы на анализ из верхней (В) и нижней (Н) части зоны аэрации ФСД отбирались через вентили (рис.), а также на выходе из установки. Усредненные показатели лучших по эффективности очистки ПСВ режимов представлены в таблице.

Таблица 1. **Показатели предварительной очистки жиросодержащих сточных вод на ФСД**

Технология очистки, точка отбора проб	Жиры, мг/л	Взвещенные вещества, мг/л	pH
Режим 2, В	179	516	7
Режим 2, Н	228	778	7
Режим 2, средняя проба	284	432	7
Режим 1, выход	107	312	7
Режим 1, аэрация, АУ, выход	244	470	7
Режим 1, аэрация, СКИФ, выход	198	214	7

Примечание: исходные концентрации, мг/л: жиры – 12560; взвешенные вещества – 984, pH – 6.8.

Результаты исследований показывают высокую эффективность предварительной очистки жиросодержащих сточных вод на ФСД, а также на необходимость заглубленного отбора воды.

В ходе проведенных испытаний была подтверждена эффективность коалесценции жиров в гидрофобном фильтре на входе в установку.

ВЫВОДЫ

Оценивая результаты эффективности работы фазового сепаратора при предварительной очистке ПСВ, загрязненных жирами, можно сделать вывод о том, что данный аппарат может быть рекомендован в качестве узла предварительного выделения дисперсных жидких и твердых примесей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мешенгиссер Ю.М. Ретехнологизация сооружений очистки сточных вод / Ю.М. Мешенгиссер. – М.: ООО «Издательский дом «Вокруг цвета», 2012. 211 с.
2. Марочкин А.А., Толмачев В.В., Щербаков С.А., Спиридонова Л.Г., Лесников И.И. Опытно-промышленные исследования режима работы фазового сепаратора при очистке некоторых производственных сточных вод // Технология очистки воды «ТЕХНОВОД-2008»: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф., г. Калуга, 26 – 29 февр. 2008 г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. (НПИ). Новочеркасск: «ОНИКС+», 2008. С. 209–213.
3. ПОСТАНОВЛЕНИЕ от 02 марта 2017 г. N 154 «Об утверждении условий приема загрязняющих веществ в сточных водах, отводимых абонентами в системы канализации города Ростова-на-Дону».
4. Мачигин В.С. Очистка жиросодержащих сточных вод методами ультрафильтрации и огневого обезвреживания: автореф. дис. … докт. техн. наук: 05.18.06, 05.23.04 / Мачигин Валерий Сергеевич. – Санкт-Петербург, 2006. 57 с.
5. Кульский Л.А. Проектирование и расчет очистных сооружений водопроводов [Текст] / Л.А. Кульский, М.Н. Булава, И.Т. Гороновский, П.И. Смирнов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Киев: «Будівельник», 1972. 424 с.
6. Установка для очистки сточных вод – фазовый сепаратор дисперсий Патент РФ № 75650 на полезную модель от 05. 2008 г. Серпокрылов Николай Сергеевич (RU) Марочкин Алексей Александрович (RU) Толмачев Владимир Владимирович (RU) Толмачев Олег Владимирович (RU) Кулик Иван Анатольевич (RU) Щербаков Сергей Александрович (RU).

УДК 628.166

ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО ОЧИСТКЕ И УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЭЛЕКТРОЛИЗНОГО ГИПОХЛОРИТА НАТРИЯ

А.Ю. Скрябин
Законодательное собрание Ростовской области, г. Ростов-на-Дону, Россия
Л.Н. Фесенко
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия
Нгуен Тхи Туан Зъеп
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия
г. Куань Винь, Социалистическая республика Вьетнам
С.И. Игнатенко, А.В. Маликова
ООО НПП «ЭКОФЕС», г. Новочеркасск, Россия

Рассмотрены проблемы утилизации и повторного использования отходов от электролизного производства гипохлорита натрия на водоочистных сооружениях. Рекомендованы новые технологические решения по обеспечению экологической безопасности и безотходности при крупнотоннажном производстве гипохлорита натрия из водных растворов поваренной пищевой соли.

Обеззараживание питьевой воды является обязательным этапом перед подачей ее потребителям в разводящую сеть. В большинстве случаев санитарно-эпидемиологическая безопасность воды обеспечивается ее хлорированием, которое продолжает оставаться самым распространенным в мире способом дезинфекции воды в силу своей санитарно-гигиенической надежности, пролонгированности бактерицидного действия, относительной простоты и экономичности. Однако использование жидкого хлора связано с проблемой безопасности его транспортировки через населенные территории и хранения многотонных запасов на водоочистных станциях, многие из которых уже находятся в черте расширяющейся городской застройки. Мировой опыт научного поиска менее опасного дезинфектанта, сочетающего положительные качества хлорирования и отсутствие его недостатков, привел к заключению о перспективности и экономической целесообразности применения хлорсодержащего продукта – гипохлорита натрия (ГХН), получаемого на месте потребления методом безмембранного электролиза водного раствора поваренной (пищевой) соли.

Электролизные установки для получения низкоконцентрированного (0,8 % или 8 г/л по эквиваленту хлора) ГХН без разделения электродных продуктов сульфакатионной мембраной или диафрагмой находят все более

широкое практическое применение, постоянно совершенствуясь и модернизируясь в направлении эколого-экономических показателей технологического процесса.

До некоторого времени сдерживающим фактором развития отечественных установок по получению ГХН являлась их невысокая производительность по вырабатываемому продукту (активному хлору). В этой связи водоочистные станции крупных городов столкнулись с дилеммой: либо установка нескольких десятков параллельно работающих мелких (до 100 кг/сут по эквиваленту хлора) электролизеров, либо приобретение более производительных единичных импортных дорогостоящих аппаратов. В России самые мощные электролизные установки работают в г. Санкт-Петербурге (Водопроводные станции «Северная» – 3,5 т и «Южная» – 4,5 т по эквиваленту хлора в сутки производства фирмы «NEWTEC»); г. Архангельск – 6 электролизеров «GRUNDFOS/ALLDOS» производительностью 156 кг/сут по эквиваленту хлора каждый; г. Иваново – 2 установки «GRUNDFOS» по 680 кг/сут; г. Набережные Челны – 2 электролизера НСТ-1500 по 680 кг/сут производства Severn Trent De Nora.

Однако, начиная с 2008 г., уже и российский производитель (ООО НПП «ЭКОФЕС», г. Новочеркасск) в жесткой конкурентной борьбе начал осваивать рынок электролизных установок многотоннажного производства низкоконцентрированного гипохлорита натрия на крупных станциях подготовки питьевой воды. Первой такой отечественной электролизной станцией (на то время второй в России по мощности после Санкт-Петербурга), запроектированной, оборудованной электролизерами собственного производства, смонтированной и пущенной в эксплуатацию ООО НПП «ЭКОФЕС» в декабре 2008 г. на очистных сооружениях Центрального водопровода г. Ростова-на-Дону стал блок обеззараживания питьевой воды с 4 установками марки «ХЛОРЭФС» УГ-25МК-250 производительностью 250 кг/сут по активному хлору каждая.

Поскольку тенденция последующего развития производства электролизных станций (установок) была направлена на увеличение их мощности, то при согласовании проектной документации такие ведомства, как: Управление государственной вневедомственной экспертизы, Федеральная служба по экологическому надзору, Росприроднадзор и др. требуют включения в общую технологическую схему получения ГХН и узлов очистки с повторным использованием производственных отходов и сточных вод (с выводом из материального баланса, обезвоживанием и утилизацией нерастворимой фазы), образующихся при:

- кондиционировании воды (умягчении или декарбонизации), используемой для растворения соли;
- промывке сатураторов (солерастворителей);
- кислотной промывке электролизеров от катодных отложений;

- промывке песчаных фильтров тонкой очистки насыщенного солевого раствора и отстоянной возвратной воды от промывки сатураторов с сооружений повторного использования.

Вопросы экологической безопасности впервые были полностью решены на самой мощной в России (и второй в мире после электролизной на водоочистных сооружениях в Лас-Вегасе производительностью 8 т активного хлора в сутки) электролизной станции (7 т/сут по активному хлору, рис. 1) на Александровских ВОС г. Ростова-на-Дону, пущенной в работу в августе 2015 г. Во-первых, для исключения образования стоков от Na-катионитового умягчения (около 200 $м^3$/сут отработанных взрыхляющих, регенерационных и отмывочных вод), взамен умягчения воды ООО НПП «ЭКОФЕС» была принята полностью безотходная и экологически чистая декарбонизация 3 %-ного солевого раствора путем его подкисления соляной кислотой до pH = 4,0 – 4,2 (при этом бикарбонат- и карбонат-ионы полностью переходят в CO_2) и последующей отдувкой углекислого газа в пленочном дегазаторе с насадкой из колец Паля (остаточное CO_2 не более 3 – 4 мг/л, рис. 2).

Во-вторых, проблема использования низкосортной соли (в зарубежных аналогах только дорогостоящая соль не ниже марки «Экстра») решена применением сатуратора, оборудованного системой водо-воздушной промывки (по типу скорых водопроводных фильтров).

Приготовление насыщенного раствора соли производится фильтрованием водопроводной воды через неподвижный слой поваренной соли, загружаемой периодически в сатуратор на гравийную подложку (поддерживающий слой), внутри которой расположена трубчатая дренажная распределительная система. Насыщение воды солью происходит в режиме медленной фильтрации (0,1 – 0,5 м/ч), частицы глины, песка и другие нерастворимые примеси, поступающие с досыпаемой в сатуратор солью, постепенно накапливаются в фильтрующем слое и должны из него периодически удаляться. Частота промывок сатуратора зависит от качества применяемой соли, в частности от массовой доли в ней нерастворимого в воде остатка. Для соли марки «Экстра» эта доля составляет до 0,03 %; для высшего сорта – до 0,16 % и первого – до 0,45 %.

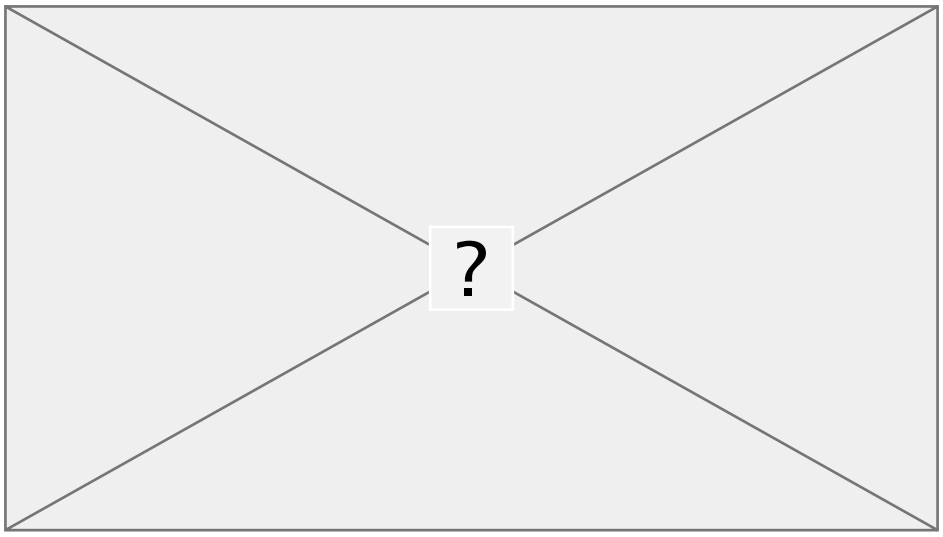


Рисунок 1. **Электролизная станция на Александровских ОСВ с семью установками «ХЛОРЭФС» производительностью 7 т/сут по эквиваленту хлора для обеззараживания питьевой воды г. Ростова-на-Дону**

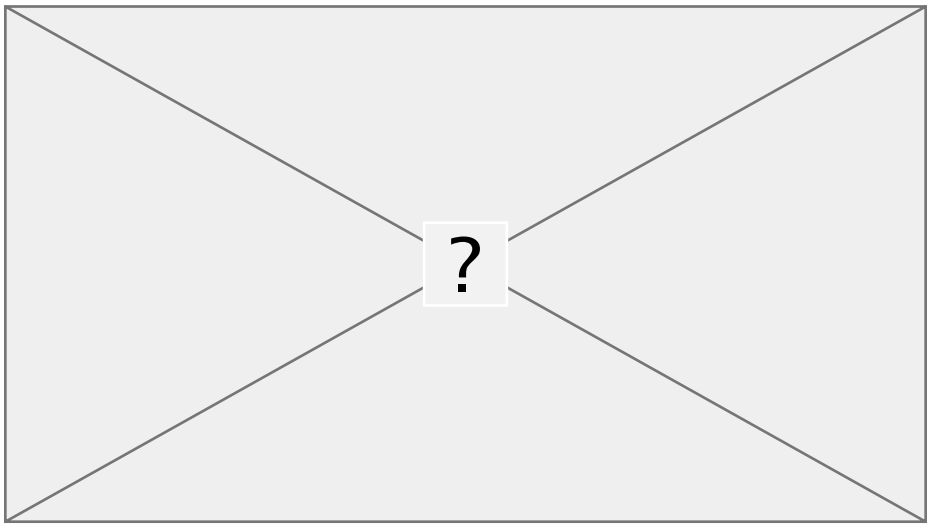


Рисунок 2. **Узел кислотной декарбонизации рабочего солевого раствора на Александровских ОСВ г. Ростова-на-Дону**

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. Технологическая схема очистки и повторного использования промывной воды солерастворителя представлена на рисунке 3.

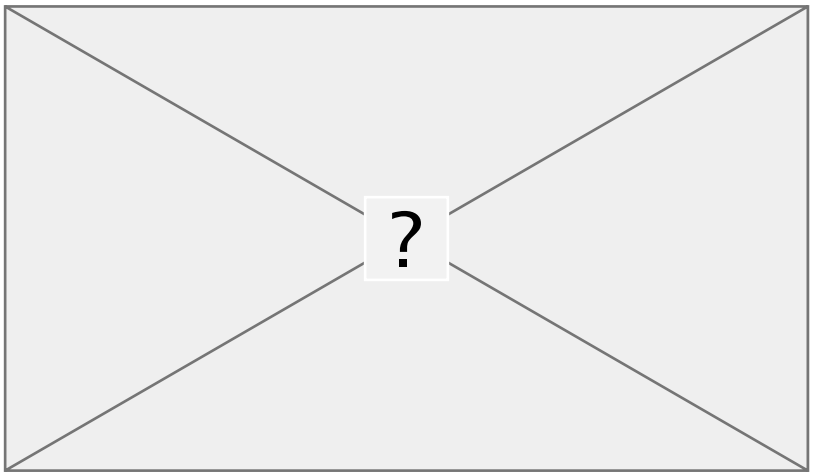


Рисунок 3. **Технологическая схема очистки и повторного использования промывной воды солерастворителя в установках «ХЛОРЭФС»:**
1 – механический фильтр; 2 – отстойник; 3 – пескомоечный аппарат; 4 – песковая пульпа; 5 – песколовка; 6 – солерастворитель

Отстойник промывных вод конструктивно представляет собой горизонтально расположенную прямоугольную 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. 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 (до 100 г/л).

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. Промывка осуществляется вручную оператором 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. Скорее всего, они подлежат сбросу в канализацию ВОС, что в принципе недопустимо.

В технологии электролизной станции на очистных сооружениях Александровского водопровода г. Ростова-на-Дону предусмотрено стационарно установленное кислотное хозяйство с подачей через заданный временной интервал (100 – 200 ч) в автоматическом режиме 5 – 7 % раствора HCl отдельно на каждый из семи установленных электролизеров, что исключает «человеческий» фактор при принятии оператором решения о необходимости промывки. 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).

Следует также отметить, что 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 (ОИРТА) с гарантийным сроком эксплуатации металлооксидного покрытия 2 – 3 года), что вызывает серьезные финансовые проблемы и некоторую неуверенность у импортоприобретателей, особенно обострившуюся в сегодняшних условиях нарастающих санкций со стороны стран Евросоюза.

Именно с такой ситуацией пришлось столкнуться одному из крупнейших российских водоканалов, на водоочистных станциях которого в течение 3-х лет эксплуатируется 6 электролизных установок «GRUNDFOS/ALLDOS» производительностью 156 кг/сут по эквиваленту хлора каждая. Выработка срока службы анодного покрытия ОРТА и связанное с этим резкое снижение концентрации вырабатываемого гипохлорита натрия потребовало срочной замены пакета электродных пластин особой конструкции, приобретение и монтаж которых в

электролизные аппараты фирма-производитель оценила в десятки миллионов рублей. В итоге монопольную ситуацию на рынке комплектующих материалов к импортным электролизерам пришлось исправлять отечественному производителю, среди которых далеко не каждый способен обеспечить адекватную замену. В частности для МУП «Водоканал» Муниципального образования «Город Архангельск» ООО НПП «ЭКОФЕС» (г. Новочеркасск) изготовило, смонтировало и в начале июля 2016 г. запустило в эксплуатацию четыре электролизных модуля с анодами ОИРТА собственного производства по 150 кг/сут. по активному хлору каждый взамен вышедшим из строя аппаратам «GRUNDFOS/ALLDOS» (рис. 4). Как показала эксплуатация, установленные электролизеры по основным технологическим показателям не уступают ранее действующим импортным аналогам.

В числе крупных отечественных электролизных станций с очисткой и утилизацией всех отходов производства ГХН в 2018 г. смонтированы и подготовлены к пусконаладочным работам еще пять установок производства «ЭКОФЕС» по 500 кг/сут каждая на водозаборе из р. Дон,

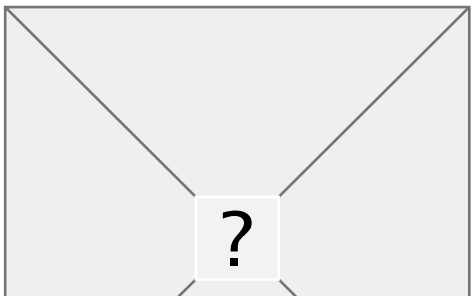


Рисунок 4. **Четыре электролизера «Хлорэфс» взамен вышедшим из строя «GRUNDFOS/ALLDOS» производительностью 150 кг хлора в сутки каждый**

(рис. 5), и Левенцовских ВОС (рис. 6), вновь построенных с подачей 150 тыс. м^3/сут питьевой воды для нужд г. Ростова-на-Дону; электролизная станция производительностью 2000 кг/сут э.а.х. на Краснооктябрьских ВОС г. Волгограда (200 тыс. м^3/сут питьевой воды), введенная в эксплуатацию в преддверии Чемпионата мира-2018 по футболу в России (рис. 7); в июле 2018 г. введена в эксплуатацию крупнейшая в Сибири электролизная станция на водозаборе г. Якутска (120 тыс. м^3/сут питьевой воды) производительностью 1500 кг/сут э.а.х. (рис. 8).

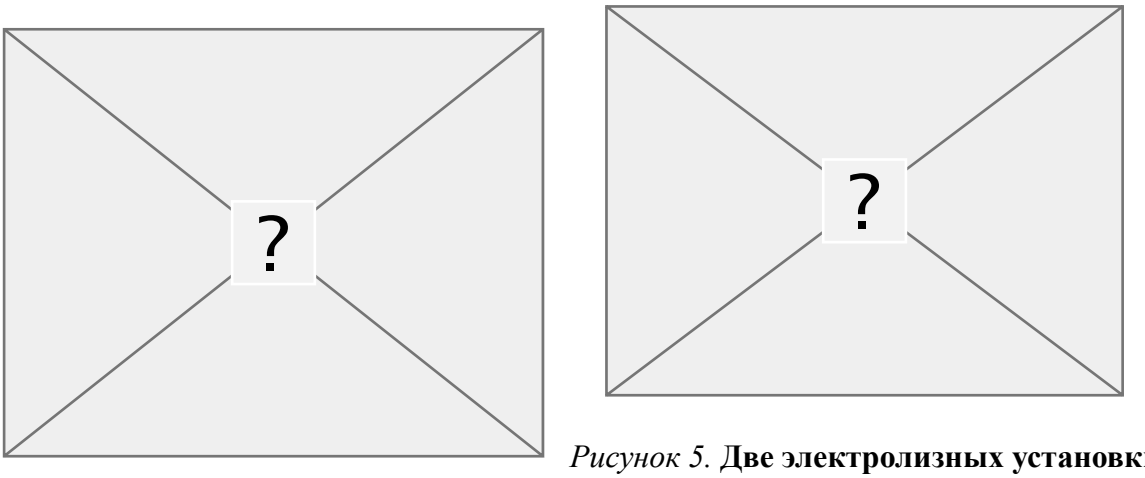


Рисунок 5. **Две электролизных установки «ХЛОРЭФС» по 500 кг/сут каждая на водозаборе из р. Дон**

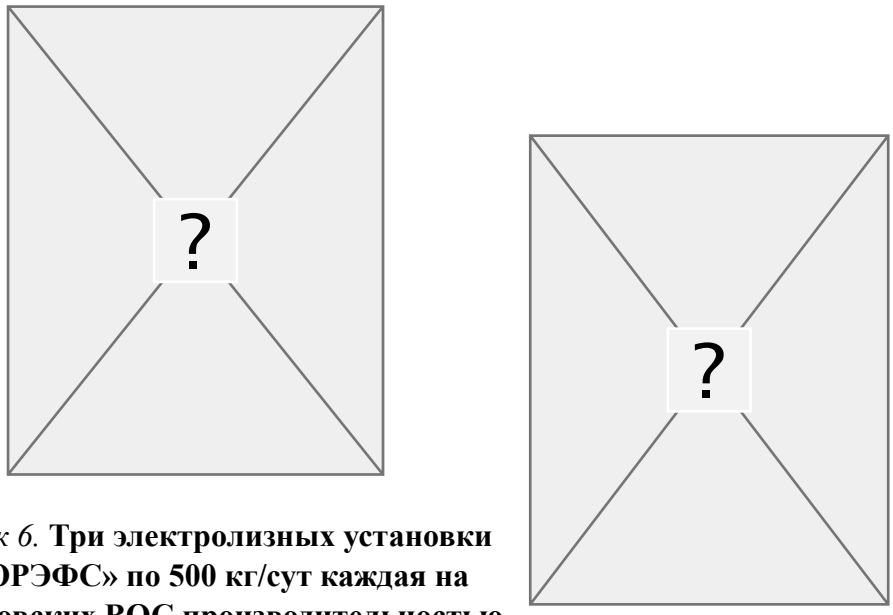
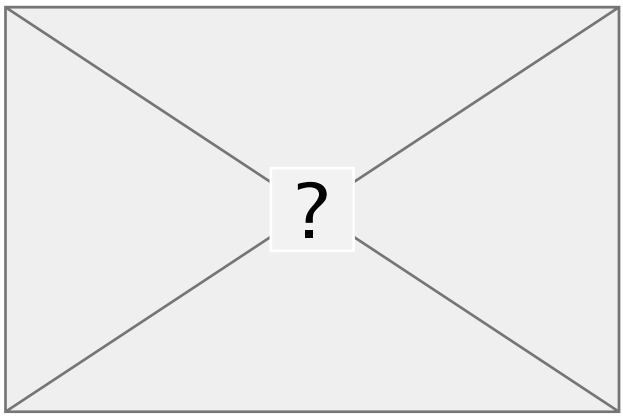


Рисунок 6. **Три электролизных установки «ХЛОРЭФС» по 500 кг/сут каждая на Левенцовских ВОС производительностью 150 тыс. м^3/сут питьевой воды для нужд**



г. Ростова-на-Дону

Рисунок 7. **Электролизная станция «ХЛОРЭФС» производительностью 2000 кг/сут э.а.х. на Краснооктябрьских ВОС г. Волгограда**

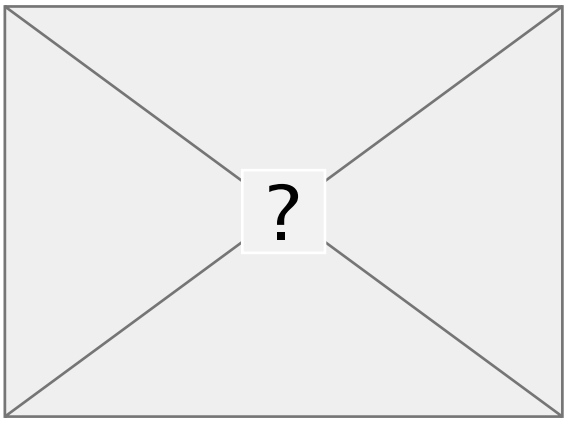


Рисунок 8. **Монтаж электролизной станция «ХЛОРЭФС» производительностью 1500 кг/сут э.а.х. на водозаборе г. Якутска**

ВЫВОДЫ

1. Тенденция дальнейшего развития электролизных станций в направлении увеличения их производительности по вырабатываемому активному хлору требует включения в общую технологическую схему производства гипохлорита натрия узлов очистки и повторного использования стоков, образующихся при кондиционировании воды, солерастворении и кислотной промывке электролизеров.
2. При кондиционировании воды более предпочтительна кислотная декарбонизация, при которой не образуются вторичные отходы, и используется любой сорт соли.
3. Применение низкосортной соли технологически реализуемо только при условии ее растворения в сатураторах, оборудованных системами подачи и отвода промывной воды.
4. Сооружения повторного использования промывных вод, включающие вертикальную песколовку, отстойник, пескоотмывочную машину и механические песчаные фильтры, позволяют возвратить в схему солерастворения практически всю воду от промывки сатуратора.

УДК 551.50

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСАДКОВ НА ОСНОВЕ НЕЛИНЕЙНОЙ АВТОРЕГРЕССИОННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

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

Статья посвящена применению искусственной нейронной сети в прогнозе среднемесячных дождевых осадков, для чего была предложена нелинейная авторегрессионная нейронная сеть (NAR) с четырьмя скрытыми слоями.

Точный прогноз среднемесячных количеств дождевых осадков играет важную и решающую роль в планировании и управлении водными ресурсами. Эта задача стала все более сложной из-за глобального потепления и изменения климата. Было разработано много моделей для прогноза количества дождевых осадков. Однако с появлением численных алгоритмов, в частности, моделей искусственной нейронной сети (ANN), прогнозирование осадков ведется достаточно эффективно и широко применяется во всем мире.

Искусственные нейронные сети (ANN) были использованы такими учеными, как С. Арагинежад, Дж. Кайорнрит, Н.С. Филипп, и т.д. для прогнозирования дождевых осадков [1–3]. По сравнению с другими статистическими методами, модели ANN дают более точные результаты и за меньшее время. Однако во Вьетнаме не все исследователи используют искусственную нейронную сеть для прогнозирования будущих значений дождевых осадков на основе только прошлых историй. Применение моделей ANN в области водных ресурсов еще нуждается в дальнейшем изучении, чтобы достичь эффективного управления и использования водными ресурсами.

Структура модели ANN состоит из трех групп, включая: входной слой, скрытый слой или слои и выходной слой. Нейронные сети могут быть динамическими и статическими. Первые нейронные сети характеризуются отсутствием обратной связи, и их выход напрямую рассчитывается с помощью исходных данных. В настоящее время разработаны новые модели ANN, такие как нелинейная авторегрессионная нейронная сеть (NAR) и модель нелинейной авторегрессии с экзогенными входами (NARX). В этих моделях, выходные (искомые) параметры зависят от текущих и прошлых значений входов, выходов и архитектуры сети. В этой статье, нелинейная авторегрессионная нейронная сеть (NAR) была применена для прогнозирования среднемесячных дождевых осадков.

Нелинейная авторегрессионная нейронная сеть (NAR) имеет следующий вид:

 , (1)

где: *y(t)* – вектор значений временных рядов; is the predicted output values at time *t*; *y*(*t*−1), *y*(*t*−2), . . . , *y*(*t*−*p*) – вектор предыдущих значений временных рядов; feedback delays; *f(...)* – нелинейная функция, аппроксимируемая нейронной сетью; *e(t)* – вектор случайных ошибок.

Данная нелинейная авторегрессионная нейронная сеть (NAR) была построена с использованием программного обеспечения MATLAB, чтобы прогнозировать среднемесячное количество дождевых осадков на реке Вуджа-Тхубон, Вьетнам.

Необходимо отметить, что фактические данные по количествам осадков за январь 1979 г. – декабрь 1998 г. были приняты для построения модели, а фактические данные за январь 1979 г. – май 1996 г. – для оценки точности прогнозируемых значений. Основной целью статьи является прогнозирование количества дождевых осадков до декабря 1999 г. На рисунке 1 показаны среднемесячные данные о дождевом стоке, собранные на станции Тханьми.

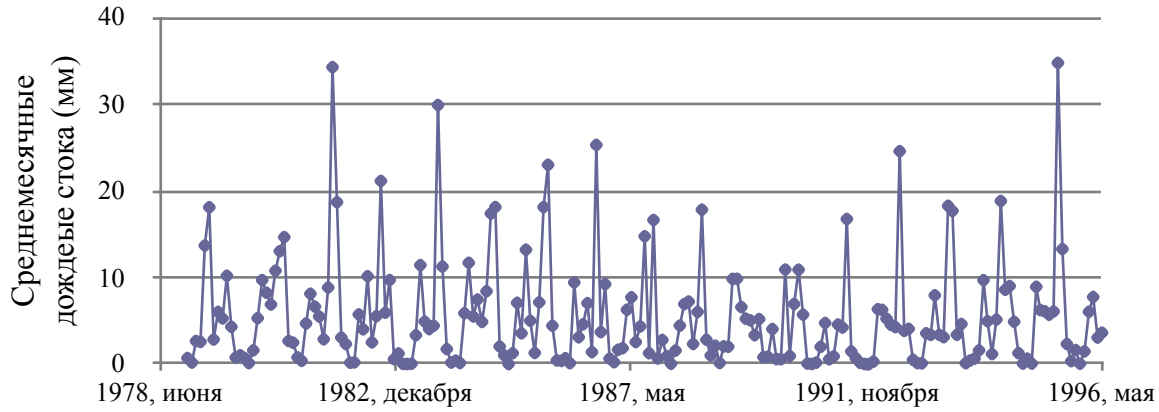
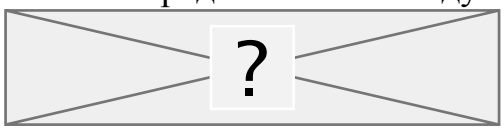


Рисунок 1. **Среднемесячные данные о дождевом стоке на станции Тханьми** (01/1979 - 12/1998)

Перед построением нейронной сети все входные данные были нормализованы в диапазоне от –1 до 1, используя функцию MAPMINMAX (рис. 2). Функция MAPMINMAX представлена в следующем виде:



(2)

где: x – входные данные, подлежащие нормализации; x_{max}, x_{min} – соответственно максимальное и минимальное значения входных данных; y – нормированные входные данные; y_{max},y_{min} – требуемые максимальное и минимальное значение нормируемых входных данных.

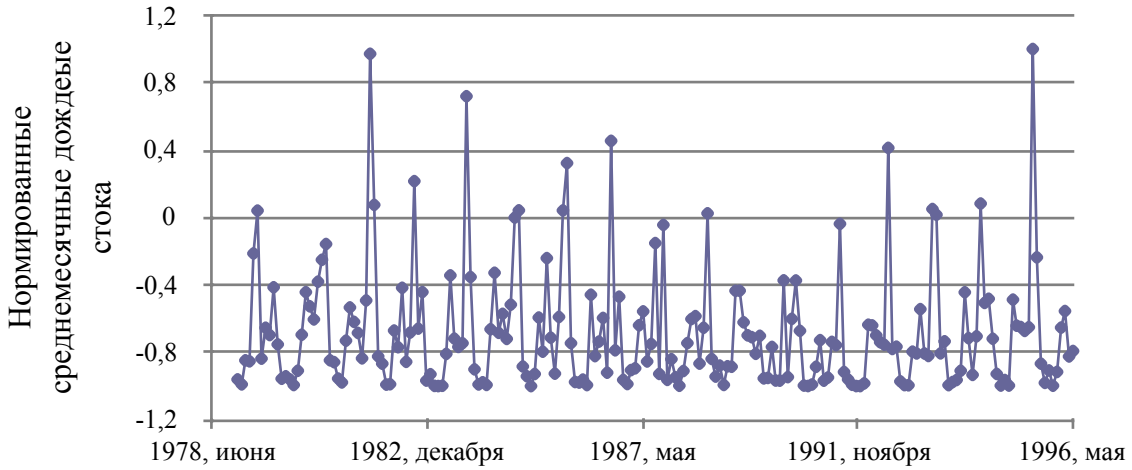


Рисунок 2. **Нормированные среднемесячные данные о дождевом стоке на станции Тханьми** (01/1979 – 12/1998)

После нормализации, входные данные делятся на три набора для обучения, проверки и тестирования модели. В качестве алгоритма обучения используется алгоритм Левенберга-Маквардта. Была построена нелинейная авторегрессионная нейронная сеть (NAR) с 4 скрытыми слоями с 10, 6, 2 и 1 нейронами на каждом слое.

Графики регрессии показаны на рисунке 3. Коэффициент регрессии составляет для: обучения, проверки, тестирования и всех данных соответственно 0,91; 0,94, 0,96 и 0,92 (рис. 3). Полученные результаты с высоким значением R указывают на оптимальную эффективность принятых нейронных сетей при прогнозировании среднемесячных дождевых осадков. Сравнение результатов наблюдений и по ANN моделью с 1979 по 1996 г. представлено на рисунке 4 для лучшей визуализации. Видно, что их тенденции почти совпадают, и никакого значительного скачка не наблюдается.

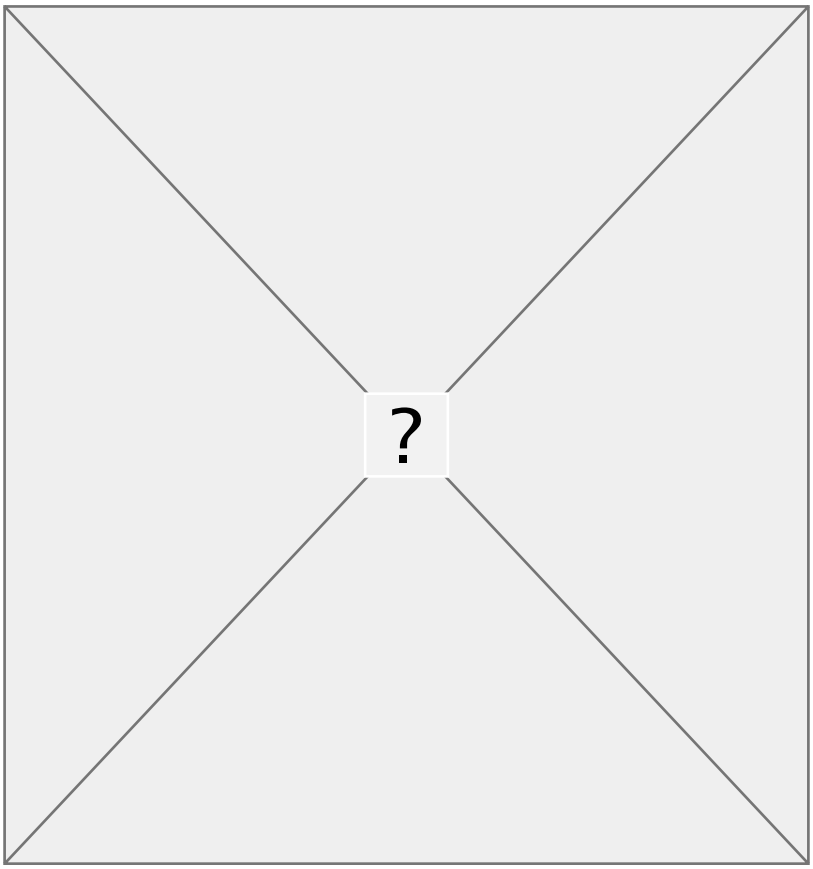


Рисунок 3. **Коэффициент регрессии**

Чтобы предсказать значения среднемесячных дождевых осадков в течение следующих 12 месяцев с использованием сети NAR, была использована замкнутая система. На рисунке 5 представлены прогнозируемые значения среднемесячных дождевых осадков за 12 месяцев вперед.

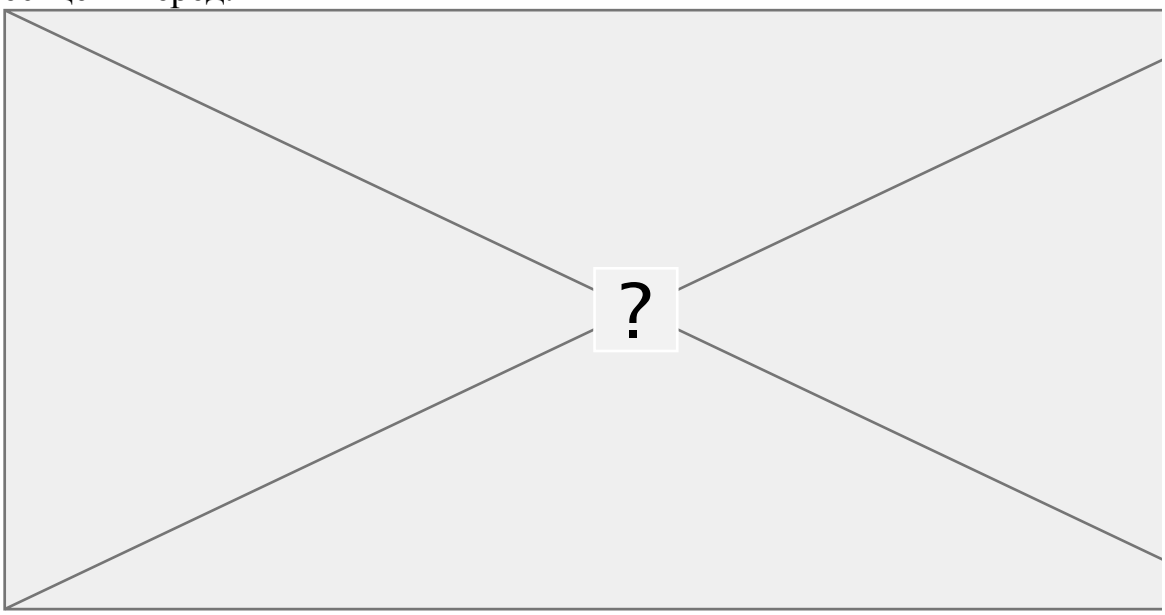


Рисунок 4. **Выходные и наблюдаемые значения**

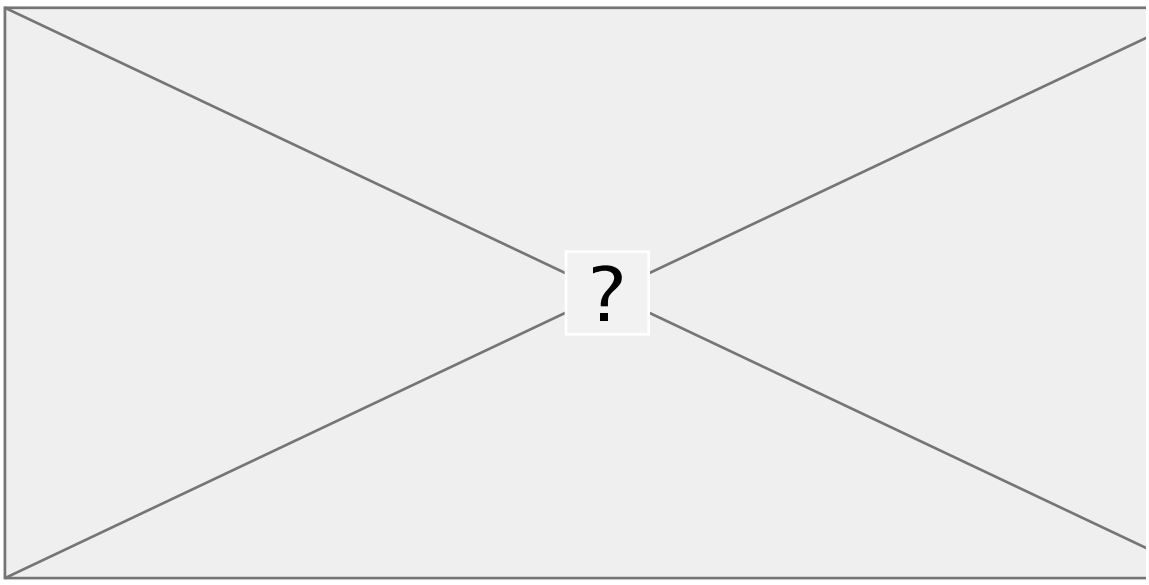


Рисунок 5. **Прогнозируемые значения среднемесячных дождевых осадков за 12 месяцев вперед**

Как видно из рисунка 5, будущие значения среднемесячных дождевых осадков можно заранее предсказать, используя выбранную модель нелинейных авторегрессионных нейронных сетей. На основе полученных результатов, можно сделать прогноз об угрозе наводнения, чтобы защитить населенные пункты и территории.

ВЫВОДЫ

Разработан алгоритм прогнозирования среднемесячных дождевых осадков на основе нелинейной авторегрессионой нейронной сети (NAR). Модель искусственных нейронных сетей (ANN), осуществленная в среде Matlab, обладает большими преимуществами по сравнению с другими подходами к моделированию, в том числе меньшими требованиями к входным данным и коротким временем разработки модели.

В результате моделирования показано, что при использовании нелинейной авторегрессионной нейронной сети (NAR) точность прогноза среднемесячных дождевых осадков составляет 92 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. S. Araghinejad, M. Azmi, M. Kholghi, Application of artificial neural network ensembles in probabilistic hydrological forecasting // Journal of Hydrology, 2011, vol. 407, pp. 94–104.
2. J. Kajornrit, K.W. Wong, C.C. Fung. A modular technique for monthly rainfall time series prediction. In Proceedings of IEEE 2013 Symposium on Computational Intelligence in Dynamic and Uncertain Environments, IEEE,

Singapore, 2013. pp. 76–83.
3. N.S. Philip, K.B. Joseph. A neural network tool for analyzing trends in rainfall. Computational Geoscience, 2003, vol. 29, no. 2, pp. 215–223.

УДК 628.35

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЯ В ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД

В.Ю. Белоусова
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург, Россия
Ю.А. Гаврилина
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия,

В данной работе представлены результаты исследования влияния освещения на эффективность работы и потребность в электроэнергии сооружений биологической очистки сточных вод.

В настоящее время все большей популярностью пользуется применение световой энергии в различных отраслях промышленности: от интенсификации процессов очистки сточных вод до культивирования микроорганизмов, которые могут служить как кормовой добавкой, так и элементами водоочистительных процессов.

Известен метод очистки сточных вод от трудноокисляемых органических соединений, включающий: реактор-смеситель, устройство сухого дозирования окислителя, насос, гальванокоагулятор. Отдельного внимания заслуживает блок для облучения воды естественным солнечным светом, состоящий из объединенных между собой кварцевых приемников излучения, каждый из которых помещен в фокус составного параболо-цилиндрического концентратора. Подобная форма концентратора-отражателя позволяет максимально сконцентрировать солнечное излучение на обрабатываемом потоке жидкости [1].

Много современных исследований посвящено использованию одноклеточных фотосинтезирующих организмов в биологии, сельском хозяйстве, космосе и защите окружающей среды, например, в качестве тест-образцов при биотестировании токсичности природных и сточных вод. Устройством для выращивания микроводорослей, чаще всего, служит фотобиореактор. Известна установка, состоящая из корпуса, кассеты с равномерно распределенными по окружности гнездами для светопрозрачных емкостей с микроводорослями, источник света и привод с электродвигателем для вращения кассеты (рис. 1) [2].

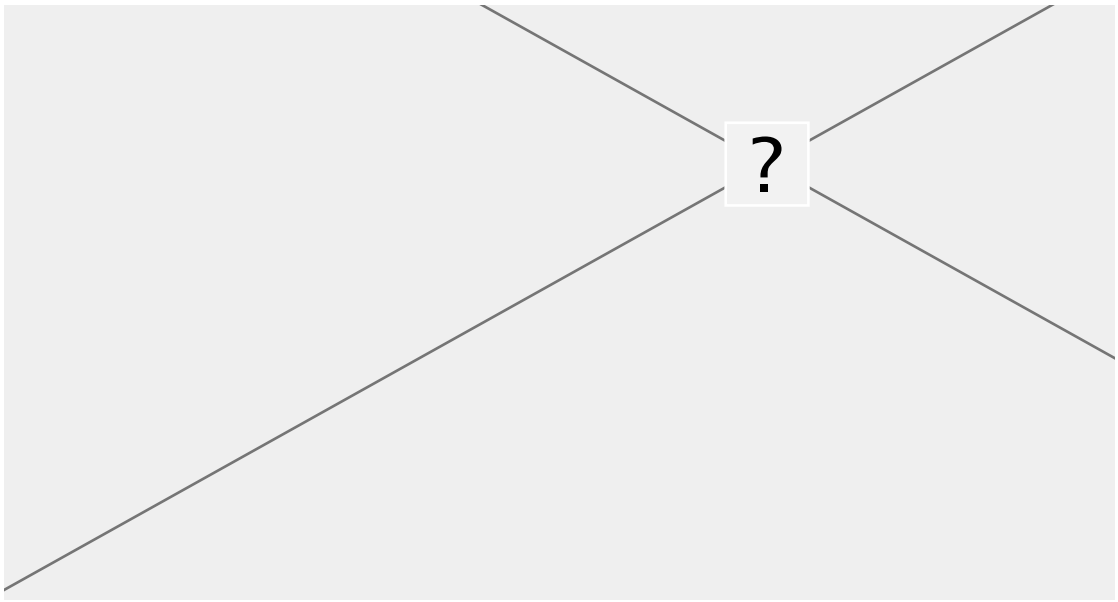


Рисунок 1. **Установка по культивированию микроводорослей:**
виды А и Б; 1 – крышка; 2 – основание; 3 – кассета; 4 – диск; 5 – кольца;
6 – цилиндрические емкости; 7 – вал; 9 – отверстия; 10 – вентилятор;
11 – лампа накаливания; 12 – термодатчик; 13 – отверстия; 14 – упор

Нами были проведены исследования по влиянию освещенности на эффективность работы биологических очистных сооружений, в частности, аэротенков в дневное и ночное время. Экспериментально установлены оптимальные значения дозы питания, длины волны света, времени обработки и их влияния на окислительную способность активного ила для аэротенка-нитрификатора. Таковыми являются длина волны света 440 – 500 нм, время использования освещения 6 – 8 ч. Сокращение времени обработки сточной воды в аэротенках уменьшает объёмы сооружения в 1,34 раза [3–4].

На основании полученных данных был произведен сравнительный расчет затрат на производственную электроэнергию локальных очистных сооружений с применением освещения и без него.

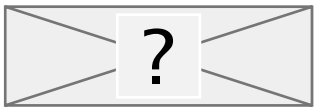
Затраты на электроэнергию были оценены непосредственно для аэротенка-нитрификатора в ценах 2018 г. В таблице 1 приведен состав оборудования очистного сооружения без использования освещения и потребляемая им электроэнергия.

Таблица 1. **Потребление энергии аэротенком-нитрификатором без применения освещения**

	Ко ли	Установленная мощность, кВт	Числ о	

Наименование потребителей электроэнергии	чество, шт.	Установленная мощность, кВт: ед.	Установленная мощность, кВт: общая	часов работы, ч	Потребляемая электроэнергия, кВт·ч
Насос подачи сточных вод в аэротенк-нитрификатор	2	1,2	2,4	8760	21024
Технологический насос Иртыш НФС50/125.120-1,1/2	2	1,1	2,2	8760	19272
Насосно-воздуходувная станция ТВ-200-1,4 АЗ-315М-2	2	5,5	11	8760	96360
Насос рециркуляции возвратного активного ила	2	0,38	0,76	8760	6657,6
Итого			$\Sigma N_{yi} = 16,36$		$\Sigma N_{yi} \cdot t_i = 143313,6$

Рассчитываем затраты без применения освещения $З_{эл/б/ос}$ по одноставочному тарифу:



(1)

где $Ц_1 = 6,60$ – тариф за 1 кВт·ч электроэнергии, учтенной электросчетчиком, руб (в ценах 2018 г. для промышленных предприятий); N_{yi} – установленная мощность i-го электродвигателя, кВт; t_i – время работы в год i-го электродвигателя, ч;

$$З_{эл/б/ос} = 6,60 \cdot 143313,6 = 945869,76 \text{ руб.}$$

Далее рассчитаем затраты на производственную электроэнергию с применением освещения в тёмное время суток (табл. 2).

$$З_{эл/с/ос} = 6,60 \cdot 124625,6 = 822528,96 \text{ руб.}$$

Применение освещения в темное время суток привело к сокращению продолжительности биологической очистки в аэротенках локальных очистных сооружений и снижению потребляемой электроэнергии (табл. 3).

Таблица 2. **Потребление энергии аэротенком-нитрификатором с применением освещения**

Наименование потребителей электроэнергии	Количество, шт.	Установленная мощность, кВт: ед.	Установленная мощность, кВт: общая	Число часов работы, ч	Потребляемая электроэнергия, кВт·ч

Осветительные светодиодные ленты	4 м	0,8	3,2	2920	9344
Насос подачи сточных вод в аэротенк-нитрификатор	2	0,9	1,8	8760	15768
Технологический насос Иртыш НФС50/125.120-1,1/2	2	0,8	1,6	8760	14016
Насосно-воздуходувная станция ТВ-200-1,4 АЗ-315М-2	2	4,5	9	8760	78840
Насос перекачки активного ила СМ 100-65-250/4	2	0,38	0,76	8760	6657,6
Итого			$\Sigma N_{yi} = 16,36$		$\Sigma N_{yi} \cdot t_i = 124625,6$

Таблица 3. **Показатели работы аэротенка-нитрификатора с применением освещения и без него**

Сравниваемый параметр	Размерность	С освещением	Без освещения
Время обработки	ч	4,8	6,4
Потребляемая энергия	кВтч	124625,6	143313,6

Диаграмма сравнения работы аэротенка-нитрификатора с применением освещения и без него по затратам на электроэнергию представлена на рисунке 2.

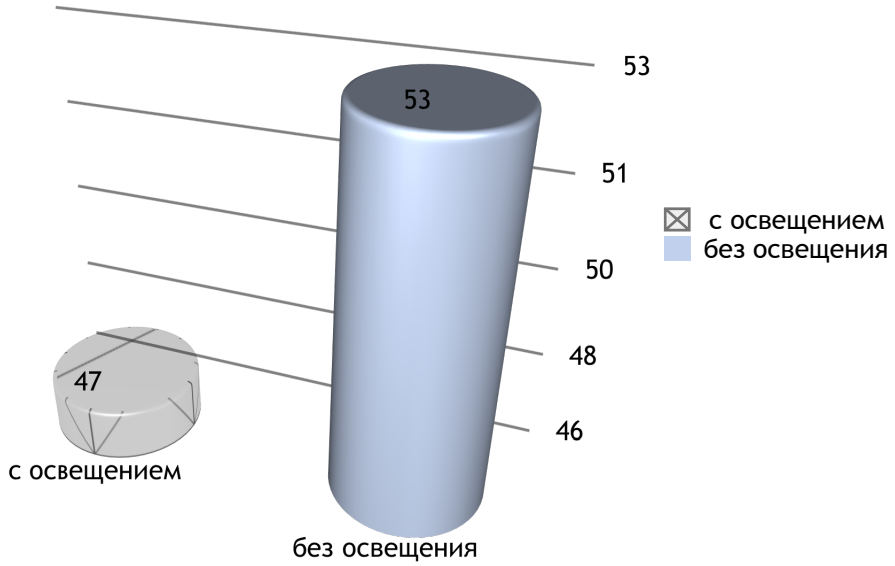


Рисунок 2. **Диаграмма сравнения затрат на электроэнергию при работе аэротенка-нитрификатора с применением освещения и без него**

Представленные данные показывают, что при одинаковой мощности оборудования равной 16,36 кВт, суммарные затраты на электроэнергию

при использовании освещения биомассы аэротенка сократились более, чем на 5 % за счет увеличения окислительной способности микроорганизмов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Malato S., Blanco J., Vidal A. et al. Photocatalysis with solar energy at a pilot-plant scale: an overview// Applied Catalysis B: Environmental. 2002. v. 37. p. 1–15.
2. Пат. 2165973 Российская Федерация, МПК C12M3/00. Устройство для выращивания микроводорослей / Григорьев Ю.С. – № 99112785/13; заявл. 10.04.2001; опубл. 27.04.2001, Бюл. № 10.
3. Борисова В.Ю., Серпокрылов Н.С., Петренко С.Е. Повышение эффективности и надежности очистки сточных вод на разных стадиях эксплуатации очистных сооружений // Инж. вестн. Дона: [электрон. журн.]. 2013. № 2. URL: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_26_Petrenko.pdf_1602.pdf.
4. Борисова В.Ю. Повышение среднесуточной окислительной способности аэротенков / Борисова В.Ю., Скибина Е. В., Серпокрылов Н.С. // Вестник ВолгГАСУ. Сер: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44) С. 306 -311.

УДК 628.32

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ЭЛИСТИНСКОЙ ФАБРИКИ ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ ШЕРСТИ

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

При мойке шерсти овец образуются высококонцентрированные шерстомойные сточные воды. Недостаток централизованных фабрик по первичной обработке шерсти, заброшенных в регионе в годы кризиса, не позволяет полностью перерабатывать сырье, которое продается за бесценок или выбрасывается на полигоны отходов. Результаты наших исследований показывают, что вариантом решения проблемы могут быть мобильные установки очистки оборотных сточных вод мойки ПОШ на базе электрохимических процессов.

В Республике Калмыкия (РК) активно развивается животноводство, в т. ч. и овцеводство. По данным Министерства сельского хозяйства РК, в сельхозпредприятиях республики насчитывается сегодня 657 тысяч голов овец, а с учетом не подотчетных ведомству крестьянских фермерских хозяйств и личных подсобных хозяйств – около двух миллионов.

В целом по окончании кампании выращивания, хозяйства всех форм собственности настригают как минимум восемь тысяч тонн шерсти. И каждый раз перед животноводами встает вопрос: как наиболее выгодно сбыть товар – так, чтобы и затраты окупить, и, хотя бы, небольшую выручку получить. Овцеводство, как известно, после стрижки овец поставляет сырье для производства шерстяных изделий. Недостаток централизованных фабрик по первичной обработке шерсти (ПОШ), заброшенных в регионе в основной массе в годы кризиса, не позволяет полностью перерабатывать сырье, которое продается за бесценок, в т. ч. и за рубеж, или выбрасывается на полигоны отходов. К тому же, из зарубежья шерсть возвращается в РФ по цене выше на порядок. Между тем проблема сбыта шерсти в регионах стоит очень остро.

Овцеводы юга России не раз обращали внимание руководства страны на проблему отсутствия госзаказа на шерсть. А если учесть, что согласно Плану развития овцеводческой отрасли, утвержденному Минсельхозом России, в ближайший год в Калмыкии предусмотрено довести численность овец во всех категориях хозяйств до 2,5 миллиона голов, то проблема реализации шерсти станет еще острее.

В Калмыкии, в 1996 году, была введена в эксплуатацию фабрика ПОШ «ЭлМи (Элиста-Минск)». Мощность переработки – 10 тысяч тонн немытой шерсти в год. Предполагалось производство щипаной шерсти,

сырых шкур и кож крупного рогатого скота, животных семейства лошадиных, овец, коз и свиней. Фабрика была оснащена современным оборудованием. На строительство и оснащение было затрачено 2,5 млн долларов. Предприятие закупает сырье у местных хозяйств и частных лиц. Готовая продукция предприятия – мытая шерсть, рассортировывалась в соответствии с российскими и международными стандартами качества. Основные ее покупатели – текстильные предприятия стран СНГ, в частности, Белоруссия и Киргизия. К 2010 году для организации замкнутого цикла переработки шерсти планировалось строительство типового цеха по сортировке шерсти, а также цеха по производству топса и жиродобыче.

В девяностых годах, параллельно с монтажом оборудования, стали строить очистные сооружения (ОС), так как это экологически вредное производство. Но строительство ОС так и не завершили, потому что руководители, в то время, стремились побыстрее сдать в эксплуатацию предприятие, да и денег на завершение очистных сооружений не было. Министр охраны окружающей среды РК под давлением с трудом поставила свою подпись под актом о приемке предприятия в эксплуатацию. Предполагалось завершить строительство ОС при получении доходов предприятием в процессе работы фабрики. В тот период выход нашли такой: рядом с недостроенными очистными сооружениями находилась балка, в которую и пустили отходы. Внизу соорудили пару примитивных плотин, чтобы сточные воды не разливались, проложили трубы и поставили задвижки. На этом строительство очистных сооружений закончилось. Проект ОС был добротным, если бы все делали по проекту, то никаких проблем не возникло.

На производствах ПОШ образуются высококонцентрированные шерстомойные сточные воды (ШСВ), количественный и качественный состав загрязнений которых зависит от качества исходной шерсти и водной технологии, используемой для ее промывки. На Элистинской фабрике ПОШ применялась общепринятая технология мойки шерсти.

Мойка шерсти производится в промывочных ваннах (п.п.1-1, 1-2, 1-3), изготовленных из нержавеющей стали толщиной 2 мм в виде трех автономных отсеков 600 х 600 х 400 мм, соединенных в общую конструкцию на единой раме. Подготовленная к промывке шерсть укладывается в кассеты из нержавеющей сетки 550 х 550 х 150 мм, которая, в свою очередь, помещается последовательно в ванны (рис.).

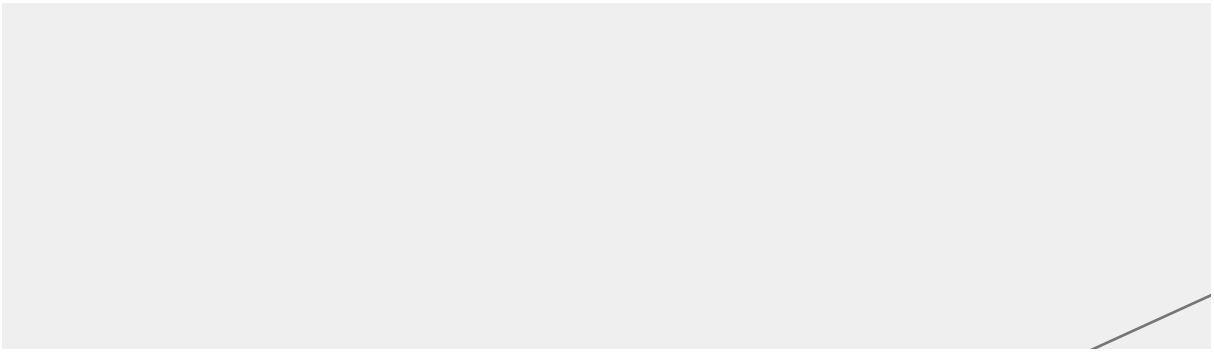


Рисунок 1. **Функциональная схема. Участок мойки шерсти**:
1.1 – 1.3 – моечные ванны; 2 – сушилка; 3 – тепловая пушка; 4 – емкость сбора промывочной воды; 5 – песколовка; 6 – дисковый самоочищающийся фильтр; 7 – промежуточная накопительная емкость; 8 – флотатор; 9 – моечная машина; 10 – бак реагента с дозатором; 11 – кассета для загрузки шерсти; 12 – напорный фильтр; трубопроводы: А – подготовленная промывочная вода; Б – реагент; В – моечный раствор; Г – промывочный сток; Д – осажденный сток; Е – отфильтрованный сток; Ж – перелив фильтра; З – вода на извлечение жира; И – шерсть на утилизацию; К – флотошлам на утилизацию; Л – сливы

Подготовленная (очищенная) природная вода, по трубопроводу (А) из пилотной установки водоподготовки насосом п. 9, после смешивания с реагентом (Б), подается через напорный механический фильтр п. 12 в промывочные ванны п. 1. Разбрызгивание воды производится специальными устройствами. Шерсть в промывочных ваннах находится в кассетах из нержавеющей сетки, которые свободно вставляются в ванны, переворачиваются при необходимости и, после окончания промывки и ополаскивания, помещаются (свободно подвешиваются) в сушилку п. 2. В первой ванне п. 1-1 производилось замачивание шерсти в воде с температурой 25 – 30 °С в течение 30 мин., после чего вода сливается в накопительную емкость п. 4, оборудованной сеткой для улавливания крупных отмытых загрязнений.

Далее шерсть в этой же металлической сетке перемещается в следующую ванну п. 1-2, в которой имитируется процесс промывки во 2, 3, 4 ваннах технологическим раствором с температурой 50 – 60 °С до чистого слива. Время промывки определяется по чистоте слива. Образующиеся стоки объединяются в накопительной емкости (песколовке) п. 5. В 3-ей ванне п. 1-3 шерсть прополаскивается чистой водой, и стоки сливаются также в емкость-накопитель п. 4. Мойка шерсти проводилась:

- в мыльно-содовом растворе; по режиму (концентрация мыла приведена в пересчете на 100 % -ное содержание жирных кислот);
- с применением смеси анионоактивных (сульфонол НП-1) и неионогенных (превоцелл В-ОФ) моющих средств.

Кроме загрязнений, находящихся в немытой шерсти, ШСВ содержат еще реагенты, используемые для приготовления моющих растворов. В

зависимости от условий выращивания и породы овец немытая шерсть содержит механические примеси: песок, глину, частицы почвы и растений, навоз, а также специфические загрязнения шерстяной жир и пот [3].

Значения средних показателей по загрязненности и выходу мытой шерсти в процентах к общей массе исходной немытой шерсти представлены ниже:

- шерсть немытая 100 %;
- выход мытой шерсти 40 %;
- шерстный жир и пот 30 %;
- механические примеси 30 %.

Согласно данным специфические загрязнения ШСВ фабрик ПОШ по фазово-дисперсному состоянию подразделяются на четыре группы [1].

К первой группе относятся грубодисперсные механические примеси: частицы песка, глины, почвы, растений, остатки пищи и навоза, волокна шерсти. На поверхности всех этих загрязнений содержится часть шерстного жира, которая практически при существующих способах жиродобычи неотделима от загрязнений. Частицы нейтрального шерстного жира, свободно находящиеся в суспензии ШСВ, успешно извлекаются на сепараторах-разделителях. Размер этих грубодисперсных частиц свыше 10^{-7} м, при этом размером более $5 \cdot 10^{-5}$ м при объемном весе $\gamma > 2$ г/см³ успешно выделяются в процессе простого отстаивания, а в центробежном поле могут разделяться частицы крупностью более $3 \cdot 10^{-6}$ м [1].

Таким образом, все грубодисперсные механические примеси первой группы могут быть выделены в отстойниках, на осадительных центрифугах или в сепараторах, и вода, освобожденная от этих загрязнений, вновь может быть использована для промывки. Загрязнения первой группы по массе составляют 75 % от общего их количества.

Ко второй группе относятся золи и высокомолекулярные растворы, размеры отдельных частиц которых находятся в узком интервале 10^{-7} – 10^{-8} м. В таком состоянии в ШСВ присутствуют гуминовые вещества, шерстный жир и продукты деструкции кератина шерсти. Специфичность этих загрязнений заключается в том, что они не реагируют на механические процессы отстаивания или фильтрации, происходящие в таких сооружениях и аппаратах, как песколовки, отстойники, гидроциклоны или осадительные центрифуги. Гуминовые вещества придают сточной жидкости устойчивый, темнокоричневый цвет, который не исчезает даже при пятикаскадной биологической очистке мыльно-содовых ШСВ. Однако присутствие этих веществ в моечных растворах заметно не сказывается на эффективности промывки шерсти, так как, в основном, эти процессы ухудшаются в присутствии солей временной и постоянной жесткости. Можно сделать вывод о том, что загрязнения этой группы не влияют на интенсивность промывочных процессов [1].

К третьей группе относятся мыла, СПАВ, аминокислоты и органические кислоты жиропота, образующие молекулярные растворы дисперсностью 10^{-8} – 10^{-9} м. Все вещества этой группы, за исключением аминокислот, способствуют моечному процессу. Остатки не прореагировавших реагентов, СПАВ и мыла являются сами по себе основными моющими средствами [1].

К четвертой группе относятся вещества, образующие ионные растворы дисперсностью 10^{-9} – 10^{-10} м: фосфаты, хлориды и поташ, выщелачиваемые из загрязнений шерсти, и специальные добавки реагентов в моющий раствор – сода, сульфаты, хлориды, поступающие отдельно или как составные части моющих средств, как, например, сульфаты при промывке шерсти с использованием анионных СПАВ, где они используются в качестве наполнителя. [2].

Почти все компоненты четвертой группы – ионы образующие растворы, способствуют промывочным процессам.

Таковы были загрязнения, и технологические схемы очистки сточных вод Элистинской фабрики первичной обработки шерсти. Вначале фабрика работала нормально, но закупочные цены были очень низкие, производителей шерсти в Калмыкии заставляли сдавать сырье дешево. Овцеводы под разными предлогами уклонялись от сдачи шерсти, стало невыгодно разводить тонкорунных овец. В итоге шерсть перестала поступать на фабрику. Затем начались проблемы с экологами. Обратили внимание на недостроенные очистные сооружения. Работа фабрики была приостановлена. В результате появились долги, и наступило банкротство. В 2011 году фабрика окончательно перестала работать. В настоящее время поступают предложения о реанимации фабрики, но где найти средства на восстановление предприятия и строительство ОС ясности нет.

Результаты наших исследований [4] показывают, что вариантом решения проблемы могут быть мобильные установки очистки оборотных сточных вод мойки ПОШ на базе электрохимических процессов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кульский Л.А. Химия воды: Физико-химические процессы обработки природных и сточных вод. К.: Вища школа 1983. С 240.
2. СП 32.13330.2012 «СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения». Актуализированная редакция. М., 2012. С. 92.
3. Ласков Ю.М., Калицун В.И. Примеры расчета канализационных очистных сооружений. М.: Стройиздат, 2008. С 256.
4. Крашенников Е.В., Серпокрылов Н.С. Корниенко В.В., Арашаев А.В. Способ очистки сточных вод фабрик первичной обработки шерсти. – Решение о выдаче патента РФ на изобретение от 12.10.2018 по заявке № 2017135973 / дата подачи заявки 11.10.2017.

УДК 628.35

ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА СТОЧНЫХ ВОД ПРИ ОБРАБОТКЕ ПЕРОКСИДОМ ВОДОРОДА

К.А. Соловьев, А.А. Тарасова, А.А. Алексеев
Донской государственный технический университет,
г. Ростов-на-Дону, Россия

В данной статье рассмотрен вопрос интенсификации работы очистных сооружений сточных вод путем дозирования реагентов в процессе первичного отстаивания. Экспериментально показано, что технология предварительной обработки сточных вод пероксидом водорода позволяет снизить энергозатраты на аэрацию до 30 %.

В настоящее время метод очистки сточных вод определяет экологическую составляющую водного баланса страны и мира. При выборе метода принято смотреть не только на эффективность очистки, но и на экономические показатели. Однако, именно доведение показателей выброса очищенных сточных вод до нормативных значений позволит добиться снижения экономических затрат на выплату штрафов.

Применение устаревших технологий очистки сточных вод является важной экологической, экономической и социальной проблемой. Решение данных проблем осуществляется путем ретехнологизации или интенсификации всего процесса или одного из блоков очистки (предварительная очистка, доочистка и т. д.). Одним из вариантов решения проблемы может быть улучшение качества очистки сточных вод в первичном отстойнике.

Существует 2 основных метода интенсификации первичного отстаивания [1–3]:

- преаэрация (предварительное окисление органических веществ путем аэрации в подводящих каналах);
- биокоагуляция (преаэраторы с активным илом, встроенные в отстойники).

Данные методы требуют расхода электроэнергии на подачу воздуха и дополнительное строительство при невысоких показателях эффективности (снижение уровня БПК на 5 – 8 %).

Альтернативными являются физико-химические методы интенсификации первичного отстаивания, в т. ч. и окисление пероксидом водорода.

Цель нашей работы: определить эффективность интенсификации процесса первичного отстаивания путем дозирования реагентов.

Эксперимент проведен на реальных сточных водах Суворовских

очистных сооружений канализации г. Ростова-на-Дону.

Для сравнения эффективности предварительной обработки использованы несколько способов интенсификации первичного отстаивания:

1) исходная сточная вода;
2) исходная сточная вода + активный ил из вторичного отстойника (доза 60 мг/л);
3) исходная сточная вода + пробиотик (Acti-Flo, доза 5 мг/л);
4) исходная вода + активный ил из вторичного отстойника (доза 60 мг/л) + пробиотик(Acti-Flo, доза 5 мг/л).
5) исходная сточная вода + пероксид водорода (доза 5 мг/л).

Экспериментальные данные получали за периоды взаимодействия СВ и реагентов: исходная проба после взаимодействия и отстаивания 0,5 ч; взболтанная проба через 1 ч после отстаивания; далее через 26, 27, 97,5, 99, 120 ч (табл. 1–5).

Экспериментальные показатели состава сточных вод после обработки, средние из 2 параллельных измерений, приведены в таблицах 1–5.

Таблица 1. **Показатели исходной сточной воды**

Показатели	Исходная СВ (0,5 ч)	Взболтанная СВ (1 ч)	26 ч	27 ч	97,5 ч	99 ч	120 ч
pH	7,4	6,65	6,6	6,6	7,45	7,5	7,15
ОВП, мВ	-317	-311	-317	-307	-334	-353	-332
Солесодержание, мг/л	–	946	953	955	963	917	920
Прозрачность, мм	–	–	–	–	43	24	23

Таблица 2. **Показатели состава: исходная сточная вода + активный ил из вторичного отстойника** (доза 60 мг/л)

Показатели	Исходная СВ (0,5 ч)	Взболтанная СВ (1 ч)	26 ч	27 ч	97,5 ч	99 ч	120 ч
pH	6,6	6,6	6,6	6,6	7,3	7,5	6,6
ОВП, мВ	-300	-304	-311	-302	-354	-356	-355
Солесодержание, мг/л	–	925	951	938	954	895	920
Прозрачность, мм	–	–	–	–	55	31	28

Таблица 3. **Показатели состава: исходная сточная вода + пробиотик**

(Acti-Flo, доза 5 мг/л)

Показатели	Исходная СВ (0,5 ч)	Взболтанная СВ (1ч)	26 ч	27 ч	97,5 ч	99 ч	120 ч
pH	6,5	6,6	6,6	6,6	7,3	7,4	7,2
ОВП, мВ	-279	-295	-316	-319	-368	-369	-362
Солесодержание, мг/л	947	953	939	954	960	905	929
Прозрачность, мм	–	63	–	–	37	28	25

Таблица 4. **Показатели состава: исходная вода + активный ил из вторичного отстойника (доза 60 мг/л) + пробиотик** (Acti-Flo, доза 5 мг/л)

Показатели	Исходная СВ (0,5 ч)	Взболтанная СВ (1ч)	26 ч	27 ч	97,5 ч	99 ч	120 ч
pH	6,4	6,6	6,6	6,6	7,2	7,2	7,1
ОВП, мВ	-268	-317	-317	-308	-362	-363	-359
Солесодержание, мг/л	–	931	934	941	931	900	924
Прозрачность, мм	–	67	–	–	24	30	29

Таблица 5. **Показатели состава: исходная сточная вода + пероксид водорода** (доза 5 мг/л)

Показатели	Исходная СВ (0,5 ч)	Взболтанная СВ (1ч)	26 ч	27 ч	97,5 ч	99 ч	120 ч
pH	6,3	6,6	6,6	6,4	7,1	7,3	7,0
ОВП, мВ	-0,59	-291	-285	-285	-353	-349	-350
Солесодержание, мг/л	–	941	940	940	952	891	929
Прозрачность, мм	49	60	60	–	59	28	28

Сведем в общую диаграмму по ОВП данные таблиц 1–5 и оценим эффективность каждой из технологий. При этом учитываем, что, чем выше ОВП, тем меньше необходимо окислителей (кислорода воздуха, озона, хлора и т. д.) для доведения СВ до нормы.

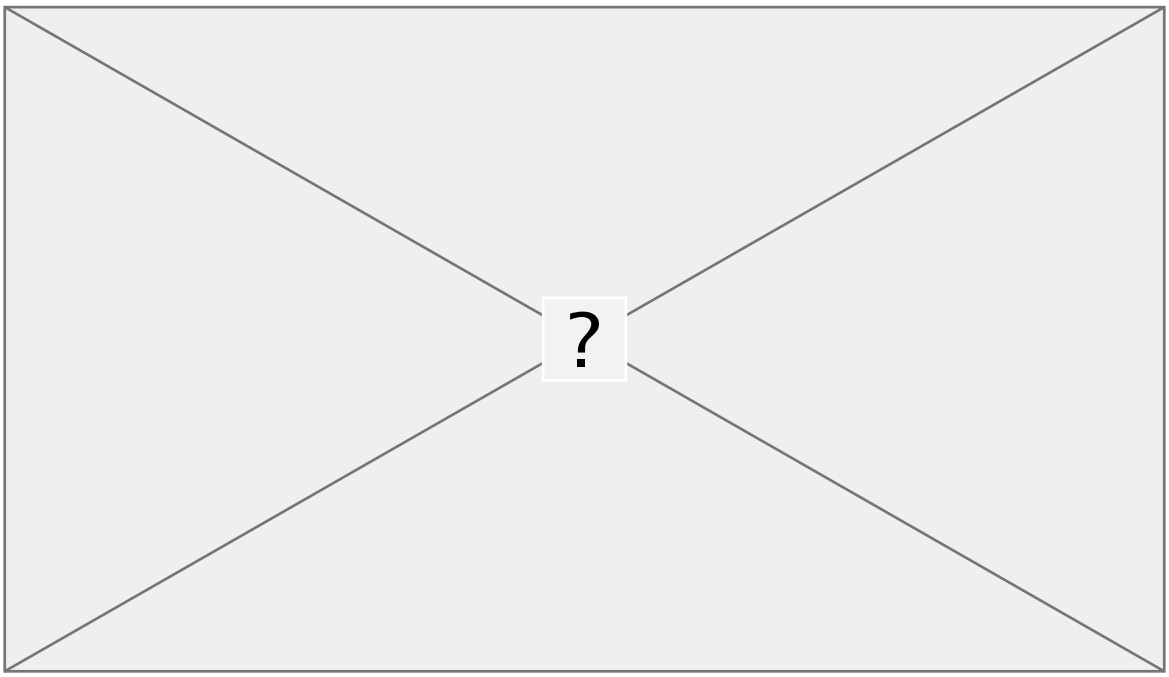


Таблица. **Сравнительные показатели по ОВП реагентной предочистки сточных вод, ряды:**
1 – исходная ИСВ; 2) ИСВ + активный ил из вторичного отстойника (доза 60 мг/л); 3) ИСВ + пробиотик (Acti-Flo, доза 5 мг/л); 4) ИСВ + активный ил из вторичного отстойника (доза 60 мг/л) + пробиотик(Acti-Flo, доза 5 мг/л); 5) ИСВ + пероксид водорода (доза 5 мг/л)

На рисунке видно, что по значениям ОВП технология предварительной обработки СВ пероксидом водорода является наименее энергоемкой для последующей очистки. Среднее значение ОВП за 120 часов наблюдений составило по каждой технологии, мВ: 1) -326; 2) -326,2; 3) -344,2; 4) -324,8; 5) -255,2. Если принять ОВП технологии 5 за 100 %, то превышение других (например, при аэрации, энергопотребление) составит, %: 1 – 127,7; 2 – 127,8; 3 – 134,9; 4 – 127,3.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 7.1-2003 СИБИД. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления.
2. СП 32.13330.2012 «СНиП 2.04.03–85. Канализация. Наружные сети и сооружения». Актуализированная редакция. – М., 2012. 92 с.
3. Хенце М., Армоэс П., Ля-Кур-Янсен Й., Арван Э. Очистка сточных вод. Биологические и химические процессы. – М.: Мир, 2006. 471 с.

УДК 628.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АБИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА СОСТАВ ВОЗДУХА РАБОЧЕЙ ЗОНЫ ПЕРЕКРЫТЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Н.С. Серпокрылов, Н.В. Кондакова, Ю.А. Гаврилина, А.А. Мозгунова
Южно-Российский uосударственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия

В данной работе представлены результаты исследования влияния освещения биофильтров на состав воздуха рабочей зоны очистных сооружений сточных вод на примере логистического центра «Логопарк Дон», г. Ростов-на-Дону.

В настоящее время во всех индустриально развитых странах в области водоотведения наблюдается активное внедрение сооружений для очистки хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод модульного типа, проектируемые в виде производственных комплексов, предназначенных для локальных систем с производительностью (до 10 000 м^3/сут [1].

Востребованность такого рода технических решений вызвана ужесточением природоохранных нормативов, необходимостью уменьшения размеров санитарно-защитной зоны и площади застройки. В большинстве построенных за последние 3 – 5 лет очистных сооружениях, помещения лаборатории, операторской, начальника, технолога и т. п. находятся «под одной крышей» с очистными сооружениями [2].

Нами проведены исследования влияния освещения на эффективность работы погружных вращающихся биофильтров и состав воздуха рабочей зоны в условиях действующих перекрытых очистных сооружений ООО «Логопарк Дон», г. Ростов-на-Дону.

Данные очистные сооружения работают по следующей технологической схеме. На первом этапе осуществляется механическая очистка, на втором – биологическая очистка воды. Биологически очищенные сточные воды подвергаются доочистке. Для доочистки в адсорберах применяется загрузка на основе отходов стекольного производства и мелкофракционного угля. Заключительным этапом очистки является доочистка системой обратного осмоса. Обеззараживание очищенных сточных вод производится ультрафиолетом. Обработанная таким образом вода частично используется на производственные нужды ООО «Логопарк Дон» (полив территорий, мойка машин и др.), а оставшийся объем подвергается выпуску в балку реки Темерник.

Отличительной особенностью очистных сооружений является применение погружных вращающихся биофильтров (рис. 1), конструкция которых разработана специально для данного логистического центра. В

качестве носителя биологической массы выступает вращающийся барабан с гофрированным синтетическим материалом трубчатого типа, который представляет собой пакет из труб, закрепленных параллельно оси вращения под различным углом. Секции заполнены на 60 – 90 % по объёму загрузочным материалом [3].

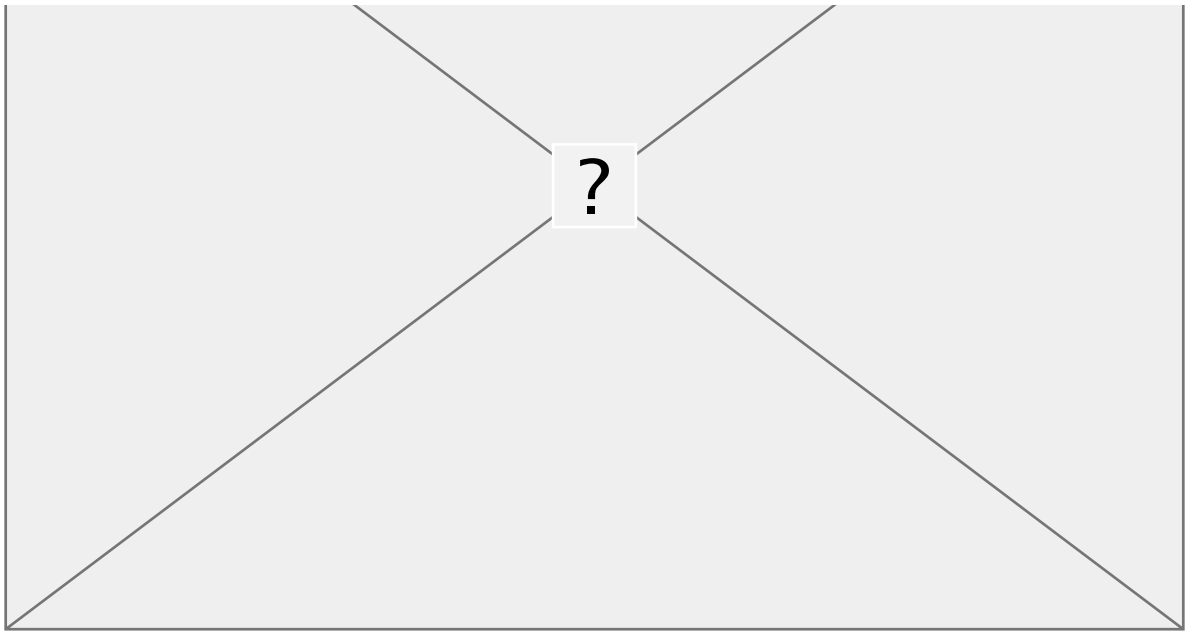


Рисунок 6. **Погружной вращающийся барабан**

На окислительные свойства биопленки в биофильтрах влияет тот факт, что биологическая очистка в перекрытых сооружениях осуществляется в условиях отсутствия освещенности. Значительным фактором, который отрицательно влияет на формирование и жизнедеятельность биоценоза активного ила в сооружениях биологической очистки, является влияние света. На изменения в уровне освещенности, в первую очередь, реагируют представители протозоофауны. Полная гибель или инцистирование при отсутствии света могут привести к выпадению их как экологической ниши в пищевой пирамиде биоценоза активного ила. Следствием этого может стать нарушение нормальной работы сооружения [4].

Перспективным направлением для очистки сточных вод является применение закрытых фотобиореакторов с использованием искусственного света для освещения в тёмное время суток, при этом с пониженной интенсивностью подачи кислорода [5].

От режима и эффективности работы сооружений биологической очистки зависит и состав газовых выбросов, выделяющихся с поверхности воды, непосредственно над биофильтром и в рабочей зоне помещения очистных сооружений. В ходе эксперимента над биофильтрами была оборудована световая установка с использованием светодиодной ленты и

определена концентрация веществ в воздухе в двух контрольных точках: непосредственно над погружными вращающимися биофильтрами и в рабочей зоне станции аэрации до ее применения и после двух недель работы [6]. Метеорологические условия, при которых проводился эксперимент, представлены в таблице 1.

Таблица 1. **Метеорологические условия проведения эксперимента**

Дата проведения измерений	**Метеорологические условия**	
	Температура, °С	Атмосферное давление, мм. рт. ст.
30.03.2018	+5	759
13.04.2018	+14	757

Результаты эксперимента представлены на рисунках 2–4. По данным, представленным на рисунке 2, за время проведения эксперимента содержание кислорода в контрольной точке над погружными дисковыми биофильтрами осталось неизменным, а в рабочей зоне станции аэрации увеличилось на 1,4 %. При этом произошло снижение концентрации сероводорода в контрольной точке над погружными дисковыми биофильтрами на 33 %, а в рабочей зоне станции аэрации на 35 %. Концентрации диоксида серы также сократились в двух контрольных точках более, чем на 30 %.



Рисунок 2. **Результаты проведения измерений O_2 в контрольной точке**

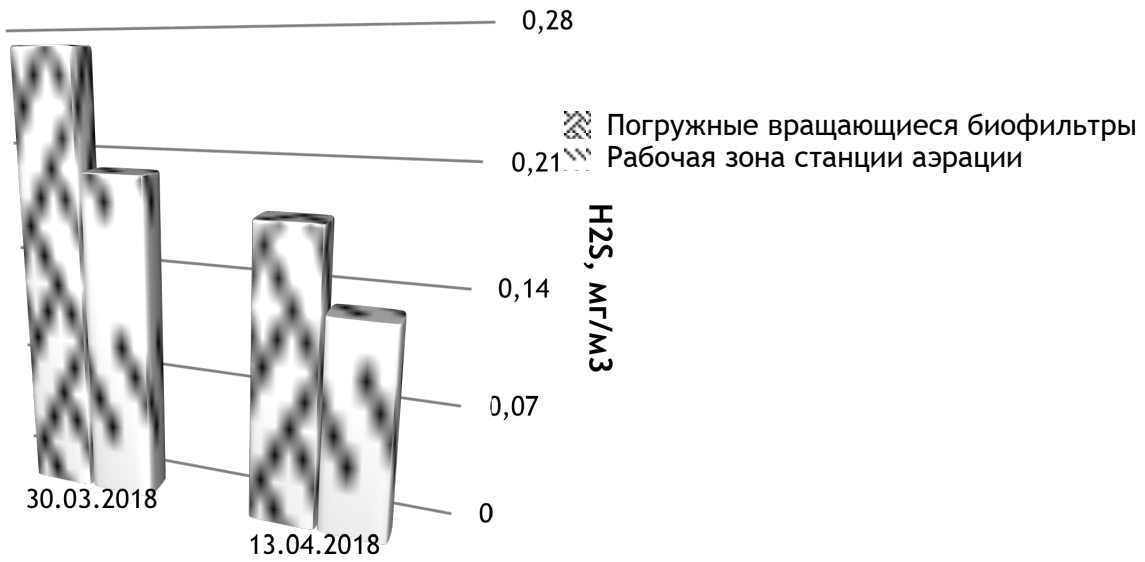


Рисунок 3. **Результаты проведения измерений H_2S в контрольной точке**

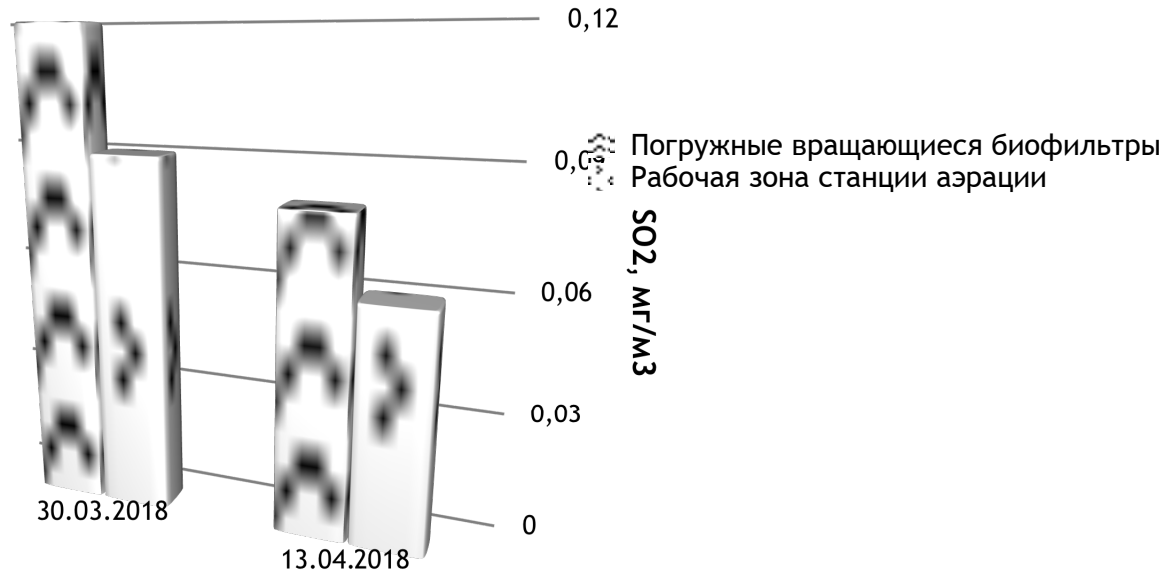


Рисунок 4. **Результаты проведения измерений SO_2 в контрольной точке**

Таким образом, в условиях перекрытых очистных сооружений состав газовоздушной среды воздуха рабочей зоны напрямую зависит от режима и эффективности работы оборудования очистки сточных вод.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кондакова Н.В., Гаврилина Ю.А. К вопросу о содержании газов в воздухе рабочей зоны перекрытых очистных сооружений сточных

вод // Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности: материалы V Всероссийской научно-технической конференции молодых исследователей (с международным участием), Волгогр. гос. техн. ун-т. – Волгоград: ВолгГТУ, 2018. С. 130–132.
2. Серебряков Д.В., Морозов В.В. Обзор конструктивных особенностей блочно-модульных канализационных очистных сооружений малой производительности // Вода и экология: проблемы и решения. 2008. N 1. С. 47–59.
3. Шувалов Р.М. Результаты сравнения технологических показателей при выборе типа биореактора для очистки сточных вод малых населенных пунктов // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2011. № 2. С. 88–96.
4. Сокольский А.Ф., Тюменцева О.В. Влияние абиотических факторов на биоценоз активного ила очистных сооружений // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2013. № 2(5). С.121–125.
5. Серпокрылов Н.С., Петренко С.Е., Борисова В.Ю. Повышение эффективности и надежности очистки сточных вод на разных стадиях эксплуатации очистных сооружений // Инженерный вестник Дона, 2013. № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/16/.
6. Старовойтов С.В., Халил А.С. Применение аэрационно-осветительной установки в биологическом фильтре // Инженерный вестник Дона. 2017. № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4641.

УДК 628.35

ОЗОНОВАЯ СТИМУЛЯЦИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД

А.А. Цхе, А.А. Луканин, А.В. Цхе
Томский государственный архитектурно- строительный университет,
г. Томск, Россия
Ю.Л. Сколубович
Новосибирский государственный архитектурно- строительный университет,
г. Новосибирск, Россия
Д.В. Ломакин, Н.А. Почуев
ООО «Энергонефть Томск»,
г. Стрежевой, Россия

Представлены исследования по предозонированию сточных вод в канализационных насосных станциях (КНС) и применению озона в аэробных биореакторах-аэротенках. По результатам исследовательских испытаний и натурных испытаний промышленного образца, устройство для озоновой стимуляции биологических процессов внедрено на действующих канализационных очистных сооружениях (КОС) п. Пионерный АО «Томскнефть» ВНК. Устройство позволило снизить соотношение химического потребления кислорода к биологическому потреблению кислорода (ХПК/БПК) на входе очистных сооружений до коэффициента 1,5. Кроме того, при резких и внезапных увеличениях нагрузок на активный ил данное устройство позволяет стабилизировать качество очистки сточных вод в аэротенках.

Как показали исследования, метод озонирование для обработки бытовых и производственных сточных вод, может быть использован на различных стадиях биологической очистки. Наибольшее количество исследований по использованию озона в технологиях водоочистки проведено в области обеззараживания сточных вод и применения озона как окислителя. Исключительная окислительная способность озона позволяет использовать его для разложения большого числа молекул органических веществ, растворенных в производственных сточных водах: озон расщепляет ароматические ядра, вследствие чего уменьшается их токсичное воздействие на микроорганизмы активного ила. Кроме того, применение озона получило распространение и после биологического окисления, т. е. на сооружениях третичной очистки или доочистки сточных вод. Под третичной очисткой понимается чаще всего физико-химическая обработка, включающая флотацию, флокуляцию, фильтрацию на песчаных фильтрах и на фильтрах с гранулированным активированным углем [1].

В результате опытов установлено, что применение озона технологически целесообразно как для очистки производственных сточных вод, так и при предварительной очистке, доочистке и обеззараживании хозяйственно-бытовых сточных вод.

Практика показала, что вопрос влияния озонирования на эффективность биологической очистки сточных вод при введении озона непосредственно в аэробные биореакторы изучен недостаточно.

С 2013 г. нами проводятся исследования в области электрофизических методов обработки сточных вод, в частности активации процессов биологической очистки озонированием. Исследования направлены на разработку технологий и оборудования для интенсификации процессов за счет формирования в биологической системе оптимальной окислительной обстановки при введении в обрабатываемую воду озона. ТГАСУ, НГАСУ (Сибстрин), ООО «Энергонефть Томск» совместно выполнили работы по оптимизации существующих технологических процессов очистки хозяйственно-бытовых сточных вод на объектах АО «Томскнефть» ВНК (ПАО «НК «Роснефть»). Исследования влияния предозонирования [2] и введения озона в аэротенки выполнялись на КОС вахтового посёлка Пионерный Томской области.

Канализационные очистные сооружения п. Пионерный запроектированы по типовому проекту производительностью 800 м^3/сут. и состоят из четырёх компактных установок производительностью 200 м^3/сут. (КУ-200). Анализ работы очистных сооружений за период 2009 – 2016 гг. показал, что приходящие на КОС сточные воды характеризуются большим значением химического потребления кислорода (ХПК) и малым биологическим потреблением кислорода (БПК); вместо требуемого соотношения $БПК_п$: N : P – 100 : 5 : 1 (БПК : азот : фосфор) реальное соотношение $БПК_п$: N : P – 100 : 21 : 9, что говорит о несбалансированном питании активного ила. Существует также проблема удаления фосфатов (увеличение с 2010 по 2016 гг. составило с 2 до 9 мг/дм^3) и превышение СПАВ в 4 – 8 раз. Среднегодовое отношение ХПК / $БПК_п$ в 2014 – 2016 гг. на КОС п. Пионерный составило 2,5 (в 2010 г. – 1,6), а в пиковые периоды до 3 – 5.

Приведенные данные свидетельствуют о присутствии в сточных водах синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ), нефтепродуктов, жиров и др. При наличии септиков (особенно в жарких местностях) это ещё и наличие сероводорода и гидросульфидов, что угнетает жизнедеятельность активного ила, приводит к развитию нитчатых микроорганизмов и, как следствие, к ухудшению показателей очистки. Таким образом, КОС работают за пределами расчетных проектных условий: активный ил не может переработать такое количество трудноокисляемой органики [3], поэтому необходимо либо увеличивать время обработки сточных вод (а соответственно и объем обрабатываемой воды), либо применять физико-химические способы очистки. Для решения обозначенных задач в мировой практике, как правило, производят реконструкцию очистных сооружений, связанную с увеличением

строительных объёмов и усложнением технологии, что в свою очередь приводит к повышению стоимости строительства и эксплуатации. Цель нашей работы: найти решения существующих проблем с минимальными экономическими затратами.

Результатами исследовательских работ по оптимизации существующих технологических процессов очистки хозяйственно-бытовых сточных вод на объектах АО «Томскнефть» ВНК были разработанные технологии и их натурные производственные испытания:

- технология предозонирования в канализационных насосных станциях для деструкции высокомолекулярных органических соединений до начала биологической очистки, применение которой позволило снизить соотношение ХПК / БПК с 2,5 до 1,5;
- технология дискретно-периодической подачи озона в малых дозах в рабочую среду активного ила аэротенков для активации биологических процессов.

Показано, что введение озоно-воздушной смеси в аэротенки позволяет при значительных изменениях объема поступающих сточных вод и концентраций поллютантов, при резких и внезапных увеличениях нагрузок по органическим веществам, улучшить качество очистки и повысить производительность аэротенка до 100 % за счет «стрессоустойчивости» флокул, повышения скорости утилизации ионов аммония микробиоценозом активного ила.

Регулирование оптимальных режимов работы аэротенка осуществляется контроллером блока управления озонатора по заданному алгоритму, измеряемым параметрам качества сточных вод и окружающих условий (pH, ОВП, температура, ХПК и др.).

Количество озона, вводимое в аэротенки и биофильтры с активным илом значительно меньше, чем дозы, вызывающие ингибирующее действие на микроорганизмы и позволяет регулировать численность некоторых эколого-трофических групп микроорганизмов в активном иле.

В летний период при повышенных температурах воздуха, особенно в южных регионах России, предозонирование и озонирование в аэробных биореакторах позволяют увеличить количество растворенного кислорода в аэротенке и ускорить его диффузию в активный ил, создать благоприятные условия для облигатно-аэробных нитрифицирующих микроорганизмов.

Поэтапные лабораторные и стендовые исследования, предварительные испытания опытного образца, натурные испытания промышленного образца были проведены с октября 2013 г. по ноябрь 2016 г. После подписания акта внедрения результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ, с февраля 2017 г. «Устройство динамической озоновой стимуляции биологических процессов в аэротенках» включено в промышленную эксплуатацию в составе КОС п. Пионерный. Заказчиком АО «Томскнефть»

ВНК; генеральным проектировщиком ОАО «ТомскНИПИнефть» принято решение о включении разработанного оборудования в проектную документацию по реконструкции очистных сооружений на трех объектах.

Полученные в результате исследований данные позволят разрабатывать специальные методы интенсификации процессов очистки сточных вод, а также корректировать возможный дисбаланс качественных характеристик активного ила, разрабатывать ускоренные и экономически выгодные методы корректировки процесса биологического окисления органических веществ.

Таким образом, при относительно не больших капитальных затратах возможно повышение эффективности работы КОС во всех применяемых в настоящее время технологических схемах и конструкциях очистных сооружений; при реконструкции существующих и строительстве новых станций различной производительности.

В настоящее время продолжаются исследования, направленные на разработку теоретических аспектов и практической апробации процессов интенсификации биологической очистки для субтропических регионов России и тропических климатических территорий. Целью дальнейших работ является реализация устойчивой работы очистных сооружений в летний период, при значительных сезонных изменениях количества поступающих сточных вод, за счет формирования в аэробных биореакторах оптимальной окислительной среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Орлов В.А. Озонирование воды. М.: Стройиздат, 1984. 88 с.
2. Цхе А.А., Хан В.А., Мышкин В.Ф., Колесников В.П., Вильсон Е.В., Почуев Ю.Н., ЛуканинА.А. Предозонирование – как средство интенсификации процессов биологической очистки сточных вод // Научный журнал КубГАУ[Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2013. – № 03(087). С. 474–99.
3. Жмур Н.С. Анализ причин неэффективности работы малых сооружений биологической очистки // Водоснабжение и канализация, 2010. № 9–10. С. 57–76.

УДК 628. 35

К ВОПРОСУ О ПРЕДОТВРАЩЕНИИ СУЛЬФАТРЕДУКЦИИ В КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ТРУБОПРОВОДАХ

К.О. Хуторненко, Н.С. Серпокрылов
Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Россия

Проблема коррозии и защиты железобетонных конструкций коллекторов сточных вод является одной из наиболее комплексных в системах водоотведения. Разрушение труб происходит вследствие воздействия серной кислоты, продуцируемой тионовыми бактериями, потребляющими сероводород, выделяющийся при сульфатредукции. Обоснован и экспериментально подтвержден вариант ингибирования процесса сульфатредукции за счет насыщения кислородом сточных вод при истечении их через водослив с дальнейшим образованием гидравлических прыжков/

Износ канализационных сетей по данным, представленным на официальном сайте Министерства ЖКХ, составил в среднем по регионам 60 – 80 %, а протяженность сетей водоотведения 192 тыс. км. Таким образом, от 115 до 154 тыс. км канализационных сетей исчерпали свой срок службы и нуждаются в ремонте или замене. Причина, столь бедственного положения дел является химическая и биологическая коррозия коллекторов, вызванная агрессивностью сточных вод и истечением расчетного срока службы материалов (бетон, асбестоцемент).

Повреждения бетона отмечаются при действии на него водных растворов кислот или кислых газов, растворов солей и даже щелочей, некоторых органических соединений. Степень агрессивного воздействия зависит не только от состава агрессивной среды, но и от условий контакта, скорости движения и напора жидких сред, плотности прилегающего грунта при действии грунтовых вод, температуры среды, силовых нагрузок, напряженного состояния материала конструкций и других факторов.

В процессе эксплуатации в надводной части канализационных коллекторов скапливаются выделяющиеся из сточных вод пары воды и вредные газы: сероводород, аммиак, диоксид углерода, метан и др.

На сегодняшний день все чаще можно наблюдать превышение концентраций сероводорода в поступающей сточной воде. Это актуально для сточных вод от небольших населенных пунктов, для которых характерно наличие септиков. Тем не менее, и для больших населенных пунктов имеется также тенденция роста концентраций сероводорода, особенно при высокой протяженности канализационных сетей, анаэробные условия в которых провоцируют сульфатредукцию. Анализы, проведенные в различных городах, указывают на присутствие в коллекторах диоксида

углерода 8 – 12 %, метана 1,4 – 15 %, паров бензина 11 – 12 %, сероводорода 0,45 – 0,77 мг/л.

Особенно неблагоприятно действуют на бетон стенок труб и колодцев сероводород, серная кислота и диоксид углерода. Сероводород и другие газы образуются в трубах и каналах в результате выделения из сточных вод или разложения выпавшего осадка. Сероводород вызывает газовую коррозию. Он растворяется в воде, конденсирующейся на верхней и боковых стенках труб, неомываемыми сточными водами, и проникает в поры бетона. В конденсате, образовавшемся на неомываемых стенках канала, происходит биохимическое окисление кислородом поглощенного из воздуха сероводорода. Сера, образовавшаяся в процессе биохимического окисления, окисляется в серную кислоту или сульфаты. Воздействие на бетон серной кислоты вызывает образование новых соединений кальция, для которых характерно сильное увеличение в объеме, что ведет к разрушению бетона.

Проблема коррозии и защиты железобетонных конструкций коллекторов сточных вод является одной из наиболее комплексных в системах водоотведения. Считается общепризнанным, что разрушение происходит, в том числе, от воздействия серной кислоты, продуцируемой тионовыми бактериями, потребляющими сероводород.

Вследствие этого, наиболее актуальной задачей сегодняшнего дня для систем водоотведения является восстановление разрушенных коллекторов и снижение агрессивности сточных вод к канализационным коллекторам в процессе их транспортировки на очистные сооружения.

Все вышеуказанные процессы протекают вследствие недостаточного содержания растворенного кислорода в сточных водах. Для одного из вариантов решения этой проблемы была поставлена задача: экспериментально определить показатели насыщения кислородом при истечении воды через водослив и дальнейшем образовании гидравлических прыжков.

Теоретическая основа эксперимента базируется на законе движения жидкости по трубам или закона Бернулли: при утоньшении слоя истечения жидкости на водосливе увеличивается ее скорость течения и, соответственно, ее кинетическая энергия. Из закона сохранения энергии следует, что прирост кинетической энергии должен компенсироваться уменьшением потенциальной энергии, потому что полная энергия должна оставаться постоянной. Уменьшается потенциальная энергия упругого взаимодействия и, следовательно, давление жидкости.

Для проведения эксперимента была рассчитана и создана 3D модель водослива для канализационной трубы D160, характер истечения жидкости через который приведен на рисунке 1.

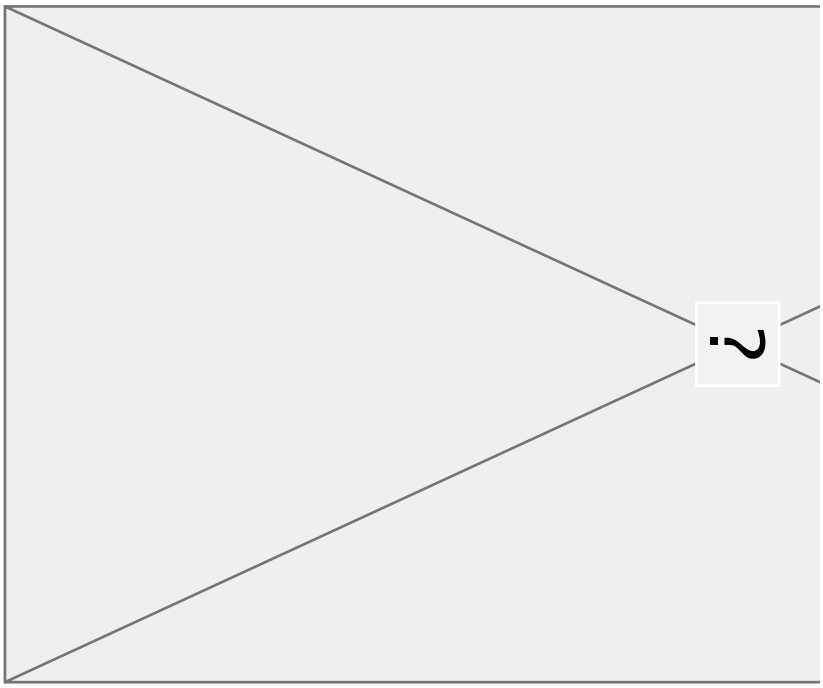


Рисунок 1. **Истечение жидкости через 3D модель водослива**
(высота 0,7 радиуса трубы)

Методика проведения исследований включала варьирование уклонов трубы и расходов жидкости с фиксированием концентрации растворенного кислорода и значений окислительно-восстановительного потенциала до и после водослива, а также форм, длин, размеров и количества прыжков с визуализацией (окрашиванием) картин потоков. Температура водопроводной воды при проведении исследований составляла 22 – 23 °С.

Для установления зависимости влияния высоты водослива на насыщение кислорода жидкостью была распечатана вторая форма пропорционально меньших размеров (высота 0,5 радиуса трубы).

Фото гидродинамики потоков с использованием в качестве трассера чернил при истечении жидкости через 3D модель водослива высотой 0,7 радиуса трубы представлено на рисунке 2).

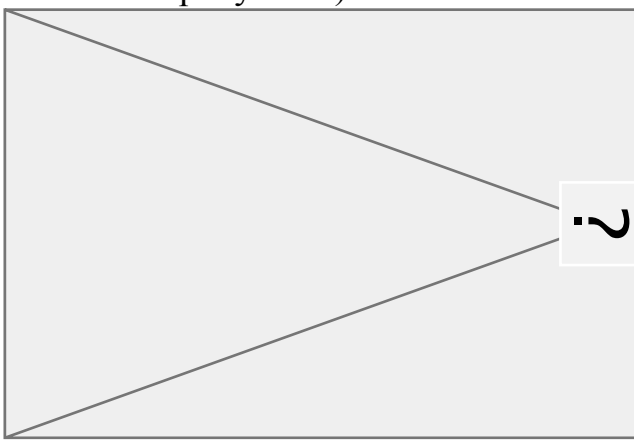


Рисунок 2. **Истечение воды через водослив с введением трассера**

Результаты эксперимента по выявлению потребления кислорода при различных уклонах представлены в таблице. Обозначение: L_1 – длина первого прыжка, мм; L_2 – длина второго прыжка, мм; L_3 – длина третьего прыжка, мм; $L_{общ}$ – общая длина, мм; H_1 – глубина первого прыжка, мм; H_2 – глубина второго прыжка, мм; H_D – устоявшаяся глубина в течении нижнего бьефа, мм; ☒ – величина растворенного кислорода в верхнем бьефе (до водослива), ☒ – величина растворенного кислорода в нижнем бьефе (после гидравлического прыжка), $ОВП_1$ – значение окислительно-восстановительного потенциала в верхнем бьефе (до водослива), $ОВП_2$ – значение окислительно-восстановительного потенциала в нижнем бьефе (после гидравлического прыжка).

Таблица. **Результаты эксперимента по выявлению потребления кислорода при различных уклонах**

Величина уклона *i*	L_1	L_2	L_3	$L_{общ}$	H_1	H_2	H_D	☒, мг/л	☒, мг/л	$ОВП_1$, мВ	$ОВП_2$, мВ
0,007	64	84	55	370	30	16	15	7,65	7,97	190	249
0,01	50	73	76	380	26	14	10	7,91	8,1	267	238
0,012	90	125	68	440	31	17	15	7,94	8,2	303	299
0,015	85	95	51	510	34	21	15	7,72	7,98	308	304
0,02	95	82	41	540	32	20	15	7,73	7,92	295	308

Анализ результатов (таблица) показывает, что в зависимости от уклона трубопровода происходит увеличение растворенного кислорода в воде на 0,2 – 0,3 мг/л, что составляет 95 – 97 % от предела насыщения при температурах воды при проведении опытов (22 – 23 °С). Также имеет место увеличение значений ОВП, что указывает на повышение окислительной способности воды после гидравлического прыжка.

Полученные выводы могут иметь положительное влияние на процесс транспортирования сточных вод по трубопроводам, поскольку окислители будут ингибировать сульфатредукцию, снижая тем самым, коррозию трубопроводов. Также следует ожидать снижение интенсивности аэрации, а, следовательно, уменьшение потребления электроэнергии на очистных сооружениях.

Полученные выводы необходимо проверить на действующих сетях водоотведения. При положительном результате помимо указанных технических позитивов будет уменьшено выделение сероводорода в

атмосферу, что приведет к сокращению запахов от канализационных трубопроводов. При этом также важно контролировать, чтобы конструктивные решения прокладки канализационного коллектора и режим его эксплуатации исключали сочетание напорных и безнапорных участков, накопление осадка, способствующего выделению сероводорода.

УДК 628.35

ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВУЮЩИХ СООРУЖЕНИЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ

В.П. Костюков, П.В. Костюков
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия
А.Л. Пантелеев, Т.Р. Заплохова
МУП «Межрайкоммунводоканал», г. Стерлитамак, Республика Башкортостан, Россия
А.В. Башкиров
АО «Водоснабжающая компания», г. Стерлитамак, Республика Башкортостан, Россия

В работе представлена практическая реализация результатов моделирования биохимических процессов. Показана возможность значительного повышения эффективности работы существующих сооружений биологической очистки.

Большинство сооружений биологической очистки хозяйственно-бытовых сточных вод были введены в эксплуатацию в период 80-90-х годов прошлого века с соответствующими требованиями к качеству очищенных вод определенными [1] и соответствующими технологическими решениями.

Обеспечение актуальных требований к качеству сточных вод перед выпуском в водоприемники в настоящее время в значительной мере зависит от усилий технологического персонала и возможных резервов модернизации очистных сооружений.

Сооружения биологической очистки г. Стерлитамака Республики Башкортостан представляют собой блок емкостей, выполненный по типовому проекту 902-3-20 на расчетную производительность 25 тыс. м^3/сут. Год ввода в эксплуатацию биологических очистных сооружений 1991г.

Расчетные концентрации компонентов исходной сточной жидкости, принимаемые для расчета интегрального показателя качества очистки (ИПКО) предложенные в [2] были определены в соответствии с рекомендациями п. 9.1.2 [3] с обеспеченностью 85 % в результате статистической обработки результатов аналитического контроля.

Полученные значения исходной и осветленной сточной жидкости представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. **Расчетные концентрации компонентов исходных сточных вод г. Стерлитамак**

№ п/п	Наименование показателя	Единица измерения	Содержание при обеспеченности 85 %
1	Взвешенные вещества	мг/дм^3	286

2	БПК	мгO_2/дм^3	250
3	ХПК	мгO_2/дм^3	400
4	Азот аммонийный	мг/дм^3	54,64
5	Фосфор фосфатов	мг/дм^3	3,35

Таблица 2. **Концентрации загрязняющих веществ в осветленной воде**

№ п/п	Наименование показателя	Единица измерения	Значение
1	Взвешенные вещества	мг/дм^3	110,7
2	БПК	мгO_2/дм^3	162,5
3	Азот аммонийный	мг/дм^3	49,2
4	Фосфор	мг/дм^3	3,0

В проектном варианте биологическая очистка сточных вод производилась в четырех аэротенках-смесителях общим объемом 7711,2 м^3. Каждый аэротенк состоял из одного коридора размерами 51×9 м, рабочая глубина которого составляет 3,5 м, регенерация циркулирующего активного ила не производилась. Каждый аэротенк имеет вторичный отстойник, выполненный в едином блоке (рис. 1).

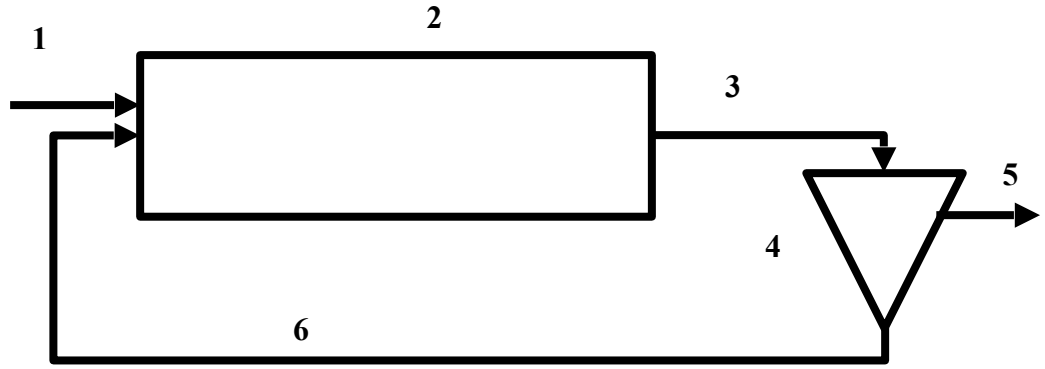


Рисунок 1. **Начальная схема потоков биологической очистки**:
1 – осветленная сточная жидкость; 2 – аэротенк; 3 – иловая смесь; 4 – вторичный отстойник; 5 – сточная жидкость после биологической очистки;
6 – возвратный активный ил

Анализ состава сточной жидкости и имеющихся аэрационных объемов указывает на высокую нагрузку на беззольное вещество активного ила (250 мгO_2/г) при расчетном притоке 25 тыс. м^3/сут и дозе ила 3 г/дм^3 по сухому веществу.

Для обеспечения развития нитрификации аммонийного азота технологический персонал вынужден был повышать дозу активного ила до предельных значений, обеспечиваемых вторичными отстойниками и снижать поступление исходных сточных вод на сооружения, поскольку

такая возможность имеется исходя из системы водоотведения г. Стерлитамака.

Работа на предельных режимах по дозе активного ила имела негативные последствия при колебаниях илового индекса вызванных изменением состава сточных вод [4–5].

При разработке малозатратных решений по оптимизации технологического режима, на начальном этапе были выполнены исследования по определению индивидуальных кинетических констант биологической очистки для определения удельной скорости окисления органических загрязнений. Численные значения констант были получены в результате обработки экспериментальных данных при построении графика двойных обратных величин (рис. 2).

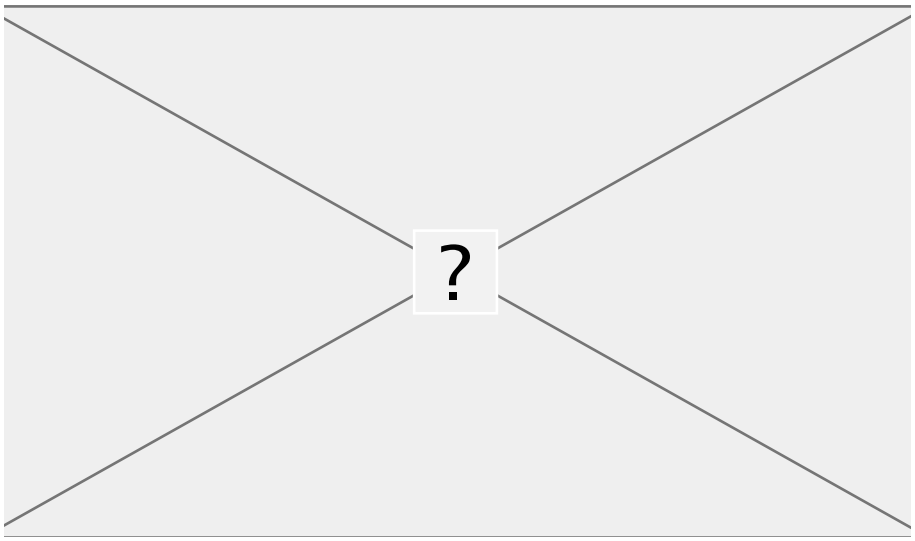


Рисунок 2. **График 1/V от 1/S**

В качестве основного направления первого этапа оптимизации технологического режима было принято зонирование объема аэротенков.

Зонирование было выполнено устройством ненесущих перегородок с выделением в каждом из четырех аэротенков четырех зон равного объема.

В результате технологического моделирования в среде Mathcad было установлено, что оптимальным решением организации технологических потоков является последовательная работа зон с подачей осветленной сточной жидкости во вторую зону и выделением первой зоны под регенератор активного ила (рис. 3).

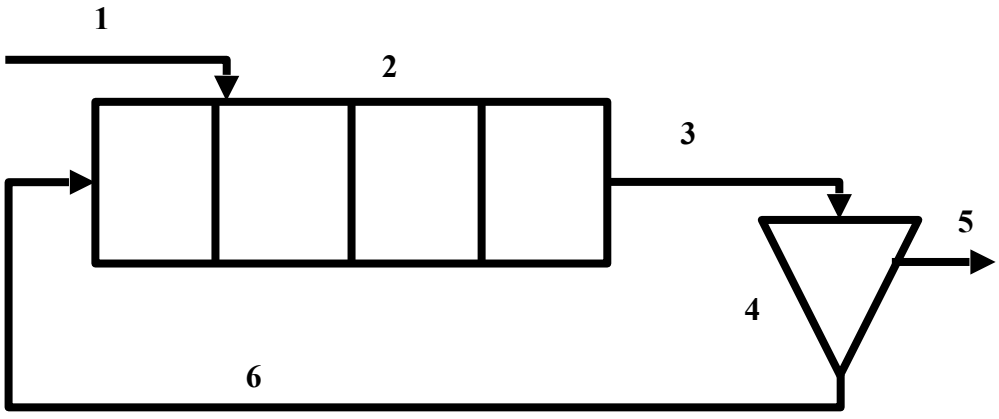


Рисунок 3. **Схема потоков после выделения зон**
(обозначения аналогично рис. 1)

В каждом из 4-х коридоров было установлено по 3 щита (перегородки) на равном расстоянии друг от друга. Щиты установлены таким образом, что движение жидкости из одной зоны в другую осуществляется через нижний зазор между рамой щита и днищем аэротенка.

Для выполнения работ использовалось минимальное количество материалов, общая стоимость работ составила 680 тыс. рублей.

Эффективность и стабильность процессов очистки оценивали путём непрерывного мониторинга качества очистки сточных вод, гидробиологических показателей активного ила (рис. 4).

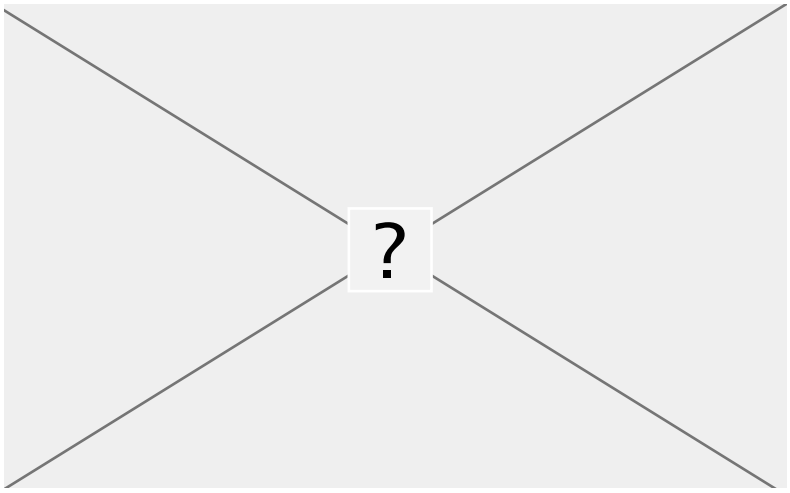


Рисунок 4. **Изменение показателя илового индекса до и после зонирования**

Полученные данные показали, что реализация решений первого этапа оптимизации вызволила принять на обработку проектное количество сточных вод при одновременной стабилизации илового индекса, снижения нагрузки на беззольное вещество и обеспечении устойчивой нитрификации аммонийного азота.

ВЫВОДЫ

1. Получение кинетических констант для биоценоза активного ила заданных очистных сооружений позволяет производить моделирование системы в широком диапазоне нагрузок и набора схем организации потоков.
2. Оптимизация сооружений блока биологической очистки обеспечивает существенный резерв повышения производительности и эффективности работы существующих очистных сооружений.

ЛИТЕРАТУРА

1. СНиП II-32-74 Канализация. Наружные сети и сооружения. – М.: ФГУП ЦПП, 2006. 87 с.
2. ИТС 10-2015. «Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов», утвержденный приказом Росстандарта от 15 декабря 2015 г. N 1580.
3. СП 32.13330.2012 Канализация. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.03-85. – М.: ФАУ «ФЦС», 2012. 86 с.
4. Яковлев С.В., Карюхина Т.А. Биохимические процессы в очистке сточных вод. – М.: Стройиздат, 1980. 200 с.
5. Хенце М. Очистка сточных вод: Пер. с англ./ Хенце М., Армоэс П., Ля-Кур-Янсен Й., Арван Э. – М.: Мир, 2004. 480 с.

УДК 628.35

АНАЛИЗ РАБОЧИХ РЕЖИМОВ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ АЭРОПОРТОВСКОГО КОМПЛЕКСА «ПЛАТОВ»

Н.С. Серпокрылов, Г.Н. Земченко
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия
А.С. Пчельникова
ГУП РО «Управление развития систем водоснабжения»,
г. Шахты, Россия

В статье проведен анализ работы очистных сооружений аэропортового комплекса «Платов» с учетом несоответствия количественного и качественного состава сточных вод в сравнении с проектным решением. Рассмотрены факторы, негативно влияющие на работу станции, и предложены решения для оптимизации процессов очистки.

Положительная тенденция строительства в нашей стране новых очистных станций зачастую омрачается тем, что в дальнейшем, при передаче объектов в эксплуатацию, персонал сталкивается с рядом повторяющихся ошибок, таких как: недочеты в выборе технологической схемы; несоответствие проектного количественного и качественного состава сточных вод фактическому; невозможность запуска на проектную производительность и т. д. Примерами таких сооружений, построенных в последние 2 – 3 года, могут служить: локальные очистные сооружения торгового центра «Лента», г. Новочеркасск [1]; очистные сооружения «Логопарк Дон», Аксайский р-н Ростовской области [2], очистные сооружения ЖК «Суворовский» г. Ростов-на-Дону [3] и т. д. К тому же в проектной документации этих сооружений, как правило, отсутствуют рекомендации на проведение пуско-наладочных работ в условиях несоответствия расходов и концентраций загрязнений сточных вод.

В итоге метод «проб и ошибок» приводит к низким показателям очистки на выходе из сооружений, что ухудшает состояние водоемов-приемников сточных вод.

С подобной проблемой столкнулось и предприятие ГУП РО «Управление развития систем водоснабжения» при пуско-наладке и дальнейшей эксплуатации построенных в 2017 г. для нового аэропортового комплекса «Платов» канализационных очистных сооружений производительностью 5 000 м^3/ч, расположенных в Аксайском районе Ростовской области. На построенных очистных сооружениях применена комбинированная технологическая схема, сочетающая 2-х ступенчатую

биологическую и физико-химическую очистку, доочистку и последующее обеззараживание сточных вод. Схема представлена на рисунке.

Для обеспечения равномерного в течение суток поступления сточных вод на очистные сооружения предусмотрено устройство заглубленного регулирующего резервуара, объемом 1 200 м^3 (2 секции по 600 м^3), расположенного на прилегающей территории.

Затем сточные воды по двум напорным трубопроводам поступают в производственный корпус на автоматические модульные установки механической очистки закрытого типа (Fenno Water - PMT) производительностью по 120 м^3/ч. Каждая установка состоит из автоматических барабанной решетки и песколовки.

Очистка поступающих сточных вод от мусора, отбросов, грубодисперсных примесей и части взвешенных веществ осуществляется на барабанной решетке закрытого типа (прозор 3 мм), входящей в состав установки Fenno Water - PMT (рис., поз.1.1). Уловленные и обезвоженные отбросы по шнековому транспортеру складируются в передвижной контейнер-накопитель.

Далее очищенная от отбросов и грубодисперсных примесей сточная вода поступает в автоматическую песколовку (поз. 1.2), оборудованную шнековыми сепаратором – обезвоживателем песка. Обезвоженный песок из песколовки также направляется в передвижной контейнер и далее вывозится на утилизацию.

Очищенная от отбросов и песка сточная вода по закрытому самотечному коллектору поступает в приёмную камеру первичных отстойников (поз. 2.1), конструктивно входящих в блок биологической очистки.

Осадок из первичных отстойников периодически отводится на одну из 2-х секций аэробного резервуара-минерализатора осадка (поз. 5) по самотечному илопроводу О1.

Для биологической очистки осветлённых сточных вод предусмотрен двухступенчатый процесс аэробной очистки: биологическая очистка с регенерацией активного ила и биологическая доочистка в биореакторах с прикреплённым биоценозом микроорганизмов.

Двухступенчатый процесс позволяет осуществлять очистку сточных вод в режиме высоких нагрузок на первой ступени, до низких – на второй ступени. В качестве основы биологической очистки первой ступени предусмотрен многокамерный аэротенк–вытеснитель, оснащённый системой мелкопузырчатой аэрации (поз. 2.3). Биологически очищенные сточные воды из аэротенка поступают во вторичный отстойник (поз. 2.4). Каждая технологическая линия оборудована тремя параллельными отстойниками, оборудованными ламинарными модулями, позволяющими вести осветление воды при высоких гидравлических нагрузках. Во вторичных отстойниках происходит осаждение взвешенного ила и

осуществляется его циркуляция в регенератор (поз. 2.2), а избыточный ил выводится из системы в одну из 2-х секций резервуара-минерализатора осадка (поз. 5).

Биологическая доочистка осуществляется в биореакторе-вытеснителе, оснащенном пластмассовыми носителями BIOBLOCK для иммобилизации биомассы активного ила (поз. 2.5).

После биореакторов биологически очищенные сточные воды направляются в аэрируемый резервуар биологически очищенной воды (поз. 2.7), откуда погружными насосами (поз. 15) подаются на установки микрофильтрования (поз. 3).

Для удаления фосфатов после биологической очистки предусмотрена подача низкоконцентрированного раствора коагулянта «АКВА-АУРАТ™30» в аэрируемый резервуар-постаэратор.

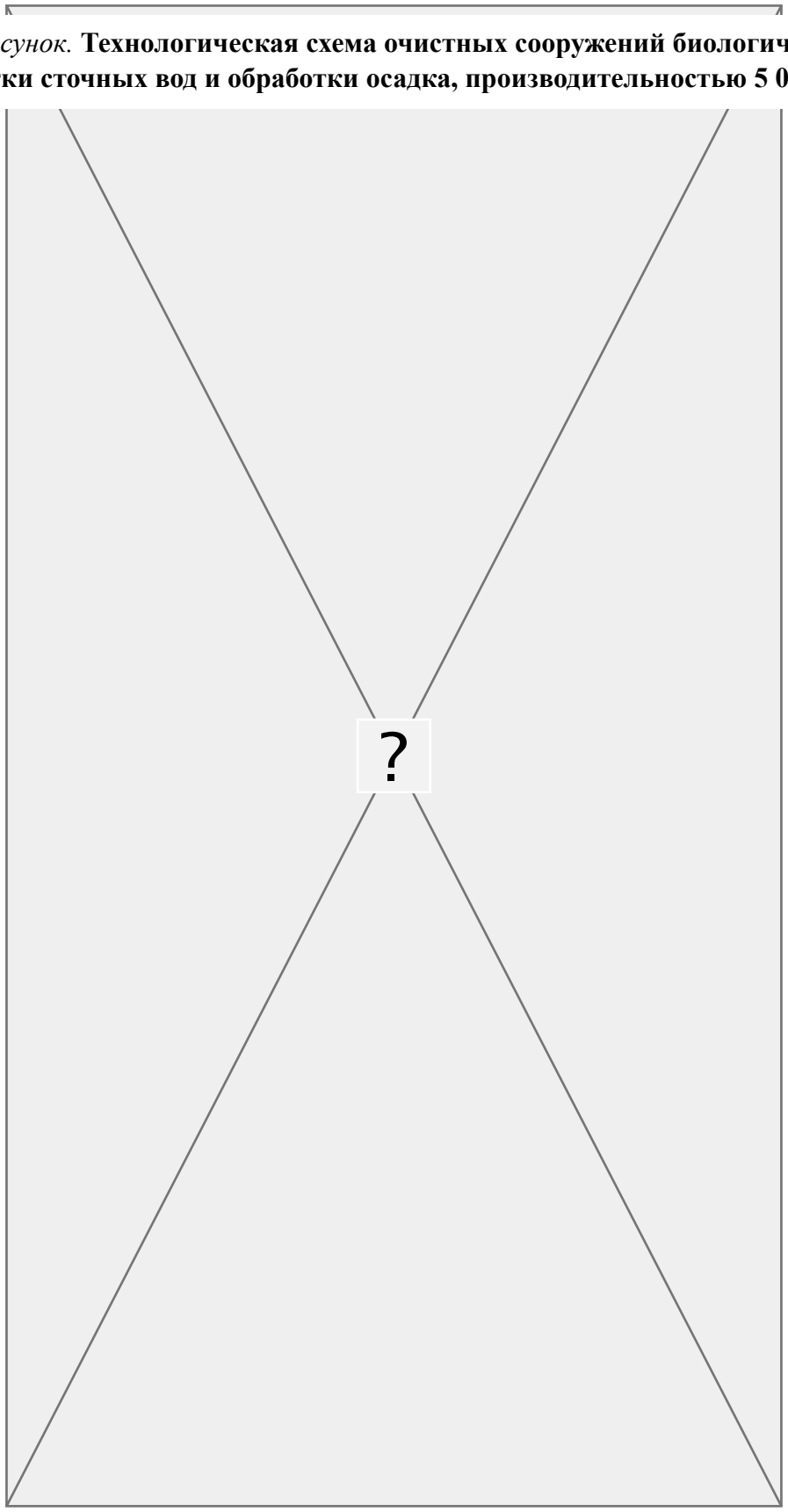
Блок доочистки включает в себя 4 самопромывающихся установки микрофильтрования SCRUFILTER (поз. 3), производительностью 60 м^3/ч каждая. Процесс доочистки на микрофильтрах осуществляется путем напорного фильтрования биологически очищенной сточной жидкости через непрерывно вращающийся барабанный фильтр с пластмассовыми сетками прозорами 40 мкм.

Для обеспечения требований СанПиН 2.1.5.980-00 [4] по микробиологическим показателям сточные воды подвергаются обеззараживанию на установках УФ-обеззараживания «Лазурь М250» (поз. 4), производительностью до 250 м^3/ч. Затем очищенные и обеззараженные сточные воды по самотечному коллектору отводятся на выпуск в р. Большой Несветай.

Во время пуско-наладочных работ канализационных очистных сооружений аэропортового комплекса «Платов» в соответствии с описанной выше технологической схемой сотрудники ГУП РО «УРСВ» столкнулись с рядом проблем, негативно влияющих на работу очистных сооружений.

1. Несоответствие фактического количества поступающих сточных вод проектному представлено в таблице 1. Очистные сооружения рассчитаны на расход сточных вод 5 000 м^3/ч (четыре технологические линии по 1 250 м^3/сут. каждая), при фактическом расходе не более 5 % от расчетного. Такое несоответствие привело к значительному увеличению времени пребывания сточных вод в сооружениях, загниванию органических веществ и заиливанию резервуара-усреднителя.

Рисунок. **Технологическая схема очистных сооружений биологической очистки сточных вод и обработки осадка, производительностью 5 000 м³/сут**



2. Расположение резервуара-усреднителя до сооружений грубой очистки привело к постоянному попаданию крупного мусора в накопительную емкость. Мусор оседал на дно усреднителя,

происходило заиливание и загнивание вод. Ситуация усугублялась отсутствием доступа в резервуар, полностью перекрытого бетонной плитой. Невозможность своевременной очистки дна привела к развитию процессов брожения и вторичному загрязнению. Кроме того, тряпки, салфетки и бутылки регулярно выводили из строя насосы, подающие сточную воду на очистные сооружения.

3. Отсутствие выделенных зон денитрификации, как в аэротенке, так и в биореакторе доочистки. Реализованная по проектной документации схема одновременной (симультанной) нитрификации-денитрификации в биореакторах доочистки на практике не давала ожидаемых результатов.
4. Отсутствие третичного отстойника после биореактора доочистки. На этапе проектирования первоначальная технологическая схема была изменена, - из нее были исключены третичные отстойники.

Их отсутствие вызвало ряд проблем:

- вынос ила из сооружений доочистки, и, как следствие, высокое содержание взвешенных веществ в очищенной воде;
- засорение установок доочистки микрофильтрованием;
- засорение ламп УФО, невозможность их использования для обеззараживания очищенных сточных вод;
- отсутствие гидродинамически адекватной точки ввода коагулянта для дефосфотации стоков.

Таблица 1. **Проектные и фактические показатели поступающих сточных вод**

Наименование показателя	Ед. изм.	Проектные показатели	Фактические показатели
Взвешенные вещества	мг/дм^3	300	146,4
ХПК	-«-	500	425,7
Хлориды	-«-	1000	191,4
Сульфаты	-«-	300	259,6
Аммоний-ионы	-«-	50	105,1
Нитрит- ионы	-«-	–	0,255
Нитрат-ионы	-«-	–	0,165
Фосфат-ионы	-«-	8	24,6
Железо общее	-«-	3	0,197
АПАВ	-«-	10	1,39
Водородный показатель	ед. pH	6–9	8,73

Согласно проектной документации, коагулянт необходимо вводить в постаэратор – аэрируемую емкость после биологической доочистки, в которой, согласно пояснительной записке, произойдет коагулирование. По факту же, протекание процессов коагуляции невозможно, т. к. отсутствует конструктивное оформление процесса смешения и хлопьеобразования. Таким образом, процессы дефосфотации не протекают, и показатели фосфатов в очищенной сточной воде значительно превышены.

Для решения указанных проблем нами были приняты следующие меры. С учетом фактического поступления сточных вод, в эксплуатацию была введена только одна технологическая линия из четырех. При этом линия работает в так называемом «замкнутом цикле», когда 70 – 80 % биологически очищенных вод сбрасывается в дренажную систему, оттуда снова попадает в «голову сооружений», обеспечивая нитратный рецикл. Тем самым была обеспечена непрерывная и стабильная работа сооружений биологической очистки и частично предотвращено застаивание воды в резервуарах-усреднителях, запроектированных на значительно больший объем поступающих вод.

Также для увеличения количества сточных вод, поступающих в усреднитель и дополнительного питания гетеротрофов-денитрификаторов, была выведена из эксплуатации дренажная насосная станция, собирающая внутриплощадочные воды и хозяйственно-бытовые потоки из административно-бытового корпуса. Для предотвращения засорения резервуара-усреднителя крупным мусором во входном колодце была смонтирована дополнительная решетка грубой очистки с прозорами 50 мм.

Ввиду низких концентраций взвешенных веществ в поступающих сточных водах первичный отстойник был исключен из технологической цепи. Вместе с тем, была изменена схема подачи вод в аэротенк, при которой сооружение работает без регенератора. Активный ил в аэротенке, ввиду малого количества сточных вод, находится в недогруженном состоянии и его регенерация, по существу, происходит непосредственно в последней (по ходу движения иловой смеси) трети аэротенка.

В биореакторе были выделены четыре коридора – по две чередующиеся анаэробные и диоксидные зоны для возможности протекания процессов денитрификации в доочистке.

Все вышеперечисленные мероприятия привели как к увеличению видового разнообразия микроорганизмов активного ила, так и к улучшению качества воды на выходе из очистных сооружений, но оказались недостаточными (табл. 2) для возможности протекания процессов полного окисления органических загрязнений и дефосфотации сточных вод. В очищенных хозяйственно-бытовых водах наблюдаются превышения концентраций загрязняющих веществ над предельно допустимыми концентрациями для сброса в водоем рыбохозяйственного

назначения по следующим показателям: взвешенные вещества, ХПК, аммоний-, нитрит- и нитрат ионы [5].

Таблица 2. **Показатели очищенных сточных вод по состоянию на октябрь 2018 г.**

Наименование показателя	Ед. изм.	Проектные значения	Фактические значения
Взвешенные вещества	мг/дм^3	6	10–20
ХПК	-«-	15	74
Хлориды	-«-	300	100
Аммоний-ионы	-«-	0,5	9
Нитрит-ионы	-«-	0,08	13
Нитрат-ионы	-«-	40	150
Фосфат-ионы	-«-	0,2	24
Водородный показатель	ед. pH	6,6–8,5	7,1–7,7
Растворенный кислород	мг/дм^3	≥ 4	9

Для достижения проектной эффективности очистки сточных вод на очистных сооружениях проводятся мероприятия по ретехнологизации технологической схемы:

– переоборудование одного из первичных отстойников в ацидофикатор при помощи дозирования в отстойник части избыточного ила и установки насосного агрегата для периодической рециркуляции образующегося осадка;

– выделение первого коридора аэротенка под емкость денитрификатора, путем отключения подачи воздуха и установки погружных пропеллерных мешалок;

– устройство третичного отстойника после биореактора доочистки в существующих емкостях незадействованной технологической линии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Костюков П.В., Костюков В.П., Угроватова Е.Г., Федотов Р.В., Пчельников И.В. Опыт модернизации модульных очистных сооружений сточных вод торгового комплекса / Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2017»: материалы X-Юбилейной Межд. науч.-практ. конф.; г. Астрахань, 5-6 октября 2017 г. / Юж.-Рос. гос. политехн. ун.-т. (НПИ) имени М. И. Платова – Новочеркасск: Лик, 2017. С 219–224.

2. Красильников Е.А., Макаров В.Л., Серпокрылов Н.С., Марам Саийд. Опыт эксплуатации модернизированных очистных сооружений сточных

вод логистического центра «Логопарк Дон» / Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2017»: материалы X-Юбилейной Межд. науч.-практ. конф.; г. Астрахань, 5-6 октября 2017 г./ Юж.-Рос. гос. политехн. ун.-т. (НПИ) имени М. И. Платова – Новочеркасск: Лик, 2017. С 275–280.
3. Вильсон Е.В., Серпокрылов Н.С., Долженко Л.А., Смоляниченко А.С., Марам Саийд. Анализ результатов обследования комбинированных сооружений для очистки городских сточных вод / Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД – 2017»: материалы X-Юбилейной Межд. науч.-практ. конф.; г. Астрахань, 5–6 октября 2017 г. / Юж.-Рос. гос. политехн. ун.-т. (НПИ) имени М. И. Платова – Новочеркасск: Лик, 2017. С 209–214.
4. СанПиН 2.1.5.980-00 Гигиенические требования к охране поверхностных вод. Дата введения 2001-01-01.
5. Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 13.12.2016. №552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения».

УДК 628.316.13

ОСОБЕННОСТИ СТОЧНЫХ ВОД САХАРНЫХ ЗАВОДОВ И ВОЗМОЖНЫЕ СПОСОБЫ ИХ ОЧИСТКИ

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

Описаны особенности производственных процессов, характер сточных вод и их виды. Предложена технологическая схема очистки транспортерно-моечных вод сахарных заводов.

Сахарная промышленность одна из активно развивающихся промышленностей в нашей стране. В 2017 году в России было произведено более 6 млн т сахара, что почти на 5 % выше показателей 2016 года.

Основным сырьем для получения сахара является сахарная свекла. Особенностями производства сахара являются:

– сезонность работы заводов (обычно с сентября по декабрь, т. е. в течение 100 – 130 суток);

– высокое водопотребление и соответственно, образование большого количества сточных вод. Количество потребляемой воды в производстве в 22 – 24 раза превышает массу перерабатываемой свеклы [1];

– четкое деление качества производственных сточных вод по составу и степени загрязнения, в зависимости от вида операций в которых они образуются.

Наряду с особенностями производственных процессов получения сахара следует отметить и особенности состава сточных вод свеклосахарных заводов.

Условно все сточные воды в зависимости от точки образования и степени загрязнения, подразделяют на следующие виды:

- транспортерно-моечные;
- условно-чистые;
- производственные.

Транспортерно-моечные и производственные сточные воды относятся к высококонцентрированным сточным водам, кроме того, данные сточные воды содержат сапонин, обладающий гемолитической и поверхностной активностью, а также высокой токсичностью по отношению к холоднокровным (рыбы, лягушки и т.д.). Специфическим свойством сапонинов является их способность снижать поверхностное натяжение жидкости. Содержание сапонина в сточных водах сахарных заводов лежит в пределах 25 – 30 мг/л, но в некоторых случаях может достигать 50 мг/л, при этом, ПДК сапонина для рыбохозяйственного

водоема 0,2 мг/л. И, наконец, данные сточные воды, как и все сточные воды, образующиеся при переработке овощей, имеют низкое содержание биогенных элементов [2].

Все перечисленное, несмотря на наличие общих черт, с учетом сезонности образования сточных вод, большого разнообразия их состава, является сложной задачей при организации очистки воды.

Самые большие объёмы сточных вод образуются в процессе гидротранспорта свеклы и её мойки, это так называемые транспортерно-моечные сточные воды. Количество этих вод составляет 55 % от общего количества стоков, а иногда может достигать 80 % [3]. Данные сточные воды являются высококонцентрированными, как по органическим, так и минеральным загрязнениям. Основным загрязнением транспортерно-моечных вод являются: песок, земля, камни, галька, свекольные стебли и хвосты, обломки свеклы, солома и т.д., кроме того эти воды содержат минеральные соли, сахара, сапонин и огромное количество микроорганизмов. Состав этих стоков в значительной мере зависит от погодных условий сбора свеклы, состава почвы, способа уборки, транспортирования и хранения корнеплодов. Поэтому разброс концентраций загрязнений в этих водах значительный. В среднем количество боя свеклы к общей массе загрязнений составляет 2,9 – 9,6 %, хвосты, ботва, солома составляет 1,5 – 8,3 %, камни, галька 5,7 – 11,7 %. Считается, что средняя концентрация взвешенных веществ в этих сточных водах лежит в пределах 6 000 – 10 000 мг/л, однако, в некоторых случаях, может достигать 21 500 – 22 000 мг/л, концентрация органических загрязнений (по $БПК_п$) ≈ 1400 мгO_2/л, Cl ≈ 40 – 60 мг/л, сульфаты 100 – 120 мг/л.

Учитывая специфику загрязнений транспортерно-моечных сточных вод, следует рекомендовать для их очистки блок сооружений с коротким временем пребывания, так как данные воды склонны к загниванию и выделению зловонных запахов. Наличие в них загрязнений, которые можно рассматривать как кормовые добавки, требует их удаления из воды с помощью ботволовушек, хвостикоуловителей, различных сит. Тем самым, после промывки и брикетирования они могут быть реализованы или направлены вместе со свеклой на производство сахара. Тяжелые минеральные примеси такие как: песок, камни, галька следует удалить, предусмотрев в технологической схеме песколовку, устройство которой позволит уменьшить на 1/3 объём осадка, который может быть задержан в последующих сооружениях. Данный осадок минерального происхождения, низкой влажности (60 %), может быть складирован на территории завода и там же использован. [3]. Учитывая наличие в сточных водах сапонина, для его удаления и удаления взвешенных частиц, снижения микробной обсеменённости стока считаем целесообразным предусмотреть в технологии обработки сточных вод флотацию. Процесс может быть

реализован во флотаторе-отстойнике, со временем пребывания в нём 30 – 40 мин. Для интенсификации процессов седиментации не флотируемой взвеси, снижения концентрации сахаров, снижения величины БПК в растворе перед подачей сточных вод во флотатор-отстойник в сточную воду следует добавить известь (CaO), которая активно используется на производстве. Добавление извести предотвратит реакцию восстановления сульфатов в сульфиды и исключит, в последствие, возможное образование H_2S. Количество извести можно контролировать по величине pH раствора, которая должна находиться в пределах 10 – 12. Наличие в данных сточных водах большого количества микроорганизмов, склонность воды к загниванию требует произвести ее дополнительное обеззараживание. С этой целью после флотаторов-отстойников предусматриваем контактный резервуар, который можно рассматривать и как резервуар-накопитель. Обеззараживание происходит с использованием хлорной извести.

Осадок, образовавшийся в отстойнике, имеет влажность 94 – 95 %, влажность шлама 90 – 92 %. Для сокращения объемов, осадки следует направлять на сооружения механического обезвоживания совместно с осадками, образующимися в процессе очистки производственных сточных вод. Ниже на рисунке приведена рекомендуемая технологическая схема очистки траспортерно-моечных вод.

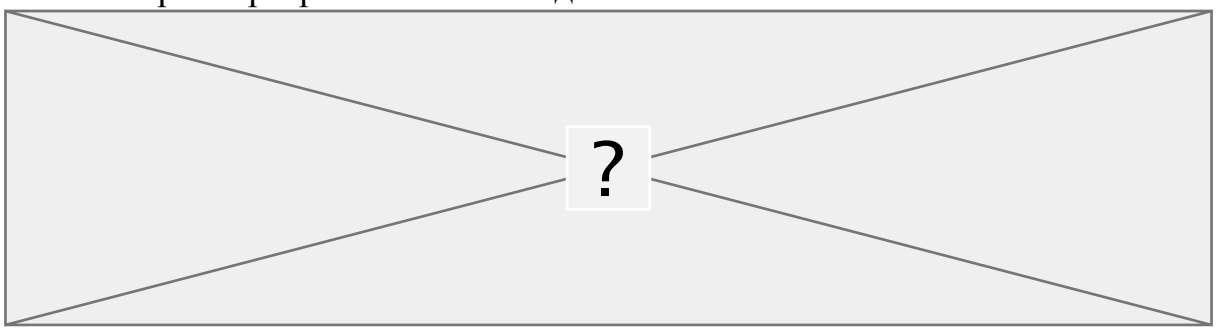


Рисунок. **Технологическая схема очистки транспортерно–моечных сточных вод**: 1 – сита; 2 – горизонтальная песколовка; 3 – напорный бак; 4 – флотатор-отстойник; 5 – накопительный резервуар

Эффект очистки при использовании данной технологии достигает 99 – 99,5 %. Это позволяет создать систему оборотного водоснабжения, повторно использовать данную воду в технологии производства сахара в качестве транспортерно-моечной.

ЛИТЕРАТУРА

1.Лихачев Н.И., Ларин Н.И., Хаскин С.А. и др. Канализация населенных мест и промышленных предприятий / Под общ. ред. В.Н. Самохина. – М.: Стройиздат, 1981. 639 с.

2.Очистка промышленных сточных вод: пер. с нем. – СПб.: Новый журнал, 2012. 384 с.

3.Мейнк Ф., Штофф Г. Очистка промышленных сточных вод: пер. с нем., под ред. Б.А. Иванова – Л: Государственное научно-техническое издательство, 1963. 645 с.
4.Спичак В.В. и др. Водное хозяйство сахарных заводов / Под общ. ред. В.В. Спичака. – Курск: ГНУ РНИИСП Россельхозакадемии, 2005.

УДК 628.35

КОМБИНИРОВАННАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

А.А. Кулаков, М.М. Пукемо
ООО «Альта Групп», г. Москва, Россия

Предложены технологические решения для модернизации существующих биологических КОС или нового строительства.

Малые канализационные очистные сооружения (КОС), согласно [1] производительностью до 1 000 м^3/сут, имеют ряд проблем, среди которых технические, организационные и экономические [2–3]. Это зачастую приводит к их неэффективной работе, низкой надежности и увеличению негативного влияния на окружающую среду.

Достижение установленных природоохранных нормативов на малых КОС представляется проблематичным [4]. Это приводит к штрафным санкциям водопользователям.

При проектировании, монтаже и эксплуатации малых КОС необходимо учитывать их особенности, наиболее характерными из которых являются:

- частые пиковые нагрузки на сооружения по объему и составу сточных вод, высокая неравномерность нагрузки;
- удаленность объектов, что затрудняет их быструю эксплуатацию и удорожает строительство, вводит ограничения на размеры конструкций с учетом транспортных габаритов;
- высокая себестоимость капитальных и эксплуатационных затрат ввиду удорожания очищаемого 1 м^3;
- низкая эффективность обслуживания ввиду отсутствия или неподготовленности обслуживающего персонала.

Данные особенности накладывают ограничения на применяемые технологические решения, при этом определяющим становятся габаритные размеры транспортировки. В противном случае потребуется возведение объекта на месте, что резко увеличивает его себестоимость.

Транспортное ограничение сооружений по высоте (рабочая глубина сооружений биологической очистки и отделения биомасс не превышает 2,1 м) делает практически недоступным применение технологий с активным илом, особенно при дозе выше 3 г/л.

Так обследование мобильных сооружений производительностью 30 м^3/сут показало, что при пиковых поступлениях, которые отмечались регулярно, происходит практически полное вымывание активного ила из реактора, что обнуляет работоспособность сооружений. В рабочем режиме сооружений наблюдался периодический вынос активного ила.

В этом отношении для малых КОС выглядит перспективнее применение реакторов с прикрепленным биоценозом.

Сравнение биореакторов с активным илом и биопленкой приведено в таблице 1.

Возможно и комбинирование биомасс, в одном реакторе могут находиться активный ил и биопленка, при условии удержания ила от выноса с очищенной водой.

В целом, преимуществом систем с прикрепленной биомассой является надежность технологии и устойчивость к пиковых притокам, простота эксплуатации, компактность решений и возможность быстро переоборудовать существующие сооружения за счет монтажа биозагрузки.

Таблица 1. **Особенности биореакторов с различным биоценозом**

Параметр	Активный ил	Биопленка
Пиковый приток	Возможен вынос	Устойчив
Технология	Требуется четкое разделение кислородных зон	Возможно сокращение числа кислородных зон
Обслуживание	Требуется контроль дозы ила, возможно вспухание и вынос ила	Не требуется контроль дозы, периодическое открепление, сложно оценить дозу
Экономика	Не требует дополнительных накопителей биомассы	Позволяет увеличить рабочую дозу, требует дополнительных затрат на накопители биомассы
Параметры сооружений	Требует большей глубины для предотвращения выноса или большей площади при малых «рабочих» дозах	Возможно снижение глубины при незначительном уменьшении площади за счет повышения «рабочей» дозы

Одним из решений проблемы неэффективной работы малых КОС могут являться комбинированные сооружения, где в одном реакторе соединяются биологическая очистки и отделение биомассы.

В советское время активно внедрялись компактные установки типа КУ, которые достаточно эффективно применяются и сейчас. В них аэротенк и отстойник объединялись в одном резервуаре, однако они четко разделялись на соответствующие зоны, а системы сбора и удаления осадка была традиционной, что часто приводило к загниванию и всплыванию ила.

Разработанное сооружение – тонкотрубный биореактор-отстойник – позволяет использовать одну емкость для биологической очистки со свободно плавающем илом и прикрепленной биопленкой, а также отделения биомассы от очищенной воды в тонкослойном режиме.

Соединение в одном резервуаре отстойника с биореактором позволяет уменьшить требуемые объемы и максимально их использовать.

Регулирование кислородных условий в реакторе интенсивностью системы аэрации и клапанами включения и выключения позволяет обеспечить необходимый технологический режим.

Устройство работает следующим образом. Очищаемая сточная жидкость, пройдя предварительно механическую очистку (отделения крупных включений, при необходимости отстаивание), поступает в емкость реактора, где смешивается с иловой смесью, которая поддерживается во взвешенном состоянии за счет перемешивания аэрацией. За счет многократной циркуляции насосным оборудованием в самой емкости происходит моментальное разбавление сточной воды и снижение нагрузки на биоценоз. Биопленка удерживается на поверхности трубчатых элементов, внутренняя полость которых выполняет функцию тонкослойного отстойника, а внешняя – загрузочного материала иммобилизации для биоценоза. Отделение выносимой из реактора биомассы происходит в тонкослойном режиме в тонкотрубном отстойнике, нижняя часть которого является зоной сбора и отвода осадка. При этом вся биомасса постоянно находится в реакторе, обеспечивая «максимальную полезность» имеющегося объема. Очищенная жидкость отводится через верхнюю зону трубчатого отстойника.

Прочистка нижней зоны трубчатых элементов осуществляется за счет постоянной циркуляции насосным оборудованием, что решает проблему загнивания и всплывания ила. При необходимости избыточная часть ила может выводиться из системы на обработку.

Основным преимуществом данного сооружения является соединение всех элементов в одном технологическом пространстве и ликвидация ненужных пустых зон, которые обычно имеются в отстойниках.

Отношение трубчатого отстойника к общему объему всей камеры составляет 3 – 5 %. Такое незначительное снижение объема биореактора при увеличении окислительной мощности за счет дополнительного использования прикрепленного биоценоза обеспечивает общий рост эффективности работы сооружений по удалению органических веществ и биогенных соединений.

Разработанное решение можем применяться при модернизации существующих биологических КОС или нового строительства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 10-2015 «Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов».
2. Кулаков А.А. Совершенствование малых канализационных очистных сооружений / Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. 2017. № 5. С. 27–36.
3. Кулаков А.А. Оценка современного состояния малых коммунальных очистных сооружений канализации // Вода и Экология. Проблемы и решения. Санкт-Петербург: ЗАО «Водопроект»-Гипрокоммунводоканал», 2015. № 1. С. 26–39.
4. Кулаков А.А. Экологическая оценка комплекса «водный объект – выпуск очищенных сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2013. № 5. С. 25–30.

УДК 628.316.12

НОВЫЕ СОРБЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ

С.В. Степанов, О.Н. Панфилова
Академия строительства и архитектуры Самарского государственного технического университета, г. Самара, Россия.

В статье обобщены результаты исследований сорбции ионов тяжелых металлов из модельных растворов в статических условиях при концентрациях на уровне сотых и десятых долей мг/л, что соответствует их содержанию в биологически очищенных городских сточных водах. Изучены известные сорбенты – активированный уголь, природные и синтетические цеолиты, а также новые сорбенты на основе модифицированных опилок и глины. Определение кинетических зависимостей сорбции ионов меди показало преимущество сорбентов на основе модифицированных глин Самарского региона. Дальнейшие исследования десяти образцов на основе этих глин позволили определить оптимальный состав сорбента. Равновесные сорбционные емкости выбранного образца, соответствующие рыбохозяйственным ПДК, при очистке многокомпонентного раствора составили, мг/г: по железу 1,95; по меди 0,75; по цинку 0,464; по марганцу 0,011, по свинцу 0,77. Изотермы сорбции наилучшим образом описываются моделями Лэнгмюра-Фрейндлиха и Тоха.

Природные глинистые минералы продолжительное время изучаются с целью использования в качестве сорбентов для очистки природных и сточных вод. Не ослабевает к ним интерес и в настоящее время как за рубежом [1–4], так и в нашей стране [5–8]. Недостатком природных глинистых минералов является их небольшая сорбционная емкость, однако это компенсируется низкой себестоимостью подобных сорбентов, богатой сырьевой базой, технологичностью их использования, отсутствием необходимости регенерации и избирательной сорбцией к ионам тяжелых металлов. Исследование был направлено на поиск недорогих сорбентов на основе природных компонентов, сорбционные свойства которых позволят достичь ПДК рыбохозяйственных водоемов по основным ионам тяжелых металлов.

В качестве исследуемых образцов первоначально были выбраны: Холинский цеолит, синтетический цеолит *NaX*, термически модифицированная глина и древесные опилки, модифицированные ортофосфорной кислотой. Изучение сорбционных свойств материалов проводили в статических условиях на однокомпонентном растворе меди с исходной концентрацией 1 мг/л, массой сорбента 1 г, объёмом раствора 200 мл. Время контакта изменялось от 20 до 180 минут. Максимальная эффективность очистки и сорбционная емкость для образцов составила:

94,5 % и 0,189 мг/г для Холинского цеолита; 94,1 % и 0,188 мг/г для синтетического цеолита *NaX*; 92,4 % и 0,185 мг/г для модифицированных опилок и 99,8 % и 0,200 мг/г для модифицированной глины. Кинетика сорбции на модифицированной глине оказалась самой быстрой из представленных образцов и к 20 минуте взаимодействия сорбент-раствор установилось равновесие [9–10]. Дальнейшие исследования были продолжены с сорбентами на основе глин.

В качестве основы для получения новых образцов были выбраны: глины – желтая и белая, отожжённый торф, древесная зола, доломитовая мука, пшеничная шелуха. Компоненты смешивались в различных соотношениях для последующего выбора лучших образцов. Для изменения химической структуры и морфологии поверхности, образования пористости и увеличения сорбционной емкости применялась термическая модификация. Из десяти образцов были отобраны шесть с высокой сорбционной емкостью и быстрой кинетикой. Сравнение новых сорбентов велось по кинетике сорбции [11]. Исходные концентрации $C_{исх}$, время достижения равновесия *t*, соответствующие равновесные концентрации C_p для активированного угля БАУ-А и двух наиболее эффективных образцов на основе глин, а также рыбохозяйственные ПДК представлены в таблице 1.

Таблица 1. **Результаты исследования кинетики сорбции**
(масса сорбента 1 г, объём раствора 200 мл)

ИТМ	$C_{исх}$, мг/л	Образец № 2		Образец № 8		БАУ-А		ПДК
		C_p, мг/л	*t*, мин	C_p, мг/л	*t*, мин	C_p, мг/л	*t*, мин	
Cu^{2+}	0,7	0,002	150	0,001	90	0,016	90	0,001
Fe^{3+}	1,1	0,059	10	0,009	5	0,092	10	0,01
Mn^{2+}	0,8	0,266	150	0,005	60	0,04	150	0,01
Zn^{2+}	1,6	0,007	90	0,008	20	0,018	150	0,01
Pb^{2+}	0,9	0,005	5	0,001	5	–	150	0,006
Al^{3+}	2,3	0,038	90	0,273	150	0,058	150	0,04

Наиболее универсальным (позволившим достигнуть ПДК по пяти металлам) для глубокой очистки сточных вод оказался сорбент № 8, который имел в составе 10 частей желтой глины, 10 частей белой глины, 10 частей отожжённого торфа и 1 часть доломита. В качестве связующего вещества использовали поливинилацетат в объёме двух массовых частей. Образец № 2, обеспечивший очистку до ПДК по цинку, свинцу и алюминию, имел аналогичный состав, но вместо доломита была добавлена древесная зола в количестве 1 массовой части.

Серия опытов в статических условиях была проведена для образца

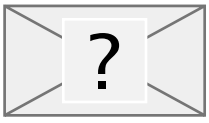
№ 8 по пяти металлам. Для построения изотерм сорбции использовали метод неизменных навесок и переменных концентраций ионов тяжелых металлов (от 27 до 0,05 мг/л). Продолжительность контакта была выбрана 150 минут заведомо достаточной для наступления равновесия. В таблице 2 представлены равновесные сорбционные емкости, соответствующие ПДК рыбохозяйственных водоемов, и полные (или максимальные) сорбционные емкости.

Таблица 2. **Статика сорбции ионов тяжелых металлов образцом № 8**
(объем раствора 200 мл, масса сорбента – 1 г, температура 20 °С)

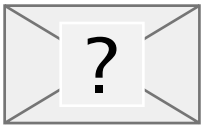
Металл	Сорбционная емкость, мг/г	
	соответствующая ПДК	полная / максимальная
Cu^{2+}	0.75	2.33*
Fe^{3+}	1.95	3.17
Mn^{2+}	0.01	1.14
Zn^{2+}	0.46	1.75*
Pb^{2+}	0.77	1.67*

Примечание: * полная сорбционная емкость не была достигнута

Рассмотрена аппроксимация полученных для образца № 8 изотерм сорбции пяти металлов с использованием уравнений Фрейндлиха, Лэнгмюра, обобщенной Лэнгмюра-Фрейндлиха, Тоха и Редлиха-Петерсона. Методом наименьших квадратов с применением программы *MathCAD* было определено, что уравнение Лэнгмюра-Фрейндлиха (1) наиболее адекватно описывает процесс сорбции по ионам, не достигшим порога насыщения – меди, цинку и свинцу. Для железа и марганца лучше подходит модель Тоха (2):



(1)



(2)

где C_p – равновесная концентрация ионов, мг/л; М – максимальная адсорбция, мг/г; β – степень неоднородности ($0 < \beta < 1$); k – константа.

ВЫВОДЫ

1. Наименьшее время достижения равновесия по меди показали образцы: модифицированная глина – 20 мин, остаточная концентрация –

0,002 мг/л, сорбционная емкость 0,200 мг/г, эффект очистки – 99,8 %; модифицированные опилки – 60 мин, остаточная концентрация – 0,076 мг/л, сорбционная емкость 0,185 мг/г, эффект очистки – 92,4 %; Холинский цеолит – 90 мин, остаточная концентрация – 0,055 мг/л, сорбционная емкость 0,189 мг/г, эффект очистки – 94,5 %; синтетический цеолит NaX – 120 мин, остаточная концентрация – 0,059 мг/л, сорбционная емкость 0,188 мг/г, эффект очистки – 94,1 %.

2. Изучены десять различных образцов, содержавших в своем составе желтую и белую глины, отожжённый торф, древесную золу, доломитовую муку, пшеничную шелуху. Образец № 8, изготовленный из 10 частей желтой глины, 10 частей белой глины, 10 частей отожжённого торфа и 1 части доломита, имел хорошие кинетические показатели, а очищенная с его помощью вода соответствовала рыбохозяйственным ПДК по железу, марганцу, меди, свинцу и цинку. Образец № 2 с аналогичным составом, но с древесной золой вместо доломита, показал большую сорбционную емкость по алюминию и обеспечил очистку воды до ПДК.
3. Значения сорбционной емкости, полученные в статических условиях для образца № 8 и соответствующие рыбохозяйственным ПДК, составили, мг/г: по железу 1,95; по меди 0,75; по цинку 0,464; по марганцу 0,011, по свинцу 0,77.
4. Уравнение Лэнгмюра-Фрейндлиха наиболее адекватно описывает изотермы сорбции по тем ионам тяжелых металлов, по которым насыщение сорбционный емкости не было достигнуто. Для металлов с изотермой сорбции, завершающейся горизонтальным участком, лучше подошла модель Тоха.

ЛИТЕРАТУРА

1. Srivastava P., Singh B., Angove M. Competitive adsorption behavior of heavy metals on kaolinite // J. Coll. Interface Sci. 2005. vol. 290. № 1. P. 28–38.
2. Singh K.K., Rastogy R., Hasan S.H. Removal of Cr(VI) from wastewater using rice bran // J. Coll. Interface Sci. 2005. vol. 290. № 1. P. 61–68.
3. Egirany D.E., Baker A.R., Andrews J.E. Copper and zinc removal from aqueous solution by mixed mineral systems: I Reactivity and removal kinetics // J. Coll. Interface Sci. 2005. vol. 291. № 2. P. 319–325.
4. Lacin O., Bayrak B., Korkut P., Sayan E. Modeling of adsorption and ultrasonic desorption of cadmium (II) and zinc (II) on local bentonite //J. Coll. Interface Sci. 2005. vol. 292. № 2. P. 330–335.
5. Чиркст Д.Э., Литвинова Т.Е., Черемисина О.В., Иванов М.В., Мироненкова Н.А. Изотерма сорбции катионов стронция на глине // Журнал прикладной химии. 2003. Т. 76. № 5. С. 755–758.
6. Голдовская-Перистая Л.Ф., Воловичева Н.А., Везенцев А.И.,

Перистый В.А. Изотерма сорбции ионов стронция монтмориллонит-гидрослюдными глинами // Сорбционные и хроматографические процессы. 2011. Т. 11. № 2. С. 165–171.
7. Дударева Г.Н., Петухова Г.Н., Нгуен А.Т.Н., Сырых Ю.С. Исследование сорбции ионов никеля (II) на углеродных сорбентах // Физикохимия поверхности и защита материалов. 2013. Т. 49. № 4. С. 389–396.
8. Вигдорович В.И., Цыганкова Л.Е., Николенко Д.В., Акулов А.И., Румянцев Ф.А. Адсорбционная способность глауконита Бондарского района Тамбовской области // Сорбционные и хроматографические процессы. 2010. Т. 10. № 1. С. 121–126.
9. Степанов С.В., Панфилова О.Н. Извлечение ионов тяжелых металлов сорбентом на основе глин самарского региона // В сб.: Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительные технологии, № 75. С. 153–159.
10. Степанов С.В., Панфилова О.Н. Доочистка сточных вод от ионов меди на различных типах сорбентов // Приволжский научный журнал. 2018. № 1. С. 55–63.
11. Степанов С.В., Панфилова О.Н., Абдугаффарова К.К. Доочистка сточных вод от ионов тяжелых металлов на основе модифицированных глин // Водоснабжение и санитарная техника. 2018. № 1. С. 46–50.

УДК 628.237.2; 628.521

ПРОМЫШЛЕННЫЕ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ СООРУЖЕНИЙ И НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ – НОВЫЕ ПОДХОДЫ И РЕШЕНИЯ

Л.Н. Фесенко, С.А. Щукин, Р.Ю. Алексеевских, А.А. Мусаев
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия
А.Ю. Черкесов, С.И. Игнатенко
ООО НПП «ЭКОФЕС», г. Новочеркасск, Россия
И.А. Тронь
АО «РостовВодоканал», г. Ростов-на-Дону, Россия

Рассмотрен вопрос очистки вентиляционных выбросов канализационных сооружений и насосных станций. Предложена двухступенная технологическая схема очистки вентиляционных выбросов от ДПВ с использованием метода железо-каталитического окисления сероводорода кислородом воздуха в присутствии катализатора – гидроксида железа, а также окисление аммиака, меркаптана и доочистка воздуха от сероводорода гипохлоритом натрия с его последующей электрохимической регенерацией в циркулирующем хлоридном растворе.

Сероводород, аммиак и меркаптаны являются весьма токсичными веществами, их содержание в воздухе строго регламентируется. Особо насущным является вопрос очистки вентиляционных выбросов на сооружениях канализационной сети. Повышенные требования к защите окружающей среды от промышленных выбросов дурнопахнущих веществ (ДПВ) [1], ужесточение требований в части нормирования, а также объемные штрафы, изымаемые с предприятий за причинённый экологический вред [2], ставят проблему очистки вентиляционных выбросов на канализационных сооружениях и насосных станциях в ряд первоочередных, требующих поиска новых подходов и технологий.

В настоящее время становится очевидным, что вопросы эксплуатации канализационной системы городов, в том числе и систем отвода воздуха, является важным аспектом охраны окружающей среды и создания благоприятной среды жизнедеятельности человека.

Основным загрязнителем вентиляционных выбросов на канализационных сооружениях и насосных станциях является сероводород (СВ). Сероводород, присутствующий в городских сточных водах, образуется, главным образом, путем восстановления сульфат иона SO_4^{2-}, а также других серосодержащих соединений, биологическим путем в результате жизнедеятельности анаэробных бактерий [3].

Вопреки обширным исследованиям, проводимым в области газоочистки вентиляционных выбросов от СВ [4–6], интерес к данной проблеме не снижается, а возрастает и продолжается поиск иных решений, приоритетными из которых являются технологии, наиболее экономичные, эффективные, сравнительно простые и надежные в эксплуатации.

Существуют следующие методы очистки воздуха от ДПВ, которые подразделяются на группы: термические, биологические, сорбционные (абсорбционные и адсорбционные), каталитические, фотокаталитические, химические, электроразрядные, прямого фотолиза. На сегодняшний день все большее внимание привлекают системы очистки воздуха от ДПВ с комбинациями разных методов.

Предложено достаточно много способов очистки воздушных выбросов от СВ, однако широкое применение нашли лишь некоторые из них [9]. Известно, что сероводород, являясь хорошим восстановителем, легко окисляется до серы и ее окислов многими окислителями, в том числе такими как хлор (гипохлорит натрия) [10] и кислород [11].

В работах [7–8] предложены методы и основные технологии удаления СВ с использованием железо- и хлор- содержащих реагентов. Выбор железо-каталитического метода продиктован жесткими требованиями к качеству воздуха и технологических газовых смесей. Применение гипохлорита натрия также способно высокоэффективно решить вопрос удаления СВ и из вентиляционного воздуха.

Окисление СВ гипохлоритом натрия описывается следующими основными уравнениями:

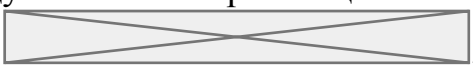
 ;

 .

Это типичная окислительно-восстановительная реакция, протекающая в водном растворе до конца и необратимо. Из данных [10] следует, что окисление СВ целесообразно проводить в кислой и нейтральной средах. В щелочной среде возможно растворение серы с образованием полисульфидов. В кислой и нейтральной средах весь СВ образует элементарную серу S^o, которую возможно выделить, при этом в растворе остается только хлорид натрия, который целесообразно повторно многократно использовать в технологическом цикле после его электрохимической обработки (электролиза) с переводом хлоридов в гипохлорит натрия.

Окислительный метод обезвреживания СВ с использованием гипохлорита натрия, получаемого путем электролиза хлоридных растворов, представлен на рисунке 1 и включает следующие этапы:

- поглощение СВ из воздуха и его нейтрализация:

 ;

- электрохимическую регенерацию сорбента:

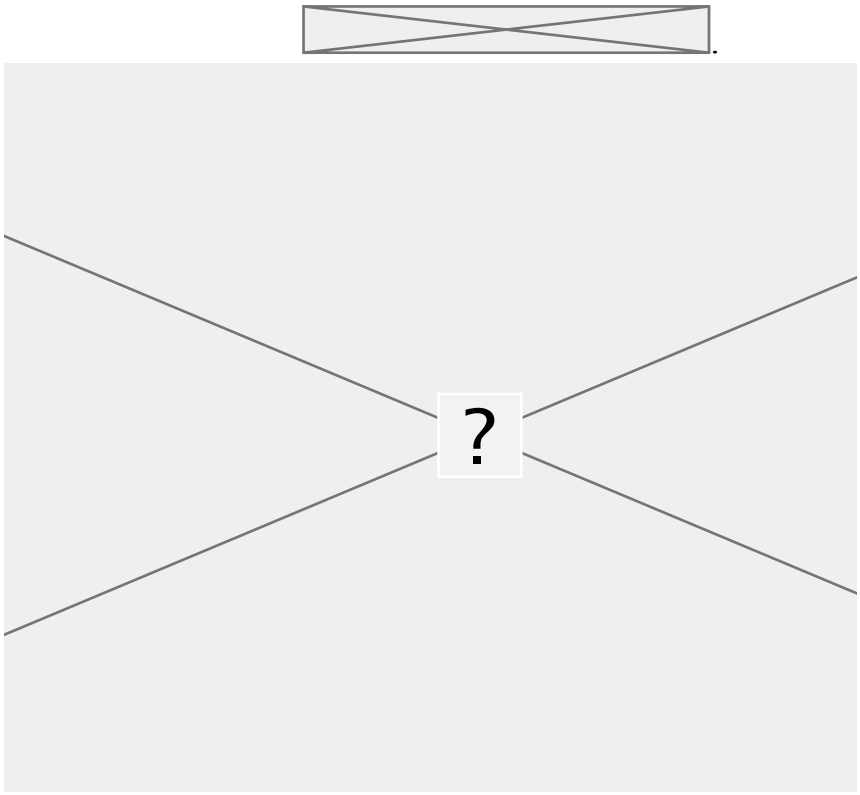
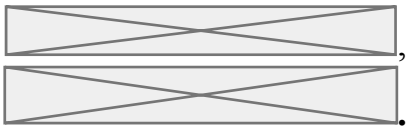
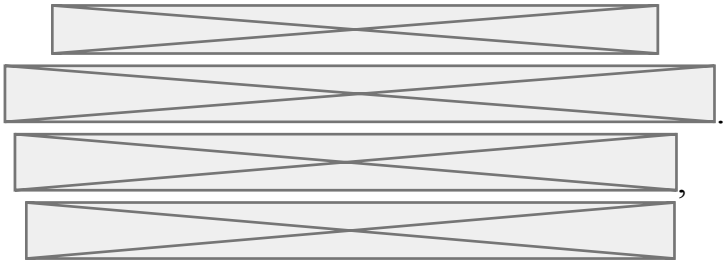


Рисунок 1. **Принципиальная схема очистки воздуха от сероводорода окислением электролитическим гипохлоритом натрия:**
1 – абсорбер (хордовая насадка) первой ступени – реактор окислитель; 2 – емкость для разделения газовой и жидких фаз – массообменник; 3 – абсорбер (хордовая насадка) второй ступени для тонкой очистки воздуха от СВ – реактор окислитель; 4 – отстойник; 5 – электролизер для получения гипохлорита натрия из хлоридного раствора, 6 – циркуляционный насос

Окисление сероводорода кислородом можно описать следующими уравнениями:



Однако, окисление СВ кислородом имеет малую скорость протекания реакции и в отсутствие катализатора практически не реализуемо. Для интенсификации процесса возможно применить железо-каталитическое окисление СВ кислородом воздуха в присутствии гидроксида железа (III). Основные реакции, описывающие метод, следующие:



(1)

(2)

(3)

(4)

Реакции (1, 2) с образованием сульфида железа FeS и серы протекают в слабокислой и нейтральной средах, реакции (3, 4) с образованием трисульфида железа Fe_2S_3 – в нейтральной и щелочной. Образующийся сульфид железа отделяют от воды отстаиванием и регенерируют продувкой воздухом:

 , (5)

 , (6)

параллельно с этим в присутствии железа протекают и реакции каталитического окисления сероводорода кислородом воздуха, при этом железо попеременно принимает двух- и трехвалентное состояние:

 ,

 . (7)

Железо (II) окисляется кислородом воздуха до трехвалентной формы с последующим взаимодействием с сероводородом.

Химико-термодинамическим анализом протекания железо-каталитических взаимодействий установлено [7], что основными продуктами окисления сульфидов энергетически более предпочтительными являются: S°, $S_2O_3^{2-}$, SO_4^{2-}, SO_3^{2-}, $S_3O_6^{2-}$. Результаты расчетов энергии Гиббса показали, что железо-каталитическое окисление сульфидов следует проводить в кислой и нейтральной средах, поскольку при таких pH образуется только молекулярная сера.

Окислительный метод обезвреживания СВ с использованием железо-каталитического окисления представлен на рисунке 2 и включает в себя следующие этапы:

- поглощение СВ из воздуха абсорбентом (раствор гидроксида железа (III)) и его нейтрализация:

 ;

- регенерацию катализатора процесса – гидроксида железа:

 .

К достоинствам первого метода (рис. 1) можно отнести высокую степень очистки воздуха от СВ, к недостаткам – возможность образования хлорорганических летучих соединений, выбрасываемых в атмосферу вместе с очищенным воздухом и энергозатраты на получение гипохлорита натрия из хлоридов поглотительного раствора.

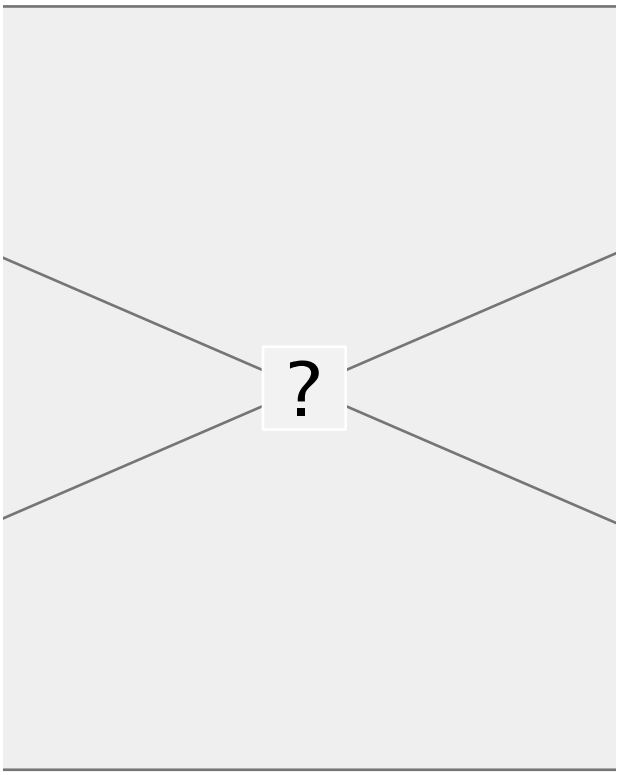


Рисунок 2. **Принципиальная схема очистки воздуха от сероводорода железо-каталитическим окислением кислородом воздуха:**
1 – абсорбер (хордовая насадка) – реактор окислитель; 2 – емкость для разделения газовой и жидких фаз – регенератор гидроксида железа;
3 – ультрафильтрационная мембрана; 4 – циркуляционный насос

Достоинствами второго метода (рис. 2) можно считать высокую экономичность, поскольку основной реагент – кислород, который всегда присутствует в обрабатываемом воздухе, а недостатками – невысокую избирательность к аммиаку и меркаптанам, выбрасываемым в атмосферу попутно с очищенным воздухом.

Объединение двух методов позволит использовать достоинства и исключить недостатки каждого из них. Предлагается производить очистку воздуха от ДПВ в два этапа: на первой ступени – железо-каталитическим окислением СВ кислородом воздуха в присутствии катализатора – гидроксида железа, на второй – окисление аммиака, меркаптана и доочистка воздуха от СВ гипохлоритом натрия с его последующей электрохимической регенерацией в циркулирующем хлоридном растворе. Принципиальная схема объединённого процесса представлена на рисунке 3.

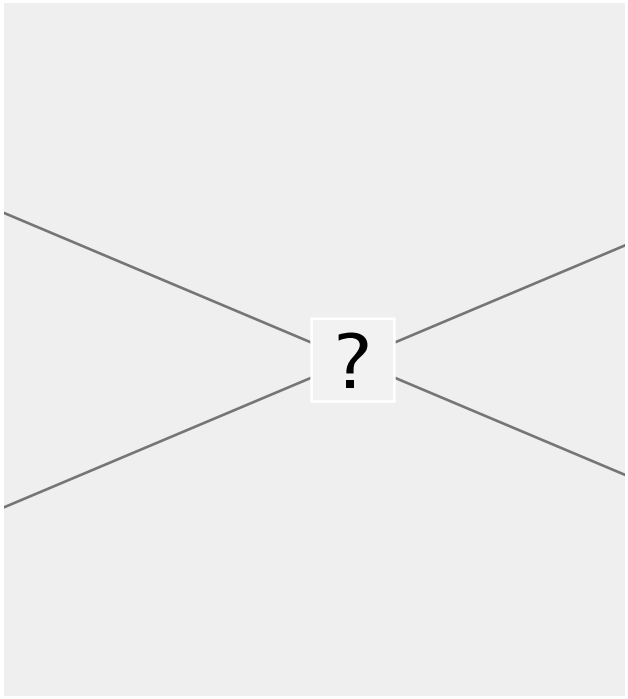


Рисунок 3. **Принципиальная схема очистки воздуха от ДПВ:**
1 – абсорбер (хордовая насадка) первой ступени – реактор окислитель;
2 – емкость для разделения газовой и жидких фаз – регенератор гидроксида железа;
3 – ультрафильтрационная мембрана; 4 – абсорбер (хордовая насадка) второй ступени для тонкой очистки воздуха от СВ – реактор окислитель; 5 – отстойник;
6 – электролизер для получения гипохлорита натрия из хлоридного раствора,
7 – циркуляционный насос.

ВЫВОДЫ

Теоретически обоснована и предложена принципиальная технологическая схема очистки вентиляционных выбросов от ДПВ на канализационных очистных сооружениях и насосных станциях перекачки хозяйственно-бытовых сточных вод.

Метод отличается простотой, что крайне востребовано при эксплуатации технологии на объектах водопроводно-канализационного хозяйства, энергоэффективен и экономически предпочтителен в сравнении с получившими распространение фотосорбционно-каталитическим, фото-химическим и фото-каталитическим методами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест: ГН 2.1.6.1338-03. – Москва: Минздрав России, 2003. 54 с.
2. Методика определения предотвращенного экологического ущерба [Текст] / Гос. комитет Рос. Федерации по охране окружающ. среды: утв. 30 нояб. 1999 г. – Москва, 1999.

3. Васильев В.М., Дмитриева Е.Ю. Современное представление о микробиологической биодеструкции бетона и металлов при эксплуатации канализационных коллекторов // Инженерно-экологические системы: материалы Межд.. науч.-практ. конф. 10-12 октября 2012 г. / С.-Петерб. гос. архитектур.-строит. ун-т. – СПб. 2012. С. 24–26.
4. Гриценко А.И. Очистка газов от сернистых соединений при эксплуатации газовых месторождений. – Москва: Недра, 1985. – 270 с.
5. Плечев А.В. Окислительная конверсия сероводородсодержащих газов [Текст] // Экология и промышленность России. – 2000. № 6. С. 28–30.
6. Калюжный С.В., Федорович В.В. Безреагентная биокаталитическая очистка сероводородсодержащих газов [Текст] // Экология и промышленность России. – 2000. № 2. С. 33–36.
7. Фесенко Л.Н. Научное обоснование, разработка технологии очистки и дальнейшего использования вод, содержащих йод, бром, сероводород [Текст]: дис. … докт. техн. наук: Москва, 2004. 377 с.
8. Черкесов А.Ю. Очистка сернисто-щелочных сточных вод нефтеоргсинтеза от сероводорода [Текст]: дис. … канд. техн. наук: Волгоград, 2015. 173 с.
9. Васильев В.М., Малков А.В. Газы в канализационной сети их вред и пути ликвидации // Техника и технологии мира. – 2016. №3–4 (81–82). С. 48–53.
10. Фесенко Л.Н. Очистка воды от сероводорода с использованием электрохимических процессов. – Ростов-на-Дону: изд-во СКНЦ ВШ, 2001. 150 с.
11. Пат. 2515300 Российская Федерация, МПК B01D53/14. Способ селективной очистки пирогаза от сероводорода и двуокиси углерода [Текст] / Черкесов А.Ю., Игнатенко С.И., Фесенко Л.Н. – № 2012149298/05; заявл. 19.11.12; опубл. 10.05.14, Бюл. № 13.

УДК 628.1

ПРИМЕНЕНИЕ ФЛОКУЛЯНТОВ МАРКИ «SUPERFLOC» ФИРМЫ «KEMIRA» ДЛЯ ПРОЦЕССА ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ОСАДКОВ

И.С. Сидоров
ООО «УЛИСС», г. Ростов-на-Дону, Россия
Г.А. Дибиров, С.М. Хмелевский
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия

В данной работе проводится анализ эффективности использования катионных флокулянтов Superfloc в процессе обезвоживания смеси сырого осадка и избыточного активного ила. Исследования проводились на узле комплексной системы очистки сточных вод ТК-149 ООО «Лента» в г. Новочеркасске.

Используемые приборы, оборудование, материалы и методики измерений: Магнитная мешалка, мутномер «Xinrui», весы электронные, pH-метр, фильтровальная установка, лабораторная посуда.

Для исследования использовались равные по объему пробы смеси сырого осадка и избыточного активного ила. Рабочие растворы флокулянтов были приготовлены в день проведения испытаний концентрацией 0,1 %. Опытным путем определялась необходимая доза раствора флокулянта на 300 мл осадка.

Эффективность применения образцов флокулянтов оценивали по мутности фугата.

Таблица 1. **Применяемые реагенты**

Наименование/марка реагента	Рабочая концентрация, %
Praestol 853 BC	0,1
Superfloc C 494	0,1
Superfloc C 496	0,1
Superfloc C 498	0,1
Superfloc XD-7600	0,1

Для установления оптимальной концентрации реагента были взяты пробы смеси сырого осадка и активного ила по 300 мл каждая, полученная влажность осадка составила 95,75 %. В испытаниях использовались дозы флокулянта от 2 до 8 мл. Для объективной оценки работы флокулянтов принято рассматривать работу минимальной/наименьшей дозы, которая

позволяет достигнуть хлопьеобразования, при этом дает оптимальное качество фильтрата.

В ходе исследований в мерный стакан объемом 500 мл помещалась проба осадка объемом 300 мл. После интенсивного в течение 30 сек а затем медленного – 3 мин перемешивания осадок переносился на фильтровальную установку. На основании полученных лабораторным путем данных, оценивалось качество хлопьеобразования, мутность фильтрата, так же замерялся объем водоотдачи за 15 и 45 сек. Оценку эффективности процесса флокуляции проводили по 3-х бальной шкале.

В результате проведенных опытов с 5 марками флокулянтов было установлено, что наилучший результат показал катионный флокулянт Superfloc C 498. Результаты представлены в таблице 2. Оптимальная доза флокулянта на день испытаний составила 6 мл 0,1 % раствора флокулянта на 300 мл смеси. При данной дозе флокулянта удалось получить наилучшее качество флокуляции: наименьшее значение мутности фугата и высокие показатели водоотдачи.

Таблица 2. **Результаты испытаний**

Наименование / марка флокулянта	Доза флокулянта, мл	Объем фильтрата, мл		Мутность фильтрата, мг/л	Качество флокуляции, балл
		за 15 сек	за 45 сек		
Praestol 853 BC	4	250	255	1,44	1
	6	255	260	1,44	1,2
	8	260	260	1,40	1
Superfloc C 494	4	270	272	1,47	1
	6	260	264	1,47	1
	8	280	283	1,47	1
Superfloc C 496	4	270	270	1,45	0,7
	6	270	280	1,44	0,9
	8	280	290	1,43	1,3
Superfloc C 498	4	260	265	1,4	2
	6	265	267	1,4	2,5
	8	270	272	1,4	1,9
Superfloc XD-7600	4	252	270	1,47	1
	6	250	280	1,43	1,2

	8	270	280	1,38	1,4

ВЫВОДЫ

Согласно полученным данным можно говорить о том, что катионный флокулянт Superfloc C 498 может эффективно использоваться для обезвоживания смеси сырого осадка и избыточного активного ила очистных сооружений торговых комплексов или аналогичных предприятий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Калицун В.И. Ласков Ю.М. Лабораторный практикум по водоотведению и очистке сточных вод: Учеб. пособие для вузов. – 2-е изд.; перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1995.

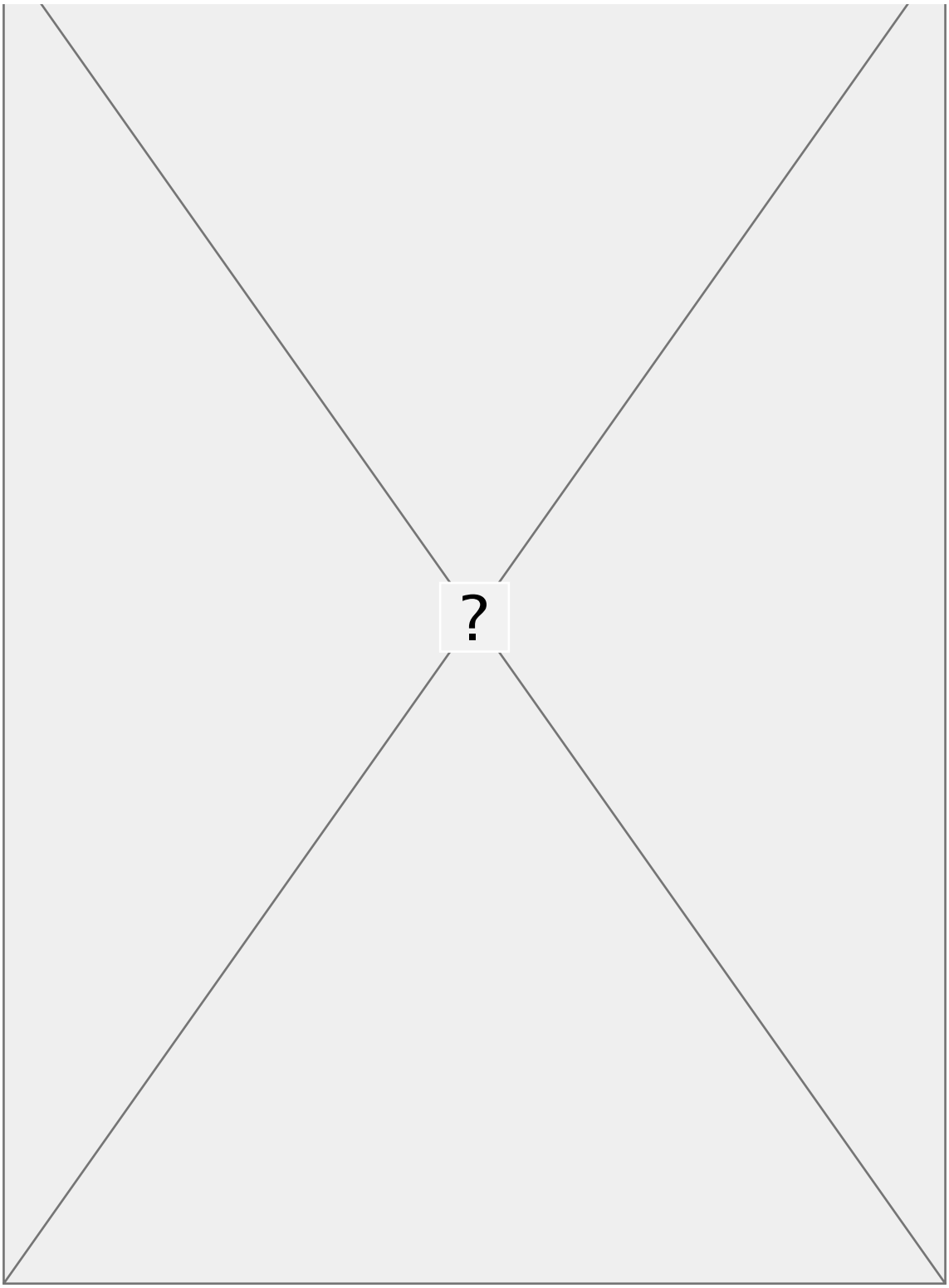
УДК 628.34

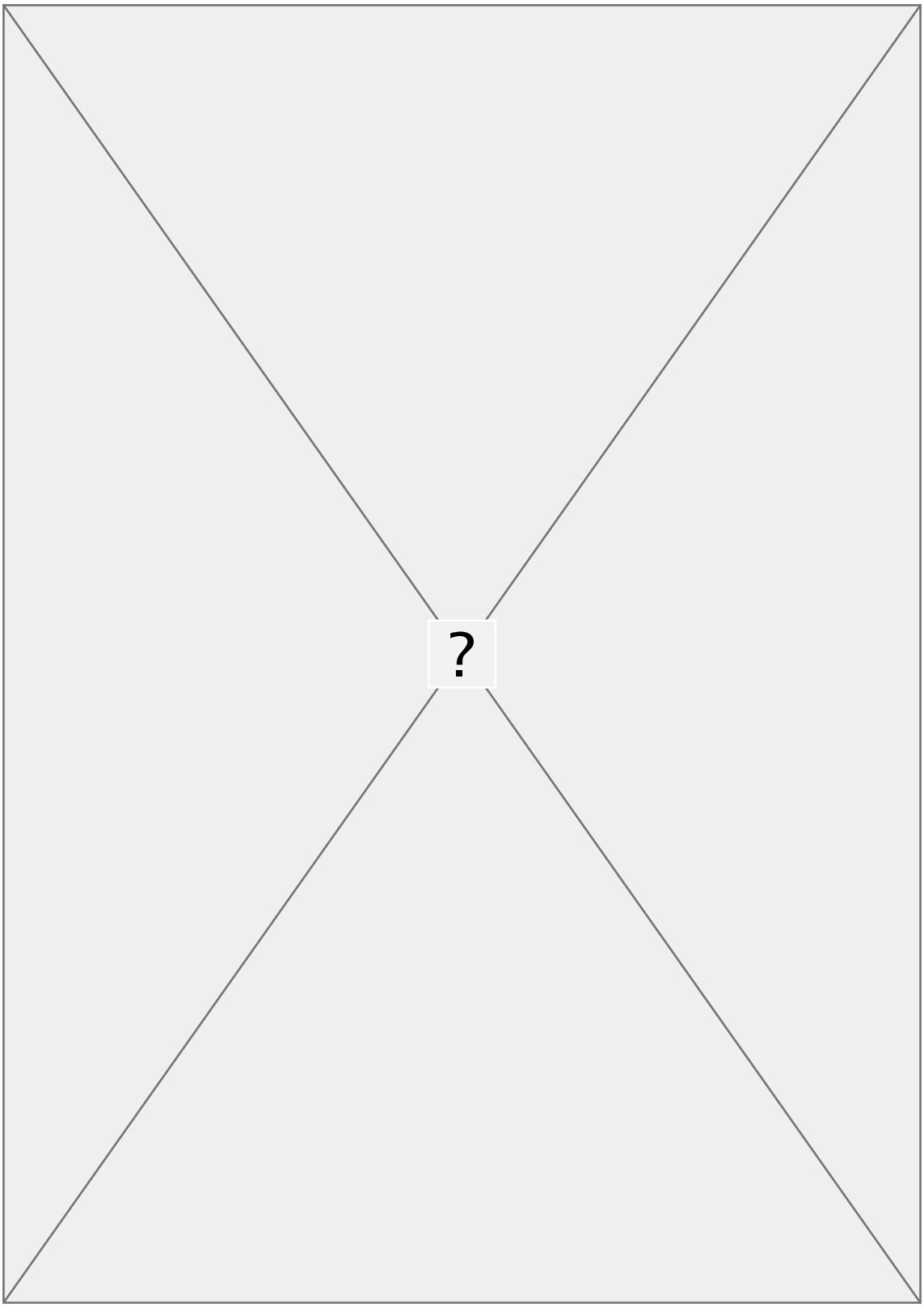
ОБ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ МЕТОДОВ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОДЫ И СТОКОВ

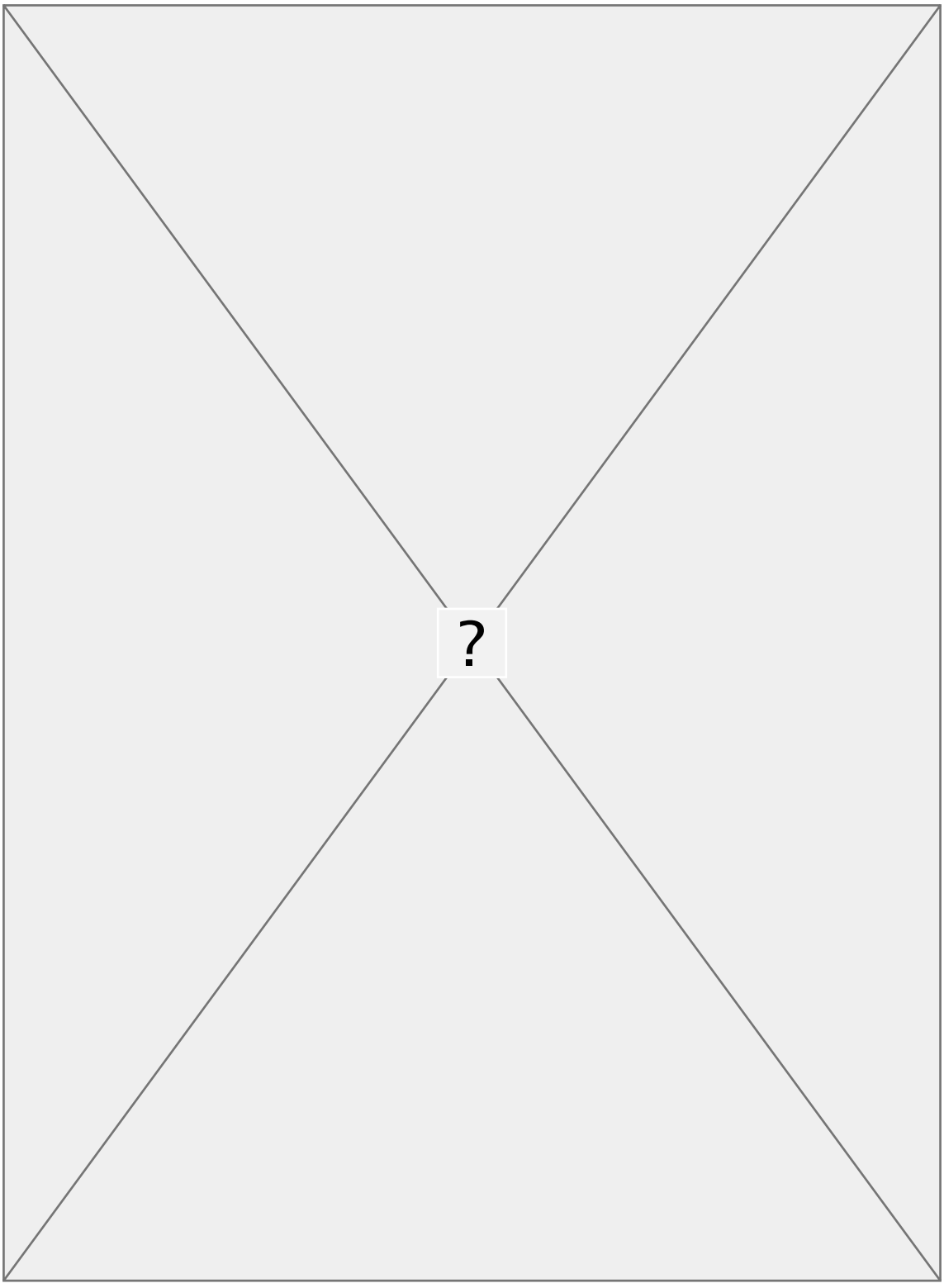
А.Д. Смирнов
ООО «ЛИТ», г. Москва, Россия

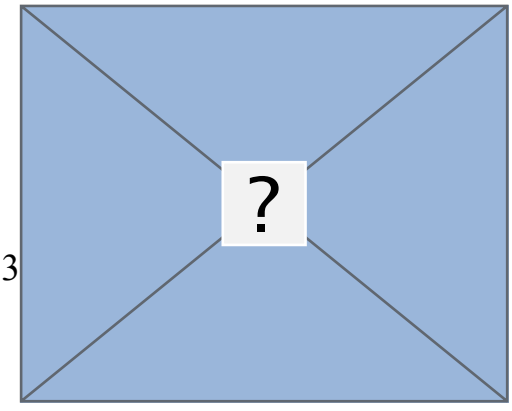
Физические и химические методы обеззараживания оказывают различное воздействие на виды и формы микроорганизмов (вирусы, бактерии, споровые, простейшие) и их детоксикацию, что используется и учитывается для построения технологических схем обработки воды и стоков, в соответствие с современными нормативами. Более того, приняты и вводятся новые ограничительные меры по обеспечению более высоких уровней экологической безопасности объектов водного хозяйства, прежде всего по наиболее консервативным видам экотоксикантов. Вводится в практику выделение специальных уровней санитарно-гигиенической и экологической безопасности для охраны прибрежных зон и для повторного использования воды, что целесообразно учитывать в планах развития водных объектов.

Издержки на реализацию эксплуатации систем обеззараживания складываются из прямых затрат на расходуемые материалы, их доставку и хранение, электро- и тепловую энергию, заработную плату и непрямых платежей (за опасные производства и др.), иногда превышающих прямые. И абсолютные значения и соотношения различных статей затрат существенно зависят от задач и целей применения технологий обеззараживания. В этой связи все чаще в РФ и за рубежом, прежде всего для крупных дорогостоящих объектов, выбираются схемы с комбинацией реагентного и безреагентного методов.









Общество с ограниченной ответственностью
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
«ЭКОФЕС»
346421, Россия, Ростовская область, г.

Новочеркасск, пр. Баклановский, 200 В
Тел.: +7 (8635) 26-05-07
Тел./факс: +7 (8635) 26-05-46, 26-02-17, 26-56-13
E-mail: 65613@mail.ru; web site: http://ecofes.ru

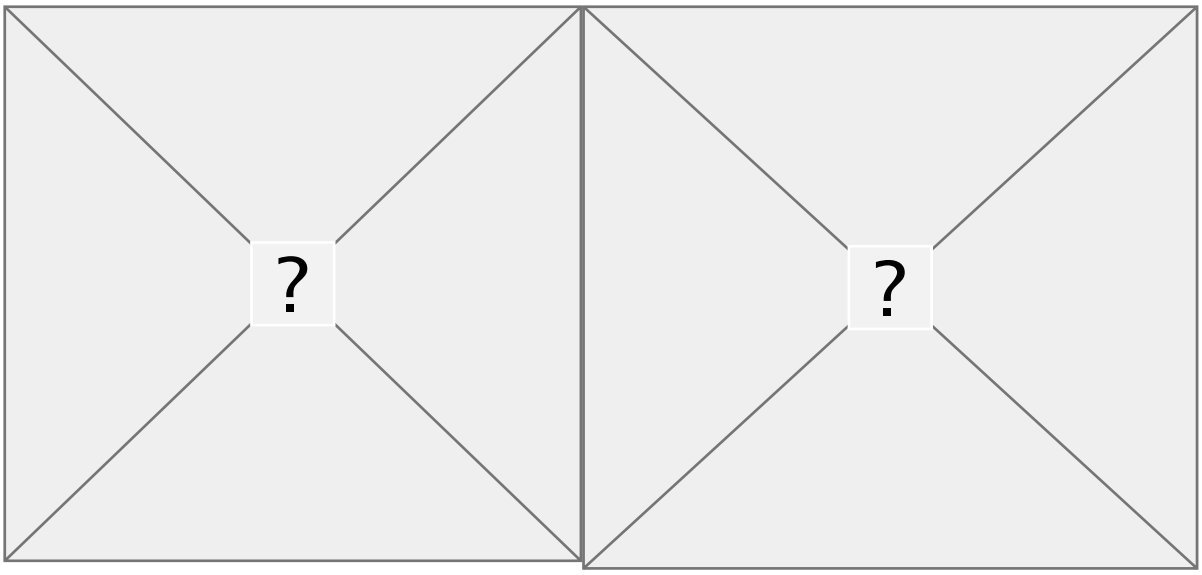
ПРЕДЛАГАЕТ
ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ПИТЬЕВЫХ, ТЕХНИЧЕСКИХ И СТОЧНЫХ ВОД НИЗКОКОНЦЕНТРИРОВАННЫМ ГИПОХЛОРИТОМ НАТРИЯ

В качестве исходного сырья для электролизных установок могут быть использованы водные растворы пищевой поваренной соли, подземные минерализованные хлоридно-натриевые воды, морская вода

- ❖ Производительность электролизных установок «Хлорэфс» от 0,5 до 1000 кг эквивалента хлора в сутки
- ❖ Полная автоматизация технологического процесса
- ❖ Экономичная, надежная и безопасная работа оборудования
- ❖ Выполнение и согласование проектов
- ❖ Поставка и монтаж установок «под ключ», пусконаладочные работы и обучение персонала
- ❖ Гарантийное и послегарантийное обслуживание, поставка расходных материалов

«ЭКОФЕС» - 25 лет успешной эксплуатации установок **«Хлорэфс»** на водных объектах России и странах СНГ

Самая крупная в России электролизная станция с установками «Хлорэфс» производительностью 7 т/сут эквивалентного хлора на Александровских водопроводных очистных сооружениях г. Ростова-на-Дону

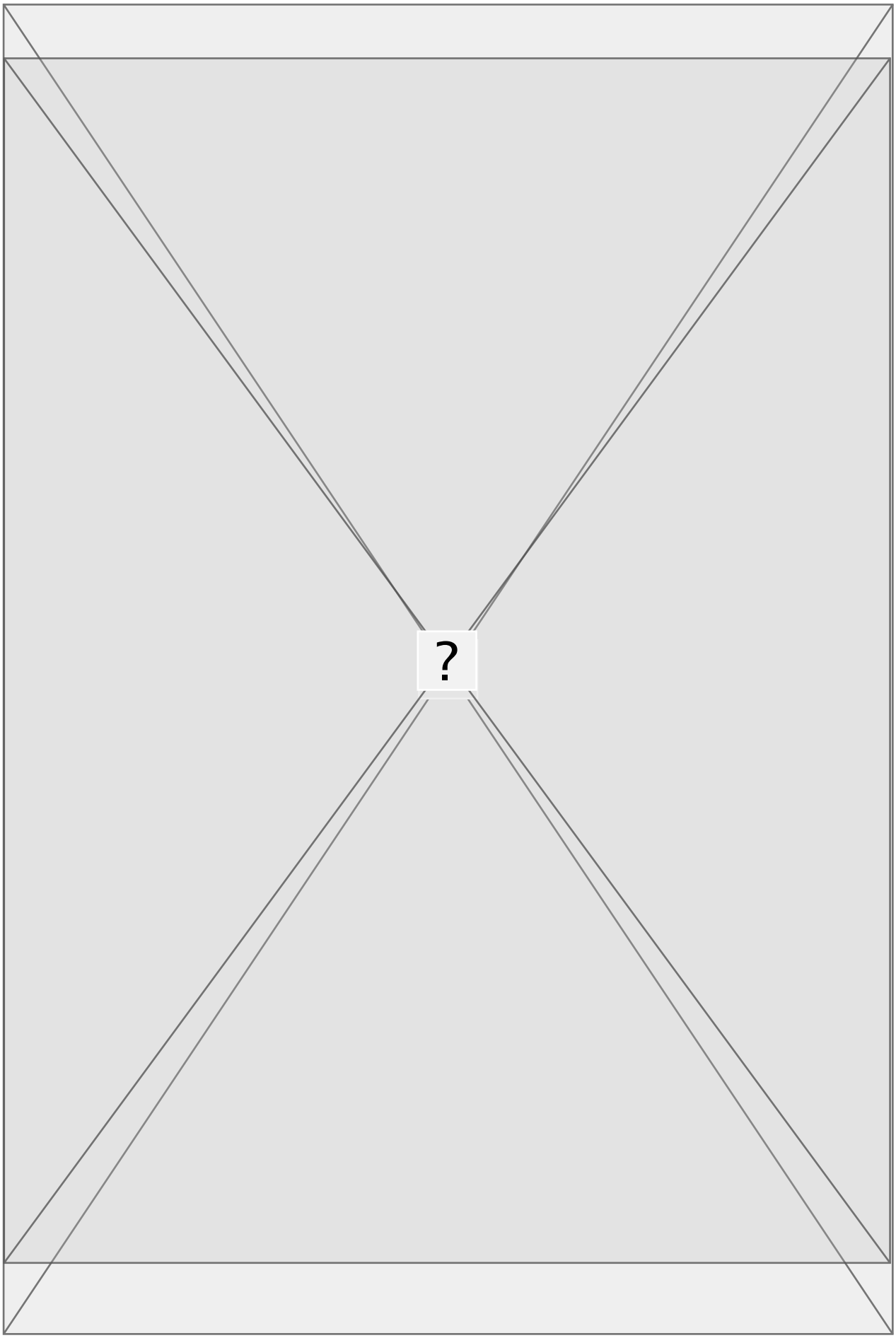


Проектный научно-исследовательский институт водоснабжения и водоотведения Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) имени М.И. Платова

**действует в рамках научной школы «Технологии очистки природных и сточных вод»
и кафедры «Водное хозяйство, инженерные сети и защита окружающей среды».**

**Специалисты ПНИИВиВ выполняли проектную документацию для объектов:
ОАО «Башкирия сода», ОАО «Газпром», ОАО «Норильский никель», ОАО «Новотэк».
Научный потенциал и лабораторная база ПНИИВиВ и кафедры ВХИСЗОС позволяют
решать особо сложные задачи коммунального и производственного
водоснабжения и водоотведения.**

**Контакты: 346428. Россия. Ростовская область, г. Новочеркасск, ул. Просвещения 132,
ПНИИВиВ ЮРГПУ(НПИ) им. М.И. Платова
Тел./факс 88635255171
E-mail: vhiszos@yandex.ru**



КАФЕДРА ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО, ИНЖЕНЕРНЫЕ СЕТИ И ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

приглашает *в*

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова

Забота о чистой воде - это первостепенная проблема наступившего века!

НАПРАВЛЕНИЯ ПОДГОТОВКИ

БАКАЛАВРИАТ

08.03.01 «Строительство»

НАПРАВЛЕННОСТЬ: **«Теплогазоснабжение, вентиляция, водоснабжение и водоотведение зданий, сооружений и населенных пунктов»**

20.03.01 «Техносферная безопасность».

НАПРАВЛЕННОСТЬ: **«Инженерная защита окружающей среды»**

вступительные испытания: русский язык, математика, физика.

Бакалавры по направленности **«Теплогазоснабжение, вентиляция, водоснабжение и водоотведение зданий, сооружений и населенных пунктов»** работают на современных предприятиях, занимающихся газоснабжением, отоплением, вентиляцией, водоподготовкой и очисткой сточных вод. Выпускники востребованы в организациях, занимающихся проектированием, строительством, монтажом, пуском, наладкой и эксплуатацией инженерных систем и сооружений.

Направленность **«Инженерная защита окружающей среды»** ориентирована на изучение актуальных вопросов экологической безопасности, систем регулирования сбросов и выбросов загрязняющих окружающую среду веществ, систем размещения, переработки и захоронения промышленных или техногенных отходов. Изучаются средства и методы контроля воздействия на окружающую среду, а так же оборудование и технологические процессы для очистки производственных выбросов и сбросов, а так же актуальные вопросы утилизации побочных продуктов промышленного производства.

МАГИСТРАТУРА

08.04.01 «Строительство»

НАПРАВЛЕННОСТЬ: **«Водоснабжение и водоотведение городов и промышленных предприятий»**

Виды профессиональной деятельности:

- *инновационная, изыскательская и проектно-расчетная;*
- *производственно-технологическая;*
- *научно-исследовательская и педагогическая;*
- *по управлению проектами;*
- *профессиональная экспертиза и нормативно-методическая.*

20.04.01 «Техносферная безопасность».

НАПРАВЛЕННОСТЬ: **«Техносферная безопасность».**

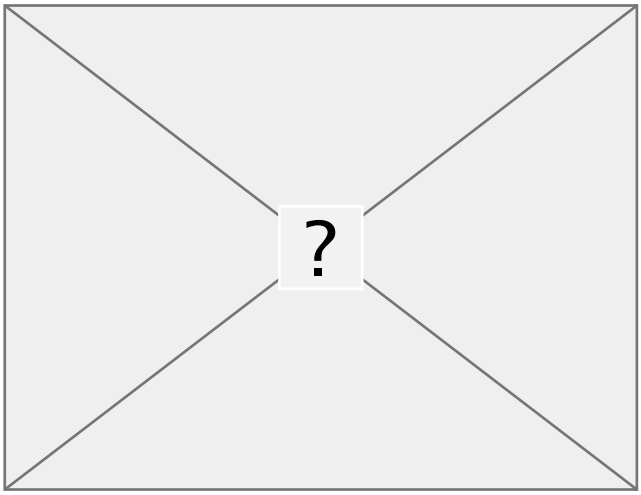
Виды профессиональной деятельности:

- *проектно-конструкторская;*
- *сервисно-эксплуатационная;*
- *научно-исследовательская;*
- *организационно-управленческая;*
- *экспертная, надзорная и инспекционно-аудиторская.*

Магистры по направлениям «Строительство» и «Техносферная безопасность» могут продолжить обучение в аспирантуре.

Всем желающим предоставляется общежитие.

Военный факультет предоставляет студентам возможность получить военную специальность и воинское звание.



Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова

Институт дополнительного образования

Кафедра «Водное хозяйство, инженерные сети и защита окружающей среды»

ПРЕДЛАГАЮТ:

Диплом по профессиональной переподготовке

по направлениям

«Водоснабжение и водоотведение»

Срок обучения – 10 месяцев

«Теплогазоснабжение и вентиляция»

Срок обучения – 10 месяцев

«Инженерная защита окружающей среды»

Срок обучения – 3 месяца

Диплом повышения квалификации

по направлениям

«Водоснабжение и водоотведение» 72 часа

«Теплогазоснабжение и вентиляция» 72 часа

«Обращение с опасными отходами» 72 часа

По окончании выдается диплом, позволяющий вести новый вид профессиональной деятельности

Занятия проводятся ведущими специалистами кафедры ВХИСЗОС и смежных кафедр университета, сотрудниками центров госсанэпиднадзора, предприятий города и области.

Условия поступления и порядок зачисления

Профессиональная переподготовка – для лиц, имеющих высшее образование и студентов.

Для отправки договора необходимы Ваши реквизиты

При оплате от организации – ИНН, КПП

После оплаты необходимо явиться для оформления документов

Для зачисления необходимо:

- **2 фотографии 3х4 с уголком;**
- **копия диплома;**
- **копия трудовой книжки;**
- **для студентов – справка из учебного заведения.**

При необходимости предоставляется жилье

Контакты:

346428, Ростовская область, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132,
Южно-Российский государственный политехнический университет
(НПИ) им. М.И. Платова,
кафедра «Водное хозяйство, инженерные сети и защита окружающей среды»,
главный корпус, аудитория 136;
Тел. (86352) 55-3-34, 55-1-71; Тел./факс (86352) 55-1-71.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Абилов Ф.А. 40
Абросимов М.В. 79
Алексеевских Р.Ю. 289
Ананьев О.Г. 150
Алексеев А.А. 173, 183, 251
Антоненко С.Е. 30
Арашаев А.В. 246
Басанцева Ю.А. 117
Башкиров А.В. 267
Белоусова В.Ю. 242
Бессарабов С.Ю. 111
Бляшко Я.И. 67
Богатырев М.М. 193
Богданов А.Ю. 106
Богданов Н.И. 54
Бондаренко В.Л. 62
Боронина Л.В. 140
Булыжев Е.М. 106
Булыжев Э.Е. 106
Вильсон Е.В. 186
Гаврилина Ю.А. 242, 255
Гетманцев С.В. 135, 150
Горелкина А.К. 93
Голубева Н.С. 176
Гостева Т.И. 117
Гора Н.В. 176
Гора О.Н. 75
Графова Е.О. 89
Гулиев Э.Ш. 96
Давыдова Е.В. 168
Джанбеков Б.А. 67
Дибиров Г.А. 295
Дружинин А.С. 144
Забурдаев В.С. 30
Заворотный Д.В. 207
Зайченко Л.Г. 57
Заплохова Т.Р. 267
Земченко Г.Н. 271
Зубов М.Г. 217
Иванова Ю.А. 193
Иванкова Т.В. 21
Иващенко В.В. 67
Игнатенко С.И. 15, 229, 289
Исраилов Р.В. 100
Кадревич А.А. 217
Калмыков С.А. 44

Кашарин Д.В. 44, 111
Кижаев В.Ф. 162
Кинебас А.К. 129
Ким А.Н. 89, 168
Кондакова Н.В. 255
Костюков В.П. 11, 212, 267
Костюков П.В. 267
Краснова Т.А. 93, 176
Кулаков А.А. 281
Куликов Н.И. 178
Лобанов Ф.И. 129, 157
Ломакин Д.В. 259
Луканин А.А. 259
Лютин С.Ю. 168
Маликова А.В. 100, 229
Маслак В.Н. 30
Махов А.В. 186
Михайлов А.В. 203
Мишина Т.Ф. 123
Могукало А.В. 162
Мозгунова А.А. 255
Мурлин А.А. 67
Мусаев А.А. 289
Нагиев З.А. 40
Найманов А.Я. 34
Насонкина Н.Г. 30
Нгуен Тхи Туан Зъеп 117, 229
Нездойминов В.И. 162, 207, 220
Нездойминов Д.В. 57
Онкаев В.А. 246
Онкаев А.В. 246
Пантелеев А.Л. 267
Панченко О.Г. 178
Панфилова О.Н. 285
Плотникова В.А. 44
Поповьян Г.В. 75
Почуев Н.А. 259
Приходько Л.Н. 178
Продоус О.А. 67, 203
Пукемо М.М. 281
Пчельникова А.С. 271
Пчельников И.В. 15, 100, 117
Рафф П.А. 123
Рожков В.С. 57, 220
Рученин А.А. 84
Савельев С.Н. 93
Семенов М.Ю. 123

Селюков А.В. 123
Серпокрылов Н.С. 79, 186, 224, 246, 255, 263, 271
Сидаш С.Б. 100
Сидоров И.С. 295
Синева Л.Н. 278
Синев А.О. 278
Скрябин А.Ю. 10, 75, 229
Сколубович Ю.Л. 259
Смирнов А.В. 193
Смирнов А.Д. 297
Смоляниченко А.С. 224
Соколов Д.А. 30
Соловьев К.А. 173, 183, 251
Степанов С.В. 285
Субботин А.И. 11
Субботин И.А. 11
Субботин В.А. 11
Сухоносов Н.А. 135
Тарасова А.А. 173, 183, 251
Тарарыков О.Ю. 129
Тарихазер З.А. 40
Териков А.С. 15, 117
Тимощук И.В. 93
Тронь И.А. 75, 289
Турчина Г.С. 34
Тхай Тхи Ким Тьи 237
Угроватова Е.Г. 212
Федотов Р.В. 144
Фесенко Л.Н. 15, 100, 117, 144, 229, 289
Чепкасова Н.И. 144
Черкесов А.Ю. 100, 289
Чернышев В.Н. 162, 220
Хачатурян Г.С. 224
Хецуриани Е.Д. 54, 62
Хецуриани Т.Е. 54, 62
Хмелевский С.М. 295
Хуторненко К.О. 263
Цхе А.А. 259
Цхе А.В. 259
Шипилов А.А. 67
Щукин С.А. 289
Яковлева Е.В. 79, 224
Яковенко К.А. 30
Якушина А.Е. 176
Яценко Н.А. 111
Yuan Gao 129

Научное издание

Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2018»

Материалы XI Международной научно-практической конференции

Издается в авторской правке

Подписано в печать 29.11.2018.
Формат 60х84 1/16. Бумага офсетная. Печать оперативная.
Усл. печ.л.18,8. Уч.-изд. л. 18,9. Тираж 200 экз. Заказ № 47-6202.

Издательство Лик
346430, г. Новочеркасск, пр. Платовский, 82 Е,
тел: 8(8635)226-442. 8-952-603-0-609

Отпечатано в Издательско-полиграфическом комплексе «Колорит»
346430, г. Новочеркасск, пр. Платовский, 82Е,
тел. 8(8635)226-442, 8-952-603-0-609, e-mail: center-op@mail.ru