



**ИИЭСМ**

Институт инженерно-  
экологического  
строительства  
и механизации

**ЯКОВЛЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ-2022:  
Системы водоснабжения и водоотведения.  
Современные проблемы и решения**

Сборник докладов участников XVII Международной  
научно-технической конференции, посвященной памяти  
академика РАН С.В. Яковлева  
(г. Москва, 17–18 марта 2022 г.)

© ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ», 2022

ISBN 978-5-7264-3014-0

Москва  
Издательство МИСИ – МГСУ  
2022

УДК 628  
ББК 38.9  
Я47

Я47

**Яковлевские чтения-2022: Системы водоснабжения и водоотведения. Современные проблемы и решения** [Электронный ресурс] : сборник докладов участников XVII Международной научно-технической конференции, посвященной памяти академика РАН С.В. Яковлева (г. Москва, 17–18 марта 2022 г.) / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, инженерно-экологического строительства и механизации. — Электрон. дан. и прогр. (5 Мб). — Москва : Издательство МИСИ – МГСУ, 2022. — Режим доступа: <http://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkr-dostupa/>. — Загл. с титул. экрана.  
ISBN 978-5-7264-3014-0

В сборнике содержатся доклады участников XVII Международной научно-технической конференции, посвященной памяти академика РАН С.В. Яковлева, «Яковлевские чтения-2022: Системы водоснабжения и водоотведения. Современные проблемы и решения», которая состоялась в НИУ МГСУ 17–18 марта 2022 года.

Для магистрантов, аспирантов, профессорско-преподавательского состава вузов, реализующих программы высшего образования в области строительства, а также для специалистов в области водоснабжения и водоотведения.

*Научное электронное издание*

*Доклады публикуются в авторской редакции.  
Авторы опубликованных докладов несут ответственность  
за достоверность приведенных в них сведений.*

© ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ», 2022

Ответственный за выпуск *Н.А. Макиша*

Институт инженерно-экологического строительства и механизации  
(ИИЭСМ НИУ МГСУ).

Тел.: +7 (495) 730-62-53

e-mail: [iiesm@mgsu.ru](mailto:iiesm@mgsu.ru)

Сайт: [www.mgsu.ru](http://www.mgsu.ru)

<http://mgsu.ru/universityabout/Struktura/Instituti/IIESM/kontakty/>

Верстка макета *Н.А. Макиши*

*Для создания электронного издания использовано:*

Microsoft Word 2013, ПО Adobe Acrobat

Подписано к использованию 18.04.2022. Объем данных 5 Мб

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«Национальный исследовательский

Московский государственный строительный университет».

129337, Москва, Ярославское ш., 26.

Издательство МИСИ – МГСУ.

Тел. (495) 287-49-14, вн. 14-23, (499) 183-91-90, (499) 183-97-95.

E-mail: [ric@mgsu.ru](mailto:ric@mgsu.ru), [rio@mgsu.ru](mailto:rio@mgsu.ru)

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Е.В. Орлов, О.И. Шипков, И.А. Синянский. С.В. Яковлев: наука и жизнь.....	6
О.Г. Примин. Свод правил «Эксплуатация централизованных систем и сооружений водоснабжения и водоотведения».....	10
Д.А. Петербургский, В.А. Орлов. Влияние температуры напорного трубопровода на изменение его гидравлических характеристик.....	13
Е.В. Спасибо, Е.С. Гогина, И.А. Гульшин. Эффективность работы циркуляционного окислительного канала в низкокислородных условиях.....	19
И.В. Николенко. Акватроника – опыт создания нового направления подготовки специалистов водохозяйственного комплекса.....	24
А.Н. Комяков. Опыт преподавания гидравлики, водоснабжения и водоотведения в системе начального и среднего профессионального образования.....	30
С. И. Мойжес, Н. Г. Вурдова. Корректные технологические решения и надежное оборудование - залог стабильного качества очищенной воды после очистных сооружений.....	35
М.М. Пукемо, А.А. Кулаков. Эффективное управление очистными сооружениями.....	42
М.В. Свалова, Е.А. Гринько. Исследование технологического процесса анаэробного сбраживания осадка сточных вод с применением биореактора.....	47
Л.Д. Терехов, Н.В. Твардовская, А.В. Федорчук, Е.А. Твардовская. Проблемы изношенных трубопроводов дальнего востока России и пути их восстановления.....	54
Цымбалов А.А. методология декольматации скважин-кандидатов технологией ВИГДОС-СИЦА.....	61
А.А. Кулаков. Технологические возможности малых канализационных очистных сооружений.....	69
М.Ю. Дягелев, Ф. Пильц. Седиментационные характеристики сброженного осадка при центрифугировании.....	73
А.А. Абрамова, А.М. Непогодин, Ю.А. Зяпарова, Т.М. Лыхно. Нормативное регулирование и оценка антибиотического загрязнения поверхностных и сточных вод в России и за рубежом..	79

О.А. Продоус, Д.И. Шлычков, С.В. Пархоменко. Обоснование допустимого уровня наполнения в трубах самотечных сетей водоотведения.....	85
А.А. Векшин. Методы обработки иловых осадков.....	95
А.А. Ерхов. АНАММОКС с дефосфатацией сточных вод.....	100
В.В. Бегнарский. Патентный поиск и аналитика при разработке технических устройств с обтекаемыми поверхностями и местными неровностями.....	107
И. Ю. Пурусова, К. И. Чижик, В. И. Щербаков. Управление подачей воды от скважин в резервуар чистой воды.....	113
С. А. А. Ахмед, Е. С. Гогина. Применение RSM – моделирования для конкурентной адсорбции смешанного фенола и аммонийного азота на активированном угле.....	117
Ю.А. Щербакова. Исследование эффективности физико-химической очистки слабозагрязнённых хозяйственно-бытовых («серых») сточных вод от душевых и ванн.....	127
И.В. Николенко, Е.Е. Котовская, О.В. Росовская. Анализ режимов работы насосных агрегатов при возникновении аварийных ситуаций в системах подачи и распределения воды .....	133
О.А. Продоус, П.П. Якубчик. Новый подход к гидравлическому расчету сетей водоснабжения из полимерных материалов.....	143
С.А. Аль-Амри Заед, В.И. Щербаков. Проектирование и расчет параметров мобильной станции приготовления питьевой воды.....	147
Ж.М. Говорова, У.С. Канивец. Совершенствование технологии очистки маломутных цветных вод.....	155
П.А. Ермаченко, Д.С. Середин, Е.А. Соколова, С.И. Дудкин, Г.В. Головкин, Н.Е. Беляева, И.В. Конюхов. Производство живых кормовых организмов фито-зоопланктона на очистных сооружениях канализации.....	160
Л.Г. Дерюшев, Н.Л. Дерюшева. О теории вероятного расхода воды потребителями на объектах населенных пунктов.....	167
В.П. Прокопович, А.А. Алешин. Вода – стратегический ресурс обеспечения безопасности инновационного развития регионов России.....	175

## С.В. ЯКОВЛЕВ: НАУКА И ЖИЗНЬ

Е.В. Орлов<sup>1\*</sup>, О.И. Шипков<sup>2</sup>, И.А. Синянский<sup>3</sup>

<sup>1</sup>НИУ МГСУ, г. Москва, Ярославское шоссе, дом 26

<sup>2</sup>РАЖВИЗ Ильи Глазунова, г. Москва, ул. Мясницкая, дом 21

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО «Государственный университет по землеустройству» (ГУЗ), г. Москва, ул. Казакова, дом 15

\*Автор ответственный за переписку: viv-k@yandex.ru

**Аннотация.** В статье представлена информация о жизненном пути академика РАН С.В. Яковлева, внесшего большой вклад в развитие систем водоснабжения и водоотведения. Многие проекты ученого были реализованы в различных городах и населенных пунктах нашей страны. С.В. Яковлев, являясь педагогом и ученым, воспитал большое количество последователей, которые активно продолжили дело своего учителя.

Наука, активно развиваясь в последние годы, решает огромное количество задач, делая жизнь человека безопаснее, спокойнее и лучше.

Системы водоснабжения и водоотведения играют и продолжают играть главную роль в обеспечении санитарной надежности городов и населенных пунктов, увеличивая продолжительность жизни человека.

Можно вспомнить какие сложные времена прошла наша цивилизация до того момента, как появились первые научные достижения и разработки в области систем водоснабжения и водоотведения. Санитарная обстановка в городах и населенных пунктах была ужасная, что приводило к вспышкам заболеваний и смерти большого количества людей из-за отсутствия там систем водоснабжения и водоотведения.

Именно отрыв от различных суеверий, желание изучить окружающий мир, а также сделать жизнь каждого человека намного лучше и счастливее стали вектором развития научного знания.

Еще более 500 лет назад в эпоху Возрождения появились первые гуманисты, которые заявляли о необходимости улучшать жизнь каждого человека. Эту идею взял за основу известный ученый и мыслитель Леонардо да Винчи, внесший огромный вклад в развитие систем водоснабжения и водоотведения. Именно он трансформировал идеи гуманистов в практическое применение. Многие из его работ не могли реализоваться в то время из-за низкого уровня развития научно-технического прогресса и технологий строительства. Однако они были приняты и реализованы позже, что активно задавало темп развития научного знания в области водоснабжения и водоотведения.

Позднее исследования в области водоснабжения и водоотведения позволили обеспечивать для городов и населенных пунктов возможности развития за счет организации подачи необходимого количества воды на различные нужды. Это позволило также улучшить качество жизни человека,

благодаря передовым разработкам различных ученых не только в нашей стране, но и за рубежом.

Сергей Васильевич Яковлев (1914-2005 г.) внес свой огромный и особый вклад в развитие отрасли водоснабжения и водоотведения [1-2]. Его становление как ученого, педагога, а также руководителя продолжают интересовать и восхищать не одно поколение людей, а уважение к его персоне способствует организации и проведению ежегодной научной конференции с международным участием для обмена опытом между специалистами в области водоснабжения и водоотведения.

Становление личности С.В. Яковлева происходило в непростое время. Родился он еще в России (1914 год), где в то время не хватало разработок в области систем водоснабжения и водоотведения.

После 1917 года начинается новый этап в развитии систем водоснабжения и водоотведения. Многие города, развиваясь, получают новые системы водоснабжения и канализации. Начинают решаться важные вопросы подачи и распределения воды, водоподготовки, очистки сточных вод, обеспечения надежности работы систем водоснабжения и водоотведения.

Закончив в 1940 году Московский институт инженеров коммунального хозяйства (МИКХ) по специальности инженер-строитель по водоснабжению и канализации, С.В. Яковлев уже двумя ногами встал на правильный путь саморазвития, сформировав свой фокус непосредственно на системах жизнеобеспечения.

Более 20 лет С.В. Яковлев посвятил себя преподавательской и административной работе в Московском институте инженеров коммунального хозяйства (МИКХ), который впоследствии слился в единую структуру с МИСИ им. В.В. Куйбышева.

Пройдя путь от преподавателя кафедры до проректора по научной работе, С.В. Яковлев получил огромное уважение и любовь окружающих, зарекомендовав себя профессионалом, что позволило ему в 1969 году стать директором НИИ ВОДГЕО Госстроя СССР.

Еще работая на педагогических и административных должностях, С.В. Яковлев вносит большой вклад в становление и развитие специальности “Водоснабжение и водоотведение”. Он активно разрабатывает новые учебные планы, программы, что способствовало подготовки высококвалифицированных специалистов для нужд страны, способных решать стратегические задачи по строительству систем водоснабжения и водоотведения для городов и населенных пунктов.

После защиты кандидатской диссертации в 1947 году С.В. Яковлев спустя 12 лет защищает докторскую диссертацию и через год после защиты получает ученое звание профессора.

Продолжая работать во НИИ ВОДГЕО, не теряя связи с МИСИ им. В.В. Куйбышева, С.В. Яковлев, благодаря своим достижениям, в 1977 году получает почетное звание “Заслуженный деятель науки РСФСР”, а через 10 лет становится действительным членом Академии наук СССР.

С.В. Яковлев создает научную школу в области очистки природных и сточных вод. Также широко известны его труды по охране окружающей среды от загрязнения промышленными и бытовыми сточными водами.

Под руководством С.В. Яковлева было защищено большое количество кандидатских и докторских диссертаций.

Монографии, учебники и учебные пособия под авторством С.В. Яковлева были известны широкому кругу лиц не только в нашей стране, но и за рубежом [12-14].

С.В. Яковлев был автором большого количества проектов очистных сооружений систем водоснабжения и водоотведения, которые возводились в различных городах нашей страны.

Перечислить все заслуги академика С.В. Яковлева в такой небольшой статье не представляется возможным. Однако хорошо видно, что они глобальны, их след можно увидеть не только в нашей стране, но и за рубежом.

Опыт, трудолюбие и колоссальная энергия С.В. Яковлева становилась примером для его учеников, которые активно передавали свой опыт молодым специалистам.

Многие выпускники, закончившие МИСИ им. В.В. Куйбышева (МГСУ), хорошо помнят, что фамилию С.В. Яковлева можно было видеть в расписании занятий кафедры “Канализация” (“Водоотведение”) всегда в самой верхней части стенда, подтверждая его авторитет ученого и педагога, сделавшего большие заслуги для развития систем водоснабжения и водоотведения.

С.В. Яковлев стал определенным символом и вектором в развитии научного потенциала отрасли. Его часто цитировали, ссылались на его труды, вспоминали его разработки.

На многих фотографиях С.В. Яковлев выглядит серьезно, как подобает ученому, часто всматриваясь в даль, возможно обдумывая свои новые научные идеи, которые он хотел реализовать в своей трудовой и научной деятельности.

Самая известная фотография С.В. Яковлева – черно-белая, где он сидит за столом, подпирая свою голову, смотря в объектив фотоаппарата (рис. 1). Здесь его образ можно представить в виде аллегии, где показан не просто образ человека, а лик самой науки. Его взгляд – послание молодым специалистам и ученым, которые только начинают делать свои первые шаги в таком непростом деле как поиск истины. Взор С.В. Яковлева транслирует мысли о том, что не надо бояться и, не оборачиваясь назад, следует направлять свои взоры только вперед на решение проблем современной цивилизации, чтобы сделать жизнь людей лучше и комфортнее, благодаря новым разработкам в области водоснабжения и водоотведения.





**Рисунок 1.** Академик РАН С.В. Яковлев

### **Заключение**

С.В. Яковлев, достойно пройдя свой жизненный путь, остается примером специалиста, который готов решать различные задачи в области водоснабжения и водоотведения.

Его научные разработки, опыт и трудолюбие стали примером для молодых людей, которые учились на его книгах, перенимая колоссальный опыт педагога, ученого и специалиста.

Идея поддерживать память С.В. Яковлева ежегодной научно-практической конференцией позволит обмениваться опытом между специалистами в области водоснабжения и водоотведения, формируя интерес у молодежи к основным проблемам водной отрасли.

### **Список литературы**

1. Андрианов А.П. Яковлевские чтения – 2019 // Водоснабжение и санитарная техника. 2019. № 5. С. 70-72.
2. Гогина Е.С. Связь поколений - связь времен: "Яковлевские чтения - 2012" // Водоснабжение и санитарная техника. 2012. № 5. С. 77-78.
3. Стрелков А.К. Конференция, посвященная памяти академика РАН Сергея Васильевича Яковлева // Водоснабжение и санитарная техника. 2007. № 4. С. 22-24.
4. Ефремов Р.В. Юбилей факультета "Водоснабжение и водоотведение" НИУ МГСУ // Водоснабжение и санитарная техника. 2019. № 12. С. 59-60.

5. Волков А.А., Гогина Е.С., Орлов В.А., Чижик К.И. Водоснабжение и водоотведение: вчера, сегодня, завтра // Водоснабжение и санитарная техника. 2019. № 9. С. 4-9.
6. Баженов В.И., Гогина Е.С. Цифровое развитие - путь совершенствования, повышения эффективности и надежности работы водоканалов // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. 2019. № 3. С. 28-40.
7. Гогина Е.С. Международная деятельность МГСУ в современном контексте // Недвижимость: экономика, управление. 2014. № 3-4. С. 6-9.
8. Гогина Е.С., Орлов В.А., Первов А.Г. Московскому государственному строительному университету - 90 лет // Водоснабжение и санитарная техника. 2011. № 11. С. 3-6.
9. Гогина Е.С., Орлов В.А., Нечитаева В.А. Подготовка высококвалифицированных кадров для водной отрасли // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. 2019. № 5. С. 10-17.
10. Куранов Н.П. Как на свете жить. В поисках ответа. – Москва: "ДАР/ВОДГЕО", 2017. – 905 с.
11. Воронов Ю.В., Пугачев Е.А. История отрасли и введение в специальность “Водоснабжение и водоотведение”. Учебник. – М.: Издательство АСВ, 2012. – 392 с.
12. Яковлев С.В., Воронов Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод. Учебник для вузов: – М.: АСВ, 2002. – 704 с.
13. Яковлев С.В., Карелин Я.А., Жуков А.И. и др. Канализация. 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1975. – 632 с.
14. Яковлев С.В., Карелин Я.А., Ласков Ю.М. и др. Очистка производственных сточных вод. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1985. – 335 с.

## **СВОД ПРАВИЛ «ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ СИСТЕМ И СООРУЖЕНИЙ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ»**

### **О.Г. Примин**

НИУ МГСУ, 129337 Москва, Ярославское ш., 26  
ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук», 127238 Москва, Локомотивный пр., 21,  
e-mail: [tepper2007@yandex.ru](mailto:tepper2007@yandex.ru)

В период деятельности академика Яковлева С.В. как директора ГНЦ ВНИИ ВОДГЕО была положена основа Сводов правил (тогда СНиП) в области проектирования и строительства централизованных систем водоснабжения и водоотведения. После перестройки долгие годы эти документы не актуализировались. А Свода правил по эксплуатации централизованных систем и сооружений водоснабжения и водоотведения не было вообще.

Однако за последнее время уровень эксплуатации централизованных систем сооружений водоснабжения и водоотведения городов и поселений России поднялся на качественно новую ступень за счет возросшей степени автоматизации и механизации производственных процессов. При эксплуатации этих систем выполняются многие виды дополнительных работ, которые не регламентированы действующими документами [1,2].

Эксплуатация - один из этапов жизненного цикла, наряду со строительством и проектированием систем водоснабжения и водоотведения и необходима его формализация и требования к содержанию.

По оценке специалистов МЧС Российской Федерации, количество аварий на трубопроводах ежегодно увеличивается в 1,7-2 раза, что приносит значительный материальный и экологический ущерб. Значительная часть техногенных аварий на трубопроводах происходит по причинам ветхости сетей и оборудования (27,3%), а из-за нарушений правил технической эксплуатации (34,8%).

Во многом это определяется отсутствием полноценной современной нормативной базы по эксплуатации систем водоснабжения и водоотведения. Так «Правила технической эксплуатации систем и сооружений коммунального водоснабжения и канализации», разработаны 20 лет назад и устарели. Это касается и «Положения о проведении планово-предупредительного ремонта на предприятиях водопроводно-канализационного хозяйства, утвержденное Госстроем РСФСР 01.06.1989 № 13-8». Нет единого документа, в котором бы содержались современные требования по эксплуатации централизованных систем водоснабжения и водоотведения в виде стандарта - свода правил. В настоящее время действующим законодательством Российской Федерации (в том числе Федеральным законом от 7 декабря 2011 года № 416-ФЗ «О водоснабжении и водоотведении») не установлен государственный контроль (надзор) в сфере эксплуатации сетей централизованных систем водоснабжения и водоотведения как целостных объектов, что не способствует надежности и безопасности их функционирования.

Это и определило актуальность и своевременность разработки этого СП. Следует отметить, что состояние централизованных систем водоснабжения и водоотведения значительного числа городов и поселений России с точки зрения их износа и надежности вызывает тревогу. Особенно это касается трубопроводной части [3,4,5,6].

В последние годы в водной отрасли России создается новое правовое поле. Так по плану Минстроя России актуализированы основные Своды правил по проектированию наружного и внутреннего водопровода, по канализации и ряд других документов [7,8]. Дошла очередь и до разработки нового, первого в отрасли свода правил по эксплуатации централизованных систем и сооружений водоснабжения и водоотведения.

Разработка свода правил по заданию Минстроя России была осуществлена НИИСФ с участием кафедры водоснабжения и водоотведения НИУ МГСУ и специалистов отрасли.

Свод правил по эксплуатации централизованных систем и сооружений водоснабжения и водоотведения – это впервые разработанный единый документ на федеральном уровне обеспечивающий необходимыми рекомендациями и требованиями все основные этапы эксплуатации централизованных систем и сооружений водоснабжения и водоотведения.

Именно проверка соблюдения требований свода правил лицом, ответственным за эксплуатацию централизованных систем водоснабжения и водоотведения является критерием для оценки качества услуг, представляемых им населению и предприятиям по водоснабжению и водоотведению.

Согласно части 2 статьи 5 Федерального закона от 30.12.2009 № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», безопасность зданий и сооружений, а также связанных со зданиями и с сооружениями процессов проектирования (включая изыскания), строительства, монтажа, наладки, эксплуатации и утилизации (сноса) обеспечивается посредством соблюдения требований стандартов и сводов правил, включенных в Перечень национальных стандартов и сводов правил, в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», или требований специальных технических условий.

Согласно части 4 статьи 16.1 Федерального закона от 27.12.2002 № 184-ФЗ «О техническом регулировании», применение на добровольной основе стандартов и (или) сводов правил, включенных в добровольный Перечень, является достаточным условием соблюдения требований соответствующих технических регламентов.

В основу нового свода правил были положены разработанные регламенты АО «МосводоканалНИИпроект» и АО «Мосводоканал», предложения Водоканала Санкт-Петербурга и работы НИИСФ РААСН, выполненные по плану Минстроя РФ,

Свод правил содержит тринадцать разделов, в которых приведены конкретные требования к содержанию эксплуатации централизованных систем и сооружений водоснабжения и водоотведения.

В своде правил приведены новые технологии и требования к эксплуатации к ним, рекомендованы:

- новые прогрессивные технологии реконструкции трубопроводов бестраншейными методами для обеспечения их надежности и экологической безопасности, и экономии ресурсов;
- электронные гидравлические модели для управления и оптимизации эксплуатации сетей водоснабжения и водоотведения и требования к их калибровке;
- критерии планирование объектов капитального ремонта и реконструкции трубопроводов;
- инновационные методы диагностики трубопроводов, включая комплексную диагностику.

Включены:

- новые требования к эксплуатации сооружений и установок для обеззараживания питьевой воды и сточных вод, для обработки осадков, к - требования к оценке надежности трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения;

- новый раздел эксплуатация централизованной ливневой системы водоотведения, рекомендованы

Свод правил взаимосвязан с требованиями 98-ти нормативных документов сведения о которых приведены в разделе 2 «Нормативные ссылки» и библиографии, а в тексте документа даны ссылки на новые нормативные документы.

### **Заключение**

Введение в действие свода правил «Эксплуатация централизованных систем и сооружений водоснабжения и водоотведения» позволит повысить эффективность эксплуатации централизованных систем и сооружений водоснабжения, их надежность и экологическую безопасность, обоснованно применять современные требования, методы и технологии организации и обеспечения безопасной эксплуатации этих систем с учетом жизненного цикла.

### **Библиографический список**

1. Храменков С.В., Примин О.Г. Орлов В.А. Реконструкция трубопроводных систем. // Издательство Ассоциации строительных вузов – М., 2008 – 216 с.

2. Примин О.Г, Орлов В.А. Надежность коммунальных трубопроводов и планирование их восстановления. // Трубопроводный транспорт (теория и практика) 2016 № 2 (54) октябрь С.21- 25

3. Пупырев Е.И., Примин О.Г., Водная отрасль России: проблемы и решения. Журнал «Коммунальный комплекс России», ОАО «АСТ-Московский полиграфический Дом»- 2012, № 5, С. 8-12

4. Концепция стратегии развития водопроводно-канализационного хозяйства Российской Федерации на период до 2030 года. Российская ассоциация водоснабжения и водоотведения. Government.ru/docs/11914/ (дата обращения: 04.06.2020).

5. Проскуракова Л.Н., Саритас О., Сиваев С.Б. Водохозяйственный комплекс: глобальные вызовы и долгосрочные тенденции инновационного развития / Нац.исслед.ун-т «Высшая школа экономики». -М.: НИУ ВШЭ. 2015.- 84 стр. -ISBN 978-5-7598-129-3

6. В.В. Борисов Состояние и развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации. «Природа России» Национальный портал. 2019. 212 с.

7. СП 31.13330.2021 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения».

8. СП 32.13330.2012 «Канализация. Наружные сети и сооружения»

## **ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НАПОРНОГО ТРУБОПРОВОДА НА ИЗМЕНЕНИЕ ЕГО ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК**

**Д.А. Петербургский\* , В.А. Орлов**

НИУ МГСУ, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26

\*Автор ответственный за переписку: piter.rus@inbox.ru

**Аннотация.** Приведены результаты пилотных исследований на экспериментальном гидравлическом стенде по оценке влияния

температуры напорного трубопровода мерной длины из полиэтилена ПЭ 80 *PN 16 SDR 9* на изменение его гидравлических характеристик в целях возможной экономии энергозатрат при транспортировке воды. Представлены сведения об последовательности проведения гидравлических испытаний и автоматизированной программе расчета гидравлических параметров. Результаты работы служат базой последующего физического и математического моделирования работы трубопроводов из различных материалов изготовления с учетом их особенностей при изменении температурных условий как транспортируемой среды, так и окружающей обстановки. Полученные результаты позволяют исследователям и проектировщикам осуществлять предварительный анализ обеспечения оптимальных режимов работы трубопроводной системы в широких диапазонах температур окружающей среды и транспортируемой жидкости.

## **Введение**

Актуальной задачей при проектировании новых трубопроводных систем, а также при реновации (модернизации) ветхих напорных трубопроводов является обеспечение их соответствующих прочностных и энергетических показателей, отвечающих условиям долговременной и энергоэффективной работы трубопроводных сетей [1, 2]. Для снижения потребления электроэнергии при транспортировке воды возникает необходимость использовать трубопроводы с малой шероховатостью, а также учитывать температурный фактор [3, 4]. Результаты подобных исследований проводились ранее, что позволило установить связь между изменением температуры транспортируемой по трубопроводу жидкости с ее вязкостью и величиной коэффициента гидравлического трения [5, 6]. С появлением новых материалов для изготовления трубопроводов (прежде всего полимерных), а также использования их в различных природно-климатических условиях, решение данной задачи потребовало глубокого анализа и дополнительной интерпретации, в частности, с использованием автоматизированных расчетных комплексов, позволяющих осуществлять моделирование происходящих явлений [7, 8]. Конечной целью подобных подходов является возможность сопоставления натуральных данных с расчетными, оценки их расхождений и корреляции окончательных выводов в соответствующих рамках эксплуатационных характеристик действующих трубопроводных сетей [9, 10]. При проведении комплекса экспериментальных и расчетно-теоретических исследований была использована разработанная авторами автоматизированная программа [7].

## **Материалы и методы**

В качестве объекта исследований были приняты трубы из полиэтилена (ПЭ). Работы заключались в проведении пилотных гидравлических экспериментов на опытном малогабаритном стенде (рисунок 1), смонтированном в лаборатории кафедры «Водоснабжение и водоотведение» НИУ МГСУ.



**Рисунок 1.** Фрагменты установки с пьезометром (слева) и с мерной емкостью и терморегулятором (справа)

Малогабаритный гидравлический стенд представляет систему, включающую емкость с водой определенной температуры  $T_b$ , скрученным в виток (для обеспечения компактности) гибким полимерным трубопроводом из полиэтилена ПЭ 80 *PN 16 SDR 9* внутренним диаметром 12 мм, помещенным в греющий кабель и защитную пленку для имитации различных температурных условий эксплуатации трубопроводной системы.

В состав стенда входит электронный терморегулятор, обеспечивающий требуемый температурный диапазон стенки трубопровода в период проведения экспериментов. В двух точках трубопровода за пределами греющего кабеля (до и после него) установлены тонкие патрубки (на рисунке 1 белого цвета) для отбора статического давления воды. Патрубки соединены посредством гибких прозрачных полиэтиленовых трубок к миниатюрному пьезометрическому стенду.

Работа стенда состояла из операций замера относительных величин потерь напора  $h$  на двух пьезометрах как разницы в их показаниях, фиксации расхода  $Q$  вытекающей из емкости воды объемным методом с последующим построением графических зависимостей  $h=f(Q)$  в широком диапазоне изменения расходов  $Q$  путем его регулирования вентилем. При этом стабильность температуры  $T_b$  вытекающей из емкости воды в период серии экспериментов достигалась пополнением ее свежей. Соответствующая температура стенок трубопровода  $T_T$  (или окружающей его среды) искусственно изменялась и контролировалась датчиком, предварительно настраиваемым на определенный градус.

Задачей экспериментов являлось подтверждение/опровержение принципиальной гипотезы о влиянии нагрева стенки трубопровода на изменение его гидравлических сопротивлений за счет определенных

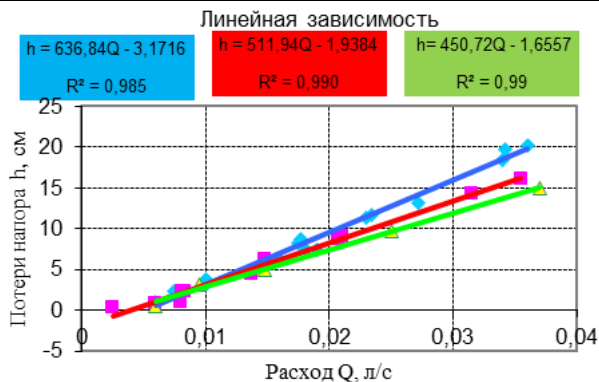
соотношений динамических вязкостей, отнесенных соответственно к температурам стенки трубы, т.е. окружающего пространства трубопровода (например, находящегося в помещении, при наземной или подземной прокладке труб и т.д.) в условиях стабильной температуры транспортируемой жидкости.

## Результаты

По результатам натуральных экспериментов (таблица 1), реализованных на гидравлическом стенде при температурах стенки трубопровода 17, 25, 30 и 35<sup>0</sup>C и при средней температуре воды в период проведения экспериментов 16<sup>0</sup>C, получены графические зависимости, часть из которых представлена на рисунке 2.

**Таблица 1.** Выборочные результаты экспериментов на гидравлическом стенде при температуре воды 16<sup>0</sup>C и температуре стенки трубы 30<sup>0</sup>C

Время наполнения мерной емкости t, с	Объем мерной емкости W, л	Расход опытный Q=W / t, л/с	Показания на пьезометрах, см		Разница в показаниях h = 1 – 2, см
			1	2	
30	0,18	0,006	38,6	37,8	0,9
30	0,245	0,0081	38,6	36,3	2,3
30	0,25	0,00833	38,5	36,2	2,3
20	0,295	0,01475	37,3	31,1	6,2
20	0,415	0,02075	35,3	26,6	8,7
20	0,63	0,0315	32,9	17,6	15,3
20	0,42	0,021	32,0	23,0	9,0
10	0,35	0,035	36,8	20,6	16,2
20	0,275	0,01375	35,7	31,4	4,5
30	0,18	0,006	40,2	39,1	1,1
40	0,1	0,0025	40,3	40,0	0,3



**Рисунок 2.** Графики зависимости потерь напора от расхода для соответствующих температур стенки трубы (синяя для температуры 17, красная 30 и зеленая 35<sup>0</sup>C)

Анализ графиков на рисунке 2 показывает, что при разных температурах стенок трубопровода наблюдается идентичный линейный



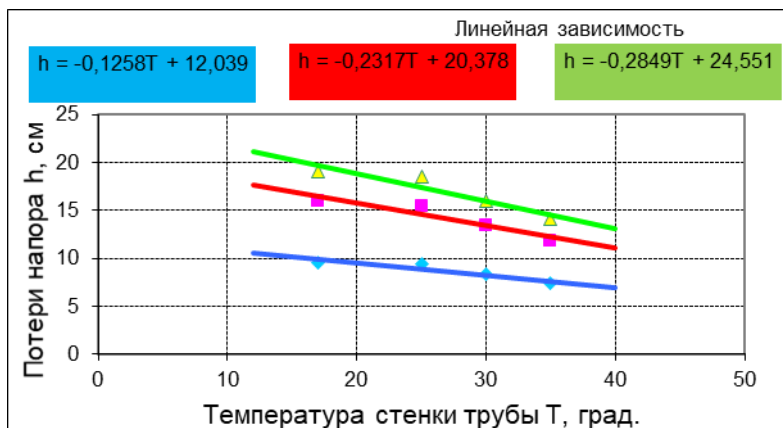
характер изменения потерь напора от расхода. Также прослеживается зависимость: чем выше температура стенки трубопровода, тем меньше потери напора, что, очевидно, связано с изменением динамической вязкости воды, отнесенной соответственно к температуре стенки трубы. Это подтверждает выдвинутую ранее гипотезу о влиянии температуры стенки трубопровода на изменение гидравлических сопротивлений [5].

Основываясь на данном предположении и используя полученные математические зависимости изменения потерь напора от расхода при различных температурах, для нескольких характерных расходов воды  $Q$  проведены расчеты по определению величин потерь напора для 4-х случаев температуры стенки трубы, т.е. 17, 25, 30 и 35 $^{\circ}$ C градусов, что представлено в таблице 2.

**Таблица 2.** Расчетные данные по величинам потерь напора для нескольких значений расхода транспортируемой воды по трубопроводу при ее температуре 16 $^{\circ}$ C

Величина потерь напора $h$ , см, в виде зависимостей $h=f(Q)$				
Расход $Q$ , л/с	при 17 $^{\circ}$ C $h=636,86Q-3,1741$	при 25 $^{\circ}$ C $h=601,29Q-2,539$	при 30 $^{\circ}$ C $h=511,94Q-1,9384$	при 35 $^{\circ}$ C $h=450,72Q-1,6567$
0,02	9,5631	9,4868	8,3004	7,35
0,03	15,9317	15,4997	13,4198	11,8649
0,035	19,116	18,50615	15,9795	14,1185

Для наглядности строились зависимости (рисунок 3)  $h=f(T_{тр.})$  с линиями тренда для увеличенного диапазона температуры стенки трубы от 12 до 40 $^{\circ}$ C. Это объясняется тем, что такие температуры в опытах обеспечить проблематично.



**Рисунок 3.** Графики зависимости потерь напора от расхода для соответствующих температур стенки трубы с линиями тренда для 12 и 40 $^{\circ}$ C (расходы: 0,02 синяя кривая, 0,03 красная и 0,035 зеленая)

## **Заключение**

1. На основе результатов стендовых гидравлических испытаний полимерного трубопровода мерной длины из полиэтилена ПЭ 80 *PN 16 SDR 9* получены математические зависимости, описывающие изменение потерь напора от расхода для соответствующих температур стенки трубы и транспортируемой воды; это позволяет проводить предварительный анализ обеспечения оптимальных режимов работы трубопроводной системы в широких диапазонах температур.

2. Представлены результаты работы автоматизированной программы моделирования гидравлических и энергетических расчетов трубопроводов в широких диапазонах температур транспортируемых вод и стенок трубопровода.

3. В поисках возможности управления процессом потребления электроэнергии на этапе проектирования трубопроводных систем установлены граничные значения температур окружающей среды и транспортируемой воды.

## **Список литературы**

1. Орлов В.А. Бестраншейные технологии и энергосбережение.-М: АСВ. 2021. 123 с.
2. Houghtalen R., Osman A., Akan A., Hwang N. Fundamentals of Hydraulic Engineering Systems, 5th edition. Pearson. 2016. 528 p.
3. Gilda Gavrițaș, Mihai Gavrilas, Ovidiu Ivanov Electricity load prediction for water supply systems // Environmental Engineering and Management Journal, July/August 2008, Vol. 7, Nr. 4, ISSN: 1843 - 3707
4. Храменков С.В., Примин О.Г., Орлов В.А. Реконструкция трубопроводных систем.-М: АСВ. 2008. 215 с.
5. Альтшуль А.Д. Гидравлические сопротивления. –М.: Недра. 1982. 224 с.
6. Kuliczowski A. Renovation or reconstruction on the example of water and sewage pipes. //INSTAL, 2012. № 1, pp. 46-49.
7. Орлов В.А., Зоткин С.П., Иншакова М.А., Петербургский Д.А. Программа расчета гидравлических параметров напорных труб при изменении температурных режимов //Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2020661754. Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 30.09.2020
8. Heber Pimentel Gomes, Pedro Augusto Silva Sabino de Farias, Saulo de Tarso Marques Bezerra, Sabrina da Silva Efficiency indicator for assessment of water distribution networks carrying capacity //Environmental Engineering and Management Journal. May 2020, Vol. 19, No. 5, 747-753
9. Fang X., Xu Y., Zhou Z. New correlations of single-phase friction factor for turbulent pipe flow and evaluation of existing single-phase friction factor correlations // Journal Nucl. Eng. Des. 2011. Vol. 241. p. 897-902
10. Mihai Toderașc, Vlad Iordache, Cristian Petcu, Horia Petran Real time monitoring of indoor environment quality and energy consumption in a residential building //Environmental Engineering and Management Journal. July 2019, Vol. 18, No. 7, 1391-1620

# ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ЦИРКУЛЯЦИОННОГО ОКИСЛИТЕЛЬНОГО КАНАЛА В НИЗКОКИСЛОРОДНЫХ УСЛОВИЯХ

Е.В. Спасибо<sup>1,2\*</sup>, Е.С. Гогина<sup>1,2</sup>, И.А. Гульшин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>НИУ МГСУ, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

<sup>2</sup>Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (НИИСФ РААСН); 127238, г. Москва, Локомотивный проезд, д. 21.

\* Автор ответственный за переписку: [spasibo.elena@mail.ru](mailto:spasibo.elena@mail.ru)

**Аннотация.** В данной работе представлены результаты эксперимента, позволяющего найти решение вопроса энергоэффективности на сооружениях малой производительности. Представлены оптимальные режимы эксплуатации лабораторной установки циркуляционного типа, ведущие к снижению энергозатрат.

## Введение

Экологическое состояние водных объектов напрямую зависят от состояния, работы и эксплуатации очистных сооружений канализации. На территории Российской Федерации большинство данных объектов построены и введены в эксплуатацию еще в середине XX века. С того момента произошли изменения в законодательстве, связанные с ужесточением норм сброса очищенных сточных вод, в частности, по биогенным элементам. [1]

Большинство действующих сооружений не были подвергнуты реконструкции с момента ввода в работу. Кроме того, во многих, в основном малых, населенных пунктах, сброс неочищенных сточных вод осуществляется непосредственно в водный объект.

Вместе с тем, остро стоит вопрос энергоэффективности работы станции по очистке. Потому как основное энергопотребление станции очистки городских сточных вод приходится на аэробные биологические реакторы, ввиду поддержания определенного кислородного режима. [2]

Перспективным решением поставленных вопросов является применение циркуляционных окислительных каналов (ЦОК). [3] Классический канал представляет собой канал, с направленным потоком, круглой, овальной или подковообразной формы, что в свою очередь, увеличивает внутреннюю рециркуляцию сточных вод. [4]

Как известно, для успешного удаления от соединений азота необходимо поддержание кислородных условий для реализации процессов нитрификации и денитрификации. Данная технологическая схема хорошо применима в таких сооружениях, как аэротенки, где конструкционно можно выделить кислородные коридоры.

В циркуляционном окислительном канале, в условиях замкнутого потока, процесс денитрификации будет подавлен окислением органики, ввиду его меньшей реакционной способности.

Энергоэффективные методы при реализации процессов глубокой биологической очистки – это либо оптимизация оборудования, либо установление оптимального кислородного режима сооружения. [5]

По началу оптимизацию кислородного режима решали заменой аэрационного оборудования. [6] Затем были проведены исследования, касающиеся выделению определенных кислородных зон для успешной реализации процессов нитри-, денитрификации. [7.8] Позднее был рассмотрен процесс одновременной нитрификации и денитрификации (ОНД) в сооружениях ЦОК. [9] Данный процесс является альтернативой разделению кислородных зон. Его особенность - протекание реакций нитри-денитрификации в одном и том же реакторе при поддержании одинаково низких концентраций растворенного кислорода по всему объему сооружений. Но были выявлены случаи нитчатого вспухания, по причине снижения концентрации растворенного кислорода.

В рамках данного исследования представлена конструкция циркуляционного окислительного канала, с выделением аноксидных и аэробных макрозон, путем увеличенной длины канала.

### Материалы и методы

Апробация лабораторной установки ЦОК производилась на модельной жидкости на основе пептона с добавлением растворов азото- и фосфоросодержащих солей, по составу, приближенному к показателям малых очистных сооружений Российской Федерации. Состав, поступающий в лабораторную установку, искусственной сточной воды представлен в таблице 1.

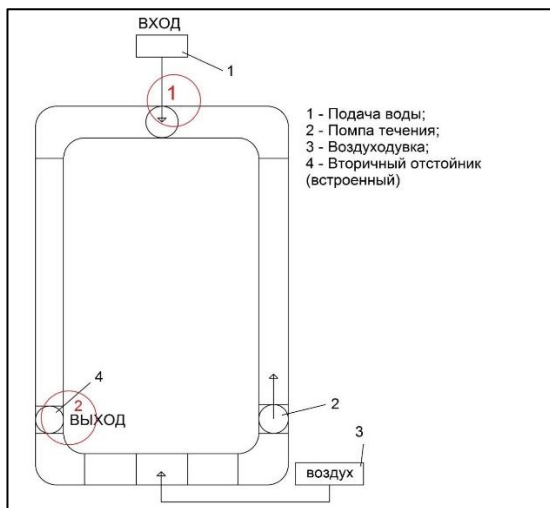
**Таблица 1.** Состав поступающей модельной жидкости.

Показатель	Значение
$\text{NH}_4^+$	46,37 мг/дм <sup>3</sup>
БПК <sub>5</sub>	155 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>
Взвешенные вещества	130,75 мг/дм <sup>3</sup>
$\text{PO}_4^{3-}$	13,7 мг/дм <sup>3</sup>

Для проведения химического анализа основных показателей использовалось следующее лабораторное оборудование: спектрофотометр Nach Lange (исследуемый параметр – аммоний, фосфат, нитрит и нитрат), WTW OxiTop (исследуемый параметр – БПК<sub>5</sub>), Metter Toledo SevenGoPro (исследуемый параметр – pH, кислород), взвешенные вещества контролировались стандартными методами.

Данная модель ЦОК характеризуется протяженными коридорами, что позволило создать градиент растворенного кислорода по всей длине реактора. Общий объем установки, при диаметре канала 200 мм, составил 141 литр. Подача модельной жидкости производилась насосами-дозаторами из баков. Аэрация осуществлялась мелкопузырчатой аэрацией, направленное горизонтальное движение сточной жидкости обеспечивалось погружными мешалками.

Для отделения активного ила и отвода очищенной сточной воды предусмотрено устройство встроенного вторичного отстойника, работающего по принципу восходящего потока через взвешенный слой. Устройство данного элемента необходимо также для снижения воздействия на флоккулы активного ила, т.е. для поддержания их большего размера. Схема лабораторной модели представлена на рисунке 1.



**Рисунок 1.** Схема лабораторной установки. Точки отбора проб отмечены красным цветом

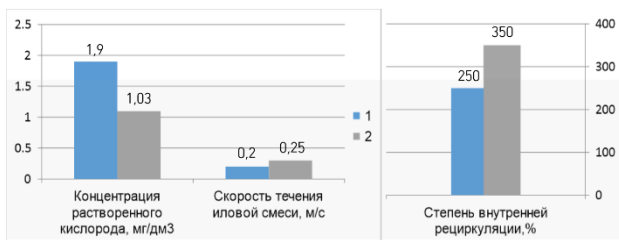
При заданной протяженности коридоров ЦОК создавался градиент растворенного кислорода, что обеспечивало создание выраженных аэробных и анаэробных макрозон по всему объему установки. Первая кислородная зона соответствовала месту подачи воздуха в установку. Вторая - месту выхода очищенных сточных вод.

Было изучено два кислородных режима для данной установки, представленные в таблице 2.

**Таблица 2.** Кислородные режимы

Кислородный режим	Первая зона	Вторая зона
1	2,5 мг/дм <sup>3</sup>	1,3 мг/дм <sup>3</sup>
2	1,9 мг/дм <sup>3</sup>	0,15 мг/дм <sup>3</sup>

Распределение растворенного кислорода по зонам канала осуществлялось путем регулирования интенсивности аэрации и скорости потока. Скорость потока, также, влияла на значение степени внутренней рециркуляции. Значения скорости потока и степени внутренней рециркуляции в зависимости от кислородных режимов представлены на рисунке 2.

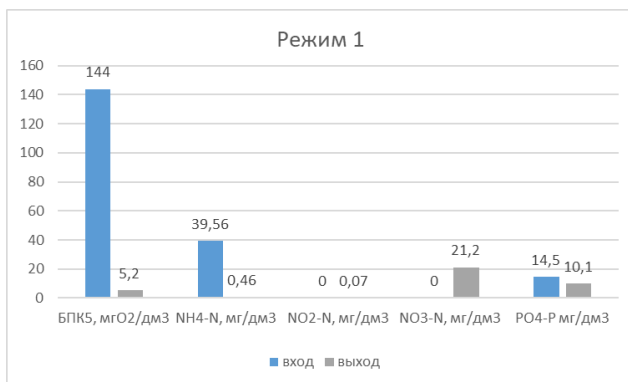


**Рисунок 2.** Значения скорости потока и степени внутренней рециркуляции в зависимости от кислородных режимов

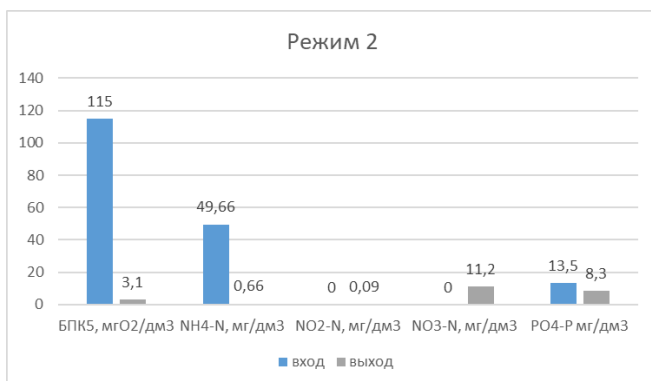
## Результаты

В ходе эксперимента были проведены санитарно-химические анализы, которые описывают степень очистки исследуемой установки. Отбор проб производился с определенной частотой в двух точках: 1 - вход и 2 - выход.

Усредненные показатели концентрации загрязнений на входе и на выходе из канала представлена на рисунке 3 и 4. Доза ила при режимах 1 и 2 соответственно составило 1,113 г/дм<sup>3</sup> и 1,471 г/дм<sup>3</sup>.



**Рисунок 3.** Усредненные показатели работы установки в режиме 1



**Рисунок 4.** Усредненные показатели работы установки в режиме 2

**Таблица 3.** Эффективность очистки.

Режим	БПК <sub>5</sub> , %	Азот (млн.), %	Фосфор (ортофосф.), %
1	96,4	29,5	23,6
2	97,8	69,4	36,3

По результатам эксперимента на данной схеме ЦОК при режиме 2 на модельной сточной воде получены показатели очищенной воды, удовлетворяющие действующим нормативным требованиям.

### **Заключение**

В ходе эксперимента была рассмотрена лабораторная установка циркуляционного окислительного канала с различными кислородными макрозонами. Выявлены оптимальные кислородные режимы, обеспечивающие должную работу канала.

Технология может быть применена для дальнейшего внедрения на станции очистки бытовых сточных вод с малой производительностью, после дополнительных исследований по реагентному удалению фосфора физико-химическим методом при различных кислородных режимах. Поскольку реагентная дефосфотация является наиболее перспективной в настоящее время. [10]

### **Список литературы**

1. Гульшин И.А., Гогина Е.С. Одноиловая система низкокислородной технологии глубокой очистки сточных вод от соединений азота. // Вода и экология: проблемы и решения. 2019. №4(80). С. 9-19
2. Березин, С. Е. Баженов В. И. Воздуходувные станции с регулируемыми центробежными компрессорами. 2019. Симферополь: ИТ «АРИАЛ». 188 с.
3. Гогина Е.С., Гульшин И.А. Перспективы развития технологий очистки сточных вод с глубоким удалением азота в аэрационных сооружениях циркуляционного типа. // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли российской федерации в 2020 году. Сборник научных трудов РААСН: в 2 томах. Российская академия архитектуры и строительных наук (РААСН). Москва : Издательство АСВ, 2021. – С. 47-51.
4. Xu, X.; Wei, W.; Liu, F.; Wei, W.; Liu, Z. Experimental study on aeration efficiency in a pilot-scale decelerated oxidation ditch equipped with fine bubble diffusers and impellers. *Can. J. Chem. Eng.* 2021. № 99. С. 1410–1420.
5. Subtil, E.L.; Silva, M.V.; Lotto, B.A.; Moretto, M.R.D.; Mierzwa, J.C. Pilot-scale investigation on the feasibility of simultaneous nitrification and denitrification (SND) in a continuous flow single-stage membrane bioreactor. *J. Water Process. Eng.* 2019. №32. 100995.
6. Fayolle Y. et al. Aeration and mixing in loop reactors equipped with fine bubble diffusers and slow speed mixers: a full scale study // *Proceedings of the Water Environment Federation.* 2011. Т.2011. №18. С. 357-367.
7. Баженов В. И. Принцип продольной рециркуляции в аэротенках карусельного типа // *Водоснабжение и канализация.* 2014. №11—12. С. 101—111.

8. Баженов В. И. Механизм адаптации активного ила к низким концентрациям кислорода / Канунникова М. А. // Достижения науки и техники АПК. 2012. № 9. С. 82—84.

9. Гульшин И.А. Разработка технологии биологической очистки сточных вод от соединений азота в аэрационных сооружениях циркуляционного типа в низкокислородных условиях // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / 2018 - 166 с.

10. Теплых С.Ю., Бочков Д.С., Базарова А.О. Исследование способов удаления фосфатов из бытовых сточных вод // Градостроительство и архитектура. 2020. Т.10, №4. С. 69–77. DOI: 10.17673/Vestnik.2020.04.9

## **АКВАТРОНИКА – ОПЫТ СОЗДАНИЯ НОВОГО НАПРАВЛЕНИЯ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА**

**И.В. Николенко**

ФГАОУ ВО “КФУ им. В.И. Вернадского”, 295493. Ул. Киевская, 181, Симферополь, Республика Крым, Россия  
e-mail: nikoshi@mail.ru

Повышение эффективности использования ресурсов и энергии является важнейшим условием устойчивого развития. По мере того как пресная вода становится все более дефицитной, устойчивое развитие зависит от повышения ее продуктивности, то есть получения большей ценности от объемов водопользования, при сохранении достаточного количества воды в поверхностных и подземных источниках для поддержания нормального функционирования природных систем. С учетом глобальных изменений природно-климатических факторов и повышения антропогенной нагрузки водопользование в современном мире должно быть синергией социальной стабильности, экономических и экосистемных выгод. Нерациональное использование и избыточное потребление воды в сельском хозяйстве, энергетике, промышленности, жилищно-коммунальном хозяйстве, снижение ее количества и качества, создают угрозу жизни и здоровью человека, влияют на экономическую стабильность, а также могут наносить существенный урон экологии.

Анализ использования водных ресурсов, в настоящее время является чрезвычайно важными, так как требует комплексных исследований и решений в различных направлениях водохозяйственного комплекса. Отсутствие решений этих задач, приводит к неэффективному управлению водными ресурсами, а в результате может нарушить доступность и устойчивость водных ресурсов в будущем. Немаловажный фактор не только для сегодняшнего дня, но и для будущего развития водохозяйственного комплекса является дефицит специалистов и их подготовки по решению на современном уровне проблем повышения эффективности использования водных ресурсов.



В структуре затрат жизненного цикла систем водоснабжения и водоотведения (СВВ) стоимость их строительства, оборудования и монтажа составляет менее 15...20%. Большая часть затрат жизненного цикла СВВ связана с потреблением энергии и различных ресурсов, а также с эффективностью их управления. Цифровизация и современные технологии управления становится наиболее важной темой во всех областях деятельности СВВ, потому что позволяют существенно уменьшить потребление энергии и водных ресурсов, а, следовательно, стоимость поставки воды и очистки стоков, а также влияют на экологическую безопасность этих систем.

Важной частью стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года является защита и рациональное использование водных ресурсов. В соответствии с положениями Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 года, а также согласно Федеральной целевой программы «Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012-2020 годах» одной из основных задач, определяющих направления развития водохозяйственного комплекса, является его кадровое обеспечение на основе совершенствования системы управления подготовкой кадров, переоснащение учебно-лабораторной базы образовательных учреждений, формирование новых направлений и специальностей, разработка и внедрение новых образовательных стандартов и программ обучения, соответствующих потребностям развития водного хозяйства, а также создание системы стимулов для привлечения и закрепления в отрасли специалистов с высшим и средним профессиональным образованием [1, 2].

Уровень профильного образования по управлению элементами водохозяйственного комплекса становится недостаточным, чтобы покрыть растущий спрос на квалифицированный персонал в технологически и технически быстро изменяющейся профессиональной сфере. Поэтому система кадрового обеспечения во всем мире столкнулась с необходимостью создания новых направлений подготовки для удовлетворения потребностей в специалистах, способных разрабатывать комплексные решения проблем водопользования. Одним из путей решения покрытия этого спроса в 21-ом веке был основан на внедрении новых научных направлений - гидроинформатики и акватроники, которые успешно развиваются и имеют самостоятельный характер.

Ограниченность мировых запасов пресной воды стремительно превращает ее в дефицитный природный ресурс. Недостаток энергоресурсов, а также проблемы охраны окружающей среды делают вопросы, которые связаны с водопользованием глобальными и особо актуальными. Защита водных ресурсов, оптимизация их использования становятся в центре международной и государственной политики с регулированием на различных уровнях управления. Эффективным путем решения этих проблем в международной среде специалистов по управлению водными ресурсами в 21-ом веке стало формирование нового направления

подготовки специалистов – акватроники. Термин «Акватроника» («Aquatronics») введен из комбинации слов [3]:

**«АКВАТРОНИКА» = «АКВА» + «ЭЛЕКТРОНИКА»**

Целью акватроники является создание интеллектуальных систем и процессов для управления водными ресурсами, обладающих качественно новыми функциями, свойствами и возможностями на основе общих тенденций развития современной науки, компьютерной техники, а также систем автоматизации. Основой акватроники является синергетическое объединение структурных элементов, технологий, энергетических и информационных потоков для достижения единой цели по оптимальному управлению водными ресурсами в СВВ. Как показал международный опыт последних десятилетий внедрение методов акватроники в технологические процессы СВВ, позволяет разрабатывать технологические концепции развития, которые включают измеримые цели и критерии, а также конкретные меры их достижения, что обеспечивает устойчивое развитие систем водопользования регионов, городов, отраслей и предприятий [4].

Акватроника – область науки и техники, основанная на системном объединении знаний в различных областях науки и техники, которая позволяет совершить качественный скачок в создании технологических процессов новых поколений и в производстве новейших видов систем и оборудования для рационального использования водных ресурсов. Объединение компетенций в области комплекса наук о водных ресурсах и их использовании с компетенциями в области компьютерной инженерии необходимо для эффективного использования современных технологий в качестве полезного инструмента для решения технических проблем в водохозяйственном комплексе [5].

Основой акватроники является современный концептуальный подход в построении технологических процессов управления водохозяйственного комплекса как системы сооружений, электромеханических, пневматических, гидравлических, электронных элементов, датчиков состояния внешней среды и самого объекта, в том числе различной физической природы, источников энергии и исполнительных механизмов, средств компьютерной техники, между которыми осуществляется постоянный динамический обмен энергией и информацией, объединенный общей системой автоматического управления, обладающей элементами искусственного интеллекта. Аппаратное объединение в акватронике различных элементов СВВ в единые технологические модули дополняется разработкой интегрированного программного обеспечения, которое должно обеспечивать непосредственный переход от замысла проектируемой системы через ее математическое моделирование к адаптивному управлению технологическими процессами [6].

Кафедра «Водоснабжения, водоотведения и санитарной техники» (ВВиСТ) Академии строительства и архитектуры Крымского федерального

университета им. В.И. Вернадского активно включилась в работу по созданию нового направления подготовки обучающихся – акватроники. Для практической реализации этого направления в 2015 год в рамках программы по развитию университета на кафедре ВВиСТ был создан научно-образовательный центр (НОЦ) Акватроник Фесто Центр (АФЦ), который был первым в Российской Федерации по изучению и моделированию всех циклов водопользования в СВВ на основе принципов акватроники [7, 8, 9].

Учебные компоненты, гидравлическое и специальное оборудование, современная аппаратная и программная базы, алгоритмы управления и оптимизации обеспечивают оборудованием НОЦ АФЦ практическую направленность обучения и позволяют моделировать весь цикл водопользования систем водохозяйственного комплекса с имитацией основных технологических процессов. Оснащение НОЦ АФЦ является официальным комплексом оборудования, на котором проводятся соревнования по компетенции «Акватроника» в рамках WorldSkills [10, 11, 12].

На стратегических сессиях Российских водных конгрессах в 2018 – 2021 годах по кадровому обеспечению водохозяйственного комплекса, рассматривались проблемы совершенствования системы управления подготовкой кадров, в том числе формирования новых программ обучения, направлений и специальностей, а также разработки и внедрения новых профессиональных стандартов [13].

В результате этих обсуждений, на основании обращения Национального Совета при Президенте Российской Федерации по профессиональным квалификациям под руководством Российской ассоциации водоснабжения и водоотведения была сформирована рабочая группа по разработке нового профессионального стандарта 1461 «Специалист по водным технологиям водоснабжения и водоотведения (акватроник)». В состав рабочей группы по разработке этого профессионального стандарта вошли ведущие специалисты по профильному образованию Академии строительства и архитектуры КФУ им. В.И. Вернадского, Института тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова РТУ МИРЭА, НИУ МГСУ и ВНИИтруда. Профессиональный стандарт 1461 «Специалист по водным технологиям водоснабжения и водоотведения (акватроник)» был утвержден 25 мая 2021 года и вступил в действие с 1 марта 2022 года. В структуре профессионального стандарта 1461 выделены вид, цель и функциональная карта профессиональной деятельности специалиста по акватронике, а также характеристики обобщенных трудовых функций [14].

В соответствии с профессиональным стандартом по акватронике определен вид профессиональной деятельности (16.153) – совершенствование, автоматизация технологических процессов и систем водоснабжения и водоотведения. Основной целью профессиональной деятельности является эксплуатация, проектирование, монтаж, техническое обслуживание и ремонт оборудования и систем водоснабжения и

водоотведения, автоматизация технологических процессов для обеспечения качественного водоснабжения и водоотведения коммунальных, промышленных, общественных и спортивных объектов. В функциональной карте вида профессиональной деятельности специалиста по водным технологиям водоснабжения и водоотведения (акватроника) выделены обобщенные трудовые функции:

- обеспечение эксплуатации и комплексного технического обслуживания СБВ;

- обеспечение контроля и настройки работы систем автоматики водоснабжения и водоотведения;

- предпроектная подготовка, выполнение расчетов и подготовка проектной документации автоматизации СБВ коммунальных, промышленных, общественных и спортивных объектов;

- обеспечение эксплуатации оборудования автоматизированного и автоматического управления СБВ коммунальных, промышленных, общественных и спортивных объектов;

- руководство структурным подразделением водоснабжения и водоотведения коммунальных, промышленных, общественных и спортивных объектов.

Предусмотренные трудовые функции специалистов соответствуют 4, 5, 6 и 7 уровням квалификации.

Для специалистов 5 уровня квалификации установлены требования к образованию и обучению - среднее профессиональное образование по программам подготовки в области автоматизации СБВ, а также высшее образование – бакалавриат в области автоматизации СБВ, с возможными должностями: техник-электроник, техник программист, техник-конструктор, техник-технолог, программист. Основными трудовыми функциями этих специалистов являются:

- мониторинг и использование данных лабораторий химического и биологического анализа воды и стоков;

- управление и автоматизация СБВ;

- осуществление настройки автоматизированных и автоматических систем и блоков технологических участков водоснабжения и водоотведения.

Для специалистов 6 уровня квалификации установлены требования к образованию и обучению: высшее образование – бакалавриат в области автоматизации СБВ, с возможными должностями: инженер, инженер-проектировщик, инженер-технолог, инженер – конструктор, инженер-программист, начальник участка. Основными трудовыми функциями являются:

- сбор и анализ исходных данных для проектирования автоматизации технологических процессов СБВ;

- выполнение расчетов, выбор программного обеспечения, оборудования, арматуры, подготовка проектной документации систем автоматизации технологических процессов СБВ;

- комплексная проверка технического состояния автоматизированных и автоматических СВВ;
- техническое обслуживание автоматизированных и автоматических систем управления электрооборудованием СВВ;
- техническое обслуживание автоматизированных и автоматических систем управления механическим, пневматическим, гидравлическим оборудованием СВВ

Для специалистов 7 уровня квалификации установлены требования к образованию и обучению: высшее образование – магистратура или специалитет в области автоматизации СВВ, с возможными должностями: руководитель подразделения (отдела), начальник сектора, начальник отдела, начальник отделения. Основными трудовыми функциями являются:

- организация работ подразделения по автоматизации процессов СВВ;
- разработка и экономическое обоснование планов внедрения новой техники и технологий, обеспечивающих модернизацию технологических процессов СВВ;
- руководство персоналом подразделения организации водоснабжения, водоотведения, очистки стоков, химводоподготовки.

## **Выводы**

Акватроника как научно-техническое направление служит основой для всех видов профессиональной деятельности в водохозяйственном комплексе, так как позволяет объединить основные профессии и специалистов, связанных с водой и сточными водами, для СВВ объектов жилищно-коммунального хозяйства, промышленности и сельского хозяйства. Важность акватроники как направления кадрового обеспечения будет возрастать из-за глобального спроса на специалистов в области водных ресурсов, что создаст отличные возможности для трудоустройства техников, бакалавров и магистров, обладающих соответствующим комплексом компетенций.

Внедрение новой области знаний – акватроники является перспективным направлением развития профильного образования, так как позволяет реализовывать новое и уникальное направление подготовки, которое соответствует современным требованиям целостной, практически ориентированной профильной подготовки обучающихся для водохозяйственного комплекса России.

## **Литература**

1. Водная стратегия Российской Федерации на период до 2020 года. Распоряжение Правительства РФ от 27 августа 2009 г. N 1235-р. Электронный ресурс: режим доступа <http://government.ru/docs/10049/>(дата обращения 07.03.2021 г.)
2. Постановление Правительства РФ от 19.04.2012 N 350 (ред. от 31.05.2017) "О федеральной целевой программе "Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012-2020 годах". Электронный ресурс: режим доступа: <http://government.ru/docs/37156/>(дата обращения 07.03.2021 г.)

3. Turnkey Projects – for Science technology and education. // Festo Didactic Global Project Solutions DC-ES. - Germany, 2013. 18 p.
4. T. Schwab, M. Groß, J. Strittmatter. EDS® - Water Management// Festo Didactic GmbH & Co. KG. - Denkendorf, Germany, 2013. 81 p.
5. Monitoring, controlling and optimising operations/ M. Groß, Y. Salazar, T. Schwab, J. Strittmatter// Festo Didactic GmbH & Co. KG. - Denkendorf, Germany, 2013. 62 p.
6. Energy optimisation in water and wastewater treatment plants/ M. Groß, P. Maurer, Y. Salazar, T. Schwab, J. Strittmatter// Festo Didactic GmbH & Co. KG. - Denkendorf, Germany, 2014. 100 p.
7. Николенко И.В., Салиев Э.И. Моделирование систем водоснабжения и водоотведения с применением учебного оборудования «Акватроник Фесто Центр»// Материалы IX межд. науч.-практ. конф. «Строительство в прибрежных регионах», 2016 г., Сочи, С. 187 – 191.
8. Николенко И.В., Салиев Э.И., Крымов Р.С. Применение модуля энергетической оптимизации Акватроник Фесто Центр для повышения энергоэффективности систем водоснабжения и водоотведения// Строительство и техногенная безопасность, 2016. – вып. 57. – С. 67 – 68.
9. Николенко И.В. Акватроника - эффективный путь управления водными ресурсами// Материалы I Всероссийской междисциплинарной науч.-практ. конф. «Крымская инициатива – экологическая безопасность регионов», 5 – 7 октября 2017, Симферополь. - С. 96 – 99.
10. Николенко И.В. Акватроника – взгляд в будущее// Тез. 4-ой Крымской межд. конф. «Методология безопасности среды жизнедеятельности», 25 - 29 сентября 2017, Симферополь. - С. 59 – 60.
11. Николенко И.В. Акватроника - новое направление кадрового обеспечения водохозяйственного комплекса// Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2017. № 11 (119). С. 4-13.
12. Николенко И.В., Крымов Р.С. Направления применения акватроники для практически ориентированной подготовки специалистов// Гидравлика. 2019. № 7. С. 83-92.
13. Резолюция Всероссийского водного Конгресса. Электронный ресурс: режим доступа <https://watersongress.ru/> (дата обращения 22.10.2017 г.)
14. Профессиональный стандарт. Специалист по водным технологиям водоснабжения и водоотведения (акватроник): Регистрационный номер 1461. Утвержден приказом № 340 Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации 25 мая 2021 г.

## **ОПЫТ ПРЕПОДАВАНИЯ ГИДРАВЛИКИ, ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ В СИСТЕМЕ НАЧАЛЬНОГО И СРЕДНЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**А.Н. Комяков**

Академия государственной противопожарной службы МЧС России, г. Москва  
E-mail: akomyakov@mail.ru

**Аннотация.** В статье изложен опыт автора доклада преподавания гидравлики и междисциплинарных модулей по системам водоснабжения, водоотведения, отопления; а также опыт

разработки и внедрения в учебный процесс учебно-методических материалов и оборудования для лаборатории гидравлики и теплотехники ГАПОУ МО "МЦК–Техникум имени С.П. Королёва».

## **Введение**

Особенностью современной системы начального и среднего профессионального образования в России является его практическая направленность. Все больше выпускников сдают Государственную итоговую аттестацию в форме демонстрационного экзамена, на котором они подтверждают полученные знания и профессиональные компетенции путем выполнения конкретного практического задания по стандартам «Ворлдскиллс Россия»[1,2].

Компетенции "Сантехника и отопление" и "Холодильная техника и системы кондиционирования" – это одни из самых востребованных компетенций для густонаселённых и экономически развитых регионов Москвы и Московской области. "Межрегиональный центр компетенций - Техникум имени С.П. Королёва" ведет подготовку специалистов по специальностям 08.01.26 Мастер по ремонту и обслуживанию инженерных систем жилищно-коммунального хозяйства и 15.02.13 "Техническое обслуживание и ремонт систем вентиляции и кондиционирования». Статус межрегионального центра компетенций (МЦК) накладывает особые требования к организации учебного процесса, в том числе – к оснащённости лабораторий и мастерских, поскольку одной из главных задач МЦК является экспериментальная апробация новых образовательных стандартов, программ, методик и технологий подготовки кадров по перечню профессий ТОП-50.

Несмотря на то, что "МЦК–Техникум имени С.П. Королёва» готовит преимущественно выпускников рабочих специальностей в области водоснабжения, водоотведения и отопления, а также специалистов среднего звена в области кондиционирования и вентиляции, оснащённости лаборатории гидравлики и теплотехники техникума, созданной при поддержке Администрации Московской области, могут позавидовать ведущие вузы России.

Лаборатория имеет самые современные экспериментальные стенды, действующие образцы отечественного и зарубежного оборудования и измерительных приборов для систем водоснабжения, водоотведения, отопления, холодильной и климатической техники (рисунок1).

Учебными планами подготовки квалифицированных рабочих по специальности 08.01.26 «Мастер по ремонту и обслуживанию инженерных систем жилищно-коммунального хозяйства» **более двухсот часов** отведено дисциплинам по водоснабжению, водоотведению и отоплению.

Дисциплина «Основы гидравлики, теплотехники и аэродинамики» у обучающихся по специальности среднего профессионального образования 15.02.13 "Техническое обслуживание и ремонт систем вентиляции и кондиционирования» изучается **3 семестра в объёме 160 часов**. При этом на

практические занятия и лабораторные работы в лаборатории сантехники и отопления приходится до половины всех аудиторных занятий (таблица 1).

**Таблица 1.** Общепрофессиональные дисциплины и междисциплинарные комплексы (МДК)

Дисциплины и МДК	Часы	Профессия/специальность
Основы гидравлики, теплотехники и аэродинамики	160	Вентиляция и кондиционирование
Теплотехника	80	Аддитивные технологии
Водоснабжение	70	Мастер ЖКХ
Водоотведения	99	Мастер ЖКХ
Отопление и ГВС	70	Мастер ЖКХ

### Материалы и методы

Учитывая практическую направленность обучения в системе НПО и СПО, основной упор делается на учебные и производственные практики, практические и лабораторные работы.

Важность выполнения лабораторных и учебных исследовательских работ для подготовки будущих специалистов и успешной сдачи ими демонстрационного экзамена по стандартам «Ворлдскиллс Россия» обусловлена рядом причин. При подготовке к лабораторным работам и их выполнении обучающиеся получают:

- знания в области механики жидкости и газа;
- практические навыки работы с гидравлическими системами;
- навыки работы с измерительными приборами и регулирующей аппаратурой;
- навыки получения, анализа и обработки опытных данных;
- навыки бережливой и безопасной работы с оборудованием;
- навыки работе в команде и другие.



**Рисунок 1.** Лабораторные стенды по системам водоснабжения и отопления



Опыт преподавания основ гидравлики, теплотехники и аэродинамики, а также специальных дисциплин в области водоснабжения, водоотведения и отопления показал, что лабораторные работы являются любимой формой учебных занятий обучающихся, позволяющей реализовать их активность и познавательный интерес. Это более деятельная и активная форма организации учебного процесса, по сравнению с теоретическими и практическими занятиями. Обучающихся, большинству из которых 16-17 лет, привлекает возможность самостоятельно управлять работой стендов и оборудования, снимать и фиксировать показания приборов, наблюдать за происходящими процессами.

В начальный период главной сложностью в организации полноценной работы лаборатории было исключительно низкое качество методических рекомендаций к выполнению лабораторных работ, предоставленных предприятием–изготовителем в комплекте с оборудованием.

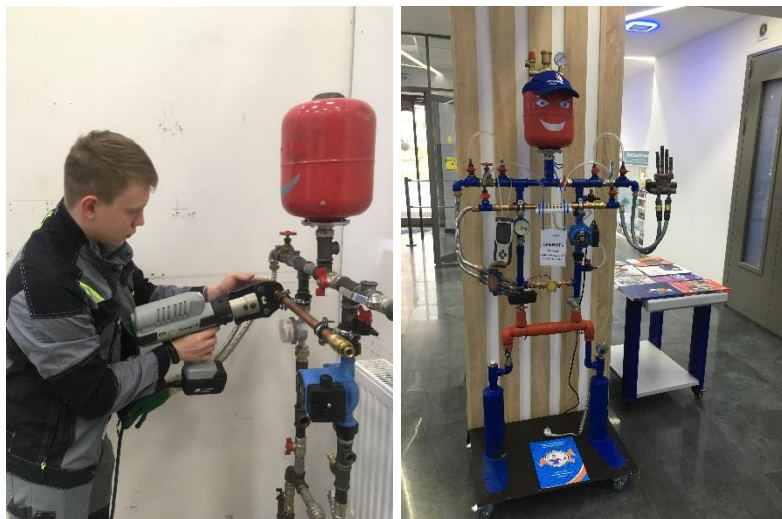
Другой сложностью является то, что довольно трудные освоения дисциплины «Гидравлика» и «Теплотехника» студенты техникума изучают на первом и втором курсах, что соответствует школьникам 10-го и 11-го классов. И, как правило, это студенты с низким уровнем базовой школьной подготовки. Например, средний балл большинства поступивших в техникум в 2021 году на обучение по профессии «Мастер ЖКХ» составил от 3,2 до 3,5 баллов. В вузах более подготовленные студенты эти предметы изучаются на вторых и третьих курсах. И эти предметы считаются одними из самых сложных.

Учитывая это, теоретический материал и учебно-методические материалы для выполнения практических и лабораторных работ [3,4], разрабатываются в максимально доступной форме с упором на практическую составляющую компетенций.

Для углублённого изучения профильных предметов и получения навыков конструкторской и исследовательской работы был создан кружок «Занимательная гидравлика». В рамках работы кружка будущие мастера ЖКХ заняты конструированием и изготовлением на базе учебных мастерских лабораторных стендов для изучения в наглядной игровой форме процессов, явлений, приборов и оборудования систем отопления и водоснабжения. Работа кружка направлена на формирование учебно-исследовательских, конструкторских и трудовых навыков в области водоснабжения, отопления и альтернативной энергетики.

## **Результаты**

Одним из результатов работы студенческого кружка было создание стенда для выполнения лабораторных работ по гидродинамике, системам водоснабжения и отопления (рисунок 2).



**Рисунок 2.** Стенд для выполнения лабораторных работ по гидравлике, водоснабжению и отоплению (работа студенческого кружка)

Учитывая возраст и контингент обучающихся, целью проекта было создание «дружелюбного» лабораторного стенда, к которому хочется подойти, интересно разглядывать и в игровой форме выполнять на нем учебные и исследовательские работы. Несмотря на необычный внешний вид – это полноценный учебный лабораторный стенд, позволяющий выполнять комплекс работ по исследованию потерь напора на трение и местных гидравлических сопротивлениях запорной и регулирующей аппаратуры, напорно-расходных характеристик насоса, измерению скоростей и расходов, изучению видов и свойств трубопроводов из разных материалов и др.

### **Заключение**

Несмотря на изложенные выше особенности преподавания сложных технических и специальных дисциплин в заведениях начального и среднего профессионального образования, опыт «МЦК-Техникум имени С.П. Королёва» показывает, что при создании необходимой материальной базы, грамотном методическом обеспечении учебного процесса и стремлении преподавателей заинтересовать обучающихся их будущей профессией, можно добиваться хороших результатов в подготовке мастеров и специалистов среднего звена в области ХКХ в соответствии с мировыми стандартами и передовыми производственными технологиями.

### **Список литературы**

1. Демонстрационный экзамен по стандартам «Ворлдскиллс Россия» 2021–2022 г. [Электронный ресурс] <https://worldskills.ru/assets/docs//24443/1.%20ДЕМОНСТРАЦИОННЫЙ%20ЭКЗАМЕ>

Н%20ПО%20СТАНДАРТАМ%20ВОРДСКИЛЛС%20РОССИЯ%202021%20-2022%20ГГ..pdf (дата обращения: 28.02.2022)

2. Комплект оценочной документации № 1.1 для демонстрационного экзамена по стандартам «Ворлдскиллс Россия по компетенции № 15 «Сантехника и отопление» [Электронный ресурс] [https://cdn.dp.worldskills.ru/esatk-prod/public\\_files/4c19e7d7-94df-4e5a-b87d-98e0405d7295-254f60bdbe2ea36b9248f0141c40d691.pdf](https://cdn.dp.worldskills.ru/esatk-prod/public_files/4c19e7d7-94df-4e5a-b87d-98e0405d7295-254f60bdbe2ea36b9248f0141c40d691.pdf) (дата обращения: 28.02.2022)

3. Комяков А.Н. Механика жидкости. Гидравлика систем водоснабжения ЖКХ. Изд-во «ГАПОУ МО «МЦК - Техникум имени С.П. Королева» /Королев, 2019– 65 с

4. Комяков А.Н. Теплотехника жидкости. Изд-во «ГАПОУ МО «МЦК–Техникум имени С.П. Королева», /Королев 2020 г. – 63 с.

## **КОРРЕКТНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ И НАДЕЖНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ - ЗАЛОГ СТАБИЛЬНОГО КАЧЕСТВА ОЧИЩЕННОЙ ВОДЫ ПОСЛЕ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

**С. И. Мойжес\*, Н. Г. Вурдова**

АО «ГМС Нефтемаш», г. Москва, ул. Первомайская, 126

\*Автор ответственный за переписку: moyzhes@hms.ru

**Аннотация.** В настоящее время распространена практика по унификации предлагаемых проектных решений. Такой подход возможен (при подтверждении корректными технологическими расчетами) для хозяйственно-бытовых сточных вод со стабильным составом. Для достижения высокой эффективности и стабильного качества при очистке сложных производственных сточных вод необходимо соблюдать ряд факторов: индивидуальный выбор технологической схемы, корректный подбор оборудования, а также соблюдение предложенных инженеринговыми компаниями технологических параметров.

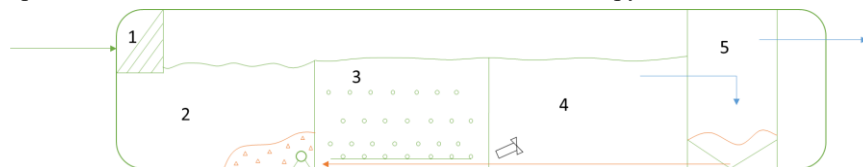
### **Введение**

В настоящее время с учетом меняющегося законодательства, в рамках которого ужесточаются как требования по мониторингу качества очищенных сточных вод, сбрасываемых в водоемы, так и штрафы за несоблюдение установленных нормативов допустимых сбросов, ключевым фактором работы канализационных очистных сооружений является необходимость поддержания стабильного качества очищенной воды в условиях неравномерности поступающих сточных вод.

С 1 января 2019 года введены поправки к Федеральному закону «Об охране окружающей среды» [1] касательно установления обязанности для предприятий I категории по созданию систем автоматического измерения и учета показателей выбросов и сбросов, образующихся на источниках. Согласно разработанным требованиям, при отведении сточных вод в водный объект юридические лица должны обеспечивать измерение и учет концентрации загрязняющих веществ, расход, температуры, pH величины

ХПК и мутности в сбрасываемой очищенной сточной воде. При этом автоматические средства измерения сбросов должны обеспечивать измерение и передачу в технические средства фиксации информации о результатах измерений сбросов, усредненных за каждые 2 или 3 часа. Помимо этого, с 1 января 2020 г. при исчислении платы за негативное воздействие применяется повышающий коэффициент 100 - за объем или массу сбросов загрязняющих веществ, превышающих установленные для объектов I категории нормативы, либо превышающих указанные объем или массу сбросов в декларации о воздействии на окружающую среду для объектов II категории. Соответственно, в ближайшее время большинству крупных очистных сооружений предстоит передавать данные о качественном и количественном составе сбрасываемой сточной воды в уполномоченные органы на непрерывной основе (либо осуществлять хранение этих данных в случае возникновения технических неисправностей). Процесс выявления нарушений со стороны организаций, эксплуатирующих очистные сооружения, контролирующими органами будет автоматизирован, при этом в случае выявления вышеозначенных нарушений, размеры платы за негативное воздействие на окружающую среду значительно возрастут. Ключевым фактором становится способность очистных сооружений стабильно обеспечивать качество очистки до требуемых показателей.

Следует отметить, что в соответствии с требованиями к составу проектной документации [2], не обязательно в разделе «Технологические решения» подробно показывать технологические расчеты, подтверждающие выбор того или иного решения. Поэтому проектные и некоторые инженеринговые компании указывают в составе проектной документации только описание технологической схемы и перечень оборудования, входящего в нее. Это приводит к невозможности оценить, как со стороны заказчика, так и со стороны экспертизы корректность предложенных в рамках проекта технологических решений и возможность достижения проектных показателей качественного состава очищенной воды в рамках предложенной технологической схемы очистных сооружений.



**Рисунок 1.** Типовая схема локальных очистных сооружений, где 1 – решетка, 2 – песколовка, 3 – аэробная зона, 4 – аноксидная зона, 5 – вторичный отстойник.

Одним из распространенных вариантов решения проблемы очистки и/или реконструкции очистных сооружений сточных вод является применение уже готовых компактных решений – локальных очистных сооружений (далее – ЛОС). В рамках унификации и стандартизации оборудования и подхода обычно разрабатывается модельный ряд ЛОС,

обеспечивающий очистку до требуемых показателей определенного расхода сточных вод. Стандартный состав ЛОС (Рис. 1.) – механическая очистка (решетки, песколовки), биологическая очистка и илоразделение в различных конфигурациях (аэротенк+отстойник, Sequencing batch reactor (SBR), membrane bioreactor (MBR)). Достижение необходимой согласно техническому заданию производительности обеспечивается путем комплектации несколькими ЛОС. Для обеспечения корректности работы ЛОС в рамках разработки проектной и конструкторской документации комплекс этих очистных сооружений считается единым изделием, на которое разрабатываются технические условия (далее - ТУ). В данном документе указаны требования к изготовлению и эксплуатации оборудования, а также проектные показатели качества очищенной воды. Однако, наличие ТУ не гарантирует обязательное достижение заявленного качества очистки. Объем зоны биологической очистки, зоны осаждения, а также соотношение аэробной и анаэробной зон в составе ЛОС – фиксированные параметры, рассчитанные на определенный качественный и количественный состав сточных вод, указанный в составе технических условий. Реальная сточная вода неравномерна по составу и отличается от расчетных показателей, как в большую, так и в меньшую сторону. Соответственно, резкие колебания параметров в поступающей сточной воде, при поддержании жестких технических и технологических характеристик ЛОС, могут привести к срыву процесса. Тем не менее, при условии корректного расчета сооружений данное решение имеет место быть. К тому же с учетом компоновки зон в единой емкости ЛОС имеет значительные преимущества в энергоэффективности (за счет сокращения расстояний, на которые требуется перекачивать потоки), а также в компактности расположения сооружений.

Проблемы могут возникнуть при применении ЛОС в качестве основных очистных сооружений производственных сточных вод. Колебания качественного и количественного состава хозяйственно-бытовых сточных вод обуславливаются зачастую исключительно временными причинами, то есть утренним и вечерним пиками потребления воды со стороны жителей. В системах производственного водоотведения неравномерность может быть вызвана не только особенностями технологического процесса, но и непосредственно сменой производственной программы, что может привести к совершенно другому составу загрязнителей, поступающих в сточной воде на очистные сооружения. Таким образом, для обеспечения нормативного качества очистки следует производить детальный корректный технологический расчет очистных сооружений, а также обеспечивать возможную гибкость технологических процессов и параметров на очистных сооружениях, чего не позволяет применение типовых ЛОС. Следует обращать внимание на специфический состав загрязнений в производственных сточных водах, очистка которого до нормативных показателей требует состав сооружений, не входящий в состав таких ЛОС. К примеру, очистка сточных вод нефтеперерабатывающих заводов требует

удаления большого количества нефтепродуктов, что приводит к необходимости предварительной очистки на высоконагружаемых нефтеловушках и флотаторах. Сточные воды пищевых производств могут содержать сверхвысокие концентрации растворимых органических загрязнений, которые могут быть снижены только в анаэробных реакторах.

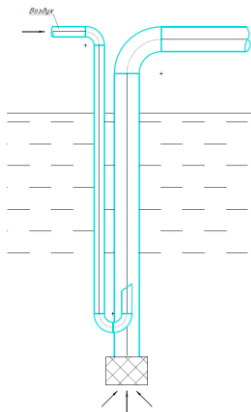
Таким образом, для решения задач достижения требуемых нормативных концентраций загрязнений в очищенных сточных водах необходимо обеспечивать индивидуальный подход к проектированию очистных сооружений, заключающийся в разработке индивидуальной технологической схемы под конкретный качественный и количественный состав загрязнений в поступающих сточных водах, а также подтверждение выбранных решений технологическими расчетами.

Еще одним фактором, влияющим на стабильное качество очистки и эффективность работы очистных сооружений, является выбор оборудования, способного надежно и с высокой энергоэффективностью обеспечивать работоспособность выбранных технологических решений. При этом выбор некорректного оборудования может привести к нарушению работы непосредственно самих технологических процессов.

Одним из ключевых факторов, влияющих на работу стадии денитрификации в рамках осуществления процесса биологической очистки сточных вод является поддержание требуемой концентрации растворенного кислорода. Наличие растворенного кислорода в зоне денитрификации ингибирует сам процесс и препятствует восстановлению нитратов. Даже наличие минимальных концентраций растворенного кислорода в аноксидной зоне 0,1-0,2 мг  $O_2$ /л снижает скорость процесса в 2 раза по сравнению с полностью бескислородными условиями [3]. Следует учесть, что для эффективного протекания процессов денитрификации необходимо осуществлять подачу в зону денитрификации либо возвратного активного, либо активного ила из конца зоны нитрификации («нитратный рецикл»), либо обоих потоков сразу в зависимости от схемы, реализуемой на конкретных очистных сооружениях. Зачастую для осуществления данного процесса используют эрлифт (Рис. 2) – разновидность струйного насоса, в который нагнетают воздух под давлением.

Полученная в результате смесь воздуха и иловой смеси из-за разницы давлений перекачивается по трубопроводу. Сам принцип работы эрлифта насыщает возвратную иловую смесь кислородом. Кроме того, выпускная труба эрлифта может возвышаться над поверхностью аэротенка. При падении поток илового рецикла захватывает дополнительный объем атмосферного воздуха. Все это приводит к повышению концентрации растворенного кислорода в зоне денитрификации совместно с попадающим в нее активным илом, снижению скоростей роста гетеротрофных денитрифицирующих бактерий и, таким образом, снижению эффективности восстановления нитратов. Для обеспечения функционирования зоны денитрификации с проектной эффективностью необходимо реализовывать процесс возвратного и/или нитратного рецикла при помощи погружных

насосов, максимально избегая контакта потоков рециклов с внешним источником кислорода. Технологические условия, поддерживаемые в аэротенке, а также качественный состав поступающих сточных вод влияют на биоценоз активного ила в аэротенке, что, в свою очередь, влияет на физические параметры иловой смеси: вязкость, плотность, наличие волокнистых включений. Для обеспечения, эффективного перекачивания иловой смеси необходимо производить корректный подбор рабочих колес насосов с учетом данных параметров.



**Рисунок 2.** Внешний вид и принцип работы эрлифта.

Непосредственно в аэробной зоне аэротенка также важным является поддержание требуемой концентрации растворенного кислорода, как для обеспечения протекания процесса аэробного окисления органических загрязнений, так и для процесса нитрификации. Зависимость скоростей роста гетеротрофных микроорганизмов, участвующих в процессах аэробного окисления органических загрязнений от количества растворенного кислорода описывается дробно-линейной функцией, известной как уравнение Моно [4]:

$$\mu_{H,20^{\circ}C} = \mu_{H,max,20^{\circ}C} \cdot \frac{S_O}{S_O + K_{S,O}}, (1)$$

где  $\mu_{H,20^{\circ}C}$  - текущая скорость роста гетеротрофных микроорганизмов, принимающих участие в процессах аэробного окисления органических соединений при температуре 20°C, 1/сут ;

$\mu_{H,max,20^{\circ}C}$  - максимальная скорость роста гетеротрофных микроорганизмов, принимающих участие в процессах аэробного окисления органических соединений при температуре 20°C, 1/сут ;

$S_O$  - концентрация растворенного кислорода в биореакторе, мг O<sub>2</sub>/л;

$K_{S,O}$  - константа полунасыщения по кислороду для гетеротрофных микроорганизмов, участвующих в процессе аэробного окисления органических соединений, мг O<sub>2</sub>/л

Аналогично, описывается влияние кислорода на рост нитрифицирующих микроорганизмов и на процессы нитрификации. Для первой и второй стадий процесса нитрификации уравнение будет иметь вид:

$$\mu_{A1} = \mu_{max,A1} \frac{S_{NH4}}{S_{NH4} + K_{S,NH4,A}} \frac{S_{O2}}{S_{O2} + K_{S,O2,A1}} - b_{A1}, (2)$$

$$\mu_{A2} = \mu_{max,A2} \frac{S_{NO2}}{S_{NO2} + K_{S,NO2,A}} \frac{S_{O2}}{S_{O2} + K_{S,O2,A2}} - b_{A2}, (3)$$

где  $\mu_{A1}$ ,  $\mu_{A2}$  - текущая скорость роста нитрифицирующих микроорганизмов, участвующих в первой и второй стадиях процесса нитрификации, 1/сут;

$\mu_{max,A1}$ ,  $\mu_{max,A2}$  - максимальная удельная скорость роста нитрифицирующих бактерий 1-й и 2-й стадии процесса нитрификации, 1/сут;

$K_{S,NH4,A}$  - константа полунасыщения по аммонийному азоту, мг N-NH<sub>4</sub>/л;

$K_{S,NO2,A}$  - константа полунасыщения по азоту нитритов, мг N-NO<sub>2</sub>/л;

$S_{NH4}$  - текущая концентрация N-NH<sub>4</sub>, мг/л;

$S_{NO2}$  - текущая концентрация N-NO<sub>2</sub>, мг/л;

$K_{S,O2,A1}$ ,  $K_{S,O2,A2}$  - константа полунасыщения по кислороду для 1-й и 2-й стадии процесса нитрификации, мг/л;

$S_{O2}$  - текущая концентрация растворенного кислорода иловой смеси, мг/л;

$b_{A1}$ ,  $b_{A2}$  - константа распада нитрифицирующих микроорганизмов 1-й и 2-й стадии процесса нитрификации, 1/сут.

Для описания процессов окисления органических веществ и нитрификации константы насыщения по кислороду будут свои для каждого процесса. Тем не менее, основываясь на формулах (1) - (3), с учетом указанных в [4] значений для констант, полунасыщения оптимальная концентрация растворенного кислорода для эффективной реализации процесса окисления органических загрязнений составляет не менее 1 мг O<sub>2</sub>/л, для реализации процесса нитрификации – не менее 2 мг O<sub>2</sub>/л. При этом более высокие концентрации растворенного кислорода незначительно повышают скорости процессов, поэтому поддерживать концентрацию растворенного кислорода свыше 2-2,5 мг O<sub>2</sub>/л энергетически неэффективно.

Зачастую при эксплуатации очистных сооружений регулирование количества воздуха, подаваемого в аэротенки, осуществляется только путем регулирования производительности воздуходувок, нагнетающих воздух в аэротенки без проведения фактического мониторинга концентрации растворенного кислорода. Однако, при одной и той же производительности воздуходувок при различных типах аэраторов концентрация растворенного кислорода в самом биореакторе будет отличаться (при прочих равных). Крупнопузырчатые аэраторы, такие как эжекторы либо механические системы аэрации, за счет меньшего соотношения площади поверхности пузырька воздуха к его объему обладают менее эффективным растворением кислорода в иловой смеси. Таким образом, достижение требуемых концентраций растворенного кислорода при использовании крупнопузырчатой системы аэрации потребует большего расхода воздуха и, как следствие, больших энергозатрат, чем при использовании мелкопузырчатой системы аэрации.

При условии корректного подбора технологической схемы под конкретный поток сточной воды, подтверждение принятых решений



технологическими расчетами, а также выбору корректных технических решений для реализации предложенной технологии возможно вывести очистные сооружения на проектный режим работы. Однако, немаловажно поддерживать нормативное качество очистки на постоянной основе. По результатам проектирования, строительно-монтажных и пуско-наладочных работ разрабатывается технологический регламент, в котором совместно с проектировщиком и ответственными за проведение пуско-наладочных работ, прописываются технологические режимы, необходимые для поддержания проектного качества очищенной воды, а также мероприятия при аварийных или нештатных ситуациях. Зачастую в процессе работы персоналом принимаются решения по изменению параметров работы с целью экономии эксплуатационных затрат: к примеру, сокращение дозирования реагентов, либо уменьшение подачи воздуха с целью экономии затрат на электроэнергию, негативные последствия чего были описаны выше. Следует отметить, что изменение конкретного параметра может привести к дестабилизации и срыву процесса очистки целиком. К примеру, уменьшение дозирования реагента для реализации процессов химического осаждения фосфора приведет к меньшему образованию осадка от данного процесса. При проведении процессов механического обезвоживания дозирование прежней дозы флокулянта при меньшем объеме поступающего на обезвоживание осадка может привести к дестабилизации флоккул осадка, и, как следствие, к снижению эффективности самого процесса обезвоживания. Срыв данного процесса приведет к получению осадка с большей влажностью и сопутствующим трудностям к его транспортировке, либо, в крайнем случае, к несоответствию полученного осадка паспорту отхода и невозможности его дальнейшего обезвреживания или утилизации. Следовательно, для поддержания стабильной работы очистных сооружений в проектных параметрах необходимо проводить консультации с инжиниринговой компанией, разработавшей изначальный проект, с целью повторного проведения технологических расчетов и оценки влияния планируемых изменений в технологическом регламенте на стабильность процесса очистки сточной воды.

### **Заключение**

В рамках разработки проектной документации на строительство или реконструкцию канализационных очистных сооружений зачастую используются готовые модульные решения. Такие решения при условии корректного подбора оборудования, обеспечивающего достижение требуемого качества очистки, возможно использовать для очистки типовых хозяйственно-бытовых сточных вод. В случае разработки решений для очистки производственных сточных вод необходимо принимать во внимание ряд факторов, обеспечивающих стабильное качество очистки и работоспособность очистных сооружений: индивидуальный подход к разработке технологической схемы и индивидуальный набор сооружений; выбор технологического оборудования, соблюдение технических и

технологических параметров. Отступления от технологического регламента необходимо согласовывать с проектировщиками.

Соблюдение вышеуказанных факторов позволит стабильно и непрерывно обеспечивать достижение проектных показателей качества очищенных сточных вод.

### **Список литературы**

1. Федеральный закон "Об охране окружающей среды" от 10.01.2002 N 7-ФЗ.
2. Постановление Правительства РФ от 16.02.2008 N 87 (ред. от 01.12.2021) "О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию".
3. Харьковина О. В. Эффективная эксплуатация и расчет сооружений биологической очистки сточных вод // Волгоград, 2015.
4. Хенце и др. Очистка сточных вод. Биологические и химические процессы// Москва «Мир», 2006

## **ЭФФЕКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОЧИСТНЫМИ СООРУЖЕНИЯМИ**

**М.М. Пукемо<sup>1,\*</sup>, А.А. Кулаков<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ООО «Альта Групп», 115487, г. Москва, ул. Нагатинская, д.16, этаж 1 пом. Х, ком.24

<sup>2</sup>Российский технологический университет – МИРЭА, г. Москва, Проспект Вернадского, д. 86

\* Автор ответственный за переписку: 2336122@alta-group.ru

**Аннотация.** В статье рассмотрены возможности прогнозирования аварийных ситуаций за счет предиктивной диагностики и принципы управления очистными сооружениями. Современные системы автоматизации позволяют реализовать принципы удаленного технологического контроля, что оптимизирует эксплуатационные затраты и повышает надежность работы очистных сооружений. Комплексный мониторинг и анализ данных по функционированию оборудования, технологических параметрам и составу сточных вод позволяет создать модель эффективного управления объектом.

### **Введение**

Надежность и безаварийность являются важными составляющими очистных сооружений (ОС) наряду с их технологической эффективностью. Выход из строя насосного и воздуходувного оборудования приводит к нарушению рабочего режима и требует в последствии длительного восстановления биологической системы.

Скорость реагирования на аварийные ситуации и их прогнозирование определяет величину экономических и экологических рисков обслуживающей организации. Системы автоматизации, предиктивная диагностика и удаленный технологический контроль позволяют сократить аварийность работы коммунальных комплексов

## Диагностика оборудования

Основной задачей предиктивной диагностики является прогнозирование выхода оборудования из строя и тем самым выигрыш времени. Она базируется на получении сигнала, характеризующего возможные неисправности оборудования до его выхода из строя. Это позволяет переключиться на резервные агрегаты и провести необходимые работы по предотвращению выхода оборудования из строя.

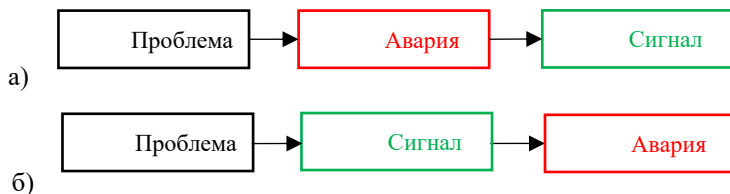
Визуальная диагностика корректности работы оборудования зачастую затруднена. Часть оборудования находится в затопленном состоянии, например, насосы и мешалки. Определить при регулярном инспекционном осмотре визуально корректно или нет работает оборудование возможно только когда оно уже вышло из строя.

Диагностические сигналы можно разделить на два типа критические (выход из строя оборудования, «зауставочные» значения технологических параметров) и некритические (анализ, прогнозирование).

Критические ошибки должны быть обработаны управляющим устройством быстро и надежно, поскольку от своевременности реагирования на критические сигналы диагностики будет зависеть размер ущерба, сохранность оборудования и т.д.

Некритические сигналы целесообразнее обрабатывать не на стороне оборудования, а в дата центрах, где будет обеспечена должная архитектура для надежного хранения данных, вычислительные мощности достаточной производительности, чтобы быстро обработать большой объем данных и обеспечено необходимое резервирование оборудования для бесперебойного доступа к данным и их анализу.

Визуальная диагностика менее эффективна, чем предиктивная (рис.1), а предупредить аварию всегда проще, чем ее устранять.



**Рисунок 1.** Подходы к диагностике работы оборудования: а – визуальный, б – предиктивный

## Данные и их обработка

При эксплуатации очистных сооружений обрабатываются следующие основные группы данных:

Расход потока (сточные воды, осадок) – расходомеры.

Состав потока (сточные воды, возвратные потоки) – лабораторные анализы, портативные и стационарные анализаторы состава, переносные лабораторные комплексы.

Технологические параметры работы ОС (дозы ила, растворенный кислород, уровень осадка и др.) – датчики и анализатора, лабораторные анализы на месте.

Параметры работы оборудования (потребляемый ток, давление, температура, вибрации, частота вращения) – комплекс встроенных и внешних датчиков.

Расход поступающих и очищенных сточных вод может контролироваться за счет ультразвуковых расходомеров. При наличии нескольких технологических линий актуальным является контроль расхода на каждой из них, что дает возможность гибкого управления нагрузкой в периоды запуска и эксплуатации ОС. Для оценки расхода не некоторых циркулирующих и возвратных потоках, они также могут оснащаться приборами учета, что позволит получать данные о фактических величинах данных потоков.

Оценка состава сточных вод может осуществляться за счет электрохимических и оптических датчиков, а также реagentных анализаторов по основным технологическим показателям: рН, температура, ВВ, ХПК, аммоний, нитриты, нитраты, фосфаты. Подобный набор параметров может включаться в комплексные системы контроля [1].

Технологический контроль работы сооружений ведется по широкому спектру параметров, часть из них могут сниматься автоматизированными методами (доза ила, КРК, температура, уровень осадка), часть может определяться в рамках плановых выездов сервисных бригад. Важным является визуальный контроль работы некоторых узлов, что может осуществляться оператором и/или за счет современных систем видеонаблюдения.

Комбинирование методов контроля позволяет увеличить достоверность и скорость получения информации, оптимизировать трудозатраты на обслуживание сооружений.

Параметры работы оборудования снимаются автоматически, собираются в базы данных для анализа и принятия решений.

Ключевой метрикой для электрооборудования является потребляемый ток. Систематически измеряя и анализируя потребляемый электрооборудованием ток, возможно заблаговременно предсказать отклонение текущих режимов работы оборудования от проектных.

Базовой предиктивной диагностикой является выявление системного роста показаний тока, что может являться причиной потенциальной проблемы. Например, в случае засора отводящей трубы, потребляемый ток насосом, подающим в эту трубу жидкость изменится. Получив предупреждение от автоматической диагностической системы, которая сравнивает текущие показатели потребляемого тока с проектными, возможно направить техническую бригаду для устранения неисправности, прочистить трубу, избежать поломки насосного агрегата, а также избежать аварии и выхода очистных сооружений из проектного технологического режима. Засорения всасов насосов и лопастей мешалок также могут

диагностироваться по показателям тока, что позволяет предотвратить их выход из строя.

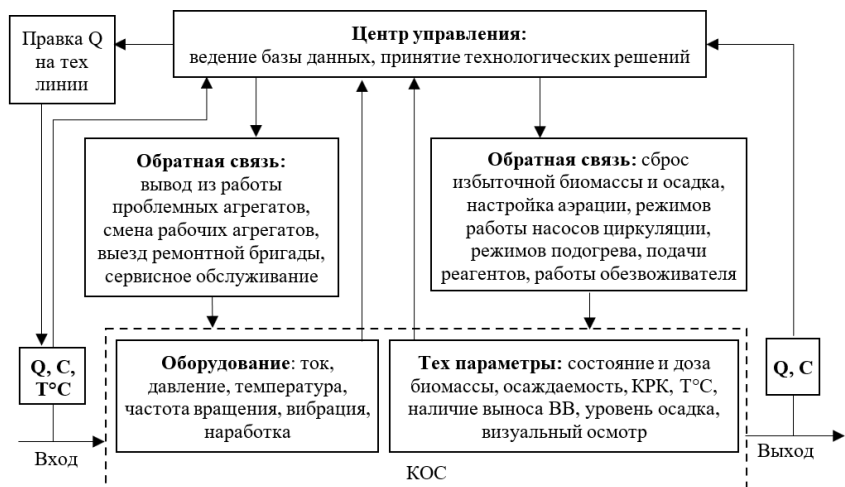
Информация по давлению в пневмотрассе воздухопроводов может применяться как метод диагностики разрывов на сети, засорения воздушных фильтров, изменения сопротивления в пневмотрассе, заиливания азрационных систем. Большие возможности дают системы измерения уровня в емкостных сооружениях.

Они позволяют отслеживать объем жидкости в усреднителе, камерах жидкостей, емкостях реагентов. Своевременное информирование о снижении запаса реагентов позволяет включить систему его приготовления (в случае полуавтоматических систем), отслеживать фактический расход реагента и определять эффективность его использования. Это наиболее актуально для систем реагентного удаления фосфора и при дозировании внешнего субстрата при дефиците органических веществ для денитрификации (подробнее в работе [2]).

Информация о рабочем уровне в усреднителе позволяет владеть оперативными данными в случаях возникновения аварийных ситуаций, а также при понимании динамики притока сточных вод на объект и возможностях регулирования потока.

### Принцип эффективного управления ОС

Сбор и анализ информации по объекту формирует базу данных, которая становится основой для управления очистными сооружениями (рис.2).



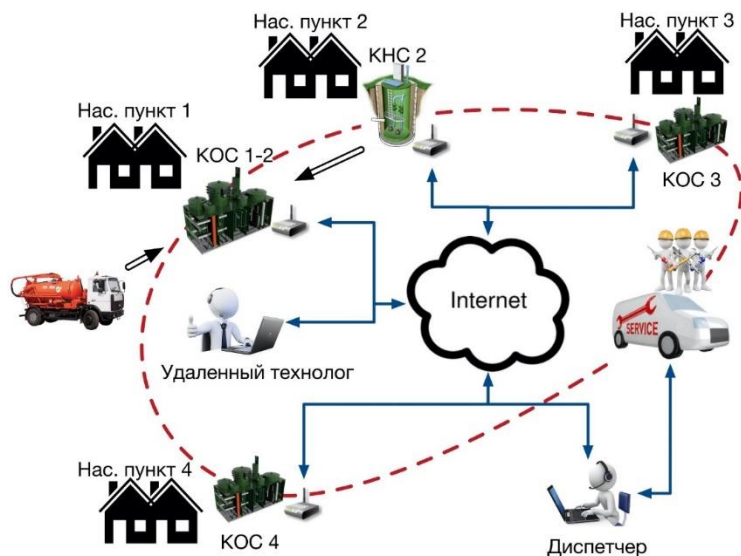
**Рисунок 2.** Модель управления очистными сооружениями: Q – расход потоков, C – концентрации в потоках, Т°С – температура жидкости, КРК – концентрация растворенного кислорода

Сбор анализируемых параметров позволяет оценивать динамику их изменения во времени, находить закономерности и выявлять зависимости

между параметрами. Определив снижение эффективности очистки или негативное изменение технологических параметров, производится изменение управляемых параметров и оценивается обратная связь по оптимальности. Подобные итерации и адаптации модели позволяют определить фактические рабочие параметры для объекта при изменяющихся входных параметрах. Пример базы данных и управления работой очистных сооружений в условиях изменяющейся нагрузки описан в работе [3].

Принцип удаленного управления объектом (рис. 3) подразумевает создание центра управления, где квалифицированные технологи принимают решения на основе анализа баз данных и результатов аудита объектов. Сервисные бригады в составе инженеров, операторов и лаборантов осуществляют плановые выезды на объекты для сбора дополнительных данных и проведения сервисного обслуживания. При этом присутствие постоянного персонала на объекте обеспечивается лишь в случаях обоснованной необходимости.

При выявлении нарушений в работе оборудования из центра управления дается сигнал на необходимость выезда сервисной бригады и проведение техобслуживания объекта.



**Рисунок 3.** Схема удаленного управления ОС

Принципы предиктивной диагностики и удаленного управления ОС позволяют добиться следующих результатов:

- Создание единой квалифицированной команды управления, обслуживающей группу коммунальных объектов.
- Повышение эффективности управления объектами коммунальной инфраструктуры.
- Повышение качества техобслуживания объектов.

- Сокращение периодов реагирования на штатные и нештатные ситуации, повышение надежности работы коммунальных объектов.
- Оптимизация (снижение) эксплуатационных затрат (ФОТ, транспортные расходы, плата за сброс загрязняющих веществ).
- Уменьшение времени простоя оборудования и получение дополнительного дохода от реализации продукта.

### **Заключение**

Предиктивная диагностика неисправностей оборудования и плановый ремонт более экономичный инструмент чем устранение аварии и ее последствий.

В работе описан подход к эффективному управлению очистными сооружениями. Современные системы автоматизации позволяют определять большой перечень показателей состава сточных вод и технологических параметров работы очистных сооружений. Формирование баз данных и их интеллектуальная обработка позволяют организовать эффективную эксплуатацию с высоким уровнем планирования. Потребляемый ток оборудования позволяет заблаговременно прогнозировать выход из строя, данные о фактическом уровне в емкостном оборудовании дает полную картину о режимах работы усреднителей и реагентного хозяйства. Увязка эффективности очистки сточных вод и параметров технологического контроля позволяет выявлять фактические факторы нарушения проектных режимов работы и в будущем их прогнозировать.

Эффективная эксплуатация очистных сооружений должна базироваться на принципах предиктивной диагностики и комплексного удаленного управления, позволяющих выиграть время при штатных и нештатных ситуациях на объекте.

### **Список литературы**

1. Платонов М.М. Обзор средств измерений для организации систем автоматического контроля сбросов загрязняющих веществ в сточных водах очистных сооружений водоканалов. Журнал НДТ. 2019. №4. С. 7-22
2. Пукемо М.М., Кулаков А.А., Желтухин Р.В. Особенности очистки сточных вод больницы. Водоснабжение и санитарная техника. 2021. № 4. С. 15-24.
3. Кулаков А.А. Управление работой малых канализационных очистных сооружений в условиях нестабильной нагрузки. Журнал НДТ. 2020. № 4. С. 46-56.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА АНАЭРОБНОГО СБРАЖИВАНИЯ ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД С ПРИМЕНЕНИЕМ БИОРЕАКТОРА**

**М.В. Свалова\*, Е.А. Гринько**

ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет им.М.Т. Калашникова», г. Ижевск, ул. Студенческая, 7

\*Автор ответственный за переписку: marianna.svalova@yandex.ru

**Аннотация.** В работе представлены экспериментальные исследования технологического процесса анаэробного сбраживания осадка сточных вод. Приведена методика исследований процесса. Описан принцип работы и конструктивные особенности экспериментального биореактора АН-БР-3. Выявлено влияние состава сырья на получение товарной теплоты и энергоэффективности биореактора. Показана перспективность применения биореактора на очистных сооружениях водоотведения.

## **Введение**

Постоянно растущие цены на ископаемое органическое топливо делают весьма актуальными задачи изыскания альтернативных, постоянно возобновляемых источников энергии. Использование отходов городского хозяйства в качестве альтернативных источников тепловой и электрической энергии является одним из важнейших направлений в энергетической стратегии многих стран мира. Особое внимание уделяется развитию технологий получения биогаза, при утилизации осадков сточных вод [1].

Сырьевые ресурсы Земли использовались на протяжении многих столетий, и только в последние десятилетия многие страны столкнулись с реальным и подчас критическим дефицитом газа и других видов полезных ископаемых. Системы преобразования энергии биомассы для получения биотоплива достаточно разнообразны. Потенциальным сырьем для производства биотоплива может служить осадок сточных вод.

Ежегодно в Удмуртской Республике на городских очистных сооружениях канализации образуется около 549 тыс. м<sup>3</sup> осадков сточных вод. В настоящее время все осадки после обезвоживания вывозятся на иловые площадки, которые занимают площадь около 100 га.

Одним из перспективных направлений переработки осадка сточных вод является его биохимическое преобразование путем анаэробного сбраживания в биореакторе. Технология исключает бактериальное и химическое загрязнение окружающей среды, позволяет получать биогаз, с помощью которого могут решаться вопросы энергоснабжения предприятий коммунального хозяйства, что имеет колоссальное научно-практическое значение для экономического развития Удмуртской Республики.

Анализ теплотворной способности различных видов топлива показывает, что энергоемкость биогаза превышает соответствующий показатель бурого угля в 1,52 раза и составляет 0,54 % от очищенного газа [2].

Технологический процесс анаэробного сбраживания осадка сточных вод в биореакторе соответствует экономически оправданной минимизации потерь и расхода энергии, то есть требованиям энергосбережения.

## **Материалы и методы**

В рамках договора НИР №ВиВ-1-12/С в лаборатории «Биотехнологий» проводятся экспериментальные исследования технологического процесса



анаэробного сбраживания осадка сточных вод в биореакторе АН-БР-3, а так же анализы осадка. На процесс выхода биогаза, образующегося в результате жизнедеятельности активного ила, существенное влияние оказывают следующие факторы [3]:

- состав активного ила и сточных вод (влажность, зольность);
  - температурный режим сбраживания биомассы (осадок сточных вод и активный ил);
  - режим работы лопастной мешалки (количество перемешиваний в час);
  - время сбраживания;
  - значение активной реакции среды.
- С целью исследования этих факторов в лаборатории «Биотехнологий» решались следующие задачи экспериментальных исследований:
- = разработка методики проведения экспериментальных исследований на биореакторе АН-БР-3 и исследование процесса анаэробного сбраживания биомассы (осадок сточных вод и активный ил);
  - получение и обработка полученных экспериментальных данных.

#### Методика исследований технологического процесса анаэробного сбраживания осадка сточных вод

1. Исходная биомасса (осадок сточных вод и активный ил) подаются в загрузочный трубопровод (1).

2. Биомасса поступает в камеру биореактора (2), где происходит её сбраживание с образованием биогаза.

3. Процесс происходит при мезофильном режиме - температура исходной органической массы 30-35°C, и термофильном - температура 50-55°C, с использованием дополнительного обогрева теплообменником.

4. Заливка системы теплоносителя осуществляется через расширительный бачок (6).

5. Привод устройств для перемешивания сбраживаемой биомассы исполнен от двух отдельных электродвигателей (4) М1 АВЕ-071-4С.

6. Перемешивающие устройства (8) - лопастные мешалки осуществляют зигзагообразное перемещение биомассы вверх и вниз, тем самым способствуя интенсификации процесса и предотвращению образования мертвых зон.

7. Образующийся биогаз поступает в смесительную камеру (7), а затем в газгольдер (9). Газовая смесь подаётся на очистку в установку для комплектной подготовки газа. Данные по концентрации метана определяются газоанализатором (НКПР) в процентном соотношении.

8. Расположенные на разной высоте загрузочный люк и люк выгрузки позволяют создать гидростатический подпор для выдавливания партии органического удобрения.

9. Немаловажную роль в получении товарного тепла играет объем биореактора. При нахождении оптимального соотношения объема реактора

к его наружной поверхности можно добиться максимального выхода товарного тепла.

10. Для интенсификации процесса сбраживания рекомендуется перемешивать осадки сточных вод и активный ил.

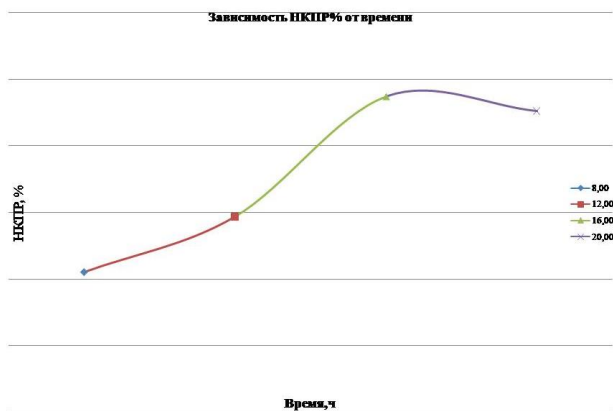
#### Энергоэффективность технологического процесса анаэробного сбраживания осадка сточных вод:

- выработка биогаза;
- энергоснабжение для мини-ТЭЦ, обеспечивающих тепловой и электрической энергией производственные здания очистных сооружений канализации;
- независимость от централизованных электрических и тепловых сетей и их тарифов.

#### Экономическая и экологическая эффективность технологического процесса анаэробного сбраживания осадка сточных вод:

- экологически чистых удобрений;
- снижение затрат на вывоз и утилизацию осадка сточных вод и захоронение отходов;
- улучшение экологии на территории очистных сооружений канализации, отсутствие запаха;
- отсутствие площадей для хранения и связанных с ними затрат на поддержание их состояния [5].

Данные экспериментальных исследований, а именно, зависимость выхода биогаза от времени, представлены в графической форме на рисунке 1. Экспериментальные исследования выполнены в лаборатории «Биотехнологий» на очистных сооружениях канализации.



**Рисунок 1.** Экспериментальные исследования зависимости выхода биогаза от времени

### Конструктивные особенности и принцип работы экспериментального биореактора АН-БР-3.

Биореактор представляет собой восьмиугольную двухкамерную ёмкость (рисунок 2) с устройствами для перемешивания среды в мезофильной и термофильной камерах, где установлены два отдельных контура для подогрева биомассы.



**Рисунок 2.** Экспериментальный биореактор АН-БР-3

Снаружи на биореакторе закреплены:

электрический щит с органами управления установкой, на котором можно установить температуру в мезофильной и термофильной камерах, индикаторы работы нагревательных приборов, а также таймеры устройств перемешивания среды (3);

два электродвигателя с закреплёнными к ним шнеками и ножами для измельчения и перемешивания биомассы (4);

манометры для измерения давления в камерах сбраживания (5);

баки с нагревательными приборами и расширительным баком (6);

смесительная камера (7);

трубопровод для загрузки биомассы (1).

Технические решения, использованные при разработке конструкции экспериментального реактора, позволили создать автономный энергоэффективный биореактор [6]. Размещение теплообменника внутри биореактора повышает эффективность использования тепловой энергии. Основным преимуществом биореактора является непрерывный процесс эксплуатации, позволяющей повысить производительность за счет

отсутствия простоев для загрузки, выгрузки и времени выхода на технологический режим [7].

Биореактор разделен вертикальной перегородкой на две сообщающиеся камеры, трубопровод приема исходной биомассы с загрузочным люком, трубопровод отвода органического удобрения с люком выгрузки, устройство перемещения сбраживаемой смеси с приводом и систему отбора биогаза. Из загрузочной ёмкости по трубопроводу для отвода осадка исходная биомасса поступает в биореактор АН-БР-3. Рабочие органы устройства перемешивания сбраживаемой массы установлены в каждой камере раздельно, и выполнены: один - в термофильной секции в виде спиральных лопаток, помещенных на вертикальном валу, верхний ряд лопаток выполнен плавающим и установлен с возможностью перемещения вдоль вала; во второй камере лопатки нижнего ряда установлены с наклоном для перемещения сбраживаемой биомассы вверх, а лопатки нижнего ряда в первой камере установлены с наклоном для перемещения сбраживаемой массы вниз и в сторону свободного конца трубопровода отвода органического удобрения. В трубопроводе приема исходной биомассы имеется устройство для измельчения различных органических отходов и осадков сточных вод на фракции размером от 50 до 10 мм.

За счет исключения из технологического процесса избыточного количества воды, объем биореактора значительно уменьшен в размерах, что позволяет существенно снизить затраты на его изготовление и, соответственно, повысить эффективность выхода биогаза [8].

Биогазовый реактор экологически абсолютно безвреден, прост в устройстве и обслуживании (1-2 человека).

Влияние состава сырья на получение товарной теплоты и энергоэффективности биореактора.

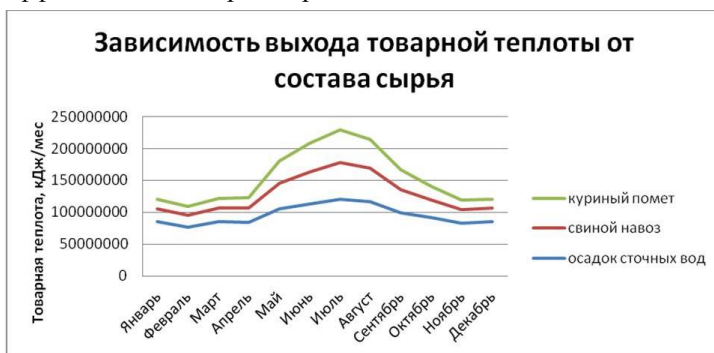


Рисунок 3. Зависимость выхода товарной теплоты от состава сырья

Немаловажную роль при получении биогаза играет состав исходной биомассы, так как на его количество влияет процент органики в сырье [9].

Рассматривалось несколько видов сырья, а именно:

птичий помет, с выходом биогаза 40г/кг;

свиной навоз, с выходом биогаза 30г/кг;

осадок сточных вод, с выходом биогаза 29г/кг;

В лаборатории «Биотехнологий» проводились исследования влияния состава сырья на получение товарной теплоты в зависимости от состава сырья. На рисунке 3 представлена зависимость выхода товарной теплоты от состава сырья.

### **Результаты**

По результатам анализа графика можно сделать следующие выводы:

- выход товарной теплоты зависит от состава сырья. Максимальный расход товарной теплоты приходится на куриный помет. Количество товарной теплоты от осадка сточных вод снижается, по сравнению с куриным пометом и с свиным навозом;
- при увеличении объема реактора выход товарного тепла изменяется пропорционально изменению объема [10].

### **Заключение**

1. Проведены экспериментальные исследования работы биореактора АН-БР-3 в лаборатории «Биотехнологий» на очистных сооружениях канализации. По полученным экспериментальным данным оптимальным энергоэффективным процессом является анаэробное сбраживание при термофильном режиме с максимальным выходом метана  $98,3\% \text{ НКПР} = 29,10 \text{ мг/дм}^3$ .

2. Выделены следующие критерии оптимизации работы биореактора: температурный режим ( $t^\circ\text{C}$ ); режим перемешивания осадка ( $v$ , об/мин); активная реакция среды (рН).

3. При наземном расположении биореактора в зимние месяцы теплотери больше чем в летние месяцы. В летние месяцы наземное расположение биореактора выгоднее.

### **Список литературы**

1. Гюнтер Л.И., Гольдфарб Л.Л. Метантенки // Москва., Стройиздат. 1991. С 128.
2. Евилевич А.З., Евилевич А.А. Утилизация осадков сточных вод // Л.: Стройиздат. 1988. С 248.
3. Кононова Е.А. Свалова М.В. Исследование процесса анаэробного сбраживания в биореакторе // Сборник научных трудов всероссийской научно-технической конференции «Молодые учёные – ускорению научно-технического прогресса в XXI веке». Ижевск: Изд-во ИжГТУ им. М.Т.Калашникова «Вестник ИжГТУ». 2015. С.15-18.
4. Кононова Е.А. Непогодин А.М. Свалова М.В. Математическое моделирование процесса перемешивания субстрата при анаэробном сбраживании в биореакторе // Журнал «Интеллектуальные системы в производстве». Ижевск: Изд-во ИжГТУ. 2015. №1(25). С.15-18.
5. Б.Я.Марченко, М.В. Свалова. Методика утилизации осадка сточных вод // Интеллектуальные системы в производстве. Ижевск: Изд-во ИжГТУ. 2018. №4(16). С.18-22.
6. Баадер В., Доне Е., Бренндерфер М. Биогаз: теория и практика. (пер. с нем. и предисловие М. И. Серебряного.) // М. Колос. 1982. С. 148.

7. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. // М.: Наука, 1968. С 356.
8. Воронов Ю.В., Яковлев С.В.. Водоотведение и очистка сточных вод // Учебник для вузов: -М. Издательство Ассоциации строительных вузов. 2006. С 704.
9. Воронов Ю.П., Саломеев В.П., Ивчатов А.Л., Побегайло Ю.П., Жиров Е.Н., Трубников В.Л. Реконструкция и интенсификация работы канализационных очистных сооружений // Москва. Стройиздат. 1990. С 222.
10. Исаков В.Г., Абрамова А.А., Непогодин А.М., Свалова М.В. Тепловой баланс и энергоэффективность биореактора в условиях сурового климата // Интеллектуальные системы в производстве. Ижевск: Изд-во ИжГТУ. 2018. №4(16). С.15-18.

## **ПРОБЛЕМЫ ИЗНОШЕННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РОССИИ И ПУТИ ИХ ВОССТАНОВЛЕНИЯ**

**Л.Д.Терехов<sup>1</sup>, Н.В. Твардовская<sup>1,\*</sup>, А.В. Федорчук<sup>2</sup>, Е.А. Твардовская<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения императора Александра I», Россия, г. Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Краевое государственное унитарное предприятие «Приморский – Водоканал», Россия, г. Владивосток

\* Автор ответственный за переписку: tvardovskaya@pgups.ru

**Аннотация.** Статья посвящена проблемам реконструкции коммунальных трубопроводов населенных пунктов Дальневосточного федерального округа, приведена краткая история их строительства и эксплуатации, описаны возможные способы восстановления трубопроводов и проблемы их использования с учетом существующего положения. Приведены сведения о диаметрах и протяженности наиболее изношенных трубопроводов, подлежащих реконструкции. Определены наиболее актуальные дестабилизирующие факторы.

### **Введение**

В настоящее время правительством Российской Федерации взят курс на энергетическую эффективность и ресурсосбережение [1]. В связи с этим, проблема ремонта изношенных водопроводов системы водоснабжения является весьма актуальной, поскольку потери ресурсов в таких системах достигают семидесяти процентов [2-7]. Особенно остро этот вопрос стоит на Дальнем Востоке России, который характеризуется низкой плотностью населения, большой разрозненностью населенных пунктов. Как следствие, на одного жителя Дальнего Востока протяженность коммунальных трубопроводов в среднем в 1,8 раза больше, чем в центральной части России.

Исторически, Дальний Восток России существенно позже образования республики РСФСР вошел в её состав – 15 ноября 1922 года. Все эти 5 лет на территории современного Дальневосточного федерального округа продолжалась гражданская война, а юг был оккупирован японскими интервентами, при поддержке остатков белой армии, под командованием генерала Дитерхса. Ввиду сложившейся ситуации Дальний Восток вошел в

наиболее значимый проект Советского правительства - ГОЭРЛО, только в 1930-е годы. Но Дальнему Востоку не повезло – вторая мировая война отодвинула реализацию планов ГОЭРЛО. Централизованное электроснабжение Дальнего Востока России осуществилось лишь после войны в 1954-1956 годы. Данные обстоятельства, изначально обрекли территорию Дальнего Востока на индустриальное отставание от центральной части России, в том числе, в области водоснабжения и водоотведения.

Полномасштабное строительство трубопроводов производилось в семидесятые, восьмидесятые годы XX века в основном стальными трубами из низколегированной стали, как правило, без внутренней и наружной гидроизоляции. Ранее, наблюдалось строительство чугунных водоводов, из чугуна высокого качества. Чугунные трубы, для нужд Дальнего Востока закупались Российским Императорским правительством в Англии, а позже поставлялись Советскому правительству по программе ленд-лиза. Стоит отметить, что построенные в конце 1940-х годов чугунные водопроводы, по сей день эксплуатируются практически без аварий. Однако, их доля очень мала.

Поскольку, по окончании второй мировой войны, производственных мощностей, равно как и рабочей силы, катастрофически не хватало, к строительству водоводов привлекали военнопленных японцев – бойцов Квантунской армии. За качество работ несло ответственность руководство Дальлага (Дальневосточное подразделение ГУЛАГ НКВД СССР), технология строительства соблюдалась неукоснительно.

После репатриации военнопленных, культура производства резко снизилась. Ввиду этого, чугунные водопроводы, построенные после 1957 года, характеризуются сезонными авариями, вызванными движением грунта при оттаивании и замерзании - несмотря на то, что глубина заложения одинаковая.

Стальные трубопроводы зачастую уложены с отклонениями от проектной оси в плане, имеют необоснованные изменения диаметров, дополнительные отводы и полу-отводы, заужения, и расширение. Всё это связано с низкой культурой производства работ при строительстве трубопроводов, а также с неритмичностью поставок трубопроводов и арматуры нужного диаметра.

Данное положение дел во многом затрудняет, ведёт к удорожанию, а иногда делает невозможным использование технологий санации трубопроводов диаметром до 400 мм. Кроме этого ввиду скудного бюджета, предприятий ВКХ Дальнего Востока производится восстановление и ремонт только тех трубопроводов, которые уже дают отказ к дальнейшей эксплуатации, либо близки к этому.

Для нанесения защитного покрытия (полимерного, либо ЦПП) необходимо, что бы у трубы был остаточный ресурс. На практике не редки случаи, когда при попытке восстановления трубопровода ветхая труба

«рассыпается» в руках, т.е. подача воды на этом участке осуществлялась по глиняному каналу, который образовался вокруг ветхой, сгнившей трубы.

### **Материалы и методы**

В работе проводится анализ проблем реконструкции изношенных трубопроводов Дальневосточного федерального округа с учетом особенностей исторического развития региона. Обобщены данные по диаметрам и протяженности трубопроводов, подлежащих реконструкции. Описаны возможные способы восстановления трубопроводов и проблемы их использования с учетом существующего положения.

### **Результаты**

Федеральным законом № 416-ФЗ «О водоснабжении и водоотведении» [1] определена Государственная политика, которая направлена на достижение следующих целей:

1) охраны здоровья населения и улучшения качества жизни населения путем обеспечения бесперебойного и качественного водоснабжения и водоотведения;

2) повышения энергетической эффективности путем экономного потребления воды;

3) снижения негативного воздействия на водные объекты путем повышения качества очистки сточных вод;

4) обеспечения доступности водоснабжения и водоотведения для абонентов за счет повышения эффективности деятельности организаций, осуществляющих горячее водоснабжение, холодное водоснабжение и (или) водоотведение.

5) обеспечения развития централизованных систем горячего водоснабжения, холодного водоснабжения и водоотведения путем развития эффективных форм управления этими системами, привлечения инвестиций и развития кадрового потенциала организаций, осуществляющих горячее водоснабжение, холодное водоснабжение и (или) водоотведение.

Для решения задач, определенных правительством РФ, ведется активное внедрение бестраншейных технологий предприятиями водопроводно-канализационного хозяйства (ВКХ) России и Дальнего Востока, в частности [7-12]. Эти технологии уже давно зарекомендовали себя за рубежом, как альтернатива классическим (траншейным) способам восстановления трубопроводов.

В передовой зарубежной практике до 95% объема работ по прокладке и ремонту подземных коммуникаций производится именно бестраншейными способами, которые позволяют сократить до 90% объемов земляных работ, соответственно снизить затраты на строительство и уменьшить сроки производства работ.

Бестраншейные технологии ремонта используются на протяжении 40-45 лет, а эффективность бестраншейных технологий строительства трубопроводов доказана советскими учёными ещё в 60х годах XX- го века.



Согласно международному классификатору ISTT, в настоящее время существует четыре основных метода бестраншейного ремонта трубопроводов: 1) нанесение на внутреннюю поверхность трубопроводов набрызгиваемых (напыляемых) защитных облицовок; 2) протаскивание в реконструируемые трубопроводы сплошных покрытий в виде полимерных рукавов (чулков), плетей или отдельных модулей труб; 3) навивка (намотка) на внутреннюю поверхность трубопровода полимерных лент с формированием новой трубы внутри старой; 4) локальный (местный) ремонт.

В случае невозможности восстановления трубопровода его подвергают разрушению с протягиванием на место старого новых труб. К основным способам бестраншейного строительства трубопроводов относятся: 1) горизонтальное направленное бурение, 2) микротоннелирование, 3) прокол (продавливание), 4) запахивание трубопроводов в грунт.

В практике эксплуатации коммунальных трубопроводов на предприятиях ВКХ Дальнего Востока России наибольшее распространение получили следующие способы ремонта и реконструкции: протаскивание в ветхие трубопроводы сплошных покрытий в виде труб, а при бестраншейной прокладке – метод горизонтального направленного бурения.

Выбор способа бестраншейного ремонта и подбор соответствующего оборудования является сложной задачей требующей грамотной оценки всех факторов и прежде всего необходимости определения реальных скоростей движения жидкости в ветхих трубопроводах.

большим запасом производительности (на перспективу), работавшие на 50 В настоящее время отсутствует достоверная информация о состоянии и степени изношенности, а также реальных скоростях движения потока в наружных напорных трубопроводах Дальнего Востока России.

Предприятия водопроводно-канализационного хозяйства страны производят работы по восстановлению, либо замене аварийных участков сетей водоснабжения и канализации различными бестраншейными способами несколько десятков лет. Однако, ряд вопросов до настоящего времени не проработан.

Системный подход к реновации напорных стальных трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения изложен в работе Е.В. Орлова [11]. Данный подход даёт бесспорную оценку способам бестраншейной реновации трубопроводов с учётом совместной работы трубопровода и насосной станции. Однако в густонаселенной Европе, а также в центральной части России никто не задумывается (поскольку в этих регионах наблюдается постоянный экономический рост и возможно увеличение водопотребления) над тем, что может возникнуть необходимость реновации ветхих трубопроводов, скорость потока в которых значительно снижена.

В Дальневосточном Федеральном округе наблюдается такая ситуация: водопроводы, изначально запроектированные и построенные на расходы с большим запасом производительности (на перспективу), работавшие на 50 – 60% своей мощности, в настоящее время работают еще в менее загруженном

режиме, всего на 40-50%, ввиду постоянного оттока населения и закрытия ряда предприятий.

При выборе способа ремонта, прежде не учитывалась продолжительность отключения потребителей, хотя современное законодательство, путем увеличения штрафов и судебных издержек, постоянно подталкивает к решению данного вопроса. На Дальнем Востоке этот вопрос наиболее актуален, поскольку состояние систем, зачастую, не позволяет подавать услугу по обводным линиям и требует создание временных схем водоснабжения, что приводит к удорожанию.

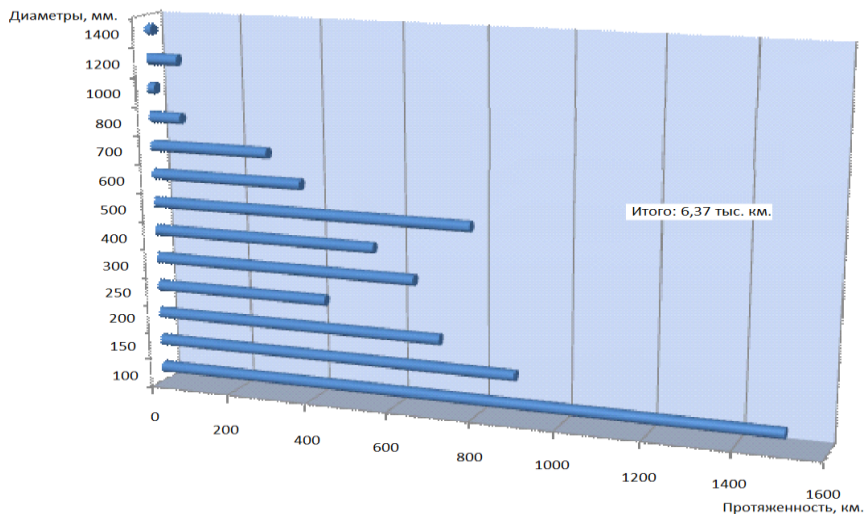
На основании обобщения (с 2000 года) данных опыта работы нескольких наиболее крупных водоканалов ДФО с уверенностью можно утверждать, что вопросам оценки состояния трубопроводных коммуникаций уделяется внимание только в МУП «Водоканал» города Хабаровска. Остальной, макро-регион до этого времени оставался не охваченным. Данные, опубликованные в ГИС ЖКХ, отличаются неточностью и, как правило, не соответствуют действительности. При постановке на учет сетей водоснабжения и водоотведения в 80% случаев определить год постройки невозможно, поскольку значимая доля из них строилась «хоз-способом». Такая ситуация обусловлена тем, что в большинстве случаев 70% сетей были ведомственными и не обслуживались предприятиями ВКХ СССР. После распада Советского Союза было ликвидировано большинство трестов, колхозов и совхозов. Оказавшиеся на их месте кооперативы и общества отказались брать на себя бремя ответственности по содержанию и обслуживанию сетей водопровода и канализации.

Ситуация стала налаживаться только в начале 2000-х годов, когда законодательство возложило обязанности по водоснабжению и водоотведению на органы Местного Самоуправления (МСУ). Именно тогда, местная власть, имея на обслуживании 30% существующих водопроводов, вынуждена была принимать на баланс бесхозные сети. Информация о материале, диаметрах и годе постройки заносилась приблизительная. Позднее, по мере эксплуатации, она дополнялась, но не всегда и не во всех эксплуатационных организациях Дальнего Востока. ДФО, обладая львиной долей природных ресурсов в отличие от центральной части России, остаётся недофинансированным, что ведет к социально ориентированной тарифной политике, и как следствие, недофинансированию ежегодных ремонтных программ.

Установлено, что в большинстве предприятий ВКХ ДФО данные о годе постройки ветхих водопроводов, возможно установить, с точностью не более 10 лет. Данные о материале труб на участках сетей соответствуют на 90%. За исключением случаев, когда производились замена участков чугунных труб на стальные, без их регистрации.

Определено, что Дальневосточный Федеральный округ без учета Забайкальского края и республики Бурятия имеет: 6,37 тысяч километров

ветхих сетей. На рис.1 приведены результаты обработки данных о протяженности ветхих трубопроводов и их диаметрах.



**Рисунок 1.** Диаграмма протяженности «ветхих» наружных трубопроводов системы водоснабжения Дальнего Востока России с распределением по диаметрам

По результатам многолетних исследований «лабораторий по диагностике сетей» предприятий ВКХ Дальнего Востока определено, что трубопроводы разводящей сети, а также водоводы небольших населенных пунктов, диаметром до 200 мм. Характеризуются наличием локальных заужений, отводов, полуотводов, ремонтных муфт, сваренных болтов, и деревянных кольев, используемых на протяжении многих лет для локального-траншейного ремонта трубопроводов (рис.2).



**Рисунок 2.** Ветхие трубопроводы, подвергнутые ремонту с использованием сварных болтов (а) и деревянных кольев (б)

Кроме того, для ремонта чугунных трубопроводов на протяжении многих лет использовались самодельные ремонтные муфты так называемые «мягкие вставки» (сальниковые компенсаторы), которые при реконструкции делают невозможным разрушение старого трубопровода для протяжки нового из полимерных труб без их предварительного удаления.

### **Заключение**

Результаты проведенного исследования показывают, что трубопроводные системы дальнего Востока России находятся в плачевном состоянии. Установлено что, несмотря на огромные богатства природных экологических ресурсов, и полезных ископаемых, Дальневосточный Федеральный округ остаётся недофинансированным, в результате чего, тарифная политика не позволяет производить полномасштабные ремонтные программы по восстановлению и замене ветхих трубопроводов.

Анализ данных исследований показал, что из 6,37 тыс. километров ветхих водопроводных сетей полномасштабной замене и ремонту подвергаются 120-150 км, т.е. 2-3% в год. Такая ситуация недопустима. Подвергаться замене, либо бестраншейному ремонту, должно не менее 10-15% (т.е. 640-700 км) ветхих напорных трубопроводов ежегодно. Для этого необходимо менять тарифную политику, либо, что более приемлемо для небогатого населения Дальнего Востока, вводить политику прямого финансирования ремонтных программ в обмен на природные ресурсы и полезные ископаемые, и оставлять на эти цели часть собираемых таможенных пошлин.

Задачей последующих исследований может быть вопрос об оценке влияния характерных для Дальнего Востока России дестабилизирующих факторов на выбор способа бестраншейного ремонта или замены участка ветхого напорного трубопровода.

### **Список литературы**

1. Федеральный закон «О водоснабжении и водоотведении» от 07.12.2011 №416-ФЗ с изменениями на 28.01.2022. – Режим доступа : <https://docs.cntd.ru/document/902316140>, свободный. – Загл. с экрана.
2. Храменков С.В., Примин О.Г. Проблемы и пути снижения потерь воды // Водоснабжение и санитарная техника. 2012. №11. С. 10-14.
3. Орлов В.А. Пути обеспечения санитарной надежности водопроводных сетей // Вестник МГСУ. 2009. №1. с.181-187.
4. Храменков, С.В. Стратегия модернизации водопроводной сети. М. : Стройиздат, 2005. 398 с.
5. Орлов В.А., Саломеев В.П., Круглова И.С. Оценка остаточного ресурса напорных стальных трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения // Проблемы развития транспортных и инженерных коммуникаций. 2005. № 3-4. С. 25-31.
6. Орлов, В.А. Системный анализ состояния и тактика реновации водопроводных и водоотводящих сетей : дис. д-ра техн. наук :05.23.04 / В.А. Орлов ; Московский государственный строительный университет. – Москва, 2009.

7. Степанов, М.А., Примин, О.Г. Проблемы надежности трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения и пути их решения // Водоснабжение и санитарная техника. 2021. № 10. С. 7-15.

8. Орлов, В.А., Михайлин, А.В., Орлов, Е.В. Технологии бестраншейной реновации трубопроводов : монография. – М. : Изд-во АСВ, 2011. 133 с.

9. Продоус, О.А. Рекомендации по выбору способа и подбору технологического оборудования для бестраншейного ремонта инженерных сетей. СПб. : НИИ АКХ им. К.Д. Памфилова, 2004. 51 с.

10. Терехов, Л.Д., Федорчук, А.В. Гидравлический аспект применения бестраншейных технологий реконструкции трубопроводов в коммунально-бытовом секторе // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. 2011. Т. 2. С. 283-287.

11. Орлов, Е.В. Разработка системного подхода к реновации напорных стальных трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.04 / Московский государственный строительный университет. Москва, 2008.

12. Терехов, Л.Д., Федорчук, А.В. Об изменении потерь напора и расходов в трубопроводах после бестраншейного ремонта способом "труба в трубе" // ЯКОВЛЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ : сборник докладов XII Международной научно-технической конференции, посвященной памяти академика РАН С.В. Яковлева. М. : МГСУ. 2017. С. 146-156.

## **МЕТОДОЛОГИЯ ДЕКОЛЬМАТАЦИИ СКВАЖИН-КАНДИДАТОВ ТЕХНОЛОГИЕЙ ВИГДОС-СИЦА**

**Цымбалов А.А.**

СГТУ, ООО ГК «Архимед»

### **Актуальность**

Дефицит нормативно-технической документации (НТД) по ведению ремонтно-восстановительных работ (РВР) водозаборных скважин наблюдался как в СССР, так сохранился до настоящего времени. Отсутствие НТД затрудняет производство РВР и сдерживает развитие и совершенствование методов регенерации скважин.

ООО ГК «Архимед» своей практикой ведения РВР в Саратовской области получил основы в реализации технологических процессов, послуживших к разработке методических указаний. Методические указания выполненные по нескольким направлениям обосновали условия по составлению общей методологии ремонтных работ .

Объектом исследований данной работы являлись околоскважинные зоны закольматированных скважин-кандидатов на проведение РВР в Саратовской области.

Предметом исследований стала разработка методологии процессов декольматации скважин-кандидатов при проведении РВР закольматированных водозаборных скважин.

Цель работы: рассмотреть методические подходы выполнения комплекса РВР технологией ВИГДОС-СИЦА для скважин-кандидатов.

Под скважинами-кандидатами будем понимать водозаборные скважины, взятые, как из эксплуатационного фонда, так и из фонда не работающих скважин выведенных из хозяйственного оборота, и нуждающихся в регенерации составного элемента системы «пласт-скважина» фильтровой колонны .

В рамках данной статьи под *методологией* будем понимать *учение об организации деятельности комплекса технологических процессов или действий, ведущих к образованию и совершенствованию взаимосвязей между системой «пласт-скважина-оборудование ВИГДОС-СИЦА» и компетенциями человека осуществленными в ручном режиме на основе регламентов и правил или искусственного интеллекта в автоматическом режиме на основе программ.*

Методология как учение об организации деятельности всегда опирается на научное знание [4]. Методология выполнения РВР технологией ВИГДОС-СИЦА для скважин-кандидатов базируется на обобщенном накопленном опыте практик в полевых условиях, а также экспериментальных и теоретических исследований ООО ГК «Архимед».

### **Рекомендации к проведению РВР для скважин-кандидатов**

Основными положениями, способствующими поиску инновационных технологий по декольматации, в т.ч. технологии ВИГДОС-СИЦА, для владельцев скважин-кандидатов , являются следующие:

- 1.Изменение качества добываемых подземных вод с повышением ПДК отдельных химических элементов.
- 2.Превышение нормируемого уровня органического осадка, в том числе песка.
- 3.Отклонение дебита от проектного и снижение его в интервалах (20-80)%.
- 4.Снижение работоспособности скважины ранее сроков межремонтных работ.
5. Снижение работоспособности скважины ранее сроков профилактических работ.
- 6.Применение устаревших технологий при осуществлении первой регенерации скважины.
- 7.Малая зона декольматации в процессе регенерации скважин, не изменившая кольматаемость системы «пласт-скважина».

### **Этапы РВР по технологии ВИГДОС-СИЦА**

Для подготовки проведения РВР по технологии ВИГДОС-СИЦА разрабатывается проект, состоящий из многоэтапной работы, требующей комплексного точечного (поскважинно-операционного) подхода. В основной перечень работ входят [16]:

- 1.Сбор и интеграция данных по скважине.
- 2.Обработка, анализ и обобщение информации по скважине.

3. Разработка технического решения с описанием технического сценария РВР.
4. Обоснование критериев технологии ВИГДОС-СИЦА.
5. Оценка рисков проведения мероприятий РВР.
6. Экономическая оценка целесообразности проведения РВР.
7. Экологизация РВР.
8. Рекомендации в подборе ВЗУ, режимах эксплуатации, сроках ТО инженерных систем, сроке межремонтного обслуживания.

#### Сбор и интеграция данных по скважине.

Объектом исследования этого этапа является система «пласт-скважина» и ее элемента фильтра скважины. Обследование закольматированных скважин проводится с представителем заказчика РВР. Производятся замеры дебита, делаются отбор нескольких проб воды из скважины.

Основополагающим шагом при подборе скважин-кандидатов для проведения РВР является сбор всех данных (гидрогеологических, технологических, конструктивных, эксплуатационных, экологических) в момент сдачи скважины в эксплуатацию и на момент проведения обследования.

Для выполнения анализа по скважине необходима история выполнения комплекса буровых работ, сроков откачки, эксплуатации скважины с момента бурения до фактического обследования. Это связано с тем, что любое событие может повлиять на выбор способа необходимого воздействия на систему «пласт-скважина». История водопользования, аварийных поломок в процессе эксплуатации, методы уже проведенных РВР могут отразиться на вероятности успеха проведения нового РВР.

Данные полученные в ходе этой работы (конструктивно-технологические, гидрогеологические, эксплуатационные, экономические, экологические параметры) по скважине отражаются специалистом ООО ГК «Архимед» в техническом листе. Результаты технического обследования водозаборной скважины отражаются в акте.

#### Обработка, анализ и обобщение информации по скважине.

На основании фондовых материалов производится оценка геологических и гидрологических свойств планируемого к обработке водоносного пласта с уточнением необходимых объемов водопотребления заказчиком, осуществляемых режимов эксплуатации и фактического дебита согласно:

1. ТЗ заказчика;
2. Паспорта скважины;
3. Проекта скважины;
4. Гидрогеологического заключения для организации водоснабжения из подземных вод;
5. Технического листа ООО ГК «Архимед» на обследование водозаборной скважины.
6. Акта технического обследования водозаборной скважины.

Собранные данные подвергаются анализу по общепринятым методикам. Результаты анализа проведенного обследования скважин ложатся в основу составления технических сценариев. Данный этап позволяет понять: какими скважино-операциями технологии ВИГДОС-СИЦА можно восстановить скважину или этого сделать нельзя.

На этом этапе, при необходимости, производится расчет по пескованию скважины. Методика расчета по пескованию скважины предложена автором в работе [9].

Результаты данной работы позволяют выяснить остаточный ресурс исследуемой скважины по конструктивному, гидрогеологическому и прочим направлениям для получения положительного исхода ведения РВР.

### Разработка технического решения с описанием технического сценария РВР

Как при строительстве каждая скважина имеет индивидуальные особенности, так и при РВР требуется персонифицируемый подход. На каждую скважину-кандидата разрабатывается техническое решение с описанием технических сценариев (не менее трех), включающих сочетание технологических подходов с выполнением определенных скважино-операций.

Опыт ООО ГК «Архимед» показал, что несоблюдение профилактических мер по обработке системы «пласт-скважина» приводит к увеличению концентрации кольматационных отложений в поровой околоскважинной среде. Отсутствие режимов обслуживания скважин в течение длительного срока способствует тому, что дисперсная среда коллоидных включений из жидкого гелеобразного состояния переходит в твердое с образованием конгломерата с цементирующими свойствами, способствующего закупорке пор. Проведение регенерации скважины, когда скважина технически запущена и имеет в околоскважинной зоне прочностную корку кольматанта, требует значительного времени воздействия и применения определенного сочетания скважино-операций технологией ВИГДОС-СИЦА. Методика расчета количества сочетаний скважино-операций по технологии ВИГДОС-СИЦА представлена автором в работе [6].

Технологией ВИГДОС-СИЦА предусмотрено сочетание гидродинамических, акустических, турбулентных и других рекомбинированных циклов на околоскважинную зону в автоматическом режиме с пульта управления.

Практическая работа ООО ГК «Архимед» показала, что в зависимости от степени консистенции кольматационного осадка количество дней применяемых по технологии ВИГДОС-СИЦА колеблется в среднем от двух до пяти.

Проведение РВР в полевых условиях нестабильно работающей системы «пласт-скважина» уподобляется научному эксперименту. При составлении вариантов сценариев технического решения применяются



общелогические методы: анализа и синтеза, индукции и дедукции, аналогий и моделирования. Эти приемы помогли в тех случаях, когда накопленные навыки по предыдущим скважинам, взятых их базы данных, не дают ожидаемого результата и, когда приходится находиться в точке бифуркации перед выбором какого-то неизвестного решения.

### Обоснование критериев технологии ВИГДОС-СИЦА

В основу критериев технологии ВИГДОС-СИЦА положены разработанные автором методические рекомендации критериев эффективности методов декольматации по наилучшим доступным технологиям [7].

Согласно методических рекомендаций критериальными технологическими параметрами технологии ВИГДОС-СИЦА являются: дебит скважины, коэффициент восстановления приемистости системы «пласт-скважина», коэффициент технологической надежности.

Экономическим критерием РВР является экономический эффект [2,8]. Расчетные формулы экономического эффекта методов РВР водозаборных скважин для технологии ВИГДОС-СИЦА в зависимости от дебита (удельного дебита) и межремонтных периодов разработаны автором в работе [9].

### Оценка рисков проведения мероприятий РВР

Оценка рисков РВР производится в зависимости от технической деградации скважины на момент ее обследования. Поэтому рассматривается два варианта.

Первый вариант, если на скважине осуществляются технические мероприятия предписанные техническим регламентом и правилами проведения профилактических работ для водозаборных скважинах. В этом случае работа такой скважины рассматривается с принципа контролируемой безопасности. Основу принципа составляет то, что скважина как открытая инженерно-геологическая система развивается в условиях неопределенности и динамичности гидрогеологической природы продуктивного пласта. Поэтому в ней допускается стартовый риск ситуации по кольматации околоскважинного пространства. Этот риск с момента начала работы скважины является как бы отложенным. Такая отложенная уязвимость в отдельных случаях может быть прогнозируемая. Из-за этого данные скважины хорошо восстанавливают утраченный дебит и относятся к группе с низким риском РВР.

Второй вариант касается скважин, где не соблюдались меры по ведению технического обслуживания и профилактических работ. Поэтому восстановление работоспособности таких скважин рассматривается с учетом теории рисков и технологии устойчивого развития объекта как природно-технической и социальной системы с применением «принципа персонифицированного подхода». При данном подходе возможны три ситуации состояния объекта: штатное, аварийное, катастрофическое.

Степень каждого состояния характеризует возврат их сложившегося состояния в штатное с определенной долей вероятности.

Методические подходы технологии ВИГДОС-СИЦА в оценке и управлению риском кольматации околоскважинных зон, утративших дебит в результате кольматации фильтра, разработаны автором и представлены в работах [13-15].

Проведение РВР на скважинах (вариант 1,2) есть решение многофакторного эксперимента в полевых условиях, который не исключает получения отрицательного результата. Такой риск надо допускать. Если он наступил, то требуется вернуться к анализу данных (п.2), доработать техническое решение и разобрать перечень технологических скважино-операций (п.3).

#### Экономическая оценка целесообразности проведения РВР

Приступая к РВР скважины, следует просчитать экономическую целесообразность применения технологии регенерации. Сделать это необходимо, потому что в зависимости от имеющегося амортизационного периода скважины сумма РВР может превышать сумму оставшихся капитальных затрат по ней.

По факту может получиться следующее: при растущей инфляции на материалы и услуги бурения, а также запаса оставшейся прочности обсадной трубы и надежности конструкции фильтра скважины экономически выгодно проводить РВР, а не производить капитальные затраты на бурение новой скважины.

Сделать оценку выбора вариантов, имеющейся скважины и планируемой к бурению, следует по методу сравнительной экономической эффективности технических решений [1].

#### Экологизация РВР

Опыт ООО ГК «Архимед» по строительству водозаборных скважин показал, что процесс вскрытия водоносного пласта сопряжен с определенными осложнениями при ведении буровых работ и необходимостью применения буровых растворов, основу которых составляют химические реагенты различного (I-IV) класса опасности. Объектами их загрязнений становятся геологическая среда, подземные воды, почвенно-растительный покров. Наибольшую опасность после обсадки скважины представляют неудаленные, оставшиеся в заколонном пространстве соединения из элементов разбуренного шлама и химических соединений бурового раствора. Со временем в процессе адсорбции они аккумулируются в околоскважинной зоне, являясь составными элементами многокомпонентного осадка кольматанта.

Воздействие остатков бурового раствора не обязательно напрямую проявляется в виде токсического эффекта на биосферу, но оно может отражаться на механизме повреждения экосистемы из-за нарушений экологического равновесия биотопов трофических уровней с данной геологической (абиотической) средой [11,12].

Методика ООО ГК «Архимед» по сбору кольматационного осадка с последующей утилизацией приведены в работе автора [12].

РВР по технологии ВИГДОС-СИЦА, воздействуя на околоскважинную зону не должны наносить вред окружающей природной среде, поэтому весь комплекс организованной работы направлен на создание условий по минимизации загрязнений. Методика регенераций скважин с этапами учета и контроля экологизации в зависимости от уровня экологичности описана в работе автора [3].

В случае, когда реанимация скважины дала отрицательный результат, и дальнейшие РВР не эффективны, то для предупреждения загрязнения геологической среды флюидами, проходящими через данную скважину, ее необходимо ликвидировать по инструкции, предписывающей порядок ликвидации, консервации скважин.

#### Рекомендации в подборе ВЗУ, режимах эксплуатации, сроках ТО инженерных систем, сроке межремонтного обслуживания

На этом этапе определяется дебит и удельный дебит скважины после РВР. Рассчитывается точка забора воды из скважины. Производится расчет производительности ВЗУ. Рекомендуются, исходя из полученных новых параметров по удельному дебиту, сроки межремонтного обслуживания скважины. Расчет производительности ВЗУ определяет подбор марки насоса и сроки его ТО.

#### **Выводы**

1. Предложенная методология РВР адаптирована на водозаборных скважинах Саратовской области. Она позволяет, с одной стороны, качественно проводить скважино-операции, а, с другой, совершенствовать систему «пласт-скважина».

2. Авторская методология РВР рекомендуется к применению в других регионах РФ для разработки отраслевых нормативно-технических документов, в т.ч. в смежных отраслях.

*Работа выполнена в соответствии с Программой НИР ГК «Архимед» Arh.№ ТЭР-Р 642012-0001.000 «Исследование процессов кольматации околоскважинной среды и разработка методов декольматации водозаборных скважин» [5].*

#### **Библиографический список**

1. Баранчикова С.Г. Экономическая эффективность технических решений/С.Г. Баранчикова, Т.Е. Дашкова, И.В. Ершова [и др.]. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2016.140 с.

2. ГОСТ Р 56828.1-2016 Наилучшие доступные технологии. Методические рекомендации по описанию перспективных технологий в информационно-техническом справочнике по наилучшим доступным технологиям. М.: Стандартинформ, 2016.10 с.

3. Методические рекомендации по организации и ведению мониторинга подземных вод на мелких групповых водозаборах и одиночных эксплуатационных

скважинах. М. 2000. [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902369266> (дата обращения 20.02.2022).

4.Новиков А.М. Методология научного исследования/ А.М. Новиков, Д.А. Новиков. М.:ЛЕНАНД, 2017.272 с.

5.Приоритетные НИР: Темы инновационных направлений научно-исследовательских работ ООО ГК «Архимед [Электронный ресурс] / А.А. Цымбалов. М.2021. Режим доступа URL: <http://doktorsc.ru/index.php/prioritetnyie-nir> (дата обращения 20.02.2022).

6. Цымбалов А.А. Выбор сочетаний наилучших доступных технологий в регенерации закольматированных скважин // Приложение математики в экономических и технических исследованиях: сб. науч. тр. Магнитогорск. гос. техн. ун-та по материалам межд. заоч. науч.-практ. конф. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та, 2017.С.191-199 (дата обращения 20.02.2022).

7. Цымбалов А.А. Критерии эффективности методов декольматации скважин для методических рекомендаций по наилучшим доступным технологиям //Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных мелиоративных технологий: сб. науч. тр. Рос.акад.наук, ФГБНУ ВНИИГиМ им. А.Н.Костякова (Мещерский филиал). Вып.7.Рязань: Изд-во ФГБНУ ВНИИГиМ, 2016. С.132-138.

8. Цымбалов А.А. Межремонтный период регенерации водозаборных скважин // Водоснабжение и санитарная техника.2017.№10. С.20-25.

9. Цымбалов А.А. Методика и практика контроля пескования закольматированных скважин в ремонтно-восстановительных работах технологией ВИГДОС-СИЦА // Яковлевские чтения [Электронный ресурс]: сб. док. XVI межд. науч.-техн. конф., посвящ. памяти акад. РАН С. В. Яковлева. М.: Изд-во МИСИ – МГСУ, 2021.С. 245-253. Режим доступа URL: <http://mgsu.ru/resources/izdatelskayadeyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkr-dostupa/>(дата обращения 20.02.2022).

10. Цымбалов А.А. Регламентация экологизации методов регенерации закольматированных скважин // Сергеевские чтения. Геоэкологическая безопасность разработки месторождений полезных ископаемых: материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. Вып.20.М.:РУДН, 2018.С.51-55.

11. Цымбалов А.А. Условия профилактики кольматации и пролонгирования жизненного цикла водозаборных скважин / Геологические науки - 2014: сб. науч. тр. Сарат. гос. ун-та и Нижне-волжск. НИИ геол. и геофиз. по материалам Всероссийской научно-практической конференции (г. Саратов, 10-12 апреля 2014г.). Саратов: Изд-во СО Евро-азиат. геофизич. общ-ва, 2014.С.82-84.

12. Цымбалов А.А. Формирование закольматированных зон в околоскважинной водонасыщенной среде [Электронный ресурс] // Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами: сб. науч. тр. СО РАН, ИПРЭК СО РАН, ИНГТ СО РАН по материалам III всерос. науч. конф. с межд. уч. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2018.С.198-200.

13. Цымбалов А.А. Реанимация водозаборных скважин из состояния отложенного риска кольматации к допустимому уровню риска // Анализ, прогноз и управление природными рисками в современном мире: сб. науч. тр. РАН, ИГЭ РАН, ВНИИ ГОЧС (ФЦ) по материалам 10-ой межд. науч.-практ. конф. «Геориск-2018» в 2-х т., т.2.М.: РУДН, 2018.С.157-162.

14. Цымбалов А.А. Возврат работоспособности скважин на воду при риск-событии кольматации фильтра на основе теории катастроф [Электронный ресурс].

М.2018. Режим доступа URL: <http://doktorsc.ru/index.php/tekhnicheskaya-biblioteka/nauchnye-stati> (дата обращения 20.02.2022).

15. Цымбалов А.А. Методические подходы к оценке и управлению риском кольматации околоскважинных зон методом ВИГДОС-СИЦА // Анализ, прогноз и управление природными рисками в современном мире: сб. науч. тр. РАН, ИГЭ РАН, ВНИИ ГОЧС (ФЦ) по материалам 10-ой межд. науч.-практ. конф. «Геориск-2018» в 2-х т., т.2. М.: РУДН, 2018. С.162-167.

16. Цымбалов А.А. Декольматация водозаборных скважин: исследование, инновации, практика [Текст]: монография / А.А. Цымбалов. Саратов: Изд-во КУБиК, 2021. 56 с.

## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ МАЛЫХ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

**А.А. Кулаков\***

Российский технологический университет – МИРЭА, г. Москва, Проспект Вернадского, д. 86

\*Автор ответственный за переписку: [mail@artemkulakov.com](mailto:mail@artemkulakov.com)

**Аннотация.** В данной работе рассмотрены вопросы достижимости природоохранных и технологических нормативов на малых очистных сооружениях. Наименьшая вероятность достижения нормативов и наибольшая кратность превышения ПДК отмечена по аммонийному азоту. Действующие очистные сооружения требуются восстановления строительных конструкций и модернизации технологических решений, внедрения НДТ. Это позволит получить максимальный экологический результат при оптимизации экономических затрат.

### **Введение**

Малые канализационные очистных сооружений (КОС) составляют большой сегмент коммунальной отрасли и имеют ряд особенностей, определяющих индивидуальный подход к проектированию, эксплуатации и модернизации [1].

Реализуемый в настоящее время переход отрасли на технологическое нормирование формирует новые экологические вызовы для очистных сооружений. Новые нормативы менее жесткие, чем ПДК водных объектов рыбохозяйственного значения, однако их достижение по-прежнему потребует реализации высокоэффективных технологических решений даже на малых объектах [2]. Реализация наилучших доступных технологий вполне возможна на базе существующих сооружений при их грамотной модернизации и использовании технологических резервов [3].

### **Материалы и методы**

В работе проведен сбор, обработка и анализ данных по достижимости современных природоохранных и технологических нормативов. Данные по формам № 2-ТП (водхоз) приняты по выпусках коммунальных

биологических КОС следующих групп производительностей (общее число объектов – 117):

Группа 1: малые (от 101 до 1000 м<sup>3</sup>/сут) и небольшие (1001–4000 м<sup>3</sup>/сут) КОС – 49 объектов.

Группа 2: сверхмалые (от 10 до 100 м<sup>3</sup>/сут) КОС – 68 объектов

Анализ проведен по основным технологическим показателям: взвешенные вещества (ВВ); БПК<sub>полн</sub>; фосфор фосфатов (P–PO<sub>4</sub>); азот аммонийный (N–NH<sub>4</sub>); азот нитритов (N–NO<sub>2</sub>); азот нитратов (N–NO<sub>3</sub>).

В работе рассмотрены технологические нормативы (согласно Постановлению Правительства РФ от 15 сентября 2020 г. № 1430) и природоохранные нормативы ПДК<sub>рыбхоз</sub> (табл. 1).

**Таблица 1.** Технологические и природоохранные нормативы

Показатель	ПДК <sub>рыбхоз</sub> , мг/л	Технологический норматив, мг/л			
		малые, небольшие		сверхмалые	
		Кат. А	Кат. Б	Кат. А	Кат. Б
ВВ	3*	10	15	10	15
БПК <sub>полн</sub>	3	8,25**	16,5**	8,25**	19,8**
N–NH <sub>4</sub>	0,39	1	1,5	1	8
N–NO <sub>2</sub>	0,024	0,1	0,25	0,1	0,25
N–NO <sub>3</sub>	9,1	9	12	9	18
P–PO <sub>4</sub>	0,2	0,7	1,5	0,7	5
Норматив***	1	2	3	2	4

Примечания:

\* Взвешенные вещества нормируются по фоновому содержанию в водном объекте, однако на практике достаточно часто устанавливается норматив 3 мг/л.

\*\* БПК<sub>полн</sub> определяется согласно СП 32.13330.2018 через коэффициент пересчета БПК<sub>5</sub> в БПК<sub>полн</sub> – 1,65 (для биологически очищенной сточной воды).

\*\*\* Нормативы: 1 – ПДК для водных объектов рыбохозяйственного значения (ПДК<sub>рыбхоз</sub>); 2 – водный объект категории А, сверхмалые – средние КОС; 3 – водный объект категории Б, малые – средние КОС; 4 – водный объект категории Б, сверхмалые КОС.

Оценка достижения нормативов осуществлялась через расчет доли КОС, на которых достигается рассмотренное значение концентрации или норматива (W, %), по формуле:

$$W = \frac{N_{\text{норм}}}{N_{\text{общ}}} \cdot 100,$$

где  $N_{\text{норм}}$  – количество КОС, на которых достигается заданное значение концентрации;  $N$  – общее количество КОС.

## Результаты

На проанализированных объектах реализована традиционная биологическая очистка в аэротенках или биофильтрах, на некоторых объектах предусмотрена доочистка (биопруды или фильтры) и обеззараживание. Методы глубокого удаления азота и фосфора реализованы

на единицах объектов. По исследованным показателям определена достижимость нормативов (табл.2).

Достижение ПДК<sub>рыбхоз</sub> имеет наименьшую вероятность по всем показателям для обеих групп объектов. Так достижение норматива по аммонию достигается лишь на 12,2 и 9 % объектов. Также низкой является достижимость норматива по ВВ и фосфора, особенно на сверхмалых КОС. Наибольшая кратность превышения ПДК<sub>рыбхоз</sub> отмечена по азоту аммонийному: 13,8 и 8,8 для проанализированных групп объектов.

**Таблица 2.** Достижимость нормативов

Норматив	Доля КОС, на которых достигается норматив, %					
	БПК <sub>полн</sub>	ВВ	Р-PO <sub>4</sub>	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>2</sub>	N-NO <sub>3</sub>
Малые и небольшие КОС						
ПДК <sub>рыбхоз</sub>	12,2	12,2	24,5	12,2	32,7	85,7
ТН (кат. А)	42,9	53,1	53,1	22,4	69,4	85,7
ТН (кат. Б)	71,4	77,6	79,6	30,6	77,6	87,8
Сверхмалые КОС						
ПДК <sub>рыбхоз</sub>	16,2	8,8	8,3	9,0	28,8	91
ТН (кат. А)	41,2	50	50	16,4	63,6	91
ТН (кат. Б)	79,4	72,1	98,3	67,2	74,2	97

Небольшой вынос ВВ (10-15 мг/л) является нормой для сооружений биологической очистки, а норматив в 3 мг/л может достигаться при двухступенчатой доочистке или в мембранном биореакторе.

Удаление фосфора на рассмотренных малых сооружениях не реализуется, для достижения норматива требуется дозирование реагента и доочистка фильтрованием.

Достижение технологических нормативов представляется более реальным, особенно на сверхмалых КОС. Однако для достижения норм по азотной группе потребуются реализация технологий удаления азота и частично – фосфора.

### **Реализация НДТ**

Большинство малых КОС имеют технологические резервы и могут быть модернизированы с внедрением НДТ. Для повышения эффективности очистки рекомендуются следующие мероприятия.

#### Удаление грубодисперсных примесей

В настоящее время на подавляющем большинстве объектах нет предварительной механической очистки, при этом количество мусора в поступающих сточных водах достаточно высокое. Для задержания грубодисперсных примесей и защиты оборудования возможна установка решеток в двух исполнениях:

- минимальное – решетка-сито с ручной очисткой с прозором 6-16 мм (низкие затраты, позволяет задерживать наиболее крупные включения, требует ручного обслуживания);

- оптимальное – решетка с автоматизированной очисткой и отмывкой отбросов с прозором 3-6 мм (высокие затраты, задерживает большую часть примесей, низкая потребность в эксплуатации).

### Удаление азота

Для реализации технологий удаления азота необходимо внедрение технологических схем с нитрификацией и денитрификацией. Однако для малых очистных сооружений характерна низкая пропорция БПК/азот, что может быть причиной недостаточной денитрификации и потребности в дозировании внешнего субстрата [3].

Для каждого случая требуется рассчитывать потребность внешнего субстрата и необходимые объемы зон нитрификации и денитрификации с учетом состава поступающих сточных вод.

Примеры объектов, приведенные в работе [3], свидетельствуют о высокой вероятности достижения технологических показателей при реализации НДТ в существующих объемах биологических реакторов.

### Удаление фосфора

Для удаления фосфора наиболее простым решением является дозирование коагулянта. Точка дозирования, тип и доза коагулянта определяются при проектировании.

### Обеззараживание очищенных вод

В качестве решения для обеззараживания могут быть применены УФ лампы, это не потребует содержания и обслуживания реагентного хозяйства для гипохлорита натрия или других хлор-реагентов.

### Обработка осадка

Для обработки осадка на малых КОС наиболее простым решением является применение шнековых или мешковых обезвоживателей. При малых объемах осадка может применяться накопление осадка с вывозом его на близлежащие объекты для обработки.

### **Достижение нормативов**

Если рассмотреть достижимость приведенных выше нормативов, то можно сделать следующие выводы по применяемым технологиям:

*Норматив 1 (ПДКрыбхоз).*

Вариант 1: мембранный биореактор;

Вариант 2: глубокое удаление азота и фосфора, 2 ступенчатая доочистка (от азота, фосфора и ВВ).

*Норматив 2 (кат. А).*

Глубокая биологическая очистка, удаление азота, биолого-химическое удаление фосфора, рекомендуется доочистка от нитритов и ВВ.

*Норматив 3 (кат. Б, малые, небольшие).*

Глубокая биологическая очистка, нитрификация и частичная денитрификация, реагентное удаление фосфора.



*Норматив 4 (кат.Б, сверхмалые).*

Глубокая биологическая очистка, нитрификация и частичная денитрификация, при необходимости реагентное удаление фосфора.

Для всех объектов требуется предварительная механическая очистка и обеззараживание, а также обработка осадка.

### **Заключение**

Сектор малых канализационных очистных сооружений имеет высокий уровень физического износа, применяемые технологии не способны обеспечить природоохранные нормативы. Некоторые объекты находятся в разрушенном состоянии и не эксплуатируются.

Проведена оценка достижимости природоохранных и технологических нормативов на малых объектах.

Наименьшая доля КОС с достижением ПДК<sub>рыбхоз</sub> отмечена по взвешенным веществам (12,2 и 8,8%), фосфору фосфатов (24,5 и 8,3%) и азоту аммонийному (12,2 и 9%). Наибольшая кратность превышения ПДК отмечена по азоту аммонийному.

Достижение технологических нормативов выглядит более вероятным, для водных объектов категории Б составляет 30,6% по N–NH<sub>4</sub>, по остальным показателям – более 70%.

Для улучшения экологической ситуации и повышения эффективности и надежности малых КОС требуется их модернизация и внедрение НДТ. Это зачастую возможно в рамках имеющихся технологических резервов при правильном подборе технологических решений.

### **Список литературы**

1. Кулаков А.А. Оценка современного состояния малых коммунальных очистных сооружений канализации // Вода и экология: проблемы и решения. 2015. № 1. С. 26–40.
2. Кулаков А.А. Оценка достижимости природоохранных и технологических нормативов на малых канализационных очистных сооружениях // Водоснабжение и санитарная техника. 2022. № 3. С. 46-51.
3. Кулаков А.А. Достижение НДТ при модернизации малых КОС: технологические и конструктивные решения // Наилучшие доступные технологии. 2022. № 1. С. 51–60.

## **СЕДИМЕНТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СБРОЖЕННОГО ОСАДКА ПРИ ЦЕНТРИФУГИРОВАНИИ**

**М.Ю. Дягелев<sup>1,\*</sup>, Ф. Пильц<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова, 426069, Россия, г. Ижевск, ул. Студенческая, д. 7

<sup>2</sup>Венский технический университет, 1040, Австрия, г. Вена, Карлсплац, д. 13, каб. 226

\* Автор ответственный за переписку: mdyagelev@yandex.ru

**Аннотация.** В работе приведены результаты лабораторных опытов по определению седиментационных характеристик стабилизированного осадка сточных вод. Для повышения эффективности осаждения использовался гексагидрат хлорида магния в соотношении ионов  $Mg^{2+}$  к ионам  $PO_4^{3-}$  в пропорциях 0,75:1, 1:1 и 1,5:1 с последующей аэрацией осадка. После центрифугирования была установлена эффективность осаждения осадка до 12,8%.

## **Введение**

Осадки сточных вод – сложная многокомпонентная система, состоящая из органической и минеральной частей. В осадках городских сточных вод содержится большое количество микроорганизмов, в том числе патогенных, токсичных соединений. Объем влажных осадков, образующихся на канализационных очистных сооружениях, составляет от 0,5 до 1,0% от объема сточной воды в зависимости от технологической схемы очистки [1-5]. При этом содержание воды в осадке может составлять до 98-99% [6]. Поэтому большинство очистных сооружений проектируют с цехом механического обезвоживания осадков сточных вод для снижения содержания воды в осадке [7-8]. Обычные методы обработки для уменьшения объема осадков сточных вод включают обезвоживание с помощью воздушной сушки, центрифугирования или ленточного прессования. Эти процессы уменьшают объем шлама за счет разделения жидкостей и твердых частиц; однако даже обезвоженный осадок по-прежнему в основном состоит из воды (до 90%). Высокое содержание воды ограничивает возможность повторного использования шлама в качестве топлива для мусоросжигательных заводов или сельскохозяйственных удобрений [9-12].

Цель данной работы – определение возможности повышения эффективности обезвоживания осадков сточных вод за счет добавления гексагидрата хлорида магния и последующей аэрации осадка.

## **Материалы и методы**

В качестве объекта исследований использовались стабилизированный осадок из метантенков очистных сооружений г. Линц (Австрия), который в настоящее время после анаэробного сбраживания в метантенках, направляется на обезвоживания в центрифуги, после чего обезвоженный кек сжигается согласно законодательным требованиям земли Нижняя Австрия.

В рамках исследований по получению гидроксипатита (или струвита) из сброженного осадка сточных вод, авторами также было принято решение об изучении седиментационных характеристик проаэрированного сброженного осадка при добавлении соли марганца – гексагидрата хлорида магния  $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ .

Для аэрации сброженного осадка сточных вод использовалась экспериментальная установка, представляющая с собой вертикальную колонну, диаметром 30 мм и высотой 2500 мм, с установленной в основании

колонны штуцером для мембранного аэратора EDI PermaCap 5, диаметром диффузора 127 мм и рассчитанные на максимальный расход воздуха 9,44 л/с. Аэрация в экспериментальной установке использовалась для перемешивания сброженного осадка сточных вод и используемых реагентов. Расход воздуха регулировался контроллером red-y smart meter GSC (Swiss Engineered Швейцария) с точностью подачи воздуха 0,3%.

Пробы отбирались сразу после добавления гексагидрата хлорида магния и перемешивания с осадком сточных вод, а также после аэрации в течение нескольких часов в нескольких сериях опытов, кроме того в одной серии осадок сточных вод аэрация проводилась без добавления гексагидрата хлорида магния. После отбора пробы в равном объеме 50 мл добавлялись в пробирки и центрифугировали на центрифуге Sigma 3-16L в диапазоне от 500 до 1000 об/мин с шагом 100 и от 1000 до 4000 об/мин с шагом 500. На каждом шаге центрифугирование проводилось в течение 5 мин, после чего в каждой пробирке визуально оценивались уровни жидкой и осажженной части.

## Результаты

В первой серии опытов были проанализированы седиментационные характеристики у проаэрированного осадка с разной продолжительностью аэрации – первая проба была взята без аэрации, вторая проба после 16 часов аэрации расходом воздуха 30 л/мин. По полученным данным (рис. 1) разница в объемах центрифугированных осадков менее 5%, на всем диапазоне проводимых измерений, и с максимальным ростом до 8,3% при числе оборотов центрифуги равной 3000  $\text{мин}^{-1}$ . Таким образом, при простой аэрации осадка сточных вод седиментационные характеристики не меняются или меняются не значительно, что делает предварительную аэрацию перед центрифугированием не целесообразной.

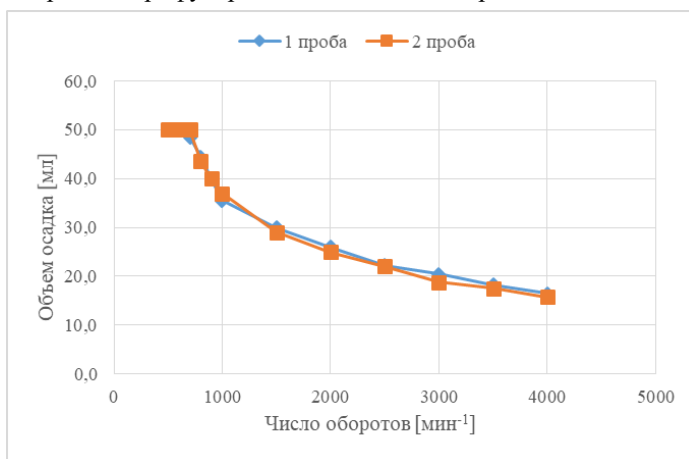
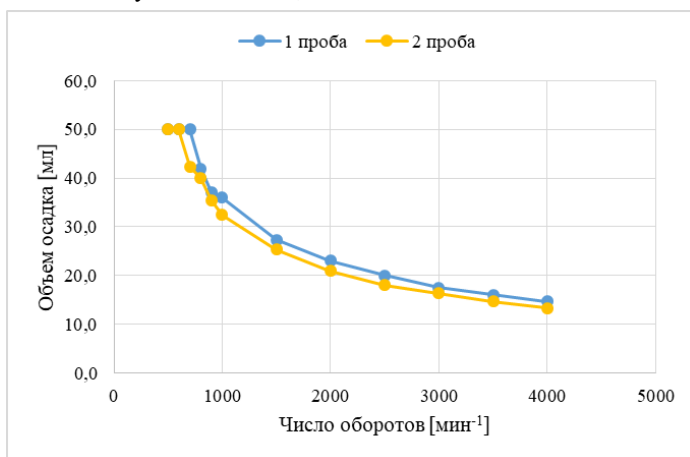


Рисунок 1. Седиментационные характеристики проаэрированного осадка

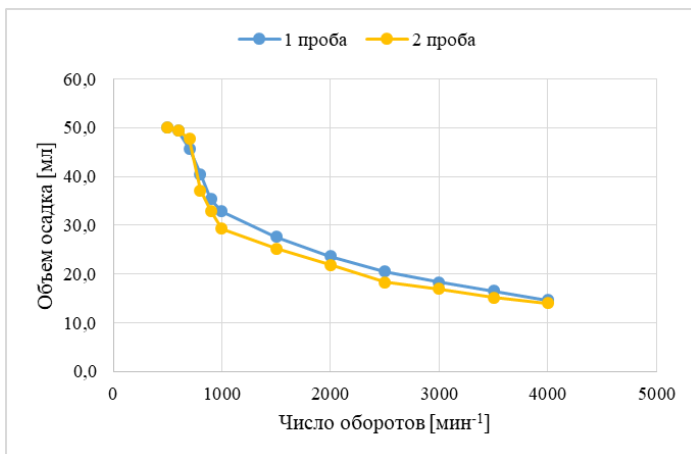
Во второй серии опытов, в осадок сточных вод дополнительно добавлялся гексагидрат хлорида магния  $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ , который в том числе используется для связывания фосфора, присутствующего в осадках сточных вод. При этом продолжительность аэрации составила 3 часа при расходе воздуха 50 л/мин, а соотношение и соотношения ионов  $Mg^{2+}$  к ионам  $PO_4^{3-}$  в пропорции 0,75:1.

По полученным данным (рис. 2), можно утверждать, что седиментационные характеристики проаэрированных осадков сточных вод более ярко выражены и при центрифугировании данных осадков можно добиться улучшения седиментационных характеристик между первой и второй пробой на 9,72% уже при числе оборотов центрифуги  $1000 \text{ мин}^{-1}$  и данная разность сохраняется также при увеличении числа оборотов. Таким образом, при существующей системе обработки осадков сточных вод в виде центрифугирования, добавление гексагидрата хлорида магния позволяет повысить водоотдачу осадков на 9,72%.



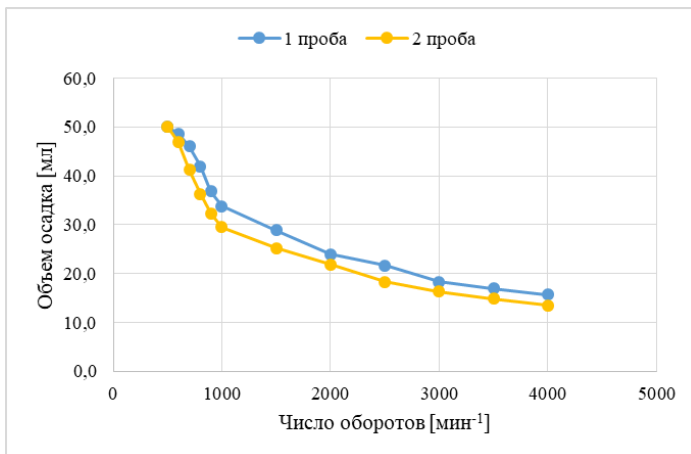
**Рисунок 2.** Седиментационные характеристики проаэрированного осадка центрифугированием, с соотношением в осадке  $Mg:PO_4$  0,75:1

При увеличении соотношения  $Mg:PO_4$  до 1:1, эффективность седиментации у второй пробы достигла до 10,7% (см. рис. 3) при числе оборотов центрифуги равной 1000. При этом аэрации проводилась при тех же условиях – продолжительность аэрации 3 часа, расход воздуха 50 л/мин. Однако, стоит отметить, что при дальнейшем увеличении числа оборотов центрифуги, разница в седиментированном объеме первой и второй пробы не превышала 10%, а при максимальном числе оборотов разница седиментированных объемов снизилась до 4,8%, то есть увеличение количества оборотов центрифуги снижает эффект применения гексагидрата хлорида магния. Данная закономерность сохраняется при соотношении  $Mg:PO_4$  1:1, при соотношении 0,75:1 эффективность водоотдачи сохранялась постоянной.



**Рисунок 3.** Седиментационные характеристики проаэрированного осадка центрифугированием, с соотношением в осадке Mg:PO<sub>4</sub>1:1

При дальнейшем увеличении соотношения Mg:PO<sub>4</sub> до 1,5:1, эффективность удаления воды из осадка сточных вод между первой и второй пробой составила 12,8% при числе оборотов 1000 мин<sup>-1</sup> (см. рис. 4), при увеличении числа оборотов, эффективность обезвоживания остается на одном уровне 12,49±1,27%



**Рисунок 4.** Седиментационные характеристики проаэрированного осадка центрифугированием, с соотношением в осадке Mg:PO<sub>4</sub>1,5:1

### Заключение

Полученные результаты по оценке седиментационных характеристик стабилизированного осадка позволяют утверждать, что добавление гексагидрата хлорида магния позволяет повысить седиментационные характеристики осадка при аэрации. При соотношении ионов Mg<sup>2+</sup> к ионам

$\text{PO}_4^{3-}$  в пропорции 0,75:1 можно достичь эффективности седиментации до 9,72% при числе оборотов центрифуги от 1000 мин<sup>-1</sup>, при увеличении соотношения ионов  $\text{Mg}^{2+}$  к ионам  $\text{PO}_4^{3-}$  до 1:1, эффективность седиментации увеличивается до 10,7%, при дальнейшем увеличении соотношения до 1,5:1, эффективность оседания растет до 12,8% при равном числе оборотов центрифуги.

Следует также отметить, что в данной работе не проведена экономическая оценка применения данного метода в промышленном масштабе. Для этого необходимо учитывать стоимость электроэнергии для аэрации, стоимость реагентов и вычесть из сэкономленной электроэнергии на центрифугирование осадка.

### **Благодарности**

Авторы выражают благодарность библиотеке Венского технического университета, Научной библиотеке Ижевского государственного технического университета имени М.Т. Калашникова за программу открытого доступа к международным базам данных и Австрийскому агентству образования и интернационализации (OeAD – Österreichs Agentur für Bildung und Internationalisierung) за предоставление стипендии Стипендиального фонда Австрийской Республики для постдоков.

### **Список литературы**

1. Хисамеева Л.Р., Селюгин А.С., Абитов Р.Н., Бусарев А.В., Урмитова Н.С. Обработка осадков городских сточных вод: учебное пособие. – Казань: Изд-во Казанск. гос. архитектур.-строит. ун-та, 2016. – 105 с.
2. Wu B., Dai X., Chai X. Critical review on dewatering of sewage sludge: Influential mechanism, conditioning technologies and implications to sludge re-utilizations // *Water Research*. 2020. Vol. 180. Pp. 115912.
3. Хренов К.Е., Козлов М.Н., Кевбрина М.В., Харькина О.В. Обработка сброженного осадка в аэрируемых биореакторах // *Водоснабжение и санитарная техника*. 2010. № 10(1). С. 54-59.
4. Губанов Л.Н., Катраева И.В., Михеева Э.Р., Моралова Е.А. Решение задачи утилизации осадка сточных вод птицефабрики // *Приволжский научный журнал*. 2017. № 1 (41). С. 46-51.
5. Wang Z., Liu T., Duan H., Song Y., Lu X., Hu S., Yuan Z., Batstone D., Zheng M. Post-treatment options for anaerobically digested sludge: Current status and future prospect // *Water Research*. 2021. Vol. 205. Pp. 117665.
6. Cao b., Zhang T., Zhang W., Wang D. Enhanced technology based for sewage sludge deep dewatering: A critical review // *Water Research*. 2021. Vol. 189. Pp. 116650
7. Халтурина Т.И., Орлова М.М., Чурбакова О.В. Экспериментальные исследования по влиянию коагулянтов POLYPACS-30 LF, POLYPACS-F, POLYPACS-PFS и реагента, полученного из шлака, на свойства смешанного осадка маслоэмульсионных и кислотно-щелочных сточных вод // *Градостроительство и архитектура*. 2019. Т. 9. № 3. С. 74-84
8. Савинов С.С., Ерёмин С.Ф., Данилова А.Ю. Возможности флокулянта VTA F 96 для обезвоживания осадка хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод // *Вестник гражданских инженеров*. 2017. № 5 (64). С. 103-110.

9. Wee G.N., Han L., Lee T.K. Enhanced deflocculation of dehydrated sludge by rhamnolipid treatment coupled with thermal hydrolysis // *Waste Management*. 2020. Vol. 110. Pp. 66-73.
10. Cai G., Ebrahimi M., Zheng G., Kaksonen A.H., Morris Ch., O'Hara I.M., Zhang Z. Effect of ferrous iron loading on dewaterability, heavy metal removal and bacterial community of digested sludge by *Acidithiobacillus ferrooxidans*// *Journal of Environmental Management*. 2021. Vol. 295. Pp. 113114.
11. Parravicini V., Smidt E., Svardal K., Kroiss H. Evaluating the stabilization degree of digested sewage sludge: investigations at four municipal treatment plants // *Water Science & Technology*. 2006. Vol. 53 (8). Pp. 81-90
12. Shi Y., Luo G., Rao Y., Chen H., Zhang S. Hydrothermal conversion of dewatered sewage sludge: Focusing on the transformation mechanism and recovery of phosphorus // *Chemosphere*. 2019. Vol. 228. Pp. 619-628.

## **НОРМАТИВНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА АНТИБИОТИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ И СТОЧНЫХ ВОД В РОССИИ И ЗА РУБЕЖОМ**

**А.А. Абрамова\*, А.М. Непогодин, Ю.А. Зяпарова, Т.М. Лыхно**

ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени  
М.Т. Калашникова», Удмуртская Республика, г. Ижевск, ул. Студенческая, д.7

\*Автор ответственный за переписку: [aaa2785@mail.ru](mailto:aaa2785@mail.ru)

**Аннотация.** Проблема загрязнения водной среды лекарственными препаратами привлекает особое внимание. Важную часть в этом вопросе занимают антибиотики, которые не полностью удаляются из сточных вод при их очистке на очистных сооружениях, а в дальнейшем попадают в природные водоемы и питьевую воду. В данной статье анализируется изменение нормативной базы в области нормирования содержания антибиотических препаратов в питьевой и поверхностной воде России и мира. Также приводятся имеющиеся в России и за рубежом данные научных исследований по концентрации таких специфических загрязняющих веществ в воде природной, сточной, питьевой для выявления имеющихся превышений.

### **Введение**

До 2021 г. в России не была установлена предельно допустимая концентрация антибиотиков и гормонов в воде - то есть следовые количества этих веществ присутствовали в воде, но не было никакой нормы, за превышение которой можно было бы оштрафовать.

С 29 января 2021 г. в России введены в действие обобщенные санитарные правила и нормы СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания", которые содержат требования к предельно-допустимой концентрации антибиотиков в воде. В данном документе установлены единые требования к содержанию 8 различных антибиотиков в воде разных объектов: централизованной системы

водоснабжения, нецентрализованного водоснабжения, воде поверхностных и подземных водных объектов, воде плавательных бассейнов.

### Материалы и методы

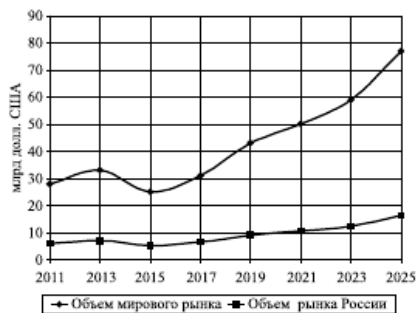
В таблице 1 приведены нормируемые концентрации антибиотиков в воде и лимитирующие показатели вредности, согласно СанПиН 1.2.3685-21. Поскольку указанные в таблице 1 величины ПДК совпадают с европейскими нормами, можно предположить, что при разработке российских стандартов в области концентрации антибиотиков в воде, был использован европейский нормативный документ: Commission implementing decision (EU) 2018/840 of 5 June 2018 establishing a watch list of substances for Union-wide monitoring in the field of water policy pursuant to Directive 2008/105/EC of the European Parliament and of the Council and repealing Commission Implementing Decision (EU) 2015/495.

**Таблица 1.** Установленные в России нормативы по содержанию антибиотиков в воде питьевой систем централизованного, в том числе горячего, и нецентрализованного водоснабжения, воде подземных и поверхностных водных объектов-питьевого и культурно-бытового водопользования, воде плавательных бассейнов, аквапарков

№ п/п	Наименование вещества	Формула	Величина ПДК (ОДК) (мг/л)	Лимитирующий показатель вредности	Класс опасности
1.	Амоксициллин	$C_{16}H_{19}N_3O_5S$	0,000078	с.-т.	1
2.	Ампициллин	$C_{16}H_{19}N_3O_4S$	0,02	с.-т.	2
3.	Эритромицин	$C_{37}H_{67}NO_{13}$	0,0002	с.-т.	1
4.	Азитромицин	$C_{38}H_{72}N_2O_{12}$	0,000019	с.-т.	1
5.	Оксациллин	$C_{19}H_{19}N_3O_5S$	0,02	с.-т.	2
6.	Бензилпенициллин	$C_{16}H_{18}N_2O_4S$	0,02	с.-т.	2
7.	Кларитромицин	$C_{38}H_{69}NO_3$	0,00012	с.-т.	1
8.	Ципрофлоксацин	$C_{17}H_{18}FN_3O_3$	0,000089	с.-т.	1

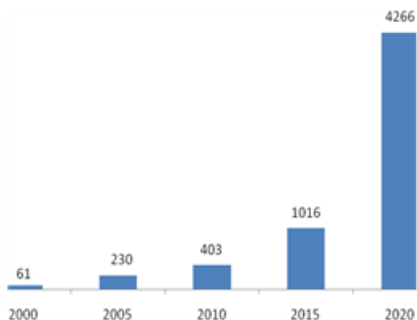
Россия уступает большинству развитых стран по доле рынка лекарственных средств, однако входит в первые десять стран по самому большому объему потребления лекарственных препаратов. В настоящее время фармацевтическая отрасль России развивается стремительными темпами, что связано, в том числе с реализуемой в нашей стране политикой импортозамещения [1-3]. По прогнозам специалистов, к 2025 г. фармацевтический рынок России увеличится до 20 млрд долларов (рисунок 1).





**Рисунок 1.** Перспективы роста мирового и российского рынков потребления антибиотиков

Анализ международных научных баз данных (Scopus, WoS, Researcherid) показал, что с 2016 г. растет количество публикаций, связанных с темой «обнаружение антибиотиков в воде» и общее их количество более 10 тыс. При этом наблюдается их рост в арифметической прогрессии.



**Рисунок 2.** Количество научных публикаций по теме «антибиотики в сточной воде», ед. (по данным Scopus, WoS, researcherid)

Данные, представленные на рисунке 2, показывают актуальность темы, связанной с антибиотическим загрязнением сточных вод, в России и за рубежом, и все увеличивающийся научный интерес к этой проблеме.

В Российском индексе научного цитирования по ключевым фразам «антибиотики, сточные воды» выявлено всего 117 публикации из них 33 публикации с 2019 г. Конечно же, не корректно сравнивать международные системы, которые отражают публикации большого количества стран, с РИНЦ, куда входят работы только отечественных ученых и ученых из стран СНГ. Однако, исследования отечественных ученых по оценке содержания антибиотических препаратов в сточных водах затронули только два крупнейших города России – г. Москва и г. Санкт-Петербург, что наталкивает на вывод, что в других городах из-за меньшей численности

жителей, антибиотические препараты не обнаружены в сточных водах или подобные исследования в других городах России не проводились.

## Результаты

В разных странах все большее внимание уделяется лекарственному загрязнению водных объектов, в том числе антибиотическому загрязнению. Имеющиеся исследования загрязненности сточных вод антибиотиками показали, что очистные сооружения промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод не справляются с их удалением. Связано это с тем, что классические схемы очистки хозяйственно-бытовых сточных вод не содержат линии воздействия на сточные воды сильных окислителей (перекись водорода, озон). А как показали отечественные исследования, именно сильные окислители лучше всего справляются с очисткой воды от антибиотиков [4-5].

Антибиотики были обнаружены в бытовых, больничных, промышленных и сельскохозяйственных сточных водах в ряде стран, таких как Кения, Южная Корея, Румыния, Франция, Испания, Китай, США, Россия, Украина и другие из Латинской Америки [6-9]. Как показали результаты исследований десятков авторов, наличие и концентрация антибиотиков в сточных водах может варьироваться от нг/л до мкг/л и зависит от географического региона, сезонных изменений, демографических и экономических данных.

Было проанализировано несколько десятков научных статей, опубликованных за рубежом с 2015 года, в которых говорится об обнаружении антибиотических препаратов в образцах сточных вод из разных областей человеческой деятельности и стран с разным уровнем развития. Основными источниками исследования в опубликованных работах были городские сточные воды и сточные воды больниц, о которых сообщалось, соответственно, в 46% и 23% статей. В некоторых работах изучалась встречаемость антибиотиков в нескольких источниках сточных вод в одном и том же регионе [6-9].

В зарубежных источниках представлена информация по обнаружению следующих групп антибиотиков: в больничных сточных водах в США был обнаружен антибиотик линкомицин в количестве 2–7 мг/л, фторхинолоны в количестве 2-11 мг/л. В городских сточных водах США, Португалии и Швеции были обнаружены фторхинолоны в количестве 90–1000 нг/л, в городских сточных водах Португалии (79,6–119,2 нг/л). Антибиотик энрофлоксацин был обнаружен в городских сточных водах в количестве 120 – 450 нг/л в Португалии и США, а также в поверхностных водах Португалии в количестве 67,0 – 103 нг/л. Антибиотик окситетрациклин был обнаружен в реках Италии в количестве 24-250 нг/л [6-9].

По данным различных источников в разных регионах мира, в период 2007-2012 гг. в поверхностных водах и питьевой воде (в скобках) были выявлены следующие максимальные концентрации антибиотиков (нг/л): ципрофлоксацин - 30 (10), энрофлоксацин - 40 (20), эритромицин - 40 (10),

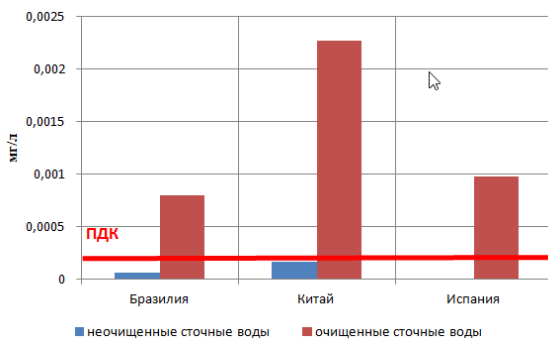
линкомицин - 10 (10), ломефлоксацин - 35 (10), норфлоксацин - 31 (10), офлоксацин - 480 (10), рокситромицин - 66 (5), сульфаметазин 1- 40 (10), сульфаметоксазол - 60 (10), тетрациклин - 35 (5) [3]. Ниже представлены графики антибиотиков с максимальной концентрацией в воде (рисунок 3-5).



**Рисунок 3.** Концентрация антибиотика Эритромицин в неочищенных и очищенных сточных водах в разных странах



**Рисунок 4.** Концентрация антибиотика Ципрофлоксацин в неочищенных и очищенных сточных водах в разных странах



**Рисунок 5.** Концентрация антибиотика Азитромицин в неочищенных и очищенных сточных водах в разных странах

Кратность превышения концентрации эритромицина в сточных водах Китая составила 1,25 раз по сравнению с ПДК (ПДК=0,002 мг/л, фактическая концентрация 0,0025 мг/л). В Гане, Франции и Вьетнаме был обнаружен ципрофлоксацин в концентрациях 0,001, 0,0035 и 0,0078 мг/л соответственно. Предельно допустимая концентрация ципрофлоксацина составляет 0,000089 мг/л. Фактическое содержание данного антибиотика превышает норму в 11 раз в Гане, в 39 раз во Франции и в 87 раз во Вьетнаме. Также в сточных водах Бразилии, Китая и Испании был выявлен азитромицин, предельно допустимая концентрация которого составляет 0,000019 мг/л. Фактическое содержание данного антибиотика превышает норму в 120-360 раз.

Исследования концентрации антибиотиков в сточных водах, проводимые в России [10], показали наличие антибиотиков (офлоксацин, сульфаметоксазол, триметоприм, эритромицин) в сбрасываемых очищенных сточных водах г. Дмитров, г. Дубна, г. Конаково, г. Твери, г. Истра, г. Звенигород. Однако, сравнение обнаруженных концентраций с недавно установленными ПДК (таблица 1), показали отсутствие превышений по эритромицину (рис.3). По остальным антибиотикам нельзя сделать никакого вывода, поскольку отсутствует установленная предельно допустимая концентрация.

### **Заключение**

Исследования по загрязнению природных и сточных вод в разных странах показали превышения установленного норматива в 1,25-360 раз по ципрофлоксацину, эритромицину, амоксициллину, ампициллину, азитромицину, оксациллину, бензилпенициллину, кларитромицину. В России большой вклад в исследования антибиотического загрязнения вод внесли Баренбойм Г.М., Чиганова М.А., Козлова М.А. Однако, сравнение обнаруженных в 2020 году концентраций с недавно установленными ПДК, показали отсутствие превышений по эритромицину. По остальным антибиотикам нельзя сделать никакого вывода, поскольку до сих пор отсутствует установленная предельно допустимая концентрация.

Проведенный литературный поиск по международным и российским научным базам данных по проблеме антибиотического загрязнения сточных вод показал, что городские очистные сооружения не рассчитаны на удаление антибиотиков из воды. Основная причина этого заключается в том, что классические схемы очистки хозяйственно-бытовых сточных вод не содержат линии воздействия на сточные воды сильных окислителей (перекись водорода, озон), следовательно, необходимо искать и разрабатывать методы очистки сточных вод и модернизировать существующие очистные сооружения.

## Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Ижевского государственного технического университета имени Калашникова в рамках гранта № ДМЮ/20-70-24.

## Список литературы

1. Abramova A. A., Isakov V. G., Grakhova E. V., Nepogodin A. M. Methods for detection of antibiotics in urban wastewater // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. 862. 062059.
2. Abramova A. A., Grakhova E. V., Isakov V. G. Migration of antibiotics in natural aquatic environment // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. 962(4). 042076.
3. Abramova, A.A., Isakov, V.G., Nepogodin, A.M., Grakhova, E.V., Dyagelev, M.Y. Classification of antibiotics contained in urban wastewater // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. 548(5). 052078.
4. Данилов-Данильян В.И. Новые методы оценки биологической активности ксенобиотиков в водных объектах // Методы анализа и контроля качества воды. 2012. С. 5.
5. Чиганова М.А. Лекарства – новая угроза для окружающей среды в XXI в. // Водные ресурсы, экология и гидрологическая безопасность. 2011. С. 152-155.
6. Santos L. Ecotoxicological aspects related to the presence of pharmaceuticals in the aquatic environment // Journal of Hazardous Materials. 175, 2010. P. 45–95.
7. Rodriguez-Mozaz S., Chamorro S., Marti E., Huerta B., Gros M., Borrego C.M., Barcelo D. Occurrence of antibiotics and antibiotic resistance genes in hospital and urban wastewaters and their impact on the receiving river // Water Res., 2015, Vol. 69, pp. 234-242.
8. Баренбойм Г.М., Чиганова М.А. Загрязнение поверхностных и сточных вод лекарственными препаратами // Вода: химия и экология, 2012, № 10 (52). С. 40-46.
9. Benner J., Helbling D.E., Kohler H.-P.E. et al. Is biological treatment a viable alternative for micropollutant removal in drinking water treatment processes // Water Research. 2013. 47. 5955- 5976.
10. Козлова М.А. Лекарственное загрязнение природных и сточных вод: методы очистки и результаты исследования // Экологический вестник Северного Кавказа. 2020. Т.16. № 1. С. 77-80.

## ОБОСНОВАНИЕ ДОПУСТИМОГО УРОВНЯ НАПОЛНЕНИЯ В ТРУБАХ САМОТЕЧНЫХ СЕТЕЙ ВОДООТВЕДЕНИЯ

**О.А. Продоус<sup>1</sup>, Д.И. Шлычков<sup>2\*</sup>, Пархоменко С.В.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> ООО «ИНКО-эксперт», Российская Федерация, 190005, г. Санкт-Петербург, Московский пр., д. 37/1, лит. А, пом. 1-Н;

<sup>2</sup> НИУ МГСУ, г. Москва, Ярославское шоссе, 26.

<sup>3</sup> АО «Мосводоканал», г. Москва, Плетешковский переулок, д.2

\*Автор ответственный за переписку: SHlyichkovDI@gic.mgsu.ru

**Аннотация.** Цель: Сравнить значения гидравлических характеристик бетонных труб диаметром 400 мм со значениями для труб того же диаметра с разной толщиной слоя отложений в лотковой

части труб. Методы: Используются расчетные зависимости, выведенные авторами для гидравлического расчета самотечных труб с внутренними отложениями. Результаты: Подтверждено существование зависимости фактической степени наполнения труб от толщины слоя отложений в их лотковой части. Приведено сравнение значений гидравлического уклона для новых бетонных труб и труб с разной толщиной слоя отложений в их лотковой части. Рассмотрен конкретный пример, подтверждающий существование зависимости степени наполнения труб от толщины слоя отложений в их лотковой части. Указаны мероприятия, повышающие уровень эксплуатации сетей водоотведения из разных видов материалов. Практическая значимость: Показано, что необходимость проведения гидродинамической очистки сетей водоотведения зависит от фактического уровня их наполнения.

**Ключевые слова:** сети водоотведения, наполнение труб, гидравлический расчет, толщина слоя отложений.

## Введение

Требованиями СП 32.13330.2012 нормируется уровень наполнения самотечных сетей водоотведения. Это обеспечивает перемещение потока сточной жидкости с минимальными (незаиляющими) скоростями (табл. 1). [1,2]

**Таблица 1.** Скорости движения, в зависимости от наполнения труб  $\frac{H}{d_{вн}}$

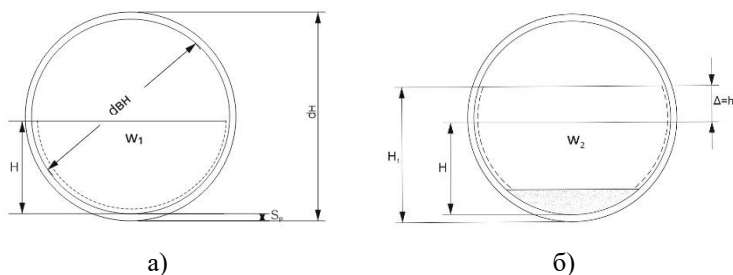
Внутренний диаметр труб, $d_{вн}$ , мм	Скорость движения $V_{min}$ , м/с при наполнении $\frac{H}{d_{вн}}$			
	0,6	0,7	0,75	0,8
150 – 250	0,7	----	----	----
300 – 400	----	0,8	----	----
450 – 500	----	----	0,9	----
600 – 800	----	----	1,0	----

Из таблицы 1 следует, что с увеличением значения внутреннего диаметра труб  $d_{вн}$  увеличивается значение высоты уровня наполнения  $H$ , характеризуемое отношением  $\frac{H}{d_{вн}}$  (рис. 1а) – степенью наполнения, регламентированной СП 32.13330.2012.

## Материалы и методы

Над потоком сточной жидкости правилами эксплуатации самотечных сетей водоотведения и действующими нормативами всегда предусматривается свободное пространство между сводом трубы и поверхностью потока, обеспечивающее вентилирование сети и перемещаемой сточной жидкости для удаления образующихся газов, выделяемых из потока [3]. Следовательно, чем больше значение наполнения в трубах  $H_1$ , тем больше значение толщины слоя отложений  $h$ . [4]

Механизм образования слоя отложений в лотковой части труб зависит от состава сточных вод и режима движения потока сточной жидкости [5,6]. Слой отложений в лотковой части труб изменяет площадь самотечного потока периметра трубы, как показано на рисунке 1а, б. [7]



**Рисунок 1.** Площадь смоченного периметра в трубе без слоя отложений (а), тоже, в трубе со слоем отложений  $h$  (б)

Обозначения:

$H$  – наполнение в трубе без слоя отложений;

$H_1$  – наполнение в трубе со слоем отложений  $h$ ;

$\omega_1$  – площадь смоченного периметра трубы без слоя отложений,  $\text{м}^2$ ;

$$\omega_1 = \frac{\pi \cdot d_{\text{вн}}^2}{4}$$

$d_{\text{вн}}$  – внутренний диаметр трубы, м;

$$d_{\text{вн}} = d_{\text{н}} - 2S_{\text{р}}$$

$S_{\text{р}}$  – толщина стенки трубы по ГОСТ для конкретного вида материала труб, м;

$\omega_2$  – площадь смоченного периметра трубы со слоем отложений  $h$ ,  $\text{м}^2$ .

Определяется по формуле [2]:

$$\omega_2 = \frac{\pi \cdot (d_{\text{пр}})^2}{4}$$

Где  $d_{\text{пр}}$  – приведенный диаметр труб, м, определяемый по формуле:

$$d_{\text{пр}} = \sqrt{d_{\text{вн}}^2 - (d_{\text{вн}} - h)^2}$$

$h$  – толщина слоя отложений, м.

Образование слоя отложений  $h$  в лотковой части труб возможно лишь при условии, когда  $V_{\phi} < V_{\text{min}}$ , регламентированной требованиями СП 32.13330.2012. [8,9,10] Поэтому при нарушении этого условия образуется слой осадка  $h$  в лотковой части труб (рис. 1б). Кроме этого, также увеличивается наполнение  $H_1$  в трубе со слоем отложений  $h$ . [11] При этом, прирост  $\Delta$  (увеличение) фактического наполнения  $H_1$  в сети с отложениями равен наполнению в новой трубе без отложений плюс толщина слоя отложений  $h$  (рис. 1б)

$$H_1 = H + h, \text{ м}$$

Например, для сети водоотведения диаметром  $d_{вн} = 400$  мм с толщиной слоя осадка в лотковой части труб  $h=50$  мм, фактическое наполнение  $H_1$  составит:

$$\frac{H_1}{d_{вн}} = 0,7, H = 400 \cdot 0,7 = 280 \text{ мм, тогда значение } H_1 \text{ по формуле (5)}$$

составит:

$$H_1 = 280 + 50 = 330 \text{ мм.}$$

Фактическое наполнение  $H_1$  будет характеризоваться уже другим значением степени наполнения в трубе диаметром 400 мм, равным [12,13]:

$$\frac{H_1}{d_{вн}} = \frac{330}{400} = 0,83.$$

То есть степень наполнения в трубах со слоем отложений  $h=50$  мм, в сравнении с трубами без слоя отложений увеличилась [14,15]:

$$0,83 > 0,7 \text{ на } 18,58 \% \text{ или в } 1,19 \text{ раза.}$$

В связи с этим возникает необходимость – установить предельное значение толщины слоя отложений  $h$ , в зависимости от значения внутреннего диаметра сети. Другими словами – обосновать допустимое значение толщины слоя  $h$  с гидравлической точки зрения. [16]

Авторами данной статьи предложена для использования при гидравлическом расчете самотечных сетей водоотведения уточненная формула А. Шези, имеющая вид [17,18,19]:

$$i = \frac{4 \cdot V^2}{C^2 \cdot d_{пр}^5}, \text{ м/м, (6)}$$

где:

$V$  – средняя скорость потока, м/с;

$C$  – безразмерный коэффициент А. Шези, определяемый по уточненной акад. Н.Н. Павловским формуле:

$$C = \frac{R^{0,167}}{n} \text{ (7)}$$

$R$  – гидравлический радиус, м,  $R = \frac{d_{вн}}{4}$ , м;

$n$  – коэффициент значения которого для практических расчетов принимают равным  $n=0,013$ ;

$d_{пр}$  – приведенный внутренний диаметр труб, определяемый по формуле [4]:

$$d_{пр} = \sqrt{d_{вн}^2 - (d_{вн} - h)^2}, \text{ м.}$$

Значение  $d_{пр}$  – приведенного диаметра учитывает толщину слоя отложений  $h$ , который характеризует оставшееся пространство между сводом трубы над поверхностью слоя осадка в лотковой части, то есть фактическую величину смоченных потоком периметра трубы.



Следовательно, влияет при расчете по формуле (5) на значение гидравлического уклона  $i$ . [20,21]

Экспертно установлено, что значение величины фактического наполнения в трубах  $H_1$  самотечных сетей водоотведения не должно превышать 10% от значения величины  $H$  (рис. 1 а, б). Покажем это на конкретном примере. [22]

Условия задачи

По трубопроводу из бетонных труб диаметром 400 мм перемещается самотечный расход сточной жидкости  $q=0,15$  м<sup>3</sup>/с (150 л/с). Определить величину фактического наполнения в лотковой части, если нормативная степень наполнения в трубах увеличивается на 10 %. Рассчитать и сравнить значения  $i_n$  и  $i_\phi$ .

Решение

Согласно условиям задачи, определяют величину нормативного наполнения в трубах  $H_n = 0,7 \cdot d_{вн} = 0,7 \cdot 0,4 = 0,280$  м.

Рассчитывают значение  $H_\phi$ , согласно экспертно-установленному пределу в 10 % от значения величины  $H_n$ :

$$H_\phi = H_n + 10 \% = 0,280 + 0,028 = 0,308 \text{ м.}$$

По второму способу расчета  $H_\phi = 0,4 \cdot 0,77 = 0,308$  м. Значения совпадают.

По заданному расходу  $q$  определяют значение средней скорости потока по формуле:

$$V = \frac{4 \cdot q}{\pi \cdot d_{вн}^2}, \text{ м/с.}$$

$$V = \frac{4 \cdot 0,15}{3,14 \cdot 0,4^2} = \frac{0,6}{0,5124} = 1,18, \text{ м/с.}$$

Согласно условиям задачи рассчитывают значение  $d_{вн}$  для новых бетонных труб (ГОСТ 20054-2016):

$$d_{вн} = d_n + 2 Sp = 0,511 - 2 \cdot 0,055 = 0,510 - 0,11 = 0,400 \text{ м.}$$

По формуле (5) вычисляют значение гидравлического уклона  $i_n$  в новой бетонной трубе диаметром 400 мм:

$$i_n = \frac{4 \cdot 1,18^2}{C^2 \cdot 0,4}$$

где:  $C$  – коэффициент А. Шези, определяемый по формуле (6):

$$C = \frac{0,1^{0,167}}{0,013} = \frac{0,681}{0,013} = 52,38$$

$$i_n = \frac{4 \cdot 1,18^2}{52,38^2 \cdot 0,4} = 0,00507$$

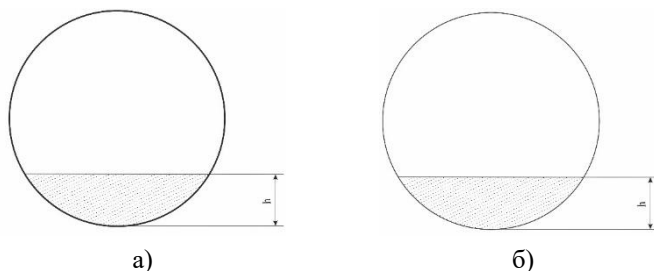
Вычисляют значение фактической толщины слоя отложений  $h$ , соответствующее значению  $H_\phi = 0,308$  м.

Из формулы  $\frac{H_{\phi}}{d_{\text{вн}}} = 0,77$  вычисляют значение  $d_{\text{вн}}$ :

$$d_{\text{вн}} = \frac{H_{\phi}}{0,77} = \frac{0,308}{0,7} = 0,440$$

То есть экспертно-установленные условия по степени фактического наполнения в трубах, не превышающие 10 % от нормативного значения  $\frac{H}{d_{\text{вн}}} = 0,7$ , не допускают изменения значений внутреннего диаметра труб  $d_{\text{вн}}$  за счет образования слоя отложений в их лотковой части. [23,24,25]

Однако в практике эксплуатации самотечных сетей водоотведения наличие отложений в лотковой части труб встречается достаточно часто, рис. 2 (а, б).



**Рисунок 2.** Отложения в лотковой части труб из разных материалов: а) – бетонные трубы, б) – трубы из стеклопластика

Покажем изменение фактического уровня наполнения  $H_{\phi}$  в самотечном трубопроводе, в зависимости от толщины слоя отложений  $h$  в его лотковой части. [26]

В таблице 2 для условий задачи приведены значения фактического уровня наполнения труб  $H_{\phi}$ , в зависимости от толщины слоя  $h$  в их лотковой части.

**Таблица 2.** Характеристики бетонных труб диаметром 400 мм

Фактический уровень наполнения труб $H_{\phi}$ , м	Толщина слоя отложений, $h$ , м				
	0,05	0,07	0,10	0,12	0,15
	0,330	0,350	0,380	0,400	0,430
Степень наполнения труб, $\frac{H_{\phi}}{d_{\text{вн}}}$	0,83	0,88	0,95	1,0	1,08

По данным табл. 2 на рис. 3 построен график зависимости  $H_{\phi}=f(h)$

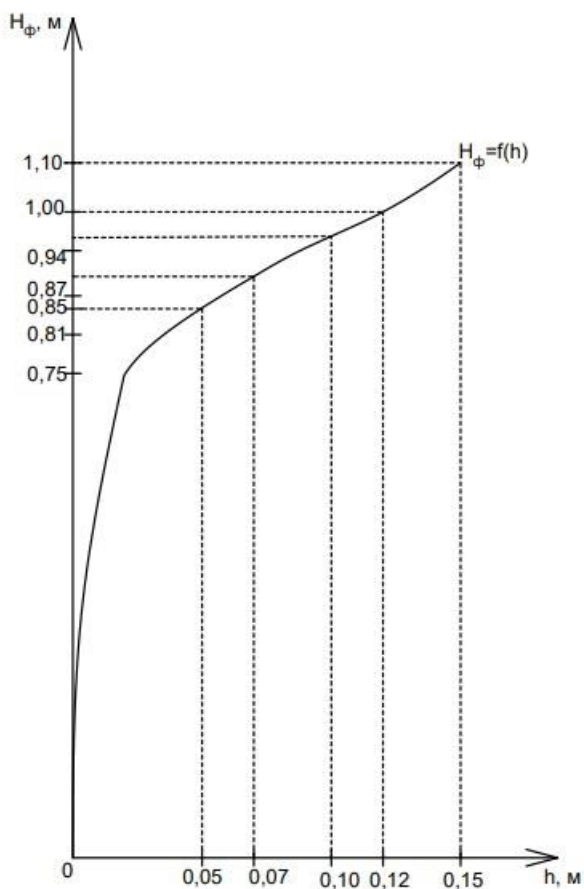


Рисунок. 3 График зависимости  $H_\phi=f(h)$

### Результаты

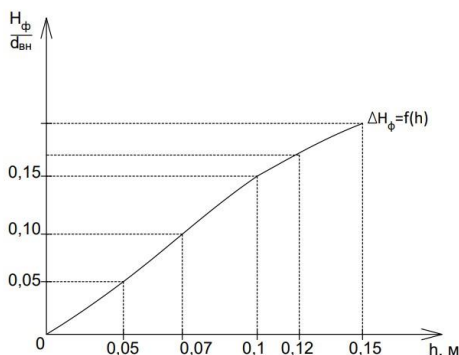
Анализ значений характеристик, приведенных в таблице 2, показывает, что установленная для труб диаметром 400 мм степень наполнения  $\frac{H_n}{d_{\text{вн}}} = 0,7$  при любой (в табл. 2) толщине слоя  $h$  превышает нормативное значение уже при допуске превышения в 10 %. Кроме того, при  $h=0,12$  м (120 мм) и более сеть уже работает с полным сечением.

Это обстоятельство нарушает действующие правила эксплуатации самотечных сетей водоотведения и требования СП 32.13330.2012, относительно рекомендуемой степени наполнения труб (табл. 1), обеспечивающей незаиливающие скорости потока сточной жидкости  $V_{\text{min}}$ .

В таблице 3 приведены для анализа значения  $i_n$  и  $i_\phi$ , подсчитанные по формуле (7), а на рис. 4 построен график зависимости  $\frac{H_\phi}{d_{вн}} = f(h)$ .

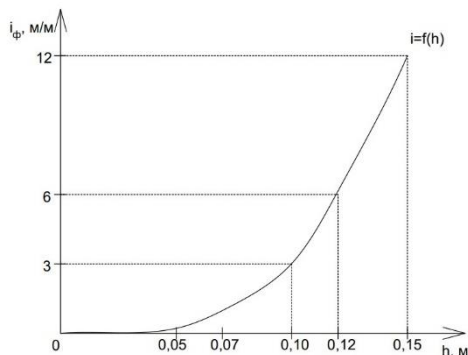
**Таблица 3.** Гидравлические характеристики бетонных труб диаметром 400 мм

Приведенный диаметр, $d_{пр}$ , м	Толщина слоя отложений, $h$ , м					
	0	0,05	0,07	0,10	0,12	0,15
Фактическая скорость, $V_\phi$ , м/с	1,18	4,50	6,31	10,49	14,71	24,69
Коэффициент А. Шези	66,01	59,08	57,44	55,06	53,53	51,26
Фактический гидравлический уклон, $i_\phi$ , м/м	0,0032	0,1127	0,2774	0,8443	2,6497	10,5453



**Рисунок 4.** График степени наполнения  $\frac{H_\phi}{d_{вн}}$  от толщины слоя отложений  $h$

На рис. 5 по данным табл. 3 построен график зависимостей  $i_\phi = f(h)$ .



**Рисунок 5.** График зависимости  $i_\phi = f(h)$  для бетонных труб диаметром 400 мм с разной толщиной слоя отложений  $h$

График зависимости  $i_{\phi}=f(h)$  на рис. 5 подтверждает, что чем больше толщина слоя отложений  $h$ , тем больше значение фактического гидравлического уклона  $i_{\phi}$ .

### Заключение

Для выполнения требований СП 32.13330.2012, относительно степени наполнения труб сточной жидкостью труб разных диаметров, перемещаемой с минимальными незаиливающими скоростями  $V_{\min}$  необходимо:

- инструментально контролировать уровень фактического наполнения сетей водоотведения  $H_{\phi}$ ;
- ввести обязательный учет значений уровней  $H_{\phi}$  для предприятий, эксплуатирующих сети водоотведения разного диаметра и из разных видов материалов труб;
- планировать и обосновывать необходимость проведения гидродинамической очистки сетей водоотведения по величине фактического уровня наполнения в трубах  $H_{\phi}$ .

Такой подход существенно повысит уровень эксплуатации сетей водоотведения из различных видов материалов и позволит планировать очередность и затраты на проведение их гидродинамической очистки.

### Список литературы

1. Продоус О.А., Шлычков Д.И. Механизм образования слоя отложений в лотковой части труб самотечных сетей водоотведения // Известия высших учебных заведений. строительство 2021 г. № 6(750) стр. 95-100
2. Продоус О.А., Шлычков Д.И. Сравнительный анализ расчетных зависимостей для гидравлического расчета самотечных сетей водоотведения. // Известия вузов «Инвестиции. Строительство. Недвижимость». 2021. Т. 11, № 3. С. – 462-469. / <https://doi.org/10/21285/2227-2917-2021-3-462-469>
3. Федоров Н.Ф., Волков Л.Е. //Гидравлический расчет канализационных сетей 1968 г..
4. Орлов В. А., Зоткин С. П. Моделирование параметров водно-воздушного режима работы самотечных канализационных сетей в условиях их реконструкции // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2020. №3 (33). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-parametrov-vodno-vozdushnogo-rezhima-raboty-samotecznyh-kanalizatsionnyh-setey-v-usloviyah-ih-rekonstruktsii>
5. Фоминых А.В., Тельминов А.В., Ковшова Н.А. Зависимость коэффициента потерь на трение по длине трубы в гидравлических системах АПК // Вестник Курганской ГСХА. 2018. №3 (27). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/zavisimost-koeffitsienta-poter-na-trenie-po-dline-truby-v-gidravlicheskih-sistemah-apek>
6. Саитов В. Е., Котюков А. Б. Исследования распределения расхода жидкости по высоте загрузки в фильтре для очистки воды с центральной перфорированной трубой // Вестник Ульяновской ГСХА. 2017. №2 (38). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovaniya-raspredeleniya-rashoda-zhidkosti-po-vysote-zagruzki-v-filtre-dlya-ochistki-vody-s-tsentralnoy-perforirovannoy-truboy>
7. Продоус О.А. Методика оценки продолжительности использования металлических трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения. // «Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение». 2021/1 (157). – С. 4-10.

8. Терехов Л. Д., Майны Ш. Б. Исследование изменения теплового режима канализационных сетей в зимний период// «Водоснабжение и санитарная техника» № 12, 2019 г., стр. 42-47 ISSN: 0321-4044 DOI: 10.35776/MNP.2019.12.07

9. Бляшко Я. И. Использование канализационных стоков водоканалов напорно-самотечных водоводов и сбросов ТЭЦ для выработки электрической энергии // Главный энергетик. 2020. № 6. С. 35-44.

10. Продоус О. А., Шлычков Д.И. Прогнозирование возможности продолжения эксплуатации самотечных сетей водоотведения с отложениями в лотковой части труб. // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. Иркутск. 2021. Т11, № 4. – С. 646–653. // <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-4-646-653>

11. Продоус О.А., Шлычков Д.И. Устройство для измерения толщины отложений в трубе. Патент на полезную модель № 207822 // Дата государственной регистрации в Госреестре полезных моделей РФ 18.11.2021 г. Срок действия до 23 июля 2031 г.

12. Продоус О.А., Шлычков Д.И. Уточненная формула А. Шези для гидравлического расчета самотечных сетей водоотведения с отложениями в лотковой части труб. // Сборник докладов участников интеллектуального марафона в области водоснабжения и водоотведения среди молодых ученых, аспирантов и студентов (г. Москва, 9 сентября 2021 г.) // Министерство науки и высшего образования Российской Федерации. Москва: Издательство МИСИ-МГСУ. – 2021. – С. 56-60. // Режим доступа: <http://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkr-dostupa/>

13. Воинцева И.И., Нижник Т.Ю., Стрикаленко Т.В., Баранова А.И. Антикоррозионные свойства обеззараживающих реагентов на основе полигексаметиленгуанидина гидрохлорида //Вода: химия и экология. 2018. № 10-12 (117). С. 99-108

14. Продоус О.А., Шлычков Д.И., Абросимова И.А. Обоснование необходимости проведения гидродинамической очистки самотечных сетей водоотведения// Вестник МГСУ 2022 №1 (17) стр. 106-114

15. Твардовская Е.А.,Терехов Л. Д. Определение оптимальной степени обледенения трубопровода, обеспечивающей увеличение пропускной способности// «Транспорт: проблемы, идеи, перспективы» сборник трудов LXXXI Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. 2021 стр. 353-357

16. Carsten UlrichSchwermera,WolfgangUhlabc Calculating expected effects of treatment effectivity and river flow rates on the contribution of WWTP effluent to the ARG load of a receiving river// Journal of Environmental Management. 2021 № 288 P. 2-14

17. Орлов В.А Энергосбережение как результат реконструкции водопроводных сетей бестраншейными методами. //В сборнике: Актуальные проблемы строительной отрасли и образования. Сборник докладов Первой Национальной конференции. 2020. С. 866-870.

18. Чупин Р.В. Оптимизация развивающихся систем водоотведения. Монография. Иркутск: издательство ИрГТУ. 2015. – 418 с.

19. Абросимова И.А. Экономическое влияние от автоматизации анализа системы наилучших доступных технологий строительного комплекса на территории российской федерации// Вестник московского государственного областного университета. серия: экономика. 2020 № 3 стр. 25-32.

20. Shlychov D. Energy-saving as an integral part of technical and economic efficiency//Opcion. 2019. T. 35. № SpecialEdition24. С. 1626-1636.

21. Ручкинова О.И., Дьяков П.П., Россихин В.Ю. ОЦЕНКА ЕСТЕСТВЕННОЙ ТЯГИ В КОЛЛЕКТОРЕ ВОДООТВОДЯЩЕЙ СЕТИ // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. 2020. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-estestvennoy-tyagi-v-kollektore-vodootvodyaschey-seti>

22. Иваненко И.И., Сеничева К.С. Изучение режима поступления городских сточных вод малых населенных пунктов в сухую погоду // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. Вып. 2. С. 225–236. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.2.225-236

23. Шевелев Ф.А., Шевелев А.Ф. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб. Справочное пособие. // Издательский Дом "Бастет". М., 2014. - 382 с.

24. Воинцева И.И., Новиков М.Г., Продоус О.А. Продление периода эксплуатации трубопроводов систем водоснабжения из стальных и чугунных труб. // НТ журнал "Инженерные системы "АВОК - Северо-Запад", № 1, 2019. - С. 44-47.

25. Князев Д.К. Техническое перевооружение предприятия как инструмент управления эколого-гигиеническими рисками промышленного города // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. Вып. 12 (111). С. 1399–1407.

26. Klyuev, S.V., Shlychkov, D.I., Muravyov, K.A., Ksenofontova, T.K. Optimal design of building structures // International Journal of Advanced Science and Technology, 2020, 29(5), стр. 2577–2583

## МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ИЛОВЫХ ОСАДКОВ

**А.А. Векшин\***

Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова  
\*Автор ответственный за переписку: [tony.vekshin@mail.ru](mailto:tony.vekshin@mail.ru)

**Аннотация.** В данной работе рассматриваются принцип переработки илового осадка на заводах по сжиганию в странах с неразвитой канализационной системой и извлечения из этого ценных ресурсов в виде электроэнергии и удобрений для дальнейшего использования в сельском хозяйстве. Также приводится сравнение уже существующего метода сушки кека и последующего его сжигания, который используется в России.

### Введение

Подземные канализационные системы – одна из главных причин загрязнения почвы и водоемов во всем мире. Под нашими ногами непрерывно струятся тонны нечистот. Задумываемся ли мы о том, что попадает в трубы? Осадок, выпавший в первичных отстойниках, активный ил или биопленка, образовавшаяся в сооружениях биологической очистки: все эти отходы, занимают очень огромную площадь, а это неэффективное использование земельных участков [1]. А также при некачественной стабилизации кека (иногда при отсутствии этого этапа) всегда появляется запах, что мешает жизнедеятельности человека и загрязняет природу [8].

В качестве одного из методов обработки иловых осадков, в мае 2015 года на площадке Niayes в Дакаре началась эксплуатация пилотной версии (см. рис. 1) процессора, которая за год переработала около 700 тонн

фекального ила и продолжает работать почти ежедневно. Janicki Omni от Sedron Technologies (J-OP) – это децентрализованная система очистки отходов, которая убивает патогены, извлекая ценные ресурсы из фекального осадка, биосолидов и других потоков отходов. J-OP стремится сделать ответственную обработку отходов экономически привлекательной, а не обременительной для общества [9]. Это достигается за счет сжигания потока отходов для выработки электроэнергии, чистой воды, тепла и зольного продукта (который занимает в 10 раз меньше места и не пахнет), пригодного для использования в качестве удобрения к почве или добавки к строительным материалам [10]. Но так ли безвредно сжигать осадки без должной очистки? В России такой методикой больше всего пользуется Водоканал в Санкт-Петербурге, причем уже более двадцати лет.

Целью данной статьи является оценка возможности введения в постоянную эксплуатацию завода по сжиганию отходов в России, учитывая все преимущества и недостатки данных станций.

### **Материалы и методы**

Процессор Janicki Omni Processor (J-OP) (см рис. 2) – это трехступенчатый завод по сжиганию осадка (ЗСО), который путем сжигания илового осадка, образует электроэнергию и воду, с последующей доочисткой до стандартов ВОЗ и ЕРА на питьевую воду.

**Сжигание твердого топлива [3].** Фекальный осадок, биотвердые вещества или другие потоки влажных отходов поступают в сушилку, где влага испаряется, до состояния поддержания термодинамического процесса. Высушенные твердые отходы теперь являются топливом, которое сжигается в камере сгорания, превращая твердые частицы в сухую летучую золу. Выхлопные газы от контролируемого пожара конденсируются и фильтруются в соответствии с местными действующими нормами, прежде чем они попадут в окружающую среду.

**Выработка паровой энергии [3].** Тепло, вырабатываемое в камере сгорания, используется в котле для выработки высокотемпературного пара высокого давления. Этот пар направляется в паровой детандер (например, паровой двигатель или паровую турбину), который вращает генератор для производства электроэнергии. Эта электроэнергия затем используется для питания всего J-OP, но часто образуется избыточная электроэнергия, которая может быть продана обратно в коммунальную сеть или использована для других процессов на местном уровне. Отработанный пар из расширителя направляется обратно к теплообменным поверхностям сушилки, где он обеспечивает энергию, необходимую для сушки поступающих влажных отходов. При передаче тепла обратно отработанный пар конденсируется обратно в воду и перекачивается обратно в котел, завершая цикл Ренкина.

**Очистка воды [3].** Вода, которая испаряется из влажных отходов, улавливается. Этот пар фильтруется перед тем, как сконденсироваться обратно в воду. При желании эту воду можно затем полностью обработать



до стандартов чистой питьевой воды или использовать для других целей рециркуляции или повторного использования воды. Полезное тепло также может улавливаться из конденсатора для использования в различных целях. На рисунке 2 представлена схема работы установки.



Рисунок 1.Пилотная версия J-OP в Дакаре

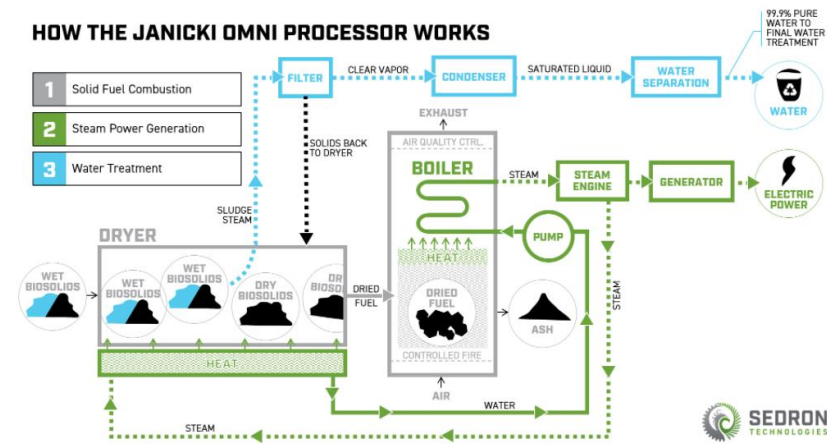
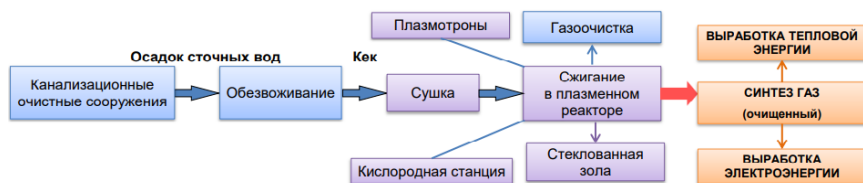


Рисунок 2.Схема работы (J-OP)

Между тем похожий метод сжигания осадка уже свыше двадцати лет использует ГУП «Водоканал», но называется «Плазменной газификацией» [2]. В топку отправляются многочисленные иловые осадки многомиллионного города. По этому поводу в обществе не раз разгорались дискуссии. Экологи говорят, что такой способ переработки сточных вод токсичен для атмосферы, врачи – что именно он спровоцировал всплеск онкологических заболеваний у петербуржцев, т.к. помимо золы, которая составляет лишь 10% продуктов горения, есть еще и дымовые газы,

попадающие в атмосферу после сжигания [6]. На станциях «Водоканала» они проходят три фильтра, после чего вроде бы разлагаются даже самые опасные вещества, такие как диоксины и бензпирен. Но так ли это? За безопасность этой «передовой» методики не рискует поручиться большинство экологов [4].



**Рисунок 3.** Технологическая схема плазменной газификации

## Результаты

По данным ГУП «Водоканала Санкт-Петербурга» [11], среднесуточный объем очищаемых сточных вод в городе составляет 2,2 миллиона кубических метров в сутки. Сжигается весь осадок в печах с кипящим слоем при температуре 870°C: зола занимает в десять раз меньше места и не пахнет.

К преимуществам технологии плазменной газификации для утилизации осадков относится уменьшение количества выброса вредных газов и получение безопасного стеклованного шлака [7].

Ежесуточно печи заводов «Водоканала» сжигают около 400 тонн сухого вещества, 90% которого превращаются в газообразные токсичные вещества [11]. Они выбрасываются в атмосферу Петербурга, и не могут не влиять на здоровье жителей. Воздействие на окружающую среду проекта написано, что степень очистки газов составляет 97,6%. Даже если цифра верна, не уточняется, какие вещества содержатся в оставшихся процентах, которые будут вылетать в трубу, а при заявленных масштабах сжигания речь идет об очень большом объеме.

**Таблица 1.** Сравнение технологий по утилизации осадка сточных вод [5]

№	Параметры	Сжигание	Анаэробное сбраживание	Пиролиз/плазменная газификация
1	Стадии производственного процесса	Обезвоживание Сушка Сжигание	Первич. обезвоживание Анаэробное сбраживание Вторичное обезвоживание Деаммонизация фугата Сушка	Обезвоживание Сушка Пиролиз/сжигание в плазменном реакторе
2	Потребность ЦСА в электроэнергии от внешних источников	93%	70%	100%
3	Обеспечение резервного	Покрывает на 7% потребности в	Покрывает на 30% потребности в	Не обеспечивает

	электроснабжение	электроэнергии (ГНС)	электроэнергии (ГНС и воздухоподувка)	
4	Себестоимость обработки осадка приведенная к 1тСВ, тыс. руб.	8,8	10,6	9,9/11,1

## Заключение

Большинство отечественных и зарубежных ученых сходятся на том, что вопрос с утилизацией и переработкой илового осадка остается открытым. Все современные технологии в разной степени несовершенны. Ученым следовало бы поработать в этом перспективном направлении, а государству – поддержать их. А пока полностью безопасной технологии нет, из всех зол все же хочется выбрать меньшее.

Но возможно традиционному способу обработки осадка – «анаэробное сбраживание», стоит обратить внимание на технологии ЗСО ЦСА в совместительстве со станцией Janicki Omni Processor для более улучшенной очистки воздуха, ведь проблема не рационального использования земель является распространенной в России. И распространить количественно, не только в Санкт-Петербурге, но и других регионах РФ. Но это только на первоначальных этапах, ведь это все может окупиться электроэнергией и возможно зольными продуктами, использующихся для удобрений и строительных материалов.

## Список литературы

1. Амбросова, Г. Т. Очистные сооружения канализации. Обработка, обезвоживание и обеззараживание осадка городских сточных вод : учебное пособие / Г. Т. Амбросова, А. А. Функ, Н. В. Синеева.-Новосибирск : Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), ЭБС АСВ, 2016. — С. 88-91.
2. Обработка и утилизация осадков городских сточных вод: учебник / Э. П. Доскина, А. В. Москвичева, Е. В. Москвичева, А. А. Геращенко. — Москва, Вологда: Инфра-Инженерия, 2019. —С. 87-108.
3. Sedron Technologies // Processor Janicki Omni: [сайт]. — URL: <https://www.sedron.com/janicki-omni-processor/overview/> (дата обращения: 15.02.2022).
4. Новосельцева А. «В Питере-жечь?» [Электронный ресурс] / ROSBALT.RU: ежедн. интернет-изд. 2019. 31 июля. URL: <https://www.rosbalt.ru/piter/2019/07/31/1794997.html> / (дата обращения: 16.02.2022).
5. Обработка осадков городских сточных вод: учебное пособие / Л. Р. Хисамеева, А. С. Селюгин, Р. Н. Абитов [и др.]. – М.: Ай Пи Ар Медиа, 2022. – 14-17, 86-97 с.
6. Гумен С.Г., Малышев А.В., Медведев Г.П., Заен И.Х. Обезвоживание осадков городских сточных вод на центрифугах // Водоснабжение и санитарная техника. 2001. № 4. С. 24–27.
7. Медведев Г.П. Этапы развития технологии обработки осадков сточных вод в Санкт-Петербурге // Водоснабжение и санитарная техника. 2003. No 4. С. 10–12.

8. Аграноник Р.Я. Проблемы обработки и утилизации осадков сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника. – 1995. – No1. – С.2-3.

9. Agerbaek M.L., Keiding K. Using streaming Potential in Determination of Optimal Conditioning of Wastewater sludge. Optimal Dosing of Coagulants and Flocculants. IWSA-IAWQ Workshop. – Germany, 1994. – P.53-64.

10. Гольдфарб Л.Л., Уровский И.С., Беляева С.Д. Опыт утилизации осадков городских сточных вод в качестве удобрения. – М.: Стройиздат, 1983. –58 с.

11. Навигатор по государственным сайтам Санкт-Петербурга // ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» / Цифры и факты [сайт]. – URL: [http://www.vodokanal.spb.ru/o\\_kompanii/cifry\\_i\\_fakty/](http://www.vodokanal.spb.ru/o_kompanii/cifry_i_fakty/) (Дата обращения: 16.02.2022).

## АНАММОКС С ДЕФОСФАТАЦИЕЙ СТОЧНЫХ ВОД

А.А. Ерхов<sup>1\*</sup>

МГРИ, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 23

\* Автор ответственный за переписку: a-erhov@yandex.ru

**Аннотация.** Удаление фосфора из сточных вод направлено, прежде всего, на снижение эвтрофикации водных объектов, однако большинство технологий разработаны для крупных очистных сооружений (ОС) и рентабельны только для больших объёмов, а для ОС малой производительности необходима другая технология – анаммокс.

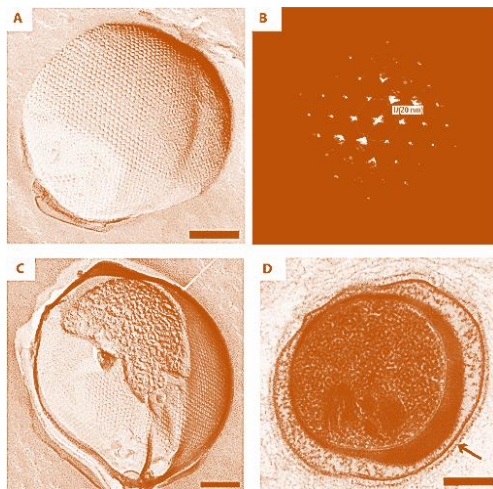
### Введение

Анаэробное окисление аммония – *анаммокс* – микробный процесс, широко распространённый в природе, но открытый лишь в 1999 г., – бактерии анаммокса принадлежат пяти родам: *Kuenenia stuttgartiensis* (рисунок 1), *Brocadia: B. anammoxidans*, *B. fulgida* и *B. sinica*, *Anammoxoglobus propionicus*, *Jettenia asiatica* и *Scalindua: S. brodae*, *S. sorokinii*, *S. wagneri*, *S. profunda*. Аммоний в реакции с оксидом азота (IV) бактериями превращается в газообразный азот согласно уравнению:  $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_2^- \rightarrow \text{N}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ ; процесс прямой (рисунок 2) идёт при температуре 20-43°C и pH 8,0 в анаэробных условиях ( $\text{O}_2 < 3,2 \cdot 10^{-2}$  мг/л) с выделением 357 кДж/моль энергии [1, 2].

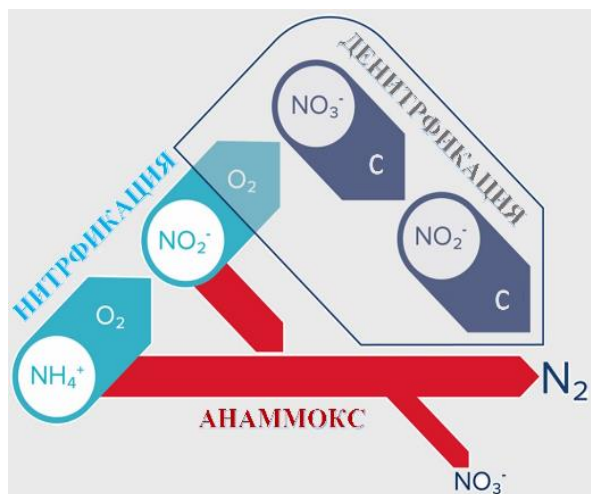
### Материалы и методы

Фосфор в сточной воде присутствует в разных состояниях: взвешенном, коллоидном и растворённом, в минеральной и органической форме: 50-70 % ортофосфаты  $\text{PO}_4$ , 15% – нерастворимый на взвешенных частицах в виде труднорастворимых фосфатов и белков. Физико-химические методы извлечения фосфора надёжны, однако изменяют pH, требуют реагентов, осаждения, сорбции или ионного обмена; химические методы также требуют химреактивов: соли (например, трёхвалентных металлов,  $\text{FeCl}_3$ ) образуют осадок, удаляемый также отстаиванием или фильтрованием, однако выделение из него химически связанного фосфора

затруднено и малоэффективно, – на этом фоне преимущества биологической очистки – очевидны.



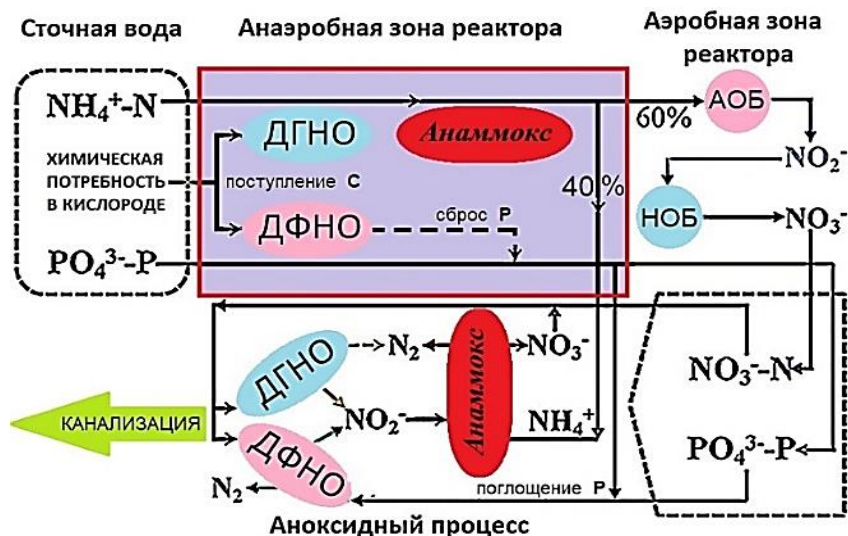
**Рисунок 1.** *Kuenenia stuttgartiensis*.



**Рисунок 2.** Нитрификация, денитрификация, анаммокс

При этом для повышения энергоэффективности метода азот и фосфор в соединениях можно удалять одновременно, для этого используют последовательный реактор периодического действия с гранулированным активным илом (рисунок 3); результат >94 %. Фосфор осаждается путём денитрифицирующей дефосфатации, при котором нитрат является акцептором электронов, что экономит субстрат на  $^{12}\text{C}$  (вообще для накопления фосфора необходим дополнительный источник углерода) и

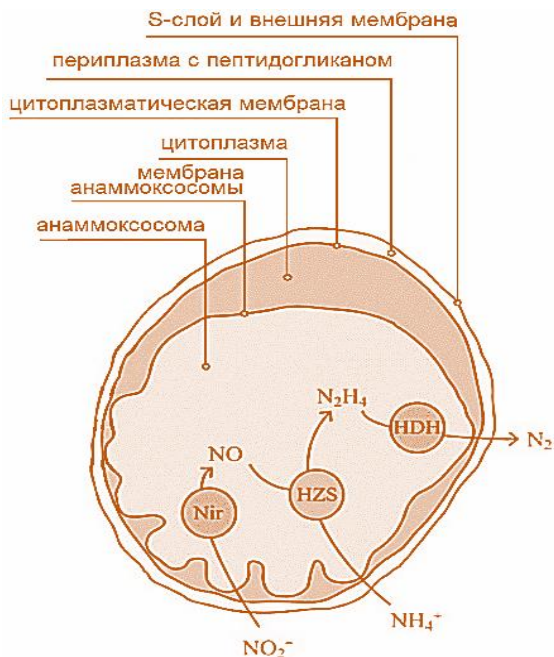
потребность в  $O_2$ , – также адсорбция и осаждение фосфора смещает источник энергии на метаболические процессы бактерий, накапливающих гликоген для производства нитритов, снижая конкуренцию между ними – они сосуществуют вместе, проводя одновременно эндогенную денитрификацию, анаммокс (рисунок 4) и денитрифицирующую дефосфатацию. И важное преимущество биологической очистки – фосфор оседает в активном иле, а это осаждение можно контролировать: скорость удаления пропорциональна концентрации.



**Рисунок 3.** Схема окисления и аккумуляции в реакторе (ДГНО – денитрифицирующие гликоген-накапливающие организмы; ДФНО – денитрифицирующие фосфор-накапливающие организмы; АОБ – аммоний окисляющие бактерии; НОБ – нитрит окисляющие бактерии)

Биологическое удаление фосфора с активным илом экономически эффективный и устойчивый на выходе метод, но требующий высокой квалификации персонала, поскольку процесс сопровождается сильными колебаниями сброса и субстрата, то есть сложен в управлении технологическим процессом, и это означает невозможность использования в децентрализованных системах водоотведения, где питательные нагрузки меньше и изменчивей, – впрочем, эти проблемы в перспективе решаемы. Понимание биохимических механизмов поглощения P фосфор-накапливающими организмами и факторов метаболизма: потребность в углеводе, гликогене и акцепторах электронов важно, потому что коррелирует с показателями роста, – биологическое удаление фосфора происходит за счёт его накопления микроорганизмами сверх необходимого для метаболического процесса в виде полифосфата, и сохраняется как энергозапас для поддержания конкурентного преимущества над

гетеротрофами. Рост фосфор-накапливающих организмов контролируют оптимизацией рабочих параметров – чередованием анаэробной и аэробной фаз: в анаэробной бактерии превращают летучие жирные кислоты с поглощением энергии, восполняемой из АТФ, разложение полифосфата даёт ортофосфат; в аэробной фазе идёт поглощение фосфора с синтезом гликогена. Удаление фосфора в реально действующих больших сооружениях достигает 90 %.



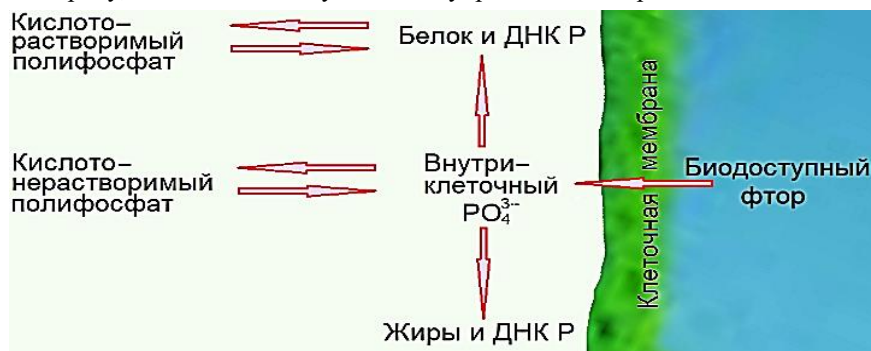
**Рисунок 4.** Механизм клеточного окисления аммиака

Метод, помимо совместно удаляемых  $\text{NH}_3^+$ , P и ХПК, имеет и такое преимущество как отсутствие необходимости в отстойника, что означает снижение объёма одновременно обрабатываемых вод с уменьшением площади сооружений и высвобождением обычно ценных для города земель: поскольку закрепление на носителе загрузочного устройства гранул ила для роста биоплёнки и размножения микроорганизмов осуществляется тремя способами: фиксированным, подвижным или подвешенным, и при всех идёт удержание биомассы в реакторе на уровне на 50 % большем, чем при использовании обычного активного ила, то нет необходимости его осаждения; отсюда экономия за счёт аккумуляции веществ в одной реакторной ёмкости.

Конструктивные особенности и рабочие параметры технологических процессов мембранных биореакторов (MBR) определяют для оптимизации процесса и, хотя такие разработки обладают потенциалом, их надёжность и устойчивость требует апробации, по крайней мере, начиная с лабораторных



установок, – помимо этого, требуют оценки капитальные, эксплуатационные и экологические издержки. Мембранные аэрируемые биореакторы (МАВР) – модификация, в которой в биоплёнке идёт газообмен, то есть доставка окислителя с донором или акцептором электронов идёт через гидрофобную мембрану, что ещё больше усложняет управление техпроцессом.



**Рисунок 5.** Схема превращения фтора в клетке водорослей.

Бактерии – не единственная форма микроорганизмов, рассматриваемая как биологический фактор и субстанция очистки, – микроводоросли ещё один кандидат на превращение веществ, поскольку важным составляющим их питательной среды является фосфор, поглощаемый в виде ортофосфата (рисунок 5), и в виде микрочастиц полифосфата резервируемого для собственной жизнедеятельности на случай дефицита в среде, – когда  $PO_4$  в неорганической форме отсутствует в среде, идёт поглощение органических форм Р, предварительно превращённого на мембране посредством фосфатазы во всё тот же  $PO_4$ . Теория метаболизма фосфора водорослями началась с биопрудов, и поскольку, процесс определяется, прежде всего, температурой, в них удаляется всего 15–30 % фосфорных загрязнений, однако в условиях благоприятных для цветения *Scenedesmus sp.* и *Chlorella sp.* на синтетической загрузке в виде листов или шариков способны поглотить до 90 % вещества; фотобиореакторы с биопленкой микроводорослей эффективны на 97 %. Системы водорослевых биопленок, как и бактериальные биопленки, идеальны для малых ОС из-за гибкости и способности удерживать биомассу. Фотобиореактор с осмотической мембраной – модернизация мембранного фотобиореактора с целью снижения засорения мембраны – состоит из избирательно проницаемой мембраны, работающей под осмотическим давлением, – очистка в реакторе на уровне: азота до 97, органического углерода до 99, фосфатов до 100 %, при этом – больше фосфора – меньше азота, – одновременное удаление сложнейшая задача. Но в целом микроводоросли обладают высоким уровнем очистки.

Перспективным является совместное применение бактерий и водорослей – эффект системы проявляется в больших показателя от



сложного взаимодействия её элементов – бактерий и водорослей, чем просто сумма отдельных элементов – организмов (рисунок 6).

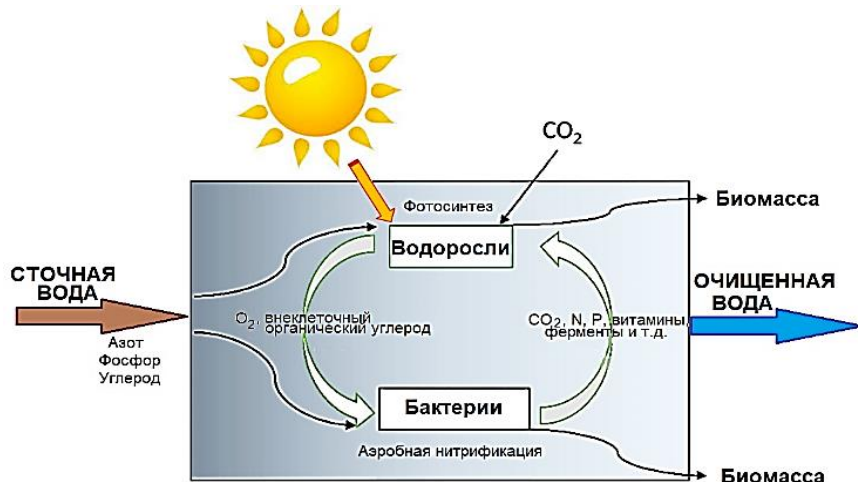


Рисунок 6. Совместное удаление совместными организмами

### Результаты

80-97-процентное одновременное снижение анаммокс-бактериями азота и фосфора происходит за 5 ч, при этом фосфора – в аэробной зоне (рисунок 7 и 8).

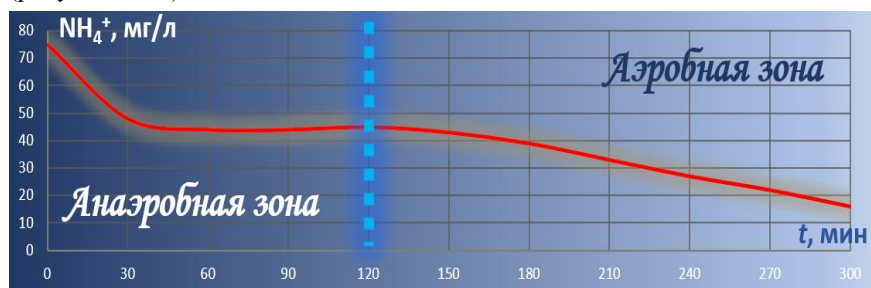


Рисунок 7. Снижение в сточной жидкости азота

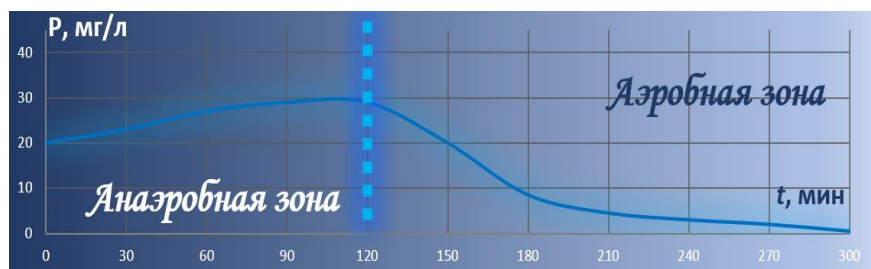


Рисунок 8. Снижение в сточной жидкости фосфора.

На обычных действующих ОС удаление фосфора за счёт осаждения твёрдых частиц и биологического метаболизма достигает 10 и 30 %, соответственно, поэтому и востребованы исследования по разработке новых эффективных методов, не требующих сложнейших операционных процедур, управленческих инициатив и ответственных решений, что означает совершенство конструкции и простоту эксплуатации систем очистки, – однако, длительная апробация с оценкой надёжности удаления фосфора в активных средах на полномасштабных объектах и значительные капитальные затраты на строительство являются сдерживающим фактором повсеместного внедрения систем. В таких обстоятельствах предпочтительней начать всё с автономных систем удаления на абсорбирующих средах, но и здесь необходимы серьёзные исследования с перспективой переноса на сооружения большой производительности.

Обработка осадка в технологии с низким образованием избыточного ила предпочтительна на малых ОС, где и так низки издержки на хранение и транспортировку, тем не менее, необходима оптимизация и на крупных ОС – для выработки энергии (при анаэробном сбраживании), снижения затрат на транспортировку, увеличения производства ила.

### **Заключение**

Одновременное удаление азота и фосфора представляет сложную задачу, особенно для малых ОС, – новые подходы способны её решить путём упрощения технологии, снижения энергозатрат, и сделать, таким образом, эффективным совместное осаждение. Наиболее перспективными являются абсорбирующие среды – гибкие и интегрированные в модульные системы. Совершенствование биоплёночных реакторов для удаления при разной производительности ОС в последующем даст экономический эффект. Развитие теории метаболических путей в конечном счёте приведёт к недорогим надёжным решениям. Простые системы, основанные на биологических принципах очистки, особенно важны для удаления больших концентраций.

Не существует и, может быть, никогда не будет универсальной технологии удаления азота и фосфора; разные подходы могут обеспечить эффективную работу за счёт высокого энергопотребления или интенсивного освещения, высоких температур, работают с определёнными нагрузками или сложны в эксплуатации, тем не менее, совершенствование методов биологической очистки – важнейшее направление развития инженерных систем строительной отрасли.

### **Список литературы**

1. Бурнашова Е.Н., Семенов С.Ю. Влияние физико-химических факторов на ANAMMOX-процесс. Достижения науки и техники АПК. 2016. Т.30, № 5. – С. 78-80.
2. Анюшева М.Г., Калюжный С.В. Анаэробное окисление аммония: микробиологические, биохимические и биотехнологические аспекты. Успехи современной биологии. 2007, том 127, № 1. – С. 34-43.

3. Трухина А.И. Оптимизация Деаэро-процесса и молекулярно-биологические исследования формирующихся консорциумов микроорганизмов: дисс. ... канд. хим. наук: 03.01.06. – М., 2011. – 115 с.
4. Бочкова Е.А. Микробиологическая и молекулярно-биологическая характеристика микробного анаэробно-сообщества лабораторного up-flow реактора: дисс. ... канд. хим. наук: 03.02.03. – М., 2019. – 181 с.
5. Сибиева Л.М. Биотехнологические свойства активного ила в процессах совместной биологической и реагентной очистки сточных вод и его утилизация: дисс. ... канд. хим. наук: 03.01.06. – Казань, 2019. – 153 с.
6. Никитина О.Г. Биоэстетимация: контроль и регулирование процессов биологической очистки и самоочищения воды: автореф. дисс. ... д-ра биол. наук: 03.02.08, 03.02.10. – М., 2012. – С. 44.
7. Королёва Е.А., Ерхов А.А. Механизм синергизма бактерий и водорослей в биопрудах. VIII Международная научная конференция «Молодые – наукам о Земле» 5-7 апреля 2016 г. МГРИ-РГГУ – М. 2016. – С. 336-338.
8. Ерхов А.А., Королёва Е.А. Системный подход в проектировании биопрудов. Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2020, № 1 (145). – 36-47 с.
9. Ерхов А.А., Королёва Е.А. Погружные модули для мембранных биореакторов. Сборник «Новые идеи в науках о Земле»/ Материалы XV Межд.научно-практ.конф. – М.: РГГУ, 2021. – 284-288.
10. Ерхов А.А., Королёва Е.А. Принципы разработки технологического оборудования утилизации осадков сточных вод. Сборник «Новые идеи в науках о Земле»/ Материалы XV Межд.научно-практ.конф. – М.: РГГУ, 2021. – 285-293.

## **ПАТЕНТНЫЙ ПОИСК И АНАЛИТИКА ПРИ РАЗРАБОТКЕ ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ С ОБТЕКАЕМЫМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ И МЕСТНЫМИ НЕРОВНОСТЯМИ**

**В.В. Бегнарский**

Московский университет имени С.Ю. Витте

**Аннотация.** Перспективные задачи по новаторству в области водоснабжения и водоотведения связаны с разработкой эффективных технических устройств. Инженерные расчеты на основе компьютерного моделирования потока жидкости позволяют выполнять необходимую оптимизацию конструкции и внедрять действенные рационализаторские решения. Иногда незаслуженно пренебрегают изучением патентной документации для ускорения процесса разработки. Во многом это связано с методическим отставанием по разъяснению практических аспектов работы с современными открытыми цифровыми патентными базами и сути правоотношений для интеллектуальной собственности.

Один из важнейших вопросов деятельности юриста или патентоведа, вовлеченного в процесс выполняемых исследований и разработок технических устройств, — содействие в патентном поиске и предоставлении аналитических данных [1, 2]. Работа с информационными ресурсами по интеллектуальной собственности при правовом понимании их содержания

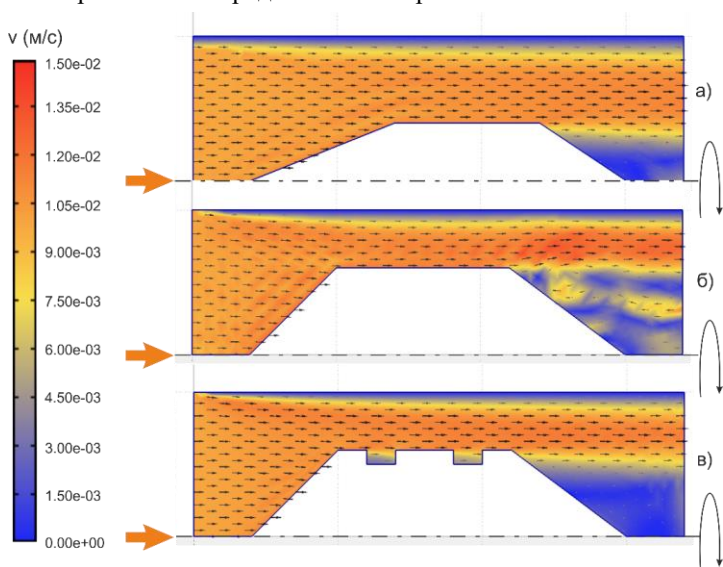
(что представляет собой изобретение или полезная модель, как они приобретают правовую охрану) обеспечивает более широкий взгляд на задачу, решаемую инженерами [3]. Знания о последних практических достижениях в области способствуют выбору лучших путей решения поставленных задач при разработке и воплощении инноваций в создаваемом устройстве. Эффективное использование патентной информации по существующим техническим решениям в области инженерной деятельности недооценено, во многом это связано с недостаточным опытом работы с общедоступными мировыми базами интеллектуальной собственности, существенно изменившимися за последнее десятилетие [4]. Также есть запрос на создание системного подхода по выделению и выбору критериев патентного поиска [5, 6] для устройств на стадии компьютерного моделирования потока через них жидкости. Нужно отметить, что регистрируемые объекты интеллектуальной собственности образуют непротиворечивую юридическую общую базу.

В области водоснабжения и водоотведения при движении жидкости внутри протяженных трубопроводных систем стремятся достичь минимального гидравлического сопротивления. Устанавливаемые в таких системах технические устройства [7, 8] неизбежно приводят к возникновению искажений потока, завихрениям, так как переходные соединительные участки, внутренняя конструкция отличаются от геометрии общей транспортировочной трубы, содержат различные препятствия. Такое изменение потока влияет на требуемый напор в водоснабжении и водоотведении, а также определяет эксплуатационную надежность самого технического устройства.

Современную разработку технических устройств, содержащих обтекаемые поверхности и местные неровности, выполняют с применением компьютерных вычислительных систем. В работе использован программный комплекс Agros 2D — это продукт с открытым исходным кодом, который распространяется на условиях стандартной общественной лицензии GNU и обеспечивает необходимым инструментарием для решения систем нелинейных и нестационарных задач [9, 10, 11], в том числе и в гидравлике. Реализованный в нем интерфейс, аналогичный другим программам для научных исследований и инженерных расчетов, подход к вводу и выводу данных, основанный на структуре с препроцессором, настраиваемым генератором расчетной сетки, решателем или ядром и постпроцессором, — все это обеспечивает учебную и практическую деятельность разного уровня подготовки пользователя. Более широкие возможности обеспечены мультиплатформенностью и языком программирования C++. Также комплекс Agros 2D эффективно подготавливает специалистов к дальнейшему переходу на использование других дорогостоящих коммерческих расчетных программ, а также позволяет получить опыт для решения более сложных трехмерных задач гидродинамики.

В препроцессоре были использованы следующие настройки вычислительной системы: тип координат — осесимметричный; тип сетки — Ttriangle (четырёхугольная); анализ — стационарный, решатель — метод Ньютона, адаптивность — отключена. Параметры сетки: количество улучшений — 2, пространственная адаптивность — отключена.

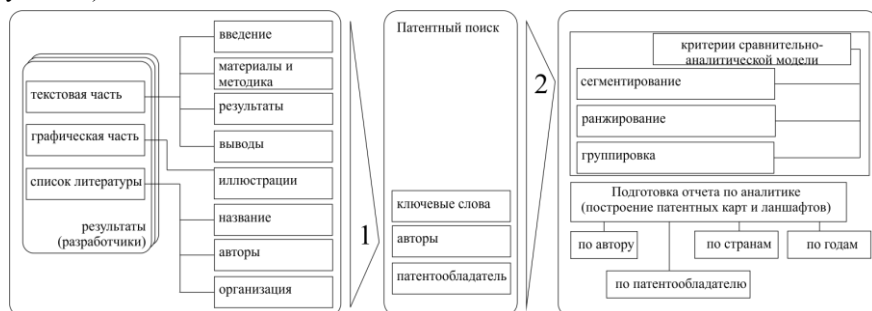
В постпроцессоре программы были применены следующие настройки вывода данных: скалярное поле — переменная скорость, компонента — модуль, палитра — Agros 2D; векторное поле — переменная скорость, тип — стрелка. Результаты поля скоростей потока жидкости для разных вариантов разрабатываемых устройств с обтекаемыми поверхностями и местными неровностями представлены на рис. 1.



**Рисунок 1.** Поле скоростей потока жидкости для разных вариантов разрабатываемых устройств с обтекаемыми поверхностями и местными неровностями

Предварительные результаты рассматриваемой работы были формализованы в виде отчета, в котором представлены текстовый и графический материал, а также список литературы по тематике (см. рис. 2). Графический материал по расчетным данным содержал количественную и качественную оценку потока жидкости. Цветные изображения были представлены со шкалами, характеризующими полученные значения скорости в разных точках потока, которые иллюстрируют преимущества и недостатки анализируемых различных вариантов конструкции. Также рассмотрено влияние формы обтекаемых поверхностей и местных неровностей на поток по выводимой информации в постпроцессоре Agros 2D: давления, завихренность, плотность, вязкость, внутренняя сила. В инженерном отчете была развернуто представлена количественная оценка

на поясняющих графиках. Например, значения скорости потока были получены на основе проведенной геометрической линии по изображению разрабатываемого технического устройства (фиксируемая скорость отражена на его оси ординат, а на оси абсцисс расстояние до измеряемого участка).



**Рисунок 2.** Схематическое изображение методики получения информации и результатов расчета для патентного поиска

Текстовый материал отчета содержал введение, были кратко представлены материал и методика расчета, этапы подготовки моделируемого объекта в препроцессоре Agros 2D, задание граничных условий и настройки расчетной сетки, анализ результатов, полученных в постпроцессоре вычислительной системы и общих для всей разработки технического устройства, а также выводы.

В статье 1354 Гражданского кодекса РФ указано: «Охрана интеллектуальных прав на изобретение или полезную модель предоставляется на основании патента в объеме, определяемом содержащейся в патенте формулой изобретения или соответственно полезной модели» [12]. При получении необходимой информации для патентного поиска из текстовой и графической части отчета выделяли перечень признаков разрабатываемого технического устройства, составляли ключевые слова для запроса в поисковых базах по интеллектуальной собственности [13, 14].

Интерпретация графического и текстового материала из технического отчета, а также изучение тематической патентной документации по выделенным признакам могут вызвать сложности у специалиста, владеющего только юридическими компетенциями [15, 16]. В каждом патенте новые признаки сравнивают с формулой и описанием для найденных аналогов и прототипа. Очень хорошо, если к патентному поиску и аналитике привлечен специалист, обладающий синергией знаний в области инженерии и юриспруденции. Тема о требованиях к квалификации специалиста в области интеллектуальной собственности часто является дискуссионной, так как патентный поиск одновременно связан с решением разных задач правового характера и анализом технического содержания объектов патентного поиска. Вне зависимости от подготовки специалиста

особое внимание уделяют библиографическим ссылкам, используемым в отчете. Поэтому были учтены все цитируемые авторы, в том числе смежных тематик (например, моделирование процессов движения жидкости в трубопроводах), которые применяли в поисковых запросах в базах патентов. Также из найденных публикаций по тематике выделяли упоминаемые организации и выполняли поиск по запросу «правообладатель».

Если инструменты патентного поиска и аналитики постоянно применяются в практике научно-исследовательской и инженерной деятельности, что связано с обработкой большого объема документов, то эффективным будет внедрение вспомогательных программных модулей на основе алгоритмов со сравнительно-аналитической моделью [17].

В результате патентного поиска был сформирован перечень документов и выделены наиболее близкие технические решения. Созданы индивидуальные профили, характеризующие вклад разных авторов в общую тематику — разработку технических устройств с обтекаемыми поверхностями и местными неровностями. В работе также анализировали новизну разрабатываемого технического устройства с построением карт или ландшафтов в общем массиве полученных изобретений и полезных моделей с акцентами: на автора или патентообладателя, по странам и годам, и по количеству документов.

В анализе результатов применены сегментирование, ранжирование и группировка. Таким образом, патентный поиск и аналитика по представленной методике (см. рис. 2) на основе предварительных результатов расчета технических устройств с использованием программы Agros 2D оценены положительно для получения дополнительной информации и ускорения процесса разработки.

### **Заключение**

1. Предложен комплексный анализ существующих технических устройств с обтекаемыми поверхностями и местными неровностями с помощью патентного поиска и аналитики.

2. Установлено, что научные и инженерные расчеты, выполняемые с применением специализированных вычислительных систем в области гидродинамики, при должном оформлении в предварительный отчет могут быть дополнительно продуманы по выявлению последних достижений в этой области с позиций правоотношений для интеллектуальной собственности.

3. Произведена оценка возможности внесения изменений в проект разрабатываемого устройства по результатам патентного поиска для повышения достигаемого технического уровня при внедрении нового решения.

4. Представленный материал может быть использован при планировании аналогичного вида расчетно-аналитических работ. Также учтены рекомендации по использованию вычислительной системы в ускорении процесса разработки технических устройств содержащих

обтекаемые поверхности и местные неровности и применению вспомогательного программного модуля для патентного поиска.

### Список литературы

1. Бузова Н.В., Карелина М.М. Интеллектуальная собственность и информация в условиях технологического развития // Правосудие. 2020. Т. 2. № 2. С. 104-125.
2. Технологии поиска инновационных решений в мостостроении. Патентный поиск // Овчинников И.И., Валиев Ш.Н., Овчинников И.Г. и др. Учебное пособие для студентов и магистрантов направления подготовки 08.04.01 "Строительство" / Чебоксары, 2020, 108 с.
3. Сафронова Н. Формула практической полезности и эффективности патентного поиска // Наука и инновации. 2020. № 4 (206). С. 28-33.
4. Бегнарский В.В. Инженерно-дизайнерское проектирование изделия, и промышленный образец как инструмент защиты интеллектуальной собственности // Качество. Инновации. Образование. 2020. № 6 (170). С. 128-135.
5. Алисова Н.В., Копылов О.А. Сравнительный анализ методов проведения патентного поиска // Инновационные аспекты социально-экономического развития региона, 2015. С. 41-48.
6. Патентный поиск и оценки его качества // Горбунов А.В., Генин Б.Л., Золкин Д.С. и др. Право интеллектуальной собственности. 2020. № 3. С. 19-25.
7. Пономарев А.Н. Фитинговое соединение для металлопластиковых труб // Патент России, RU 180307, , 2018.02.01
8. Xiang Xianyun Water supply pipe filter // Патент Китая CN203954837U, 2014.07.10
9. FEM Based Preliminary Design Optimization in Case of Large Power Transformers // Orosz T., Pánek D., Karban P., Appl. Sci. 2020, 10, 1361.
10. Smolyanov A., Karban P., Optimal design of MHD pump // 2018 ELEKTRO, 2018, pp. 1-4.
11. FEM based robust design optimization with // Karban P., Pánek D., Orosz T., etc. Agros and Ārtap, Computers & Mathematics with Applications, Volume 81, 2021, Pages 618-633.
12. Гражданский кодекс Российской Федерации (часть четвертая) от 18.12.2006 N 230-ФЗ (ред. от 11.06.2021, с изм. от 01.01.2022) // [Электронный ресурс] СПС «КонсультантПлюс», www.consultant.ru.
13. Дмитриев А.Ю., Марусич К.В. Этапы патентного поиска // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры. 2016. С. 84-86.
14. Оценка величины ошибки от шумов патентного поиска при построении патентных ландшафтов // Журавлёв Д.А., Мурашова С.В., Литвинов А.И., Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. 2019. С. 85-89.
15. Казачкова З.М., Казачков В.А. Юридическое образование в условиях цифровой экономики: новые проблемы и нетрадиционные решения // Юридическое образование и наука. 2020. № 8. С. 19-22.
16. Антипов А.А., Шубин М.А. Анализ российского рынка патентных поверенных // Экономика. Право. Инновации. 2021. № 4. С. 64-73.
17. Бегнарский В.В. Сравнительно-аналитический модуль патентных исследований // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2022610209, 10.01.2022. Заявка № 2021668116 от 11.11.2021



# УПРАВЛЕНИЕ ПОДАЧЕЙ ВОДЫ ОТ СКВАЖИН В РЕЗЕРВУАР ЧИСТОЙ ВОДЫ

И. Ю. Пурусова<sup>1,\*</sup>, К. И. Чижик<sup>2</sup>, В. И. Щербаков<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО ВГТУ, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84

<sup>2</sup> НИУ МГСУ, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26

\*Автор ответственный за переписку: vps\_na@list.ru

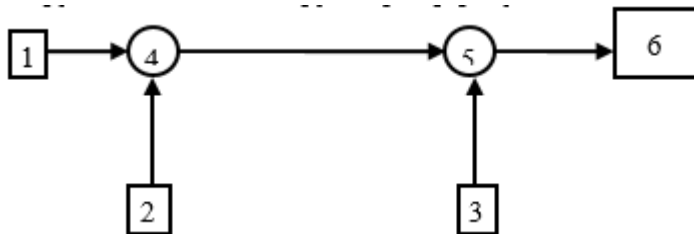
**Аннотация.** Рассмотрено совершенствование модели управления подачи воды водозаборными сооружениями из подземных источников. Представлены линейные уравнения гидравлического расчета совместной работы элементов системы: скважина - погружной насос - сборный водовод - РЧВ (резервуар чистой воды).

## Введение

Требования к надежности работы водозаборных сооружений из подземных источников в соответствии с нормативно-технической документацией постоянно повышаются [1]. Стационарные задачи потокораспределения в гидравлике достаточно хорошо изучены отечественными и зарубежными учёными. Анализ публикаций, проведенный по математическому моделированию водозаборных сооружений из подземных источников показал, что решение задач в условиях неопределенности и полноты исходных данных исследованы недостаточно [2, 3]. Одной из главных целей моделирования работы действующих водозаборных сооружений является их экономически эффективное функционирование.

## Материалы и методы

Негативные проявления при функционировании водозаборных сооружений обусловлены схемой подачи воды в сборный водовод и далее в РЧВ от нескольких скважин. Сборный водовод гидравлически связан со всеми скважинами и является передающим звеном режимных возмущений одной группы скважин на другие [4-6], рисунок 1.



**Рисунок 1.** Схема распределения воды от скважин в РЧВ: 1-3 скважины с погружными насосами, 4-5 – сборные узлы, 6 - РЧВ

На схеме распределения воды от скважин в РЧВ, рисунок 1, представлены скважины с погружными насосами подающие воду в сборные узлы, далее вода поступает в сборный водовод, а затем в РЧВ.

Распределение потоков воды на водозаборных сооружениях заключается в оптимизации моделирования процесса управления подачи воды в РЧВ.

Для разработки математической модели работы водозаборных сооружений использовались фактические характеристики взаимодействующих элементов системы на действующих водозаборных сооружениях из подземных источников г. Воронежа. Распределение потоков воды описывается системой линейных уравнений, устанавливающих в каждом узле баланс между притоком и расходом воды. Эти уравнения позволяют реально оценить оптимальный режим совместной работы системы: скважина - погружной насос - сборный водовод - РЧВ и спрогнозировать подачу воды каждой скважиной. Представленные цепные уравнения в составе математической модели позволяют более точно учитывать производительность и напор установленных насосов.

Моделирование управления подачи воды от скважин в РЧВ строится на основе модели возмущённого состояния для течения воды в напорных трубопроводах. При моделировании управления подачи воды от скважин в РЧВ в данном случае (рисунок 1) исключается взаимосвязь режима работы водозаборных сооружений с режимом эксплуатации насосной станции второго подъёма. Определённые формы граничных условий позволяют рассматривать водозаборные сооружения как отдельный объект для моделирования [6-9].

Для решения системы уравнений необходимо минимизировать сопротивление от ряда скважин путём настройки режима работы погружных насосных агрегатов на оптимальное функционирование. Установка насосов в скважинах, с различными напорными характеристиками, приводит к увеличению гидравлического сопротивления и тормозит подачу воды в полном объёме в сборный водовод. Из-за значительного различия напоров и противодавления погружных насосов может приводить нагрев воды в напорном трубопроводе скважин и насосы работать с низким КПД.

В таблице 1 представлены результаты, полученные на действующих водозаборных сооружениях из подземных источников, рисунок 1.

**Таблица 1.** Результаты замеров

Номер участка	Расход участка трубопровода, Q, л/с	Коэффициента гидравлического сопротивления участка трубопровода, S	Потери напора на участке трубопровода, h, м
1-4	42	0,0031	8,3
2-4	31	0,0021	2,9
4-5	73	0,001	4,8
3-5	38	0,0019	4,1
5-6	109	0,0011	14,7

Из таблицы 1 видно, что сборный водовод оказывается частично тормозящим звеном, на участке 4-5. Это зачастую обусловлено неправильно подобранной маркой насоса и значительным различием характеристик установленных насосов в скважинах [10-11].

В итоге такого функционирования водозаборных сооружений происходит уменьшение подачи в РЧВ и увеличиваются затраты на электроэнергию, приводящие к повышению стоимости кубометра воды.

## Результаты

При моделировании управления подачи воды от скважин в РЧВ и решении системы уравнений задаются следующие фактические параметры водозаборных сооружений: напор и подача насосов, длины участков, коэффициента гидравлического сопротивления трубопровода.

Модель управления подачи воды от скважин в РЧВ позволяет отслеживать:

- переход системы: скважина – погружной насос – сборный водовод – РЧВ в новое состояние;
- изменение параметров системы по отдельным участкам в рамках этого перехода.

Ниже приведена система уравнений в составе модели управления подачи воды от скважин в РЧВ, [6, 10-11] и представлена в форме уравнений для системы линейно-независимых цепей. Модель управления состоит из цепных, узловых балансовых и нормальных уравнений.

Цепные уравнения:

$$H_1^{(\kappa-1)} \delta \bar{H}_1^{(k-1)} = 2h_{1-4}^{(k-1)} \delta \bar{Q}_{1-4}^{(k)} + 2h_{4-5}^{(k-1)} \delta \bar{Q}_{4-5}^{(k)} + 2h_{5-6}^{(k-1)} \delta \bar{Q}_{5-6}^{(k)} + h_{1-4}^{(k-1)} \delta \bar{S}_{1-4}^{(k)}$$

$$H_2^{(\kappa-1)} \delta \bar{H}_2^{(k-1)} = 2h_{2-4}^{(k-1)} \delta \bar{Q}_{2-4}^{(k)} + 2h_{4-5}^{(k-1)} \delta \bar{Q}_{4-5}^{(k)} + 2h_{5-6}^{(k-1)} \delta \bar{Q}_{5-6}^{(k)} + h_{2-4}^{(k-1)} \delta \bar{S}_{2-4}^{(k)}$$

$$H_3^{(\kappa-1)} \delta \bar{H}_3^{(k-1)} = 2h_{3-5}^{(k-1)} \delta \bar{Q}_{3-5}^{(k)} + 2h_{7-9}^{(k-1)} \delta \bar{Q}_{7-9}^{(k)} + h_{3-5}^{(k-1)} \delta \bar{S}_{3-5}^{(k)}$$

Узловые балансовые уравнения:

$$Q_{1-4}^{(k-1)} \delta \bar{Q}_{1-4}^{(k)} - Q_{4-5}^{(k-1)} \delta \bar{Q}_{4-5}^{(k)} + Q_{2-4}^{(\kappa-1)} \delta \bar{Q}_{2-4}^{(k)} = 0$$

$$\delta Q_{4-5}^{(\kappa-1)} \delta \bar{Q}_{4-5}^{(k)} + Q_{3-5}^{(\kappa-1)} \delta \bar{Q}_{3-5}^{(k)} - Q_{5-6}^{(\kappa-1)} \delta \bar{Q}_{5-6}^{(k)} = 0$$

Нормальные уравнения:

$$Q_{1-4}^{(k-1)} \delta \bar{Q}_{1-4}^{(k)} - Q_{2-4}^{(\kappa-1)} \delta \bar{Q}_{2-4}^{(k)} = Q_{1-4}^{z(k-1)} \delta \bar{Q}_{1-4}^{z(k)} - Q_{2-4}^{(\kappa-1)} \delta \bar{Q}_{2-4}^{(k-1)}$$

$$Q_{1-4}^{(k-1)} \delta \bar{Q}_{1-4}^{(k)} - Q_{3-5}^{(k-1)} \delta \bar{Q}_{3-5}^{(k)} = Q_{1-4}^{z(k-1)} \delta \bar{Q}_{1-4}^{z(k)} - Q_{3-5}^{z(k-1)} \delta \bar{Q}_{3-5}^{z(k)}$$

где  $H_1$ ,  $H_2$  и  $H_3$  – требуемый напор погружных насосов в скважинах 1, 2, и 3;

$\delta \bar{H}$  – относительное отклонение требуемого напора погружного насоса;

$h$  – потери напора на участке трубопровода;

$Q$  – расход участка трубопровода;

$\delta \bar{Q}_i$  – относительное отклонение расчётного расхода участка;

$\delta \bar{S}_i$  – относительное отклонение коэффициента гидравлического сопротивления участка трубопровода;

$k$  - количество итераций.

Представленная модель управления работой водозаборными сооружениями, показывает состояние системы: скважина - погружной насос - сборный водовод - РЧВ в любой момент времени, а также позволяет прогнозировать подачу воды погружными насосами в процессе эксплуатации.

Решение системы уравнений приводит к увеличению суммарной подачи воды в РЧВ по сравнению с общей производительностью водозаборных сооружений до оптимизации процесса управления.

### **Заключение**

Практическое использование предложенного управления подачи воды от скважин в РЧВ улучшает гидравлические характеристики эксплуатируемых водозаборных сооружений и повышает экономическую эффективность их функционирования. По представленной схеме на рисунке 1 экономическая выгода составила 2 076 тыс. руб., по тарифам Воронежской области.

### **Библиографический список**

1. ГОСТ 33969-2016 (ISO/ASME 14414:2015) Межгосударственный стандарт. Энергетическая эффективность. Оценка энергоэффективности насосных систем. Дата введения 01.01.2018.
2. Питолин В. Е. Оптимальное регулирование гидравлических систем // Вестник полочского государственного университета. 2018. - № 4 С. - 135-140.
3. Щербаков В. И., Пурусова И. Ю. Выбор расположения сооружений для забора подземных вод // В сборнике: Яковлевские чтения XIII Международная научно-техническая конференция, посвященная памяти академика РАН С.В. Яковлева. М-во образования и науки Рос. Федерации, Московский государственный строительный университет. - 2018. - С. 140-144.
4. Пурусова И. Ю. Современные проблемы управления работой водозабора // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 7-2 (18-2). С. 379-383.

5. Пурусова И. Ю. Фактическая производительность погружных насосов // Энергосбережение и водоподготовка. - 2019. № 4 (120). - С. 26-28.
6. Панов М. Я. Разработка математической модели управления функционированием водоподъёмной станции / М. Я. Панов, В. И. Щербаков, И. Ю. Пурусова // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. - 2009. - № 1. - С. 176-182.
7. Пурусова И. Ю., Чижик К. И., Щербаков В. И. Технологические параметры погружных насосов на водозаборных сооружениях из подземных источников // Сборник докладов XVI Международной научно-технической конференции, посвященной памяти академика РАН С.В. Яковлева. - 2021. - С. 184-189.
8. Shcherbakov V. I., Chizhik K.I., Konovalov N.P., Purusova I.Y. Energy efficiency of functioning of water reservoir wells and collecting conduit // Construction. The formation of living Environment. XXI International Scientific Conference on Advanced in Civil Engineering, 2018. Hurynovich A., Syczewa E. Methodology for designing underground water intakes taking into account the life cycle of deep-water and pumping wells. V international scientific and technical conference " Innovations in water pipelines and sewers», Warsaw. 2016. P. 128-13.
9. Delgado J., Ferreira J. P., Covas D.I., Avellan F. Variable speed operation of centrifugal pumps running as turbines // Experimental investigation. Renewable energy. 2019. - V.142. - P. 437.
10. Пурусова И. Ю. Энергетически оптимальная работа водозаборных сооружений из подземных источников // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. - 2018. Т. 45. № 4. - С. 59-67.
11. Пурусова И. Ю. Линейная модель распределения потоков воды на водозаборных сооружениях // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2018. Т. 6. № 6 (42). С. 290-293.

## **ПРИМЕНЕНИЕ RSM – МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ КОНКУРЕНТНОЙ АДСОРБЦИИ СМЕШАННОГО ФЕНОЛА И АММОНИЙНОГО АЗОТА НА АКТИВИРОВАННОМ УГЛЕ**

**С. А. А. Ахмед<sup>1,2\*</sup>, Е. С. Гогина<sup>2,3</sup>**

<sup>1</sup> Асуанский университет, Асуан, Египет

<sup>2</sup> НИУ МГСУ, Москва, Россия

<sup>3</sup> НИИСФ РААСН, Москва, Россия

\* Автор ответственный за переписку: sameh.araby@aswu.edu.eg

**Аннотация.** Фенол и аммонийный азот считаются типичными органическими и неорганическими загрязнителями, присутствующими во многих видах промышленных сточных вод. В данной работе с применением RSM-моделирования изучено совместное влияние pH, дозировки активированного угля (АУ), исходной концентрации фенола и исходной концентрации аммонийного азота на эффективность адсорбции фенола и аммонийного азота. Применение face-centered центрального составного дизайна (CCD) RSM-моделирования позволило получить непроброзованную квадратичную модель для удаления фенола и преобразованную линейную модель с квадратным корнем для удаления аммонийного азота. Результаты показали положительное

влияние увеличения дозы АУ на адсорбцию фенола, тогда как увеличение исходной концентрации фенола отрицательно влияло на эффективность адсорбции фенола. Кроме того, адсорбция аммонийного азота увеличивалась с увеличением рН и дозы АУ. Однако какого-либо конкурентного эффекта между фенолом и аммонийным азотом не наблюдалось.

## **Введение**

В последнее время наблюдается высокий спрос на питьевую воду, что способствует очистке потоков сточных вод от различных производств, сельского хозяйства и других видов деятельности человека. Загрязняющие вещества, такие как органические и неорганические соединения, обычно содержатся в промышленных сточных водах [1]. Большинство этих соединений являются стойкими, канцерогенными и токсичными для человека и экосистем [2]. Фенол является одним из наиболее широко используемых ароматических соединений в различных отраслях промышленности, таких как углехимическая, нефтеперерабатывающая, текстильная и кожевенная [1,3]. Сточные воды этих производств наряду с повышенным содержанием аммонийного азота ( $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ) содержат фенол, что может негативно влиять на водную среду [4,5]. Согласно законодательству Российской Федерации, Предельно допустимые концентрации (ПДК) фенола в промышленных сточных водах на уровне составляют 0,1 мг/л, а для аммиачного азота 1,5 мг/л [6]. Кроме того, присутствие в водоеме аммонийного азота выше 46 мг/л может вызвать эвтрофикацию и, следовательно, затормозить рост водной флоры и фауны [7]. Поэтому очистка от загрязняющих веществ обязана соответствовать требованиям стандартов зеленых технологий. Для очистки сточных вод, содержащих фенол и аммонийный азот, применялось несколько физических и химических методов очистки. Некоторые из этих методов включают: экстракцию растворителем [8], мембранное разделение [9], ускоренное окисление [10] и адсорбцию [11]. Тем не менее, адсорбция считается эффективным методом [1,12]. Соответственно, активированные угли (АУ) широко применяются при очистке промышленных сточных вод для снижения фенольного загрязнения и аммонийного азота при последующей биологической очистке [12,13].

АУ являются адсорбирующим материалом с разнообразной областью применения благодаря своим структурным, поверхностно-химическим свойствам, а также благодаря тому, что они легко адаптируются к требованиям их применения. Одним из наиболее распространенных применений активированного угля является очистка воды [14,15]. Производство АУ зависит, главным образом, от используемого сырья, которое, в свою очередь, выбирается в соответствии со значительными факторами, такими как его доступность, способы обработки и низкая стоимость сырья [16]. Коммерческие АУ, синтезированные в России, в основном производятся из крупнотоннажного угля и скорлупы кокосовых

орехов как нового сырья и обладают свойством адсорбировать из водной среды широкий спектр загрязняющих веществ [17].

На адсорбцию ионов фенола и аммонийного азота активированным углем могут влиять несколько факторов, таких как площадь поверхности активированного угля, pH, исходная концентрация частиц, дозировка активированного угля и время удерживания. Методология поверхности отклика (RSM) была введена как эффективный метод моделирования и оптимизации нескольких систем контроля загрязнения, которые могут подвергаться воздействию таких условий. Например, Даргахи и др., (2021) исследовали приложение RSM для оптимизации адсорбции фенольных соединений на активированном угле [18]. Кроме того, Моради и др., (2016) подтвердили эффективность применения RSM для адсорбции ионов аммония пемзой [19]. Как упоминалось ранее, фенол и аммонийный азот вместе могут находиться в типичных сточных водах, и эта комбинация загрязняющих веществ может оказывать отрицательное или положительное влияние на их удаление.

## Материалы и методы

### Материалы

Образец активированного угля был получен от компании Эелинский Групп-Сорбент, Пермь, Россия. Дополнительная информация о физических свойствах использованного активированного угля представлена в таблице 1. Кроме того, использовались некоторые химические реагенты высокой чистоты, такие как фенол, хлорид аммония, гидроксид натрия и соляная кислота. Наконец, для аналитического метода использовали 4-аминоантипирин,  $K_3[Fe(CN)_6]$  и реактив Несслера.

**Таблица 1.** Технические характеристики используемых активированных углей

Коммерческое название	КАУСОРБ 6x12
Сырой материал	Кокосовая скорлупа
Физическая форма	Неправильная форма (Дробленый)
Размер частиц (мм)	1.68 - 3.36

### Аналитический метод

Начальное и конечное значения pH образцов растворов измеряли с помощью pH-метра/иономера ИТАН (Россия). Для фильтрации образцов, собранных в ходе периодических экспериментов, использовали фильтровальную бумагу с размером пор 0,2 мкм. Исходную и конечную концентрацию фенола определяли на UV-vis Spectrophotometer 2800 (Unico, США) при длине волны 500 нм прямым фотометрическим методом (5530 Д), основанным на реакции фенола с 4-аминоантипирином [20]. Концентрацию аммония в растворе определяли методом Несслеризации (цветометрический метод) при 425 нм [21]. Отдельные калибровочные кривые были созданы для каждой серии экспериментов с использованием подготовленных холостых образцов для каждого эксперимента.

## Адсорбционные эксперименты и моделирование RSM

Все эксперименты проводились в лабораторных масштабах в реакторе периодического действия, содержащем 100 мл раствора образца, при постоянном времени контакта 90 мин. Для регулирования pH раствора использовали HCl и NaOH. В этом исследовании статистический анализ полученных результатов удаления фенольного и аммонийного азота на основе RSM был выполнен с использованием программного обеспечения Design Expert (версия 13). В настоящей работе для оптимизации адсорбции фенола и аммонийного азота на коммерческий активированный уголь, полученный из скорлупы кокосового ореха, используется центральная композитная конструкция (CCD) с одноцентровым центрированием на основе граней. Существует три типа CCD, и хотя для проектирования двух типов требуется пять уровней, тип Face-Centered может быть разработан только с тремя уровнями, поскольку точки звезды находятся в центре каждой грани факторного пространства, с  $\alpha = \pm 1$ . Таким образом, этот подход требует меньшего количества экспериментов. Следовательно, pH раствора, дозировка адсорбента, исходная концентрация фенола и исходный аммонийный азот исследовались как независимые переменные на трех уровнях (-1, 0, +1), а эффективность удаления фенола и аммонийного азота рассматривалась как фактор отклика. Соответствующие факторы и уровни приведены в таблице 2, а схема эксперимента представлена в таблице 3.

**Таблица 2.** Независимые параметры и их диапазоны и уровни для CCD

Независимые параметры	Символ	Уровень и диапазон		
		-1	0	+1
pH	A	4	6	8
AУ дозировка (g/L)	B	1	3	5
Начальная конц. фенола (mg/L)	C	100	200	300
Начальная конц. ( $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ) (mg/L)	D	10	30	50

**Таблица 3.** Матрица расчета удаления фенола на основе CCD

Run	A	B	C	D	Phenol Removal %	( $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ) removal %
	pH	AУ dosage (g/L)	Initial phenol conc. mg/L	Initial $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ Conc. mg/L	Exp.	Exp.
1	6	3	200	30	94.64	13.77
2	8	1	100	10	86.86	25.36
3	4	5	300	10	97.86	11.35
4	6	3	200	30	95.07	15.48
5	6	1	200	30	70.18	1.66
6	8	5	300	50	98.33	11.06
7	8	3	200	30	94.46	8.44
8	6	3	200	30	94.89	13.25



9	6	3	200	10	96.25	28.27
10	6	3	100	30	100	15.22
11	8	5	100	50	98.57	10.77
12	8	5	300	10	98.33	26.82
13	4	5	100	50	98.57	8.15
14	4	1	100	10	88.93	5.55
15	6	3	300	30	87.5	10.35
16	8	1	100	50	87.5	8.73
17	4	1	300	10	59.88	7.75
18	4	1	300	50	56.89	0.56
19	6	3	200	30	94.49	17.10
20	8	5	100	10	98.21	21.5
21	6	3	200	30	94.59	14.59
22	8	1	300	50	59.17	7.86
23	6	3	200	50	97.32	5.83
24	8	1	300	10	58.1	7.56
25	4	5	100	10	97.81	14.84
26	6	3	200	30	94.83	16.71
27	4	1	100	50	87.86	0.59
28	4	3	200	30	96.96	4.08
29	4	5	300	50	95.88	2.34
30	6	5	200	30	96.93	12.8

## Результаты и обсуждение

### Примерка модели

С помощью CCD Face-Centred удалось оптимизировать исследуемые параметры (рН, дозировку активированного угля, начальную концентрацию фенола и начальную концентрацию аммонийного азота) для конкурентной адсорбции фенола и аммонийного азота на активированный уголь. План эксперимента состоит из 24 нецентральных точек и 6 прогонов центральных точек. Модель поверхности отклика затем используется для выбора наилучшей модели на основе следующего критерия: полином высшего порядка с дополнительными значащими членами и модель без псевдонимов. В соответствии с указанными критериями коэффициенты полиномиального уравнения (квадратичная модель) были определены с использованием экспериментальных значений, и уравнение использовалось для оценки значений отклика в случае удаления фенола. Однако для представления адсорбции аммонийного азота была выбрана линейная модель. Наконец, были рассчитаны коэффициенты регрессии (скорректированный  $R^2$  и прогнозируемый  $R^2$ ), которые отражают влияние независимых факторов, обычно связанных со стандартным отклонением. В табл. 4 приведены коэффициенты регрессии итоговой приведенной квадратичной полиномиальной (в случае удаления фенола) и линейной (в случае удаления аммонийного азота) моделей. Adjusted  $R^2$  и predicted  $R^2$  для % удаления фенола составили 0,9958 и 0,9887, а для % удаления аммонийного азота были 0,6191 и 0,5389. Исследование показало, что Adjusted  $R^2$  и predicted  $R^2$

разумно согласуются друг с другом и имеют низкий PRESS (т. е. разница менее 0,2). Кроме того, с достаточной точностью измеряется отношение сигнал/шум. Желательно соотношение больше 4. Соотношения 70,2847 и 15,471 для % удаления фенола и % удаления аммонийного азота соответственно указывают на адекватный сигнал. Следовательно, модели можно использовать для навигации в пространстве дизайна.

**Таблица 4.** Подходящая статистика и характеристики моделей CCD

Ответы	Трансформация	Adequate precision	R2	Adjusted R2	Predicted R2
Удаление фенола %	Нет	70.2847	0.9978	0.9958	0.9887
Удаление $(NH_4^+ - N)$ %	Квадратный корень	15.7569	0.6818	0.6309	0.5574

### Оценка модели

В таблице 5 представлены результаты дисперсионного анализа (ANOVA) и показан уровень значимости модели и ее условия на основе *p-value*. Когда *p-value* меньше 0,05, это указывает на то, что условия модели важны для прогнозирования экспериментального отклика. Соответственно, представленные модели значимы. Кроме того, результаты ANOVA вводят модельное уравнение как для % удаления фенола, так и для % удаления аммонийного азота, как показано в уравнениях 1 и 2 соответственно. Результаты в таблице 5 показали, что рассматриваемые факторы (B, C) и комбинации факторов (BC, B<sup>2</sup>, D<sup>2</sup>) оказывают значительное влияние на удаление фенола только при *p*-значении менее 0,05. С другой стороны, факторы (A, B и D) имеют *p-value* менее 0,05 и оказывают значительное влияние на удаление аммонийного азота.

Удаление фенола %

$$\begin{aligned}
 &= 94.75 - 0.0618A + 12.51B - 7.35C \\
 &- 0.1187D + 0.3289AB + 0.3403AC \\
 &+ 0.4594AD + 7.15BC + 0.0931BD \\
 &- 0.2862CD + 0.9614A^2 - 11.2B^2 - C^2 \\
 &+ 2.03D^2
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
 &\sqrt{[\text{Удаление}(NH_4^+ - N)\%]} \\
 &= 3.21 + 0.6994A + 0.5621B - 0.2188C \\
 &- 0.8107D
 \end{aligned} \tag{2}$$

**Таблица 5.** ANOVA моделей (уровень значимости)

Ответы	Значимость модели и условий модели (p-value)							
	Модель	A	B	C	D	BC	B <sup>2</sup>	D <sup>2</sup>
Удаление фенола %	< 0.0001	0.7686	< 0.0001	< 0.0001	0.5735	< 0.0001	< 0.0001	0.002
$\sqrt{[\text{Удаление}(NH_4^+ - N)\%]}$	< 0.0001	0.0003	0.0026	0.2043	< 0.0001	–	–	–

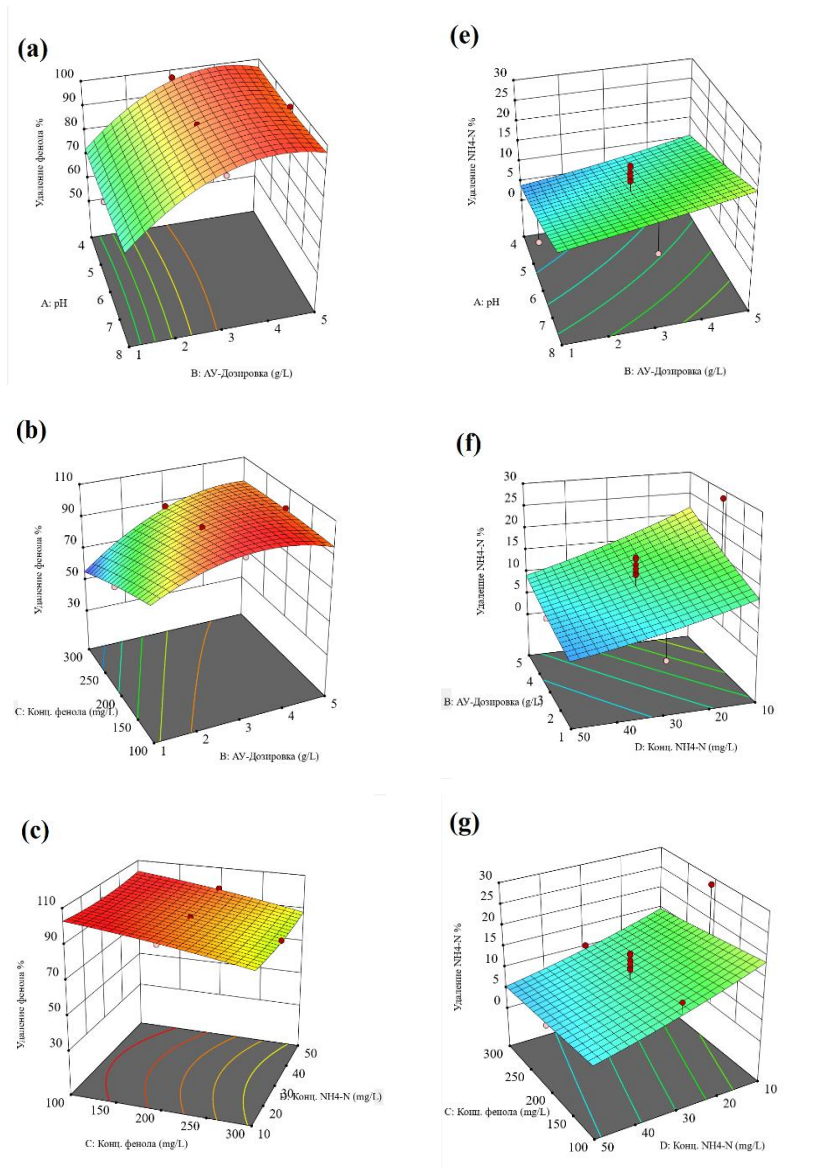
## Графики RSM

Поверхность отклика играет важную роль в визуализации взаимосвязи между независимыми факторами и их откликами, удерживая один фактор на нулевом уровне. Предсказанные эмпирическим путем квадратичные и линейные модели откликов (% удаления фенола и аммония) с точки зрения переменных процесса нанесены на трехмерные (3D) диаграммы (рис. 1 (a-g)) для исследования взаимодействия между переменными и для определения оптимального сочетания изучаемых параметров для максимальной эффективности удаления фенола из водного раствора.

На рис. 1 (a) показано влияние pH и дозы активированного угля на удаление фенола при времени контакта 90 минут, исходной концентрации фенола 200 мг/л и аммонийном азоте 30 мг/л. Как видно, фенол при изменении pH от 4 до 8 не влияет на эффективность удаления. Однако удаление фенола увеличивается при увеличении количества дозировки активированного угля от 1 до 4,5 г/л и уменьшается при увеличении дозировки до 5 г/л. Аналогичные результаты были получены Ду и др., (2017) [15]. Это было связано со стабильностью фенола при pH<9 из-за его химического взаимодействия с поверхностными функциональными группами АУ (О-Н и С=О) по механизму донорно-акцепторной реакции. Кроме того, увеличение дозы активированного угля приводит к увеличению количества доступных активных центров, что, в свою очередь, увеличивает адсорбцию фенола. На рис. 1 (b) показано влияние начальной концентрации фенола и дозы активированного угля при pH 6 и начальной концентрации аммонийного азота 30 мг/л на удаление фенола. Результаты показывают, что увеличение концентрации фенола уменьшает удаление и снижает эффективность удаления. Тем не менее, количество фенола, адсорбированного на определенной дозе активированного угля, является высоким при более высокой концентрации фенола из-за увеличения движущей силы между адсорбатом и абсорбентом. Кроме того, результаты, полученные на (рис. 1 (c)) показывают, что присутствие аммонийного азота с фенолом незначительно влияет на адсорбцию фенола активированным углем.

Влияние начального pH и количества активированного угля на адсорбцию аммонийного азота активированным углем представлено на рис. 1 (e). Установлено, что адсорбционная емкость увеличивается с увеличением значения pH от 4 до 8. Аналогичные результаты были задокументированы Hsu и др., (2019) [13]. Низкая адсорбционная способность при низком pH может быть вызвана низким отрицательным дзета-потенциалом активированного угля при низком pH. Поскольку аммонийный азот является положительным ионом, активированный уголь с высоким отрицательным дзета-потенциалом облегчает адсорбцию за счет электростатического притяжения [13]. Кроме того, сочетание pH и дозировки активированного угля увеличивает удаление аммонийного азота также из-за увеличения доступных участков. На рис. 1 (f & g) показано влияние начальной концентрации аммонийного азота и фенола на адсорбцию аммонийного

азота. Точно так же эффективность удаления снижается с увеличением исходной концентрации аммонийного азота, но присутствие фенола, по-видимому, не оказывает существенного влияния на эффективность удаления.



**Рисунок 1.** Поверхностный график со встречной диаграммой, показывающий влияние взаимодействия (а) pH и дозы АУ на адсорбцию фенола, (б) дозы АУ и начальной концентрации фенола на адсорбцию фенола, (с) начальной

концентрации фенола и начальной концентрации аммонийного азота на адсорбцию фенола, адсорбция фенола, (e) pH и дозировка АУ на адсорбцию аммонийного азота, (f) дозировка АУ и начальная концентрация аммонийного азота на адсорбцию аммонийного азота, (g) начальная концентрация фенола и начальная концентрация аммонийного азота на адсорбцию аммонийного азота.

## **Заключение**

В данной работе исследована адсорбция фенола и аммонийного азота коммерческим активированным углем в России. Модель Face Center CCD с RSM использовалась для изучения комбинации различных условий, влияющих на эффективность адсорбции. Для модели CCD были выбраны четыре различные независимые переменные, включая pH, дозировку АУ, начальную концентрацию фенола и начальную концентрацию аммонийного азота. Установлено, что на адсорбцию фенола существенное влияние оказывают дозировка АУ и начальная концентрация фенола, в то время как изменение pH и присутствие аммонийного азота оказывают незначительное влияние. Наоборот, изменение pH существенно повлияло на адсорбцию аммонийного азота, поскольку поверхностный заряд активированного угля зависит от pH. Кроме того, увеличение дозировки АУ повышает эффективность адсорбции аммонийного азота, а отрицательного эффекта из-за присутствия фенола не наблюдается. В целом, RSM успешно внедрила математическую модель адсорбции фенола и аммонийного азота с широким набором зависимых факторов и ограниченным количеством экспериментальных серий.

## **Список литературы**

- [1] X. Liu, Y. Tu, S. Liu, K. Liu, L. Zhang, G. Li, Z. Xu, Adsorption of ammonia nitrogen and phenol onto the lignite surface: An experimental and molecular dynamics simulation study, *J. Hazard. Mater.* 416 (2021) 125966. doi:10.1016/j.jhazmat.2021.125966.
- [2] T. Singh, A.K. Bhatiya, P.K. Mishra, N. Srivastava, An effective approach for the degradation of phenolic waste: phenols and cresols, in: P. Singh, A. Kumar, A.B.T.-A. of E.P. Borthakur (Eds.), *Abat. Environ. Pollut.*, Elsevier, 2020: pp. 203–243. doi:https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818095-2.00011-4.
- [3] A. Bartolomé, G. Rodríguez-Moro, J.-L. Fuentes, M. Lopes, J. Frontela, J. Lázaro, M. Cuaresma, J.-L. Gómez-Ariza, T. García-Barrera, C. Vilchez, Biodegradation of a Complex Phenolic Industrial Stream by Bacterial Strains Isolated from Industrial Wastewaters, *Processes*. 9 (2021). doi:10.3390/pr9111964.
- [4] A. Mojiri, A. Ohashi, N. Ozaki, T. Kindaichi, Pollutants removal from synthetic wastewater by the combined electrochemical, adsorption and sequencing batch reactor (SBR), *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 161 (2018) 137–144. doi:https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.05.053.
- [5] W. Wang, X. Ren, K. Yang, Z. Hu, S. Yuan, Inhibition of ammonia on anaerobic digestion of synthetic coal gasification wastewater and recovery using struvite precipitation, *J. Hazard. Mater.* 340 (2017) 152–159. doi:https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.07.002.

[6] Министерство здравоохранения Российской Федерации, Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (Гигиенические нормативы: ГН 2.2.5.1315-03), Российская Федерация, 2003.

[7] J.R. Caicedo, N.P. van der Steen, O. Arce, H.J. Gijzen, Effect of total ammonia nitrogen concentration and pH on growth rates of duckweed (*Spirodela polyrrhiza*), *Water Res.* 34 (2000) 3829–3835. doi:[https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(00\)00128-7](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00128-7).

[8] D.C. Greminger, G.P. Burns, S. Lynn, D.N. Hanson, C.J. King, Solvent extraction of phenols from water, *Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev.* 21 (1982) 51–54. doi:[10.1021/i200016a010](https://doi.org/10.1021/i200016a010).

[9] W. Raza, J. Lee, N. Raza, Y. Luo, K.H. Kim, J. Yang, Removal of phenolic compounds from industrial waste water based on membrane-based technologies, *J. Ind. Eng. Chem.* 71 (2019) 1–18. doi:[10.1016/j.jiec.2018.11.024](https://doi.org/10.1016/j.jiec.2018.11.024).

[10] A. Nickheslat, M.M. Amin, H. Izanloo, A. Fatehizadeh, S.M. Mousavi, Phenol photocatalytic degradation by advanced oxidation process under ultraviolet radiation using titanium dioxide, *J. Environ. Public Health.* 2013 (2013) 1–9. doi:[10.1155/2013/815310](https://doi.org/10.1155/2013/815310).

[11] C. Andriantsiferana, C. Julcour-Lebigue, C. Creanga-Manole, H. Delmas, A.-M. Wilhelm, Competitive Adsorption of p-Hydroxybenzoic Acid and Phenol on Activated Carbon: Experimental Study and Modeling, *J. Environ. Eng.* 139 (2013) 402–409. doi:[10.1061/\(asce\)ee.1943-7870.0000600](https://doi.org/10.1061/(asce)ee.1943-7870.0000600).

[12] M. Zheng, Y. Han, C. Xu, Z. Zhang, H. Han, Selective adsorption and bioavailability relevance of the cyclic organics in anaerobic pretreated coal pyrolysis wastewater by lignite activated coke, *Sci. Total Environ.* 653 (2019) 64–73. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.331>.

[13] D. Hsu, C. Lu, T. Pang, Y. Wang, G. Wang, Adsorption of ammonium nitrogen from aqueous solution on chemically activated biochar prepared from sorghum distillers grain, *Appl. Sci.* 9 (2019) 2–16. doi:[10.3390/app9235249](https://doi.org/10.3390/app9235249).

[14] M. Erdem, R. Orhan, M. Şahin, E. Aydın, Preparation and Characterization of a Novel Activated Carbon from Vine Shoots by ZnCl<sub>2</sub> Activation and Investigation of Its Rifampicine Removal Capability, *Water. Air. Soil Pollut.* 227 (2016). doi:[10.1007/s11270-016-2929-5](https://doi.org/10.1007/s11270-016-2929-5).

[15] W. Du, J. Sun, Y. Zan, Z. Zhang, J. Ji, M. Dou, F. Wang, Biomass-derived nitrogen-doped hierarchically porous carbon networks as efficient adsorbents for phenol removal from wastewater over a wide pH range, *RSC Adv.* 7 (2017) 46629–46635. doi:[10.1039/c7ra08374b](https://doi.org/10.1039/c7ra08374b).

[16] B. Xie, J. Qin, S. Wang, X. Li, H. Sun, W. Chen, Adsorption of Phenol on Commercial Activated Carbons: Modelling and Interpretation, *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 17 (2020) 1–13. doi:[10.3390/ijerph17030789](https://doi.org/10.3390/ijerph17030789).

[17] С. Ахмед, Е.С. Гогина, Адсорбция фенола на промышленном активированном угле: оценка эффективности, Водоснабжение и Санитарная Техника Журнал. 15 (2021). doi:[DOI 10.35776/VST.2021.06.05](https://doi.org/10.35776/VST.2021.06.05).

[18] A. Dargahi, M.R. Samarghandi, A. Shabanloo, M.M. Mahmoudi, H.Z. Nasab, Statistical modeling of phenolic compounds adsorption onto low-cost adsorbent prepared from aloe vera leaves wastes using CCD-RSM optimization: effect of parameters, isotherm, and kinetic studies, *Biomass Convers. Biorefinery.* (2021). doi:[10.1007/s13399-021-01601-y](https://doi.org/10.1007/s13399-021-01601-y).

[19] M. Moradi, M. Fazlzadehdavil, M. Pirsaeheb, Y. Mansouri, T. Khosravi, K. Sharafi, Response surface methodology (RSM) and its application for optimization of

ammonium ions removal from aqueous solutions by pumice as a natural and low cost adsorbent, Arch. Environ. Prot. 42 (2016) 33–43. doi:10.1515/aep-2016-0018.

[20] R. Baird, E. Rice, A. Eaton, Standard methods for the examination of water and wastewaters, 23rd ed., American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, Washington, DC, USA, 2017.

[21] H. Jeong, J. Park, H. Kim, Determination of NH<sub>4</sub><sup>+</sup> in environmental water with interfering substances using the modified nessler method, J. Chem. 2013 (2013). doi:10.1155/2013/359217.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СЛАБОЗАГРЯЗНЁННЫХ ХОЗЯЙСТВЕННО-БЫТОВЫХ («СЕРЫХ») СТОЧНЫХ ВОД ОТ ДУШЕВЫХ И ВАНН**

**Ю.А. Щербакова**

АО «ЭКОС», Россия, Новочеркасск, пр. Ермака, 106

e-mail: [j.sherbakova@ecosgroup.com](mailto:j.sherbakova@ecosgroup.com)

**Аннотация.** Актуальность темы состоит в сохранении природных ресурсов и рациональном использовании питьевой воды. В статье представлены результаты исследований водосберегающей технологии очистки и повторного применения слабозагрязнённых («серых») сточных вод, образующихся в процессе использования душевых и ванн. Описаны результаты экспериментов, проведенных в лабораторных условиях и оценена эффективность применения физико-химических методов очистки. Сделаны выводы и задан вектор дальнейших исследований.

### **Введение**

Несмотря на то, что вода – это один из самых распространенных ресурсов на Земле, уже сейчас многие страны и континенты испытывают её дефицит.

В России, этот вопрос, в сравнении с другими странами, стоит не настолько остро, но уже сегодня в целом ряде регионов, наблюдается острый дефицит чистой воды, обусловленный сочетанием природных и антропогенных факторов, а также неравномерным распределением ресурсов по территории страны [1]. Поэтому очень важно не только задумываться, но и предпринимать действия, направленные на сохранение водных ресурсов и их рациональное использование [2].

Объектом исследования является разделение хозяйственно-бытовых сточных вод на «серые» и «чёрные» воды с их последующей децентрализованной очисткой и повторным использованием [3]. Эта технология имеет широкое применение в странах испытывающих дефицит водных ресурсов и в странах с высокой степенью урбанизации, где повторное использование воды в городах может внести значительный вклад в обеспечение доступности воды в будущем. Проанализированный опыт реализации данной технологии в Азии и Европе [4,5] позволяет понять, что

в данной теме есть много аспектов которые могут повлиять на реализацию широкомасштабного проекта, в связи с чем требуется выполнение поэтапной и планомерной проработки начиная от определения методов очистки различных потоков сточных вод, до определения их объема с учетом вводимых мероприятий.

Полномасштабного или среднемасштабного опыта применения технологии децентрализованной очистки с применением научно-исследовательского подхода на территории РФ – нет. Чаще всего данную технологию рассматривают на примерах работы септиков в частных домах с применением метода биологической очистки слабозагрязненной воды.

Применять европейский опыт в России, который предполагает использование технологии MBR реакторов – нецелесообразно или даже невозможно ввиду многих причин:

Сложность эксплуатации сверхмалых систем биологической очистки, и достижения стабильного качества;

Очень высокая стоимость модулей MBR и необходимой инфраструктуры всей системы с учетом зарубежных поставок;

Отсутствие необходимой квалификации владельца локальной установки для обслуживания такой системы.

В связи с чем, было принято решение двигаться по пути оптимизации уже существующей классической схемы (рисунок 1), с целью получения максимальной экономической и экологической эффективности при реализации децентрализованной схемы очистки слабозагрязненных («серых») сточных вод физико-химическими методами.



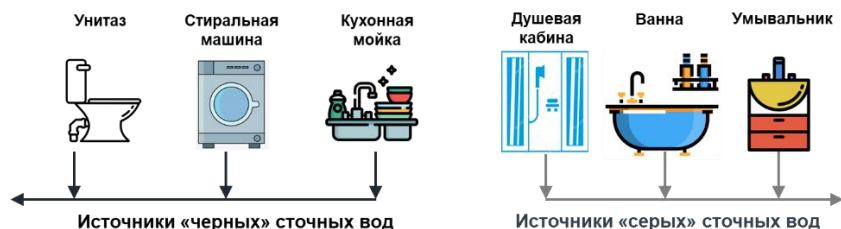
**Рисунок 1.** Классическая схема разделения потоков на «серые» и «черные» воды

Понимая особенности физико-химических методов очистки, для дальнейшего рассмотрения, в качестве основных источников водоотведения будут рассматриваться сточные воды, образующиеся от душевых, ванн и умывальников, с последующим использованием очищенной воды на нужды смыва в туалетах или в качестве воды для полива и орошения зеленых насаждений.

В Российском законодательстве отсутствуют нормативы повторного использования сточных вод в бытовом применении, например для смыва в унитазах, как и отсутствует само определение и понятие «серых» и «черных» вод [6]. Поэтому в данной статье называя воды «серыми» - подразумевается



сточные воды от душевых, ванн и умывальников (рисунок 2), или согласно классификации загрязненности воды [7] так называемые слабозагрязненные сточные воды.



**Рисунок 2.** Адаптированная схема разделения потоков на «черные» и «серые» воды

Наиболее подходящие на данный момент документы, по которым может нормироваться очищенная вода и на основании которых могут быть приняты условные значения ПДК:

- при использовании для смыва в туалетах, это требования, указанные в таблице № 4.1.4.1-4.1.5.1 МУ 2.1.5.1183-03 «Санитарно-эпидемиологический надзор за использованием воды в системах технического водоснабжения промышленных предприятий» [8] как для систем закрытого водоснабжения, т.е. не контактирующей с человеком.

- при использовании воды для орошения, СанПиН 2.1.7.573–96 «Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков для орошения и удобрения» [9], регламентирует использование сточных вод для орошения с точки зрения агротехнических и санитарно-гигиенических требований, но не имеет как таковых жестких требований по показателям БПК, ХПК, ВВ и в каждом случае утверждается индивидуально для обеспечения плодородия почв, предупреждения кумуляции в ней токсичных веществ, засоления и осолонцевания;

- при использовании воды для технических нужд и/или полива зеленых насаждений, СанПиН 1.2.3685-21 от 28 января 2021 года №2 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [10] таблица №3.2.

Сводные данные требований к качеству технической воды из нормативных документов представлены в таблице 1.

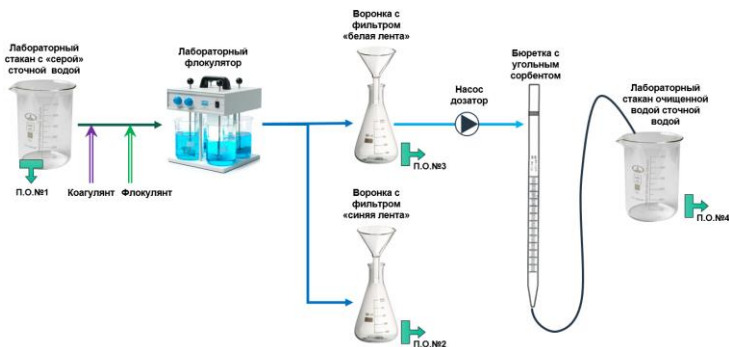
**Таблица 1.** Требования к качеству технической воды

Показатель	Ед.изм	СанПиН 1.2.3685-21		МУ 2.1.5.1183-03	
		В открытых системах технического водоснабжения и для полива улиц и зеленых насаждений	В системах технического оборотного водоснабжения моек автомобильного транспорта	В открытых системах технического водоснабжения	В закрытых системах технического водоснабжения
Взвешенные вещества	мг/л	5	20/60 – для колесных моек	3	10

			автотранспорта		
Запах	баллы	2	3	2	-
Окраска	В столбик с воды	10	-	10	-
БПК <sub>5</sub>	мг/л	5	10	3	10
ХПК	мг/л	30	60	30	70
Нефтепродукты	мг/л	Не отслеживается	1	-	-
Обобщенные колиформные бактерии (ОКБ)	КОЕ/100 см <sup>3</sup>	Не более 100	Не более 100	20	500
Термотолерантные колиформные бактерии E.coli	КОЕ/100 см <sup>3</sup>	Не более 10	Не более 10	10	100
Колифаги	БОЕ/100 см <sup>3</sup>	-	-	10	100

## Материалы и методы

Загрязнения в «серых» водах привносятся от моющих средств и органических загрязнений с тела человека. Для определения возможной технологической схемы очистки и эффективности работы её узлов, проводились исследования (рисунок 3) на реальных «серых» сточных водах, отобранных после проведения санитарно-гигиенических процедур.



**Рисунок 3.** Принципиальная схема проведения эксперимента

Исследование было направлено на определение целесообразности применения комбинации физических, химических и физико-химических методов очистки «серых» вод от загрязняющих веществ.

Для проведения исследования №1, использовались: флокулятор лабораторный; бумажные фильтры «белая» и «синяя» лента; лабораторный сорбционный фильтр.

В стакан объемом 500 мл с исходной сточной водой вводилось 1,25 мл коагулянта «Аква-Аурат 30» с концентрацией раствора 10 гр/л, т.е. рабочая доза составляла 25 мг/л, после чего стакан ставился во флокулятор и согласно общепринятой методике, осуществлялся процесс коагуляции [11].

После коагуляции в стакан объемом 500 мл вводился 0,5 мл флокулянта с концентрацией раствора 1000 мг/л, т.е. рабочая доза составляла 1 мг/л, после чего стакан ставился во флокулятор для осуществления процесса флокуляции.

После реагентной обработки, осветлённая вода профильтровывалась через бумажный фильтр «белая лента» с размером пор 8-12 мкм для удаления остаточных взвешенных веществ.

Дополнительно, в отдельной пробе, осветленная вода после реагентной обработки профильтровывалась через бумажный фильтр «синяя лента» с размером пор 2-3 мкм.

Профильтрованная на бумажном фильтре «белая лента» вода, с помощью перистальтического насоса дозатора подавалась на лабораторный сорбционный фильтр.

Сорбционный фильтр представлял из себя бюретку объемом 100 мл, полностью заполненную угольным сорбентом МАУ производства ООО НПП «Полихим». Для обеспечения необходимого времени контакта воды с сорбентом и увеличения эффективности изъятия загрязнений, загрузка находилась под заливом и за счет изменения объема подаваемой воды от перистальтического насоса, обеспечивалось необходимое время контакта, которое составляло - 4, 8 и 15 минут. Фильтрация осуществлялась в динамических условиях.

В зависимости от опыта, в сточной воде определялось: рН, взвешенные вещества, перманганатная окисляемость, ХПК, БПК, АПАВ. Лабораторные исследования выполнялись сотрудниками лаборатории НИЦ «ЭКОСТЕХ».

## Результаты

Результаты лабораторных исследований по очистке реальных «серых» сточных вод после душевой, представлены в таблице 2.

**Таблица 2.** Сравнительная таблица результатов исследований

Наименование	рН	ПО	ХПК	БПК	ВВ	АПАВ	
МУ 2.1.5.1183-03 В открытых системах технического водоснабжения (Условное ПДК)	-	-	30	3	3	-	
Лабораторные исследования 12-16.11.2021г							
12.11.21	Исходная СВ	7,9	10,35	114	-	-	-
	После коагуляции и фильтрации на фильтре «белая» лента	7,8	5,49	36,95	-	-	-
	После сорбционного фильтра	7,9	2,87	12	-	-	-
15.11.21	Исходная СВ	7,8	12	144	55,13	31,5	2,56
	После коагуляции и фильтрации на фильтре	7,7	7,1	47,45	29,2	-	3,04

	«белая» лента (8-12 мкм)						
	После коагуляции и фильтрации на фильтре «синяя» лента (2-3 мкм)	-	-	57	-	-	-
	После сорбционного фильтра 4 минуты контакта	8,1	2,9	26	11	-	0,14
	После сорбционного фильтра 15 минуты контакта	7,9	2,2	9,66	6	-	< 0.1
	После сорбционного фильтра 8 минут контакта	-	-	21,4	-	-	-
16.11.21	Исходная СВ	-	-	70,5	-	-	2.73
	После коагуляции и фильтрации на фильтре «белая» лента (8-12 мкм)	-	-	31,3	-	-	3.78
	После коагуляции и фильтрации на фильтре «синяя» лента (2-3 мкм)	-	-	59,75	-	-	-
	После сорбционного фильтра 8 минут контакта	-	-	17,65	-	-	0,17

При проведении эксперимента на реальной «серой» сточной воде было определено, что процессы коагуляции и флокуляции имеют высокую эффективность. Наблюдалось значительное образование хлопьев с высокой скоростью их осаждения на дно стакана. Для сравнения была проведена коагуляция и флокуляция на имитате мыльного раствора с добавлением шампуня, где значительного образования хлопьев не наблюдалось. Вероятнее всего, изменения в эффективности реагентного взаимодействия обусловлены привнесением в воду частичек жира и кожи, с которыми и взаимодействовал коагулянт, также стоит отметить, что после коагуляции количество АПАВ увеличилось в сравнении с исходной водой, т.е. коагулянт реагировал не с ПАВ-ами, а с другими компонентами моющего средства или загрязнителями.

Очистка на сорбционном угле имела высокую эффективность изъятия загрязняющих веществ и в зависимости от времени контакта обеспечивала снижение показателя ХПК до значения менее 30 мг/л, а также было отмечено значительное изъятие АПАВ из сточной воды.

### **Заключение**

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что эффективность физико-химических методов при очистке реальных «серых» вод значительно выше, чем на имитате из моющих растворов и дальнейшие исследования необходимо производить только на реальной сточной воде.

При соблюдении определенных условий, достигается высокая эффективность очистки по ВВ, БПК<sub>5</sub>, ХПК, значения которых соответствуют нормативным требованиям СанПиН как для закрытых, так и для открытых систем технического водоснабжения, что позволяет предположить возможность повторного использования очищенных слабозагрязненных сточных вод на различные нужды, например для полива зеленых насаждений.

Для оптимизации и увеличения эффективности узлов очистки, планируется добавить в схему флотатор, который вероятнее всего позволит убрать часть АПАВ и снизит нагрузку на сорбционный фильтр, а также планируется проведение дополнительных экспериментов по вводу различных видов и доз окислителей.

### **Список литературы**

1. Качество поверхностных вод Российской Федерации. Ежегодник 2020// Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды 2021. С. 3–560.
2. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/water-and-sanitation/>
3. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Серая\\_вода](https://ru.wikipedia.org/wiki/Серая_вода)
4. Tolksdorf J. LuD. Cornelp. 2016a First implementation of a SEMIZENTRAL resource recovery center . Journal of Water Reuse and Desalination 6 (4), 466–475.
5. [https://www.huber-technology.ru/fileadmin/huber-ru/pdf/greyuse\\_ru.pdf](https://www.huber-technology.ru/fileadmin/huber-ru/pdf/greyuse_ru.pdf)
6. ГОСТ 25150-82 Канализация. Термины.
7. РД 52.24.643-2002 Методические указания. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям.
8. МУ 2.1.5.1183-03 от 01 марта 2003 года «Санитарно-эпидемиологический надзор за использованием воды в системах технического водоснабжения промышленных предприятий».
9. СанПиН 2.1.7.573–96 «Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков для орошения и удобрения».
10. СанПиН 1.2.3685-21 от 28 января 2021 года №2 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».
11. ГОСТ Р 51642-2000 от 2001-07-01 «Коагулянты для хозяйственно-питьевого водоснабжения. Общие требования и метод определения эффективности».

## **АНАЛИЗ РЕЖИМОВ РАБОТЫ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ В СИСТЕМАХ ПОДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДЫ**

**И.В. Николенко\*, Е.Е. Котовская, О.В. Росовская**

ФГАОУ ВО КФУ им. В.И. Вернадского», Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 181

\*Автор ответственный за переписку: [nikoshi@mail.ru](mailto:nikoshi@mail.ru)

**Аннотация.** Повышение энергетической эффективности и надежности процесса подачи и распределения воды потребителям,

является одной из основных задач эксплуатации систем подачи и распределения воды (СПРВ). Наиболее энергоемкими объектами СПРВ являются силовые агрегаты насосных станций. В работе рассмотрена динамика водопотребления и эксплуатации насосного оборудования в закрытом гидравлическом контуре, состоящим из системы «насосные агрегаты - водопроводные сети» для двух изолированных контуров, предназначенных для водоснабжения двух различных частей одного из микрорайонов города. При помощи стандартных статистических методов обработан, накопленный статистический материал по суточному водопотреблению населения, значение которых фиксировали в течении 4-х лет эксплуатации. Полученная статистическая информация позволила выполнить количественную и качественную оценку работы насосного оборудования, совместно с анализом возникновения аварийных ситуаций на СПРВ. Такая оценка позволит выявлять факторы, влияющие на возникновение аварийных ситуаций и разработать комплекс мероприятий, направленных на их устранение.

## **Введение**

Системы подачи и распределения воды (СПРВ) населенных пунктов являются сложным комплексом инженерно-технических сооружений систем водоснабжения (СВ) [1], функционирование которых зависит от режимов и параметров работы гидравлических машин и случайных процессов водопотребления населения микрорайонов. Эффективность работы насосных агрегатов (НА) определяет стоимость их жизненного цикла, а также влияет на рентабельность и прибыль эксплуатационного предприятия СВ. Согласно п. 7.9 СП 31.1330.2012 [2] при проектировании СВ населенных пунктов СПРВ должна обеспечить следующие характерные режимы подачи воды: в сутки максимального водопотребления - максимального, среднего и минимального часовых расходов, а также максимального часового расхода воды на пожаротушение; в сутки среднего потребления - среднего часового расхода; в сутки минимального водопотребления - минимального часового расхода.

Так как рассматривается 6 расчетных режимов СПРВ, то следует учитывать, что эти режимы являются проектными и их значения могут отличаться от фактических условий эксплуатации НА, зависящих от реального водопотребления населенного пункта [3].

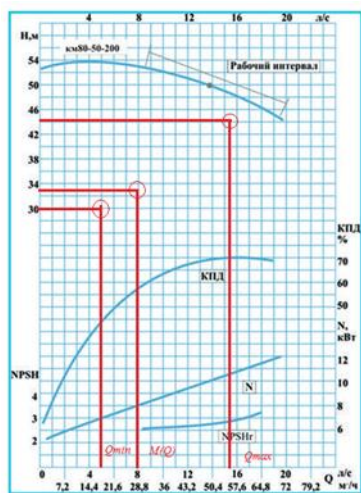
## **Материалы и методы**

В качестве объекта исследования была выбрана СВ микрорайона г. Симферополь «Маршала Жукова - верхнее плато», состоящая из насосной станции с подающими НА, системы распределительных трубопроводов, и двух различных гидравлических контуров с общим резервуаром чистой воды (РЧВ). Часть микрорайона представлена поселком депортированных народов Крыма (*участок 1*) и состоит из 15 улиц, на которых находится 441 частный дом с коэффициентом семейственности 7, и общим числом жителей

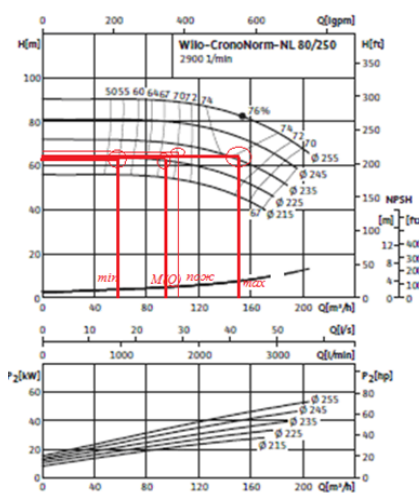
3997 человек. Площадь поливаемых участков на одно частное домовладение 300 м<sup>2</sup>, общая площадь поливаемых участков всего поселка 132,3 тысяч м<sup>2</sup>. Норма расхода воды на полив зеленых насаждений, составляет 3 л/сут\*м<sup>2</sup> Поселок расположен на геодезических отметках 281,55...318,78, с перепадом - 37,23 м.

Вторая часть рассматриваемого микрорайона является многоэтажной жилой застройкой (участок 2), расположенной на геодезических отметках местности 304,48...325,77, с перепадом отметок - 21,29 м. На территории рассматриваемого микрорайона размещено 19 многоэтажных жилых домов этажностью 9 и 14 этажей; здание школы на 1000 учащихся, и детский сад на 250 мест. Общее число жителей этой части микрорайона - 8460 человек.

Подающий водовод из городской водопроводной сети питает РЧВ с объемом 10 тысяч м<sup>3</sup>, предусмотрен для питания двух участков одного микрорайона. Вода из РЧВ забирается при помощи агрегатов насосной станции на геодезической отметке 314,11 м. Вода по одному напорному стальному водоводу поступает в кольцевую водопроводную сеть участка 1, состоящую из 14 водопроводных колец. НА этой сети установлен один рабочий насос с возможностью переключения для совместной работы с насосами, работающими на многоэтажную жилую застройку: КМ 80-50-200 (рабочий), с диаметром рабочего колеса 254 мм; частотой вращения  $n=2900$  об/мин;  $N_{двигателя}=15$  кВт; и КПД 70%. Напорная характеристика насоса КМ 80-50-200 представлена на рисунке 1, а.



а



б

**Рисунок 1.** Напорные характеристики НА, работающих на водопроводную сеть участков 1 и 2 микрорайона Маршала Жукова: а – КМ 80-50-200; б - NL80/250-45-2-05

Вода из РЧВ по двум напорным стальным водоводам насосной станцией подается в водопроводную сеть многоэтажной жилой застройки микрорайона, состоящую из 4-х водопроводных колец. На подающие воду в эту часть микрорайона: 1 рабочий и 1 противопожарный и 2 резервных, следующих марок: *Wilo-CronoNorm- NL80/250-45-2-05* (рабочий) расходно-напорная характеристика показана на рисунке 10; *Wilo NL80/250-45-2-05* (резервный); *Wilo BL 65/250* (резервный); *K90-85* (аналог *K100-65-250*), (пожарный) с диаметром рабочего колеса 254 мм; частотой вращения  $n=2900$  об/мин;  $N_{двигателя}=45$  кВт; и КПД 67%. На рис.1, б показана напорная характеристика насоса *Wilo-CronoNorm- NL80/250-45-2-05*.

В качестве методов проведения исследования выбраны натурные наблюдения данных о водопотреблении, теория вероятности и математической статистики, при помощи которых выполнялась обработка накопленной статистической информации.

После сбора данных о водопотреблении закрытого контура участка водопроводной сети, в первую очередь, было необходимо установить связь между коэффициентами сезонной неравномерности, часовой неравномерности и фактическими значениями. Согласно п. 5.1 [2] принимается расчетное количество одновременных пожаров  $n=1$ , п. 5.2 [2] - минимальный коэффициент суточной неравномерности водопотребления  $K_{сут.мин} = 0,9$ , значение коэффициентов  $\alpha_{max} = 1,3$  и  $\alpha_{min} = 0,5$ , согласно п. 5.2 и табл. 2 [2] – максимальный коэффициент суточной неравномерности водопотребления,  $K_{сут.маx} = 1,1$ . В таблице 1 приведены сводные данные натурных наблюдений по показаниям водомеров, установленным в насосной станции на напорных водоводах, данные проектных расчетов для двух участков микрорайона, выполненные в соответствии с требованиями СП 31.13330.2012 [2].

Для анализа и обработки результатов измерений параметров водопотребления водопроводной сети микрорайона в эксплуатационных условиях применили графический, и аналитический методы. Выбор метода обработки определялся характером измеряемых величин, требуемой точностью, а также зависит от требований, предъявляемых к последующему анализу. Рассматривались показатели водопотребления для двух участков микрорайона Маршала Жукова в течении каждых суток на протяжении четырех лет эксплуатации - 2016, 2017, 2018, 2019 годов. В результате получен объем выборки по параметрам водопотребления в размере  $N=1460$  значений.

**Таблица 1.** Сводная таблица значений, полученных эмпирическим и расчетным путем водопроводной сети микрорайона Маршала Жукова

Наименование показателей	Участок 2		Участок 1		Примечание
	Аналит. значения	Факт. значения	Аналит. значения	Факт. значения	
1	2	3	4	5	6
*Норма водопотребления, м <sup>3</sup> /сут на человека	0,150	0,182	0,100	0,110	
Расход воды на наружное пожаротушение, л/с	15,0	15,0	10,0	10,0	табл.2 [2]



Значение коэффициента $\beta_{\max}$	1,35	1,35	1,50	1,50	табл. 2 [2]
Коэффициент часовой неравномерности водопотребления $K_{ч,\max}$	1,76	1,76	1,95	1,95	п. 5.2 [2]
Значение коэффициента $\beta_{\min}$	0,33	0,33	0,20	0,20	табл. 2 [2]
Коэффициент часовой неравномерности водопотребления $K_{ч,\min}$	0,17	0,17	0,10	0,10	п. 5.2 [2]
Сутки среднего водопотребления, м <sup>3</sup> /сут	1459,3	1246,2	459,6	352,9	п. 5.2 [2]
Сутки максимального водопотребления, м <sup>3</sup> /сут	1605,2	2290,0	505,6	853,0	п. 5.2 [2]
Сутки максимального водопотребления без учета на полив, м <sup>3</sup> /сут	1605,3	2290,0	505,6	456,1	п. 5.2 [2]
Сутки минимального водопотребления, м <sup>3</sup> /сут	1313,4	540,0	413,7	101,0	п. 5.2 [2]
Час минимального часового расхода в сутки минимального водопотребления, м <sup>3</sup> /ч	9,03	3,71	1,72	0,42	п. 7.9 [2]
Час минимального водопотребление в сутки максимального водопотребления, м <sup>3</sup> /ч	11,04	15,74	2,11	3,55	п. 7.9 [2]
Час среднего часового расхода в сутки среднего водопотребления, м <sup>3</sup> /ч	60,81	51,93	19,15	14,70	п. 7.9 [2]
Час среднего водопотребления в сутки максимального водопотребления, м <sup>3</sup> /ч	66,89	95,42	37,35	28,67	п. 7.9 [2]
Час максимального водопотребления в сутки максимального водопотребления, м <sup>3</sup> /ч	117,4	167,5	41,1	69,3	п. 7.9 [2]
Час максимального водопотребление в сутки максимального водопотребления на период пожаротушения, м <sup>3</sup> /ч	171,4	221,5	77,1	105,3	п. 7.9 [2]

*\*Значения в колонках 2 и 4 приняты в соответствии с СП 31.13330.2012, в колонках 3 и 5 расчетное математическое ожидание*

Полученные результаты измерений параметров работы НА – водопотребления двух участков водопроводной сети микрорайона представлены массивами данных в табличной форме. В том виде, в котором они представлены данные мало пригодны для последующего анализа влияния условий эксплуатации на работу подкачивающей насосной станции микрорайона и вероятность возникновения аварий. Поэтому результаты измерений для двух участков были представлены в виде статистических рядов распределения параметров по интервалам. Для этого все измеренные величины разбивают на интервалы и размещают в них в порядке возрастания с указанием соответствующих частот и частостей [4].

В результате обработки результатов измерений параметров для участка 1 определены математическое ожидание водопотребления, дисперсию и среднеквадратическое отклонение, получено дифференциальную и

интегральную функцию плотности вероятности распределения значений водопотребления, соответствующую закону распределения случайной величины Вейбулла-Гнеденко. В ходе математической обработки получены аналитическое выражение распределения случайной величины для первого участка, с соответствующими параметрами: математическое ожидание равно  $359 \text{ м}^3/\text{сутки}$ , дисперсия случайной величины -  $47409,8 (\text{м}^3/\text{сутки})^2$  и среднеквадратическое отклонение величины водопотребления -  $383,94 \text{ м}^3/\text{сутки}$ . Проверка сходимости полученных результатов осуществлялась по критерию Пирсона.

Выполнено выравнивание функции и построены дифференциальные и интегральные кривые распределения для участка 1, дифференциальная функция представлена в виде

$$f(Q) = \frac{0,94}{333,86} \cdot \left( \frac{Q}{333,86} \right)^{-0,06} \cdot e^{-\left( \frac{Q}{333,68} \right)^{0,94}} \cdot (1)$$

Для участка 2 водопроводной сети микрорайона «Маршала Жукова – многоэтажная жилая застройка» в ходе математической обработки получены аналитическое выражение распределения случайной величины, соответствующую закону нормального распределения случайной величины с соответствующими параметрами: математическое ожидание равно  $1241,72 \text{ м}^3/\text{сутки}$ , дисперсия случайной величины -  $36581,4 (\text{м}^3/\text{сутки})^2$  и среднеквадратическое отклонение величины водопотребления -  $191,26 \text{ м}^3/\text{сутки}$ . Проверка сходимости полученных результатов осуществлялась по критерию Пирсона.

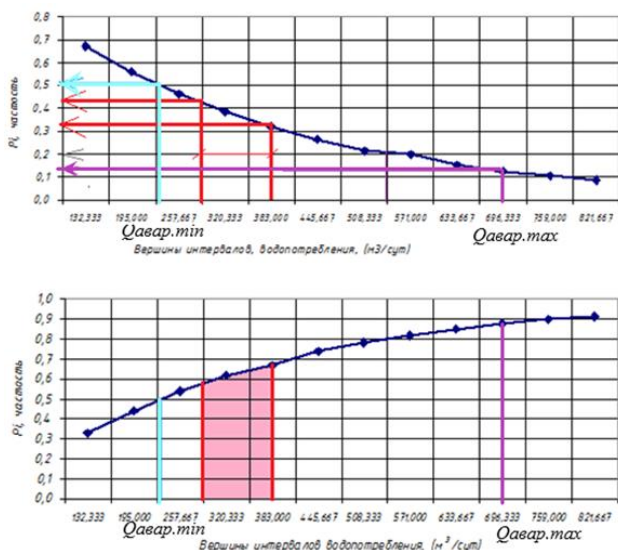
Выполнено выравнивание функции и построены дифференциальные и интегральные кривые распределения, интерпретация которых представлена далее.

$$f(Q) = \frac{291,66}{191,26 \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(Q-1241,72)^2}{2 \cdot 36581,4}} = 0,608 \cdot e^{-0,0131 \cdot 10^{-3} (Q-1241,72)^2} \cdot (2)$$

Таким образом, установлено, что распределение случайной величины водопотребления для первого участка - частного сектора, с числом жителей 3997 человек, подчинена закону Вейбулла-Гнеденко, а для многоэтажной жилой застройки, с числом жителей 8460 человек – закону нормального распределения. Что возможно обусловлено, также сезонным поливом приусадебных участков в летний период на территории частного сектора. Фактические данные по величине удельного среднесуточного водопотребления, представленные в таблице 1 показали, что величина водопотребления для частного сектора составила  $110 \text{ л/сут}$  на человека, а для многоэтажной застройки -  $182 \text{ л/сут}$  на человека. Уменьшение величины удельного водопотребления в частном секторе обуславливается отсутствием систем централизованной канализации. Дома частного сектора оборудованы ямами с выгребом или септиками, что вносит ограничение на использование воды.

## Результаты

Одним из факторов, влияющих на эффективную эксплуатацию СПРВ, является их работа в аварийных ситуациях. Тщательный анализ причин возникновения той или иной аварийной ситуации на системах СПРВ, является неотъемлемой задачей эксплуатирующего предприятия. К таким показателям можно отнести: назначенный и фактический срок службы распределительных трубопроводов [5-6], материал из которого они выполнены, тип грунта, в котором они заложены, наличие грунтовых вод; выполнение профилактического обслуживания и т. д [7]. Также из факторов, оказывающих значительное влияние, можно выделить некорректно работающее насосное оборудование на различных эксплуатационных режимах [8-9]. С целью анализа на рассматриваемых двух участках одного микрорайона параллельно со сбором информации по водопотреблению фиксировали аварии на данных гидравлических контурах участков 1 и 2 водопроводной сети микрорайона «Маршала Жукова». В результате выполненного анализа было установлено, что за рассмотренный период (2016 – 2019 годы) на участке 1 произошло 6, а на участке 2 – 49 аварийных ситуаций.



**Рисунок 2.** Дифференциальный и интегральный график водопотребления участка 1, с отметками диапазона водопотребления на которых наиболее часто возникали аварийные режимы

**Таблица 2.** Параметры работы НА для подачи воды на участок 1 микрорайона «Маршала Жукова»

Режимы водопотребления	$Q$ , $m^3/ч$	$H$ , м	Насос
Минимальная подача	18	30,3	КМ 80-50-200
Математическое ожидание по подаче	28	32,5	КМ 80-50-200

Максимальная подача в период пожаротушения	91	59,9	Специальный режим управления НС
--	----	------	---------------------------------

После анализа данных и значений, полученных в ходе статистической обработки по сетям водоснабжения участка 1 микрорайона «Маршала Жукова», был выполнен его гидравлический расчета на основных режимах: при водопотреблении  $359 \text{ м}^3/\text{сутки}$ ;  $696 \text{ м}^3/\text{сутки}$ ;  $230 \text{ м}^3/\text{сутки}$ , с целью определения фактических напоров в местах возникновения аварийных ситуаций при том или ином гидравлическом режиме. Также было установлено, что 3 аварии на участке 1 произошли на режимах близких к значению математического ожидания водопотребления микрорайона  $307 \text{ м}^3/\text{сутки}$ ;  $347 \text{ м}^3/\text{сутки}$ ;  $383 \text{ м}^3/\text{сутки}$ , соответственно было принято решение выполнить гидравлический расчет на данные режимы, с определением фактических напоров. Указанный диапазон  $307...383 \text{ м}^3/\text{сут}$  отмечен на совмещенном дифференциальном и интегральном графике водопотребления участка 1, с графическим указанием по определению вероятности работы в данных диапазонах - рисунок 2. Для рассмотренных диапазонов по подаче определены параметры работы существующего НА типа  $КМ 80-50-200$ , которые представлены в таблице 2, а на рис.1, а эти значения нанесены на напорную характеристику насоса.

Проанализировав рисунок 1, а можно заключить, что характеристика данного насоса удовлетворяет максимальному режиму водопотребления вероятность наступления которого составляет 0,11. Для значения математического ожидания рабочая точка находится за пределами рабочего диапазона, и соответствует КПД – 55%, что соответствует режиму водопотребления  $359,3 \text{ м}^3/\text{сут}$ , вероятность работы на котором в течении периода наблюдения составляет 0,35. Работа на значениях  $230 \text{ м}^3/\text{сутки}$  соответствует КПД 37% и вероятность работы в данном режиме составляет 0,4. Соответственно можно заключить, что больший период времени эксплуатации НА работает за пределами рекомендованных параметров.

При анализе сведений аварийных ситуаций в сетях водоснабжения 2-го участка микрорайона «Маршала Жукова» значения величин водопотребления при аварийных ситуациях были собраны в отдельную корпоративную базу, с целью определения диапазона расходов водопотребления при которых наиболее часто возникали аварийные ситуации. В таблице 3 представлены результаты предварительной обработки величин среднесуточных показателей водопотребления для 2 участка жилого микрорайона «Маршала Жукова», при которых возникали аварии.

**Таблица 3.** Результаты предварительной обработки величин среднесуточных показателей водопотребления для 2 участка жилого микрорайона «Маршала Жукова», при которых возникали аварии в СВ

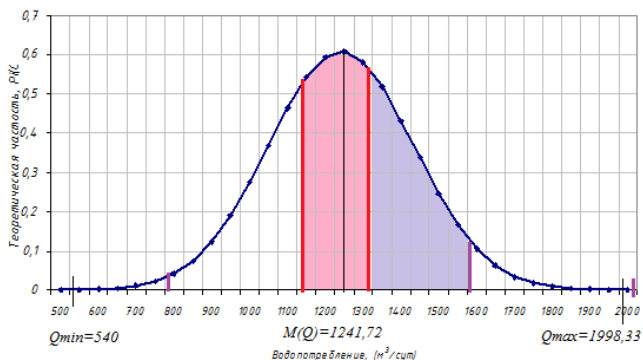
Интервал	Границы интервалов, ( $\text{м}^3/\text{сут}$ )			Частота, $m_i$	Частость, $P_i^*$
	$Q_{i\min}$	$Q_{i\max}$	$Q_{i\text{ср}}$		
1	810	1075	942,5	3	0,06
2	1075	1340	1207,5	24	0,49

3	1340	1605	1472,5	17	0,35
4	1605	1870	1737,5	3	0,06
5	1870	2135	2002,5	1	0,02
6	2135	2400	2267,5	1	0,02

Анализ данных, представленных в таблице 3, показал, что наибольшее количество аварий возникает в диапазоне суточного водопотребления 1075...1340 м<sup>3</sup>/сут, а также в диапазоне суточного водопотребления 1340...1605 м<sup>3</sup>/сут, в первый указанный диапазон входит математическое ожидание, полученное в ходе статистической обработки накопленной базы данных водопотребления. На рисунке 3 представлен график дифференциальной функции плотности распределения значений водопотребления для 2-го участка рассматриваемого микрорайона, на графике обозначены диапазоны водопотребления, при которых наиболее часто возникали аварийные ситуации.

Для определения фактических напоров в узловых точках при возникновении аварийных ситуаций на 2-ом участке микрорайона выполнен гидравлический расчет на режиме математического ожидания водопотребления – значений 1241,72, 810 и 1998,33 м<sup>3</sup>/сутки граничных значениях водопотребления при которых произошли аварийные ситуации на системе водоснабжения рассматриваемого микрорайона.

Выборка данных по аварийным ситуациям показала, что наибольшее количество аварийных ситуаций, возникающих на системе водоснабжения рассматриваемого микрорайона, происходит по адресу Маршала Жукова, 15 и по адресу Маршала Жукова, 39, именно для этих адресов на аварийных режимах были выполнены гидравлические расчеты и определены свободные напоры в узловых точках. По итогам полученных результатов определения свободных напоров в узловых точках можно заключить, что при возникновении аварийных ситуации на сетях зачастую в узловых точках фиксировались напоры, превышающие 60 м.



**Рисунок 3.** Дифференциальный график водопотребления 2-го участка микрорайона «Маршала Жукова», с отметками диапазона водопотребления, на которых наиболее часто возникали аварии

Сопоставив дифференциальные кривые водопотребления, предварительно переведя часовые подачи получим, что больший период времени НА работают за пределами рекомендованных параметров. Для рассмотренных диапазонов определены параметры работы существующего НА (таблица 4), а также с нанесением этих значений на напорную характеристику насоса *NL80/250-45-2-05*, которая показана на рис.1, б.

**Таблица 4.** Необходимые параметры работы НА для подачи воды на 2-ой участок микрорайона «Маршала Жукова»

Режимы водопотребления	Q, м <sup>3</sup> /ч	Н, м	Насос
Минимальная подача	62	60,8	1 насос Wilo-CronoNorm- NL80/250-45-2-05
Математическое ожидание по подаче	95	60,9	1 насос Wilo-CronoNorm- NL80/250-45-2-05
Максимальная подача	152,7	61,1	1 насос Wilo-CronoNorm- NL80/250-45-2-05
Максимальная подача в период пожаротушения	206,4	61,5	2 насос Wilo-CronoNorm- NL80/250-45-2-05

### Заключение

Для выполненных исследований был накоплен массив данных водопотребления и данных аварийных ситуаций, занесенных в тестируемую корпоративную базу эксплуатационного предприятия СВ микрорайона «Маршала Жукова» в г. Симферополе. В результате статистической обработки накопленных данных были получены аналитические выражения дифференциальной функции плотности распределения водопотребления для микрорайона города, состоящего из двух участков, один из которых участок 1 представлена многоэтажной жилой застройкой, а участок 2 - поселок депортированных народов, позволяющие получить дифференциальную и интегральную кривую распределения, которые позволяет количественно определить периоды времени на которых возникает то или иное водопотребление.

В работе были выявлены гидравлические особенности существующей водопроводной системы и на заранее определенных режимах водопотребления при которых наиболее часто возникали аварийные ситуации были проведены гидравлические расчеты по определению свободных напоров в местах возникновения аварий на трубопроводах.

Для более эффективной работы были предложены НА другого размерного ряда, позволяющие работать на более экономически выгодных показателях, а также обеспечивать необходимые напоры у диктующих потребителей.

Рекомендуется использовать полученные характеристики водопотребления для анализа и сопоставления с другими районными насосными станциями СВ, с последующей разработкой рекомендаций к проектированию подкачивающих насосных станций. Дальнейшими перспективами

выполненных исследований является внедрение рекомендаций в практику проектирования СВ.

### Список литературы

1. Абрамов Н.Н. Водоснабжение. – М.: Стройиздат, 1982 г.
2. СП 31.13330.2012. Свод правил. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения [Текст]. Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84\*. – Введ. 2013-01-01. – М.: Минрегион России, 2012. – 124 с.
3. Николенко, И.В. Оценка энергетической эффективности работы агрегатов насосных станций подкачки с учетом условий эксплуатации [Текст] / И.В. Николенко, Е.Е. Котовская // Строительство и техногенная безопасность. — Симферополь: Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского – 2016. – №4(56). – С. 103-112.
4. Вентцель, Е.С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения [Текст] /Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров // М.: Высш. школа, 2000. – 383 с.
5. Ильин, Ю.А. Надежность водопроводных сооружений и оборудования /. Ю.А. Ильин. – М.: Стройиздат, 1985. – 240 с.
6. Ильин, Ю.А. Расчет надежности подачи воды /. Ю.А. Ильин. – М.: Стройиздат, 1987. – 320 с.
7. Храменков С.В. Реконструкция трубопроводных систем/ С.В. Храменков, О.Г. Примин, В.А. Орлов – М: Из-во АСВ, 2008. – 216 с.
8. Березин, С.Е. Насосные станции с погружными насосами. Расчет и конструирование [Текст]: / С.Е. Березин. – М.: ОАО «Издательство «Стройиздат», 2008. – 160 с.
9. Березин, С.Е. Воздуходувные станции с регулируемыми центробежными компрессорами [Текст]: / С.Е. Березин, В.И. Баженов – Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2019. – 188 с.

## НОВЫЙ ПОДХОД К ГИДРАВЛИЧЕСКОМУ РАСЧЕТУ СЕТЕЙ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Продоус О.А.<sup>1</sup>, Якубчик П. П.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ООО «ИНКО–эксперт», Российская Федерация, 190005, г. Санкт-Петербург, Московский пр., д. 37/1, лит. А, пом. 1-Н;

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», г. Санкт-Петербург, Московский проспект, д. 9.

\*Автор ответственный за переписку: [pro@enco.su](mailto:pro@enco.su)

**Аннотация.** Приведено обоснование применения более простой расчетной зависимости для расчета коэффициента гидравлического сопротивления труб из полимерных материалов, зависящего от структуры их внутренней поверхности. Дан анализ нормативной и предлагаемой для практического применения расчетной зависимости. Показано, что новый подход при гидравлическом расчете труб повышает точность гидравлического расчета при проектировании трубопроводов из полимерных материалов.

**Ключевые слова:** трубы из полимерных материалов, шероховатость, гидравлический расчет, расчетные зависимости.

## Введение

Возросший за последнее время рост использования труб из полимерных материалов при проектировании и строительстве напорных сетей водоснабжения (ПНД, ПВХ, ПВХ-О 500 и стеклопластика (СП), а также стальных труб с полимерным покрытием (Амеркот-391)) требует уточнения расчетных зависимостей, используемых при их гидравлическом расчете. Трубы из перечисленных материалов в последствии разных технологий их производства имеют разные значения параметров, характеризующих структуру их внутренней (рабочей) поверхности, значением стандартизированных параметров  $R_a$  и  $S_m$ , влияющих на величину потерь напора на сопротивление по длине  $i$  [1, 2]. Поэтому в процессе производства труб из перечисленных материалов требуется производить контроль значений параметров  $R_a$  и  $S_m$  с помощью серийно выпускаемых сертифицированных переносных приборов, аналогично требованиям, установленным для напорных железобетонных труб, введенных в ГОСТ 12586.0(1)-83, действующий и сегодня [3, 4, 5].

## Материалы и методы

Нормативно установленная методика гидравлического расчета труб из полимерных материалов предусматривает расчет потерь напора по длине по формуле Дарси-Вейсбаха, имеющей вид:

$$i = \lambda \frac{V^2}{2g \cdot d}, \quad \text{мм/м} \quad (1)$$

Где  $i$  – гидравлический уклон;

$\lambda$  – коэффициент гидравлического сопротивления труб;

$V$  – средняя скорость потока, м/с;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$d$  – внутренний диаметр труб, м.

Расчет значений  $\lambda$  требуется производить по формуле предложенной А.Я. Добромысловым регламентированной требованиями СП 40-102-200 и СП 399.1325800.2018. Формула имеет сложный вид и расчет значений  $\lambda$  производится в несколько этапов [6]. При этом влияние структуры шероховатости внутренней поверхности труб на их гидравлические характеристики вообще не учитывается, так как в формулу не входят характеристики их шероховатости  $R_a$  – высотный параметр шероховатости и  $S_m$  – шаговой параметр шероховатости, установленные по ГОСТ 2789-73. Введенная в стандарт формула для расчета  $\lambda$  имеет вид:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = \frac{0,5 \left( \frac{b}{2} + \frac{1,312(2-b) \lg(3,7d / K_9)}{\lg Re_{\phi} - 1} \right)}{\lg(3,7d / K_9)}. \quad (2)$$



После некоторых упрощений формула (2) приобретает более простой вид [7]:

$$\lambda = \left[ \frac{0,5 \left( \frac{b + 1,312(2-b)m}{2n} \right)}{m} \right]^2, \quad (3)$$

где:

$$b = 1 + \frac{\lg Re_\phi}{\lg Re_{кр}} \quad - \text{некоторое число подобия режимов движения жидкости, при условии } b > 2 \text{ значение } b \text{ принимается равным 2;}$$

$$Re = \frac{V \cdot d}{\nu} \quad - \text{фактическое число Рейнольдса;}$$

$$Re = \frac{500 \cdot d}{K_s} \quad - \text{число Рейнольдса, соответствующее началу квадратичной области гидравлических сопротивлений;}$$

Где  $K_s$  – гидравлическая шероховатость или коэффициент эквивалентной равномернозернистой шероховатости внутренней поверхности стенок труб, м;

$\nu$  – коэффициент кинематической вязкости жидкости, зависящий от температуры воды,  $m^2/c$ ;

$$m = \lg \frac{3,7 \cdot d}{K_s} \quad - \text{число подобия параметров трубопровода, отражающее изменение расчетного внутреннего диаметра и значения величины параметров шероховатости внутренней поверхности;}$$

$$n = \lg Re_\phi - 1 \quad - \text{фактор, характеризующий изменение расхода транспортируемой жидкости, в зависимости от ее физических свойств.}$$

Кроме того, в СП 399.1325800.2018 приведены значения  $K_s$  только для двух видов материалов труб из ПНД и труб из ПВХ. Для других видов полимерных материалов значения  $K_s$  в нормативе отсутствуют.

Поэтому авторами предлагается новый, более современный подход к гидравлическому расчету труб из полимерных материалов – использование при расчете значений  $\lambda$  более простой эмпирической зависимости, учитывающей влияние структуры шероховатости внутренней поверхности труб, характеризуемый значением параметров  $Ra$  и  $Sm$  [1]. Формула имеет вид:

$$\lambda = \frac{0,3162}{Re^{0,25}} \left( \frac{10 Ra \cdot 10^2}{Sm} + 1 \right)^{0,172} \cdot \left( \frac{2 Ra \cdot 10^3}{d_{вн}} + 1 \right)^{0,475}, \quad (4)$$

Где  $Ra$  – фактическое среднее (измеренное) прибором значение параметра шероховатости внутренней поверхности трубы, замеренное в заводских условиях, мкм;

$Sm$  – фактическое среднее значение шага неровностей между выступами неровностей профиля на базовой длине профиля, мкм;

$Re$  – число Рейнольдса – безразмерная величина:

$$Re = \frac{V \cdot d_{вн}}{\nu},$$

где:

$V$  – фактическая средняя скорость, м/с;

$d_{вн}$  – фактический внутренний диаметр, м;

$\nu$  – коэффициент кинематической вязкости воды, зависящий от температуры, м<sup>2</sup>/с.

## Результаты

Эмпирическая зависимость (4) получена авторами в результате проведения исследований значений параметров шероховатости более, чем 500 образцов труб из разных полимерных и металлополимерных материалов. В результате этих исследований была подтверждена практическая точность этой зависимости [1, 2, 8].

Достоинством формулы (4) является простота ее использования при расчете значений  $\lambda$  по измеренным в производственных условиях значениям параметров  $Ra$  и  $Sm$ .

Для приведенного в работе [8] примера процент расхождения значений  $\lambda$ , при расчете по нормативной зависимости (2) и предлагаемой (4), составляет 0,26 %. Соответственно, расхождение значений  $i$  по формуле (1) составит 0,32 %. Такой процент расхождения свидетельствует о том, что при гидравлическом расчете по формуле (2) не учитывается влияние структуры шероховатости внутренней поверхности труб на величину потерь напора на сопротивление по длине  $i$  [1, 2].

Таким образом, новый подход к гидравлическому расчету труб из полимерных и металлополимерных материалов заключается в использовании при расчете  $\lambda$  зависимости, учитывающей характеристики структуры шероховатости внутренней поверхности труб, измеренные в заводских условиях при их производстве.

## Заключение

Расчет значений гидравлического уклона  $i$  по формуле (1), с учетом описанного нового подхода при расчете значений  $\lambda$  по формуле (4), также повысит точность гидравлического расчета трубопроводов из полимерных материалов. Для комплексного решения проблемы качества труб из полимерных материалов необходимо:

- нормировать методику производственного контроля значений параметров шероховатости труб из полимерных материалов;
- разрабатывать государственный стандарт на величину предельных значений характеристик шероховатости внутренней поверхности труб  $Ra$  и  $Sm$ ;
- внести уточнения в расчетную зависимость (2) для гидравлического расчета труб из полимерных материалов, регламентированную требованиями СП 399.1325800.2018.

### Список литературы

1. Продоус О.А. Якубчик П.П. Гидравлический расчет трубопроводов из полимерных материалов с учетом параметров шероховатости внутренней поверхности труб. // Журнал «Водоснабжение и санитарная техника» № 11–2020. – С. 55–60.
2. Продоус О.А., Терехов Л.Д. Сравнительная оценка величин потерь напора для обоснования выбора материала труб из разных полимерных материалов. // Журнал «Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение», 2018/ 9 (129). – С. 44–48.
3. Продоус О.А., Якубчик П.П. Методика производственного контроля параметров шероховатости внутренней поверхности труб из полимерных и металлополимерных материалов . // Журнал «Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение». 2021/6 (162). – С.16-19.
4. Паспорт «Профилометр модели 130» АО «Завод Протон». 130.0. ПС. Москва. 2015. – 22 с.
5. ГОСТ 12586.0(1)–83 «Трубы железобетонные напорные виброгидропрессованные. Технические условия. // <https://docs.cntd.ru/document/901705557>
6. Продоус О.А. Прогнозирование потерь напора в трубопроводах из разных полимерных материалов. // Журнал «Водоснабжение и санитарная техника», № 11, 2018. – С. 60–64.
7. Продоус О.А., Васильева М. Упрощенный вид нормативной зависимости для проведения гидравлических расчетов трубопроводов из полимерных материалов. // Журнал «Водоснабжение и санитарная техника», № 9, 2017. – С. 53–55.
8. Продоус О.А., Якубчик П.П. Сравнительная оценка нормативных и расчетных значений величины коэффициента гидравлического сопротивления труб из полимерных материалов. // НТ журнал «Инженерные системы. АВОК– Северо-Запад», декабрь 2020. – С. 44–46.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ МОБИЛЬНОЙ СТАНЦИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

Аль-Амри Заед С.А., В.И. Щербаков\*

Воронежский государственный технический университет, Воронеж. Россия

\*Автор ответственный за переписку: [scher@vgasu.vrn.ru](mailto:scher@vgasu.vrn.ru)

**Аннотация.** Статья посвящена актуальной проблеме дефицита питьевой воды в странах Ближнего Востока. В качестве одного из решений проблемы предлагается разработка мобильной станции приготовления питьевой воды. В статье описаны все этапы

технологических процессов кондиционирования воды, подробно рассмотрены вопросы расчета технологических параметров станции.

## Введение

Страны Ближнего Востока считаются наиболее бедными районами по обеспечению водными ресурсами. Водные ресурсы всех арабских стран составляют около 171 км<sup>3</sup>. В засушливых районах, характеризующихся малым количеством осадков и небольшим числом рек, значительные потери воды приходится на испарение. Учитывая дефицит водных ресурсов в арабских странах, возрастает добыча и потребление подземных вод. Однако, такой забор воды из подземных источников ведет к их истощению и может привести к их полному исчезновению [1].

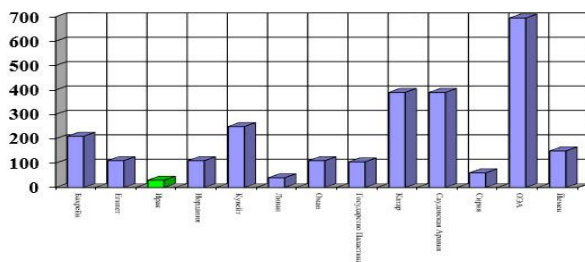


Рисунок 1. Использование подземных вод в странах Ближнего Востока, в %

На рисунке 1 показана добыча подземных вод, откуда видно, что во всех странах, за исключением Сирии, Ирака и Ливана воды забирается меньше возобновляемых ресурсов. Забор воды выше порога возобновления подземных вод характеризуется угрозой их загрязнения и истощения подземных источников.

## Материалы и методы

Подземные воды Ирака являются важным источником воды, который не был использован до сих пор должным образом. Такие воды требуют передовой и дорогостоящей физико-химической обработки, которая отличается от традиционных методов обработки речной и колодезной воды. Проекты по добыче подземных вод с использованием современных методов очистки воды были бы экономически целесообразными, но в настоящее время технически неосуществимы из-за их высокой стоимости и отсутствия поддержки современных методов, связанных с бурением, поставкой и хранением воды.

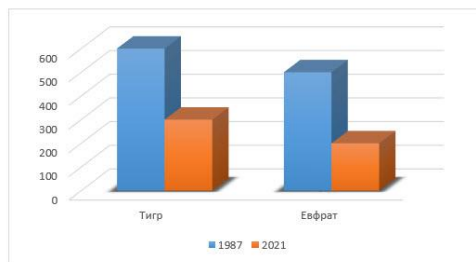
Несмотря на то, что реки Тигр и Евфрат проходят через Ирак с севера на юг, страна находится в преддверии острого водного кризиса. В последнем докладе Bloomberg Ирак занял 42-е место в категории "высокого риска" дефицита воды [1].

В результате развития сельского хозяйства выше по течению, роста населения, промышленного развития, строительства плотин и отвода других

потоков в Турции и Иране Ирак оказывается в уязвимом положении. Водному кризису способствуют межгосударственные споры по распределению ресурсов трансграничных рек (за ресурсы Тигра и Евфрата между Турцией, с одной стороны, и Ираком и Сирией – с другой).

Количество кальция и магния в речных водах Тигра и Евфрата в процессе протекания по территории Ирака увеличивается из-за сбрасываемых в реку сточных вод. На выходе из Ирака вода обеих рек содержит значительное количество солей натрия, что можно объяснить близостью морских вод.

На рисунке 2 показаны объемы воды в реках Тигр и Евфрат, которые продолжают уменьшаться и эти реки могут полностью пересохнуть к 2040 году, что требует уже сейчас принятия серьезных мер для преодоления этой проблемы.



**Рисунок 2.** Количество поступающей воды (м<sup>3</sup>/с)

Поскольку проблема дефицита пресной воды и связанная с ней необходимость очистки природных вод становится с каждым годом все критичнее, в особенности на юге Ирака, актуальным решением является разработка малогабаритных станций приготовления питьевой воды. Такие станции могли бы обеспечивать небольшие населенные пункты и промышленные предприятия доброкачественной водой, что особенно важно для Ирака [2,3].

В малых поселениях, где нет централизованного водоснабжения, строительство стационарных очистных сооружений нецелесообразно как с технологической, так и с экономической точек зрения. Малогабаритные сооружения могут быть выполнены в виде отдельного здания, одного или нескольких контейнеров с необходимым очистным оборудованием. Выбор варианта зависит от местоположения, климатических условий и назначения станции.

Мобильные контейнеры заводского изготовления с установленным оборудованием для очистки воды или водоподготовки в зависимости от требований потребителей являются универсальными и могут использоваться для решения широкого круга задач. Несмотря на компактность системы, очищенная вода должна соответствовать всем эпидемиологическим нормам.

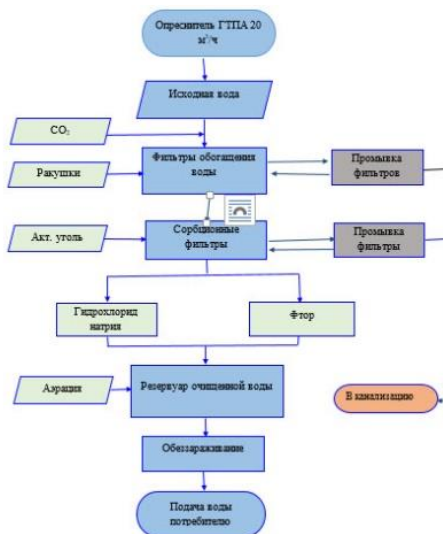
## Результаты

### Разработка мобильной станции приготовления питьевой воды.

Рассмотрим работу мобильного контейнера по приготовлению питьевой воды, опреснение в котором проходит методом паровой дистилляции. Следующим этапом после дистилляции воды является этап ее кондиционирования. Подробная схема кондиционирования питьевой воды представлена на рисунке 3 [4-6]. Данный алгоритм можно использовать для расчета параметров сооружений по узлам и вспомогательным элементам технологической схемы.

Недостаток кальция в искусственных водах (дистилляте, пермеате и пр.) побуждает повышение его концентрации до уровня, обоснованного современными физиолого-гигиеническими исследованиями (не менее 30 мг/л). Для реализации процесса кальцинации предусматривается предварительная карбонизация ее диоксидом углерода.

После карбонизации идет этап фильтрации пермеата через загрузку ракушечника, что приводит к обогащению воды кальцием. Последующим этапом является сорбционная фильтрация воды через слой активированного угля, где происходит очистка опресненной воды от органических соединений. Перед подачей воды потребителю производится ее стабилизация и обеззараживание [7-11].



**Рисунок 3.** Блок-схема процесса стабилизации очищенных природных морских или подземных вод

## Расчет параметров станции кондиционирования природной воды модульного типа производительностью 20 м<sup>3</sup>/ч

При фильтрационном процессе обогащения, с временем контакта 8-9 мин. концентрацию диоксида углерода в дистилляте общего потока следует принять 2 г-экв/м<sup>3</sup>, считая по эквивалентному соотношению:

$$C_{\text{ду}} = 2 \times 22 = 44 \text{ г/м}^3.$$

Общий расход диоксида углерода –  $P_{\text{ду}} = (20 \times 44) / 1000 = 0,88 \text{ кг/ч}$ .

### *Фильтры обогащения воды*

Концентрация кальция в обогащенном дистилляте принимается  $C_{\text{к}} = 30 \text{ г/м}^3$  или 1,5 г-экв/м<sup>3</sup>.

Удельный расход связанного диоксида углерода  $C_{\text{сду}} = 1,5 \times 22 = 33 \text{ г/м}^3$ , т.е. 75% от дозировочного расхода реагента. При принятом режиме обогащения, расчетное время контакта с карбонатной загрузкой  $\tau = 8 \text{ мин}$ .

В качестве загрузки фильтров обогащения принимается природный известняк (дробленый ракушечник) из местных прибрежных карьеров, разрешенных санитарными органами для использования в технологии обработки воды на опреснителе пленочного типа. Фракционный состав загрузки принимается крупностью в пределах 0,8-2,4 мм.

Высота фильтрующего слоя загрузки при использовании напорных фильтров составляет  $h_c = 1,8 \text{ м}$ .

При расчетной скорости фильтрования воды  $v = (1,8 \times 60) / 8 = 13,5 \text{ м/ч}$ , необходимая площадь фильтрования воды составит  $F = 20 / 13,5 = 1,5 \text{ м}^2$ .

Принимаем фильтры  $D = 1,0 \text{ м}$  с площадью рабочей части 0,785 м<sup>2</sup>.

Количество фильтров обогащения  $N = 1,5 / 0,79 = 1,9$ . Принимаем два напорных фильтра обогащения  $D = 1,0 \text{ м}$ , при этом продолжительность фильтроцикла должна быть не менее 24 часов.

Режим промывки фильтров обогащения производится обратным током исходного охлажденного дистиллята с интенсивностью 15 л/(м<sup>2</sup>·с) в течение 5 мин. Производительность промывного электронасоса  $Q_n = 0,785 \times 15 = 11,78 \text{ л/с}$  или 42,4 м<sup>3</sup>/ч.

Принимаем электронасос для промывки фильтров производительностью  $Q_n = 50 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Предусматриваем повторное использование промывных вод после их отстаивания с добавлением свежего дистиллята в количестве 10%. Промывной бак двухсекционный.

Полезная вместимость каждой секции составит  $V_c = (42,4 \times 5) / 60 = 3,5 \text{ м}^3$ . Принимаем секцию емкостью  $V_c = 4 \text{ м}^3$ . Каждая секция оборудуется поплавковой системой с гибким соединительным шлангом для забора отстоянной воды в поверхностном слое.

Удаление осадка осуществляется трубчатым сборником с отверстиями. Для равномерного удаления осадка по длине сборника следует среднюю скорость струй принять не менее 5 м/с.

### Сорбционные фильтры

Принимаются сорбционные намывные напорные фильтры с высокодисперсным активным углем.

Намывные сорбционные фильтры НСФ-5 диаметром 0,5 м обладают большой производительностью, благодаря наличию в них 12 фильтрующих элементов с фильтрующей поверхностью 0,182 м<sup>2</sup> каждый. Общая фильтрующая поверхность в таком аппарате составляет 2,2 м<sup>2</sup>. НСФ работает в режиме убывающей скорости фильтрования воды в пределах от 14 до 6 м/ч. Средняя приведенная скорость фильтрования воды принимается равной  $v = 10$  м/ч. Таким образом, производительность НСФ-5 равна  $Q = 22$  м<sup>3</sup>/ч. В данном случае требуется один фильтр  $N_{\phi} = 20/22 = 0,91 = 1$ .

Фракционный состав дисперсного активного угля марки АГ-3 следующий:  $d_3 = 40-80$  мкм;  $d_{80} = 73,0$  мкм;  $d_{10} = 50,0$  мкм; коэффициент неоднородности  $K = 1,46$ ;  $d_{эке} \approx 60,0$  мкм. Расчетная продолжительность фильтроцикла НСФ-5 может приниматься  $T_{\phiЦ} = 300$  ч. Количество фильтроциклов в течение года  $N_{\phiЦ} = 1 \times 365 \times 24/300 \sim 29$ . Годовой расход сорбента (АГ-3) при однократном использовании в НСФ  $P_C = (29 \times 5,5) / 1000 = 0,16$  т.

#### Приемный резервуар с аэрационной системой.

При расходе очищенной воды  $Q = 20$  м<sup>3</sup>/ч и времени пребывания ее  $\tau = 2$  ч, расчетная емкость приемного резервуара  $V = 20 \times 2 = 40$  м<sup>3</sup>. Принимаем двухсекционный резервуар с емкостью каждой секции  $V_C = 20$  м<sup>3</sup>.

При глубине воды в секции  $h = 2$  м, площадь секции  $f_C = 10$  м<sup>2</sup>, а размеры ее в плане определяются при компоновке приемного резервуара. Расчетная высота аэрационной камеры  $h_k = 0,70$  м, считая от зеркала воды. Аэрационная система трубчатая, состоящая из трех дырчатых распределителей длиной  $l = 1,5$  м, расположенных друг от друга на расстоянии 0,5 м. Расчетный расход на одну секцию резервуара  $q_C = 20/2 = 10$  м<sup>3</sup>/ч, а на один распределитель  $q_p = 10/3 = 3,3$  м<sup>3</sup>/ч.

#### Узел коррекционной обработки очищенной воды.

Очищенную воду последовательно обрабатывают водными растворами фтористого натрия и активного хлора.

#### Фторирование воды

Принимается расчетная доза фтора (F<sup>-</sup>)  $a_{\phi} = 0,7$  г/м<sup>3</sup>, а суточный расход фтора составит  $A_{\phi} = (0,7 \times 20) / 1000 = 0,014$  кг. Расход фтористого натрия  $A_{\phi n} = 0,014 \times 42) / 19 = 0,03$  кг/сут.

Расходный бак – двухсекционный, вместимостью каждой секции на суточный расход раствора фтористого натрия с концентрацией 1% или 10 г/дм<sup>3</sup> составит  $V_C = (0,71 \times 42) / 10 = 3$  л. Вместимость секции принимаем с некоторым запасом  $V_C = 4$  дм<sup>3</sup>, а расходного бака  $V_{\phi} = 2 \times 4 = 8$  дм<sup>3</sup>. Дозировочный расход раствора реагента  $q_{\phi} = 3/24 = 0,125$  л.

#### Обеззараживание воды гипохлоритом натрия.

При обеззараживании питьевой опресненной воды целесообразно отказаться от использования жидкого привозного хлора и использовать гипохлорит натрия. Производительность электролизной установки

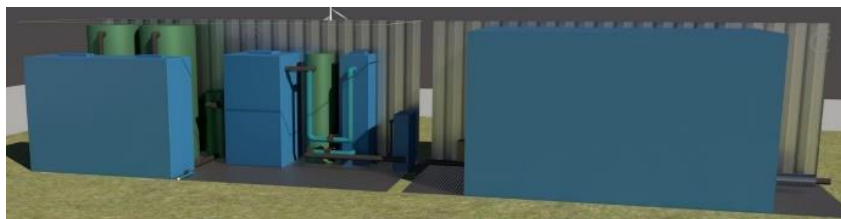


определена из необходимости постоянного обеззараживания  $20 \text{ м}^3/\text{сутки}$  воды и периодической хлорной обработки загрузки фильтров. Для производительности обеззараживающей установки по максимальному расходу активного хлора принята доза вводимого хлора –  $1,5 \text{ г Cl}_2/\text{м}^3$ , при этом остаточное содержание активного хлора не менее  $0,8 \text{ мг}/\text{дм}^3$ .

На основании приведенных выше расчетов запроектирована мобильная станция стабилизации очищенных природных морских или подземных вод в контейнерном исполнении (рисунок 4).

Всё водоочистное оборудование размещается в стандартном контейнере размером  $6,0 \times 2,5 \text{ м}$ . При необходимости увеличения производительности мобильной станции можно параллельно устанавливать ещё один или несколько блоков [12,13].

Основной задачей таких мобильных контейнеров является качественная водоочистка с высокой производительностью. Сама система рассчитана на долгий срок службы, однако некоторые части оборудования, например, фильтры, подлежат замене по истечению срока эксплуатации.



**а**



**б**

**Рисунок 4.** Технологическая схема размещения оборудования для кондиционирования дистиллята в установке модульного типа: а – общая схема установки; б – технологическая схема: 1 – рабочая секция промывного бака; 2 –

фильтры обогащения  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  с загрузкой ракушечника; 3 – смеситель; 4 – промежуточная емкость; 5 – фильтр с активированным углем; 6 – циркуляционный бак; 7 – узел стабилизации питьевой воды и узел фторирования воды; 8 – трубы исходной воды; 9 – трубы промывной воды; 10 – трубы опорожнения

## Заключение

Анализ подземных вод Ирака показал, что практически во всех регионах страны вода не отвечает требованиям, предъявляемым к хозяйственно-питьевым водам. Простые методы фильтрации и дезинфекции также не дают требуемых результатов. Для выполнения санитарных требований по качеству питьевой воды необходимы комплексные решения использования современных технологий и методов очистки засоленных подземных или морских вод.

Представленные исследования проведены в процессе разработки рекомендаций по проектированию технологической части установки приготовления питьевой воды из опресненной дистилляцией морской воды производительностью 20 м<sup>3</sup> в сутки. В основу легли разработки контейнерной модульной установки на 480 м<sup>3</sup> в сутки. Расчет установки производился по узлам и вспомогательным элементам технологической схемы.

## Библиографический список

1. R. Khamis, Water statistics - Environmental Statistics cycle [Электронный ресурс]/ Khamis R. Damascus, 17-11 August 2005 Режим доступа: <http://www.4enveng.com/pdetails.php?id=166> (дата обращения: 20.02.2015).
2. Akanda, A., Freeman, S. and Placht, The Tigris-Euphrates River Basin: Mediating a Path Towards Regional Water Stability. М. 2007.
3. Yavuz, Ercan. 2008. Turkey, Iraq, Syria to initiate water talks. Today's Zaman 12/03/2008
4. N. A. Al-Ansari, "Water Resources and Environment of Iraq," Internal Report, Lulea University, Lulea, 2010, p. 71.
5. Al-Shahrabaly Q., "River Discharges for Tigris and Euphrates Gauging Stations," Ministry of Water Resources, Baghdad, 2008 (in Arabic).
6. Алексеев Л.С. Контроль качества воды: учебник (Среднее профессиональное образование)/ Л.С.Алексеев 3-е изд., перераб. и доп. -М.: ИНФРА-М, 2004, 154с.
7. Щербаков В.И., Алексеев Л.С., Ивлева Г.А., Аль-Амри Заед Садик Абрахем. Исследование фильтрационной кальцинации мягких питьевых вод / В.И. Щербаков, Л.С. Алексеев, Г.А. Ивлева, Заед Садик Абрахем Аль-Амри // Научный вестник Воронежского ГАСУ. Высокие технологии. Экология. 2013. -С. 72-77.
8. Щербаков В.И., Аль-Амри Заед Садик Абрахем, Помогаева В.В. исследование методов кондиционирования опреснённой воды для питьевых нужд (в условиях Ирака)/ В.И. Щербаков, В.В. Помогаева, Заед Садик Абрахем Аль-Амри //Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2016. № 4 (44). С. 64-70.
9. Щербаков В.И., Аль-Амри Заед Садик Абрахем. К оценке запасов и качества подземных вод в Ираке / В.И. Щербаков, Заед Садик Абрахем Аль-Амри //

Сб. докладов научно-практической конференция «Яковлевские чтения». Москва, 2016. -С. 167-171.

10. Ивлева Г.А. Использование пермеата обратноосмотической установки в технологии приготовления питьевой воды // Труды ин-та ВОДГЕО «Глубокая очистка воды из источников повышенной загрязненности», 1991 г.

11. Щербаков В.И., Аль-Амри Заед Садик Абрахем, Алексеев Л.С., Ивлева Г.А. Очистка подземных вод от лимитирующих микроэлементов / В.И. Щербаков, Заед Садик Абрахем Аль-Амри, Л.С. Алексеев, Г.А. Ивлева // Сборник научных трудов Sworld. Современное состояние и пути развития. Международная научно-практическая конференция. Одесса, 2012.Т. 28 .-С.12-16.

12. Бульжеев Е.М., Ламзин Е.М., Вдовин Р.Д. Мобильная станция водоподготовки/ Е.М. Бульжеев, Е.М. Ламзин, Р.Д. Вдовин // Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2019» Материалы XII Межд. науч.-практ. конф.; г. Москва /Юж.-рос. гос. политехи. ун-т. (НПИ) имени М.И. Платова-Новочеркасск: Лик, 2019.- С. 190-198.

13. Алексеев Л.С., Ивлева Г.А., Амри Заед Садик Абрахем. Интенсификация фильтрационной кальцинации мягких питьевых вод/ Л.С. Алексеев, Г.А. Ивлева, Заед Садик Абрахем Аль-Амри // Сб. докладов научно-практической конференция «Яковлевские чтения». Москва, 2012. -С. 53-59.

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ МАЛОМУТНЫХ ЦВЕТНЫХ ВОД**

**Ж.М. Говорова\* , У.С. Канивец**

НИУ МГСУ, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26

\*Автор ответственный за переписку: GovorovaZhM@mgssu.ru

**Аннотация.** В соответствии с СП 31.13330.2012 рекомендуемыми условиями применения технологической схемы, включающей в свой состав осветлители со слоем взвешенного осадка (ОВО) и скорые фильтры, является уровень исходной мутности воды не менее 50 мг/л и цветности до 120 град., однако в практике известны случаи, когда данная технология применялась для очистки маломутных цветных вод. На основании многолетнего анализа работы очистных сооружений, работающих в условиях низкой мутности воды, повышенной цветности, перманганатной окисляемости, а также наличия антропогенных и техногенных нагрузок, были сделаны выводы о неудовлетворительной работе и несоответствии качества очищенной воды требуемым нормативам. В статье рассмотрен комплексный подход к вопросу интенсификации эксплуатации действующих очистных сооружений за счет применения процесса аммонизации, установления оптимального режима коагулирования воды, а также устройства при обосновании плавающего слоя из гранул вспененного полистирола в конструкцию ОВО.

### **Введение**

Для очистки маломутных цветных вод наиболее часто применяются реагентные одно- и двухступенчатые технологические схемы [1-5] с

использованием контактных осветлителей; горизонтальных отстойников или напорных флотаторов и скорых фильтров; двух ступеней фильтров с загрузкой из кварцевого песка (I ступень) и сорбента АС (II ступень). На небольших водопроводах, где источником водоснабжения являются природные воды цветные воды очистка может производиться в медленных фильтрах [6]. В качестве окислителей используются чаще всего хлорсодержащие реагенты.

В тоже время в практике водоподготовки особенно в Северо-Западном регионе России нередки случаи, когда в составе водопроводных очистных сооружений спроектированы осветлители со слоем взвешенного осадок, эксплуатация которых в условиях обработки маломутных холодных вод (менее 10°C) с низкой щелочностью (менее 3 мг-экв/л) и необоснованно высоких скоростях восходящего потока приводит к неустойчивой работе, неудовлетворительной коагуляции, высокому содержанию остаточного алюминия в осветленной воде и увеличению нагрузки на фильтры.

Анализ многолетних данных (1995-2021 гг.) по эффективности работы промышленных осветлителей ОВС г. Вологды в наиболее неблагоприятные периоды года показал, что мутность осветленной воды, поступающей на фильтры составляла до 19,9 мг/л, цветность – 18,3 град., перманганатная окисляемость – 10,52 мг/л, остаточный алюминий – 3,05 мг/л. Кроме того, при хлорировании цветной воды с повышенной перманганатной окисляемостью и бактериальной загрязненностью могут образовываться и поступать в питьевую воду токсичные побочные продукты – тригалогенметаны в концентрациях значительно превышающих ПДК [7-10].

Таким образом, с целью повышения надежности и барьерной роли существующих и вновь проектируемых водопроводных станций с осветлителями и обеспечения нормативного качества питьевой воды представляется перспективной реализация комплексного подхода, заключающегося в совершенствовании технологии путем пре- и постаммонизации воды, подбора реагентов с определением оптимального режима коагулирования и устройства при необходимости в верхней части осветлителя плавающего слоя из гранул пенополистирола и доочистка в фильтре с тяжелой загрузкой.

### **Материалы и методы**

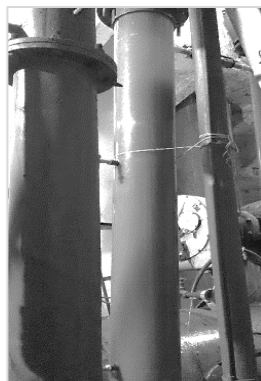
Объектом исследования являются природные маломутные цветные воды реки Вологды, периодически подвергающиеся техногенным и антропогенным нагрузкам, предметом исследования – реагентная двухступенчатая технология с осветлителями и скорыми фильтрами.

Многолетние исследования проводились в наиболее неблагоприятные периоды года в условиях действующей водопроводной станции в несколько этапов: пробное хлорирование; пробное коагулирование; исследование процесса очистки воды по всей технологической цепочке сооружений.

Для моделирования усовершенствованной технологии и изучения процессов хлораммонизации, коагуляции и флокуляции, осветления и обесцвечивания воды в слое взвешенного осадка с размещением над ним плавающего слоя контактной загрузки и без него, и на заключительном этапе фильтрования через кварцевый песок был разработан экспериментальный стенд (рис. 1). Экспериментальный стенд производительностью до 1,1 м<sup>3</sup>/ч включал реакгентный блок, смеситель, осветлитель коридорного типа, скорый фильтр, насосное оборудование, запорно-регулирующую арматуру и трубопроводы обвязки. Для обработки воды использовались реагенты: сульфат аммония, хлор, сульфат алюминия, полиоксихлорид алюминия разных торговых марок, флокулянты ПАА и Praestol. Точки ввода реагентов в обрабатываемую воду назначались в соответствии с рекомендациями СП 31.13330.2012.



а)



б)

**Рисунок 1.** Экспериментальный стенд: а – общий вид; б – фрагмент рабочей камеры модели осветлителя

Смешение воды с реагентами осуществлялось в течение 30-60 с. Восходящая скорость потока в осветлителе варьировала в диапазоне от 0,4 до 1,2 мм/с. В качестве загрузки осветлителя использовался вспененный полистирол марки ПСВ крупностью 1,5-2 мм и толщиной слоя не более 0,5 м. Скорость фильтрования в опытах составляла 1-2 м/ч (рабочая камера) и 3-7 м/ч (осадкоуплотнитель). В качестве загрузки фильтра применялся кварцевый песок крупностью 0,7-1,2 мм. Скорость фильтрования - 4-6 м/ч.

Оценка эффективности исследуемых процессов осуществлялась по основным показателям с использованием стандартных методик исследований и анализа, а также сертифицированного лабораторного оборудования.

### Результаты

Пробное хлорирование маломутной воды цветностью 76 град. и перманганатной окисляемостью 11,8 мг/л с дозой первичного хлора 2,8 мг/л

с предварительной аммонизацией сульфатом аммония с дозами 0,28-0,93 мг/л показало, что оптимальное соотношение аммония к хлору составляет 1:6-1:10. При таком соотношении образование хлороформа практически не происходило [11].

В наиболее неблагоприятные периоды года наблюдается удовлетворительное протекание процесса коагуляции маломутных холодных вод. Это происходит в силу отсутствия необходимых центров кристаллизации для продуктов гидролиза коагулянта и условий для возникновения зародышей твердой фазы в объеме малоцентрированного слоя взвешенного осадка. Поэтому важно для каждого периода правильно подобрать марку коагулянта и флокулянта, а также их оптимальные дозы. Экспериментально было установлено, что для осветления и обесцвечивания воды с рН = 7,32 и температурой от 4-6 °С в марте-апреле полиоксихлорид алюминия марок «Аква-Аурат 30» и «Аква-Аурат 105М» с дозой коагулянта 22,5 мг/л в сочетании с флокулянтом дозой 1,8 мг/л оказался более эффективным, чем сульфат алюминия. Из флокулянтов наибольшую эффективность показали катионные флокулянты Praestol 650 и Praestol 852 дозой 0,4 мг/л, обеспечивающие максимальное снижение мутности очищаемой воды при совместном применении с коагулянтом «Аква-Аурат 105М» с дозой 20 мг/л. В тоже время, как показали исследования, проведенные в мае того же года, при изменении щелочности и цветности обрабатываемой воды неплохие результаты по снижению мутности и цветности могут быть получены с сульфатом алюминия или смешанного коагулянта (сульфата алюминия и полиоксихлорида алюминия) в сочетании с ПАА или Praestol 650 при обязательном включении в технологическую схему перед осветлителем камеры хлопьеобразования для формирования хорошо оседающих хлопьев.

Одним из путей повышения надежности работы осветлителей с восходящими скоростями потока от 0,8 до 1,2 мм/с является размещение в верхней части зоны осветления рабочей камеры и осадкоуплотнителя слоя из гранул вспененного полистирола. Исследования проводились на речной воде, температура которой не превышала 0,7 °С. Мутность воды составляла 58-60 мг/л, цветность – 100 град., рН – 7,36, а щелочность 1,05 ммоль/дм<sup>3</sup>, перманганатная окисляемость была высокой и достигала 17,7 мг/л. Результаты процесса очистки воды по полной технологической схеме показали следующее: при скорости восходящего потока 0,8 мм/с и скорости фильтрования в верхнем слое 2,3-2,8 м/ч, мутность воды после взвешенного слоя составляла 31 мг/л, после пенополистирола – 16,5 мг/л, цветность соответственно – 23,5 и 20 град., перманганатная окисляемость – 9,1 и 5,3 мг/л. Концентрация алюминия в осветленной воде после загрузки снижалась на 49%. Последующее фильтрование воды через скорый фильтр обеспечивало получение воды питьевого качества по основным показателям. Промывка пенополистирольной загрузки осуществлялась после каждого фильтроцикла. При интенсивности не более 12 л/с·м<sup>2</sup> и относительном расширении слоя до 60% вынос основной массы

накопленного осадка происходил в течение 2 минут. Таким образом дополнительный слой крупногранульного слоя загрузки, как показали экспериментальные данные, позволит создать дополнительное гидравлическое сопротивление на пути движения воды от верхней границы слоя взвешенного осадка до системы отвода очищенной воды. Это будет способствовать концентрированию осадка в районе расположения перепускных окон, предотвращению выноса легких хлопьев на фильтры и снижению нагрузки на фильтры.

### **Заключение**

Исследование предложенной совершенствованной технологии на реальном водоисточнике в условиях максимально приближенных к производственным условиям позволило получить новые данные для разработки рекомендаций на реконструкцию и модернизацию существующих очистных сооружений водопровода с осветлителями со взвешенным осадком.

### **Список литературы**

1. Алексеева Л.П., Дружинина Г.В. Оценка эффективности станций с контактными осветлителями при очистке маломутных цветных вод // Водоснабжение и канализация. 2013. № 11-12. С. 54-63.
2. Ивкин П. А., Латышев Н. С., Совершенствование технологии очистки высокоцветных и маломутных вод // Водоснабжение и сан. техника. 2010. № 7. С. 38-47.
3. Фомина В.Ф., Фомин А.В., Опыт эксплуатации напорных флотаторов при очистке маломутных цветных вод реки вычгды // Водоснабжение и сан. техника. 2016. № 5. С. 9-16.
4. Войтов Е.Л., Сколубович Ю.Л., Сколубович А.Ю., Очистка маломутных высокоцветных природных вод в реакторе-осветлителе // Изв. вузов. Строительство. 2008. № 6. С. 126 -129.
5. Вольфтруб Л. И., Корабельников В. М., Гудошникова А. Е., Опыт модернизации отстойников и осветлителей на станциях водоподготовки // Водоснабжение и санитарная техника. 2010. № 5. С. 47-50.
6. Коряйкина А. В., Селиванов А. С., К вопросу о возможности использования биотехнологий для снижения цветности природных вод из поверхностных источников в условиях Северо-Запада России // Водоочистка, водоснабжение, водоподготовка. 2008. № 12. С. 40–46.
7. Душкин С.С., Благодарная Г.И., Анализ факторов, влияющих на образование тригалогенметанов при хлорировании питьевой воды // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2007. № 2. С. 57-6.
8. Пахомова О.А., Щербаков В.И., Иосифова Д.И., Амин А.А., Аналитический контроль содержания тригалогенметанов в питьевой воде при обеззараживании хлорсодержащими агентами // В сборнике: Фундаментальные проблемы системной безопасности. материалы школы-семинара молодых ученых. 2014. С. 224-232.
9. Амин А.А.А., Андрианов А.П., Образование и пути снижения содержания тригалогенметанов в водопроводной воде Багдада // Политематический сетевой

электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2013. № 91. С. 537-556.

10. Говорова Ж.М., Рудич У.С., Говоров В.О. Обоснование применения аммонизации природной воды, содержащей органические вещества // Системные технологии. № 1. 2020. С.17-20.

11. Zh Govorova, U. Rudich and O. Govorov. Pre-ammonization in the preparation of chromaticity water for drinking purposes // Part of the Lecture Notes in Civil Engineering, Vol. 170, Pavel Akimov and Nikolai Vatin (Eds): Proceedings of FORM 2021 pp 505-512, 2021 doi: 10.1007/978-3-030-79983-0\_46

## **ПРОИЗВОДСТВО ЖИВЫХ КОРМОВЫХ ОРГАНИЗМОВ ФИТО- ЗООПЛАНКТОНА НА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ КАНАЛИЗАЦИИ**

**П.А. Ермаченко<sup>1\*</sup>, Д.С. Середин<sup>2</sup>, Е.А. Соколова<sup>2</sup>, С.И. Дудкин<sup>3</sup>,  
Г.В. Головкин<sup>3</sup>, Н.Е. Беляева<sup>4</sup>, И.В. Конюхов<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Общество с ограниченной ответственностью «Новые Трубные Технологии», 129110, Москва, ул. Щепкина, д.51/4, стр.1

<sup>2</sup> Общество с ограниченной ответственностью «Новые Трубные Технологии - Пересвет», 141320, Московская область, г. Сергиев Посад, г. Пересвет, ш. Москва-Архангельск промзона, д. Завод Композитных Материалов 1

<sup>3</sup>Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), 344002 Ростовская область, Ростов-на-Дону, Береговая ул., 21В

<sup>4</sup>Кафедра биофизики биологического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, 119899, Москва, Западный административный округ, район Раменки, микрорайон Ленинские Горы, 1, стр. 24

\*Автор ответственный за переписку: neo-ecology@mail.ru

**Аннотация.** Предложено решение по переоборудованию иловых карт очистных сооружений в био-пруды для выращивания кормовой дафнии (лат. *Daphnia magna* Straus). Экспериментально определены условия культивирования фито-зоопланктона с использованием сточных вод и иловых осадков в качестве питательных субстратов. Подтверждена безопасность и высокая кормовая ценность дафнии для выращивания молоди шипа (лат. *Acipenser nudiiventris*).

### **Введение**

Более 95% иловых карт на городских очистных сооружениях канализации по всей стране уже заполнены и существует острая необходимость в их рекультивации. На очистных сооружениях иловые осадки накапливались на протяжении 20-30 лет, поэтому утилизация накопившихся на иловых площадках осадков не учтена в тарифе на водоотведение и не может быть покрыта прибылью водоканалов. С целью сокращения количества иловых осадков предлагается организовать производство живых кормовых организмов фито-зоопланктона на очистных сооружениях канализации с использованием сточных вод и иловых осадков в качестве питательных субстратов. Для этого часть иловых площадок



целесообразно на теплый период года переводить в режим гипертрофных прудов с высокой валовой первичной био-продуктивностью.

Научное обоснование представлений о механизмах трофических взаимосвязей и балансе вещества и энергии в водоемах разработано многими авторами [1-6] и др. Многочисленные работы по продукционной гидробиологии, посвящены теоретическому обоснованию и принципам расчета функционально-энергетических характеристик различных групп водных экосистем. В работе [7] дана классификация процессов самоочищения водоемов, связанных с активной деятельностью живых организмов.

Одним из важнейших факторов самоочищения водоемов является развитие фитопланктона. Энергетическая эффективность продуцирования биомассы фитопланктона оценивается в среднем 0,2-0,24% от интегральной по спектру солнечной радиации, поступающей на поверхность водоема. Большая часть этой энергии (0,13-0,18%) остается в экосистеме в виде чистой первичной продукции, которая доступна для следующих звеньев трофической цепи [8].

При утилизации биомассы фитопланктона и органических веществ несомненна роль зоопланктона. В некоторых гипертрофных водоемах 70-80% общей величины БПК потребляется за счет интенсивного развития зоопланктона [9].

На примере нескольких водоемов на небольшой реке, загрязненной взвешенными веществами и биогенами от животноводческих комплексов, в следствии массового развития зообентоса зафиксировано значительное снижение содержания органических веществ [10].

Наличие рыб в водоемах, имеющих различные пищевые предпочтения, играют важную роль в самоочищении водоемов [11]. Рыбы осуществляют трансформацию взвешенного ОВ и фито-зоопланктона. При этом физиологические выделения рыб легко утилизируются фито-зоопланктоном [12. Наиболее эффективно самоочищение происходит в экосистемах с наличием хищных рыб и более разнообразными трофическими цепями [13].

Таким образом антропогенная нагрузка играет важную роль в процессах самоочищения. В определенных случаях она способна увеличивать скорость самоочищения. По существу, речь идет о целостной системе «очистные сооружения - водный объект» [14].

Гидравлический режим биологических прудов должен имитировать природоподобный сезонный режим затопления поймы рек, так называемый метод летования. В процессе летования водоем ежегодно осенью осушается, а весной переводится в режим заливного луга. Периодические переходы прибрежной зоны от водных к наземным сукцессиям, благоприятно сказываются на экологическом состоянии водоема, способствуют бурным процессам самоочищения [15] и оздоровлению [16] популяции гидробионтов. Возможность регулирования уровня воды в биологических прудах повышает эффективность утилизации загрязнений и осадков фито-зоопланктоном, поскольку для зарегулированного водоемов с постоянным

уровнем воды биопродуктивность в 10-20 раз ниже естественных значений. Изъятие выращенных в биологических прудах гидробионтов обеспечивает удаление биогенных веществ из воды (соединений азота и фосфора), потребляемых в процессе роста фито-зоопланктона [17].

Учитывая вышеприведенные данные, нами предложено решение по переоборудованию иловых карт очистных сооружений в био-пруды для выращивания кормовой дафнии (лат. *Daphnia magna* Straus). Экспериментально определены условия культивирования фито-зоопланктона с использованием сточных вод и иловых осадков в качестве питательных субстратов. Подтверждена безопасность и высокая кормовая ценность дафнии для выращивания молоди шипа (лат. *Acipenser nuidiventris*) - рыбы семейства осетровых.

### Материалы и методы

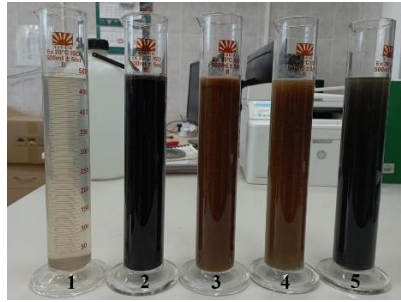
Дафния (лат. *Daphnia magna* Straus) является био-индикаторным организмом, по которому определяется токсичность воды или водной вытяжки из осадков сточных вод [18]. Ветвистоусые рачки из рода дафния в больших количествах населяют лужи, пруды, озера, поймы, медленнотекущие ручьи и болота, где разлагается органическая масса. Интенсивное развитие дафнии способствует усвоению высоких концентраций биогенов и органических загрязнений сточных вод.



Рисунок 1. Дафния выращенная в сточных водах

Культивирование дафнии выполнялось с использованием следующих сточных вод и иловых осадков в качестве питательных субстратов (рисунок 2):

1. Свежие хозяйственно-бытовые сточные воды.
2. Фильтрат полигона твердых коммунальных отходов.
3. Активный ил из мембранного биореактора.
4. Биопленка из установки замкнутого водоснабжения рыбной фермы.
5. Осадок с иловой карты канализационных очистных сооружений.



**Рисунок 2.** Питательные субстраты для культивирования дафнии

Метод проверки возможности производства живых кормовых организмов фито-зоопланктона с использованием сточных вод и иловых осадков заключался в следующем. В первый день в емкость с питательным субстратом вносилась культура микроводоросли хлореллы в расчете 30-50 млн. клеток на 1 мл. воды. Затравка дафнии вносилась через 24 часа, после того как вода стала слегка зеленоватой. В качестве затравки использовались живые рачки. Объем затравки составлял 25 рачков на литр. В последующие дни дафния активно поедала хлореллу и взвешенные органические вещества. Через 5-7 дней концентрация дафнии достигала значений 20-50 тыс. особей на литр. Процесс культивирования сопровождался ежедневным мониторингом состояния дафнии. После завершения культивирования дафния собиралась сачком с диаметром ячеек 100 мкм.

Проверка состояния культуры дафнии производилось следующим образом. Культуру дафнии взмучивали и делали отбор пробы объемом 15 мл. Отобранную пробу проверяли под микроскопом. Наличие зеленых и коричневых активно двигающихся дафний с заполненным кишечником свидетельствовало о хорошем состоянии культуры. Бледные рачки с пустым кишечником или наличие особей, продуцирующих покоящиеся цисты, говорило об ухудшении среды или недостатке питательного субстрата. Неблагоприятные условия (высокая плотность культуры, низкая концентрация кислорода, недостаток питательного субстрата) приводили к появлению цист. Плотность популяции определялось путем растворения 5 мл культуры дафнии в 70% растворе этанола и последующем подсчете мертвых особей в чашке Петри.

В качестве организма для биотестирования кормовой ценности дафнии был использован шип (лат. *Acipenser nudiiventris*) - рыба семейства осетровых. Длина тела шипа достигает 2 м. при весе более 30 кг. Шип населяет бассейны Аральского, Каспийского и Чёрного морей. Питается моллюсками и др. водными беспозвоночными, а также рыбой. В прошлом ценная промысловая рыба, сейчас находящаяся на грани исчезновения.

## **Результаты**

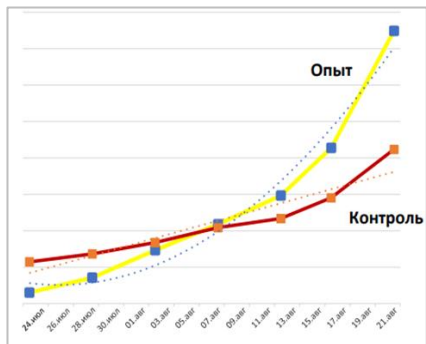
Результаты культивирования фито-зоопланктона с использованием сточных вод и иловых осадков в качестве питательных субстратов

приведены в табличке 1.

**Таблица 1.** Название таблицы

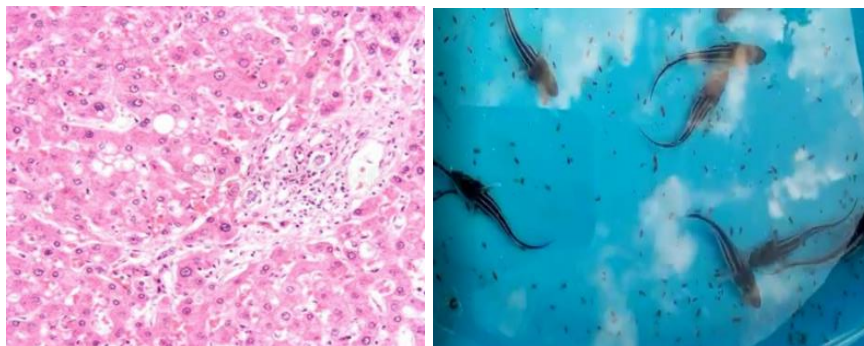
Субстрат	Плотность дафнии, тыс. шт. / л	Сокращение объема осадка, %	Примечание
1	20-25	-	Хозяйственно-бытовые сточные воды, поступающие на городские очистные сооружения пригодны для культивирования фито-зоопланктона после устранения токсичности.
2	30-46	-	Фильтрат с полигона ТКО после реагентного осветления и стабилизации состава пригоден для культивирования кормового фито-зоопланктона. При этом наблюдается активное развитие хлореллы и непрерывное роение сытой дафнии.
3	17-21	90-95	Биопленка с фильтра полностью поглощается дафнией. Токсического влияния биопленки на жизнедеятельность фито-зоопланктона не обнаружено.
4	15-19	58-66	Глубина утилизации активного ила лимитируется его степенью минерализации и зольностью, напрямую зависящими от возраста активного ила.
5	-	-	Анаэробный осадок с обводненных иловых карт канализационных очистных сооружений токсичен для фито-зоопланктона. Необходимо проведение мероприятий по летованию иловых карт.

В эксперименте по определению темпа роста молоди шипа, в условиях кормления дафнией, в 7,5 раз выше, по сравнению с выращиванием шипа при кормлении искусственным кормом «Биомар». Результаты вышеуказанного эксперимента приведены на рисунке 3.



**Рисунок 3.** Темп роста шипа

Структуры ткани печени молоди шипа, выкормленного на дафнии, имеют нормальное типичное строение без каких-либо патологических отклонениях протоков, балочных пространств и отдельных гепатоцитов (рисунок 4).



**Рисунок 4.** Гистологическое исследование печени шипа

### **Заключение**

При использовании сточных вод и иловых осадков в качестве питательных субстратов отмечено интенсивное развитие планктонных форм гидробионтов при доминировании ветвистоусого рачка *Daphnia magna* Straus, имеющего высокий воспроизводственный потенциал, чему способствовала большая концентрация биогенов и органических веществ, поступающих со сточными водами, благоприятствующая развитию бактериальной микрофлоры и фитопланктона, как корма для дафнии. Биомасса дафнии, выращенной при использовании сточных вод и иловых осадков в качестве питательных субстратов, в значительной степени, превышает аналогичные показатели в природных водоемах и достигает 150 - 300 г/м<sup>3</sup>. Наиболее эффективно дафния утилизировала биопленку из установки замкнутого водоснабжения рыбной фермы в количестве до 90-95%. Выращенная на субстратах, с использованием сточных вод и осадков канализационных очистных сооружений, дафния может составлять основу рациона молоди рыб, которые демонстрируют при этом 95-99% выживаемость. С целью снижения токсичности анаэробного осадка с обводненных иловых карт, необходимо производить их летование. Формирование гипертрофных экосистем на очистных сооружениях канализации, с очень высокой валовой первичной био-продуктивностью, за счет производства живых кормовых организмов фито-зоопланктона способствует существенному сокращению нагрузки на очистные сооружения, уменьшению объема иловых осадков и повышению способности водоемов приемников сточных вод к самоочищению.

### **Список литературы**

1. Зенкевич Л.А. Продуктивность морских водоемов СССР // Тр. Фаунист. Конф. Зоологического ин-та АН СССР.Л.: Секция гидробиол.1934. С. 11-18.

2. Винберг Г.Г. Некоторые общие вопросы продуктивности озер // Зоол. Журн. 1936. Т. 15. Вып. 4. С. 587-603.
3. Ивлев В.С. О превращении энергии при росте беспозвоночных // Бюлл. МОИП. Отд. Биол. 1938. Т. 47. № 4. С. 267-277.
4. Linderman R.L. The trophic-dynamic aspect of ecology // Ecology. 1942. V. 23. № 4. P. 399-418.
5. Сущеня Л.М. Интенсивность дыхания ракообразных // Наукова думка. 1972.
6. Алимов А.Ф. Структурно-функциональный подход к изучению сообществ водных животных // Экология. 1982. №3. С.45-51.
7. Остроумов С.А. О биотическом самоочищении водных экосистем. Элементы теории // Доклады РАН. 2004. Т. 396, № 1. С. 136-141.
8. Минеева Н.М. Продуцирование органического вещества фитопланктоном водохранилищ Верхней Волги // Тез. док. 5-й Всерос. Конф. По водным растениям "Гидрботаника 2000". Борок, 2000. С. 56-57.
9. Крючкова Н.М. Роль зоопланктона в процессах самоочищения // Биологические процессы и самоочищение на загрязненном участке реки. 1972. Минск: Изд. БГУ. 190 с.
10. De Crespin de Billy V et al. Impact of agricultural practices on a small headwater stream: Terrestrial and aquatic characteristics and self-purifying processes // Hydrobiologia. 2000 421, № 1. P. 129-139.
11. Никольский Г.В. Экология рыб М.: Высшая школа. 1974. 346 с.
12. Садчиков А.П., Козлов О.В. Трофические взаимоотношения в планктонном сообществе М.: Изд-во МГУ, 1999. 96 с.
13. Kairesalo T et al. Trophic cascade structuring a plankton community in strongly vegetated lake littoral // Verh. / Int. theor. und angew. Limnol. 2001. 27. № 4. P. 1763-1767.
14. Щеголькова Н.М., Веницианов Е.В. Охрана загрязненной реки: интенсификация самоочищения и оптимизация водоотведения М.: РАСХН. 2011. 388 с.
15. Скальская И.А. Зооперифитон водоемов бассейна верхней Волги в условиях антропогенного воздействия // Диссертация на соискание степени доктора биологических наук. Специальность: 03.00.18. Борок, 2000
16. Наумова А.Ю. Влияние периодичности летования прудов на оздоровление рыбоводного хозяйства от инвазионных и инфекционных болезней // Диссертация, кандидат биолог наук 03.00.19. Москва, 2002
17. Ермаченко П.А., Середин Д.С., Зверева Н.А., Буханцов Ю.В., Соколова Е.А., Дудкин С.И., Бульжев Е.М., Беляева Н.Е., Конюхов И.В. Восстановление естественной способности водоемов к самоочищению // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. 2021. № 6, с. 52-57.
18. ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.12-06 Токсикологические методы контроля. Методика измерений количества *Daphnia magna* Straus для определения токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод, водных вытяжек из грунтов, почв, осадков сточных вод, отходов производства и потребления методом прямого счета.

# О ТЕОРИИ ВЕРОЯТНОГО РАСХОДА ВОДЫ ПОТРЕБИТЕЛЯМИ НА ОБЪЕКТАХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

Л.Г. Дерюшев, Н.Л. Дерюшева

Московский геологоразведочный институт имени Серго Орджоникидзе (МГРИ), г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, дом 23, derjushev13@mail.ru;

**Аннотация.** Рассматриваются вопросы нормирования расходов воды потребителями на объектах населенных пунктов при проектировании внутренних систем водоснабжения и водоотведения

## Введение

Исследования по формированию теоретических подходов оценки расходов воды и режимов водопотребления на нужды потребителей в населенных пунктах в нашей стране ведутся с 1971 года по заданию Государственного Комитета Совета Министров СССР по науке и технике [1]. Выполнение этих работ обосновывалось необходимостью пересмотра разделов «Норм водопотребления» нормативных документов по проектированию наружных и внутренних водопроводов, которые были составлены по результатам исследований в послевоенный период 50-х годов. За последние годы существенно изменились условия водопотребления и требования к точности исходных данных.

Одним из наиболее сложных вопросов, требующих решения при разработке норм водопотребления, является оценка расчетных расходов воды, что подтверждается наличием нескольких вариантов строительных правил (СП), разработанных за ближайший не продолжительный период времени для внутренних систем водоснабжения и канализации зданий [2-7] и наружных водопроводных сетей и сооружений [8, 9]. Из-за низкого уровня надежности водопроводных систем потребители часто отбирают воду из водопроводной сети не на прямые хозяйственно-питьевые нужды, а для создания резерва, заполняя ванны и дополнительные емкости водой, в целях ее использования при перебоях подачи воды сооружениями системы водоснабжения [1]. Очевидно, аккумуляция воды потребителями в жилых зданиях, даже при весьма частых случаях, не должно влиять на общую теорию оценки расходов воды в системах водоснабжения и водоотведения [10-17], но сам факт наличия подобных ситуаций указывает на необходимость использования единого подхода при разработке нормативных документов в области водоснабжения. Отметим, система водоснабжения — не хаотичный набор сооружений, а совокупность взаимосвязанных элементов. Любой внутренний водопровод здания является элементом системы водоснабжения конкретного объекта (города, населенного пункта, промышленного предприятия и т.д.). Поэтому, если формируется теория расчета расходов воды, то она должна быть единой, что

для системы, так и для ее элемента. Нормативные документы, которые регламентируют правила оценки расходов воды для них, также должны быть взаимосвязаны, а не противоречить друг другу.

В настоящее время в перечне требований действующих нормативных документах [6,7] такие противоречия существуют. В СП п. 5.2 [9] «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения» регламентируется, что расчетными расходами воды проектируемой системы водоснабжения являются максимальные и минимальные часовые расходы в максимальные и минимальные сутки. Для проектирования систем внутреннего водоснабжения в СП п.5.2.1.2 [5] «Внутренний водопровод и канализация зданий» указывается, что расчетный расход воды во внутренних водопроводах холодной и горячей воды следует определять в зависимости от: а) часового, м<sup>3</sup>/ч, или б) секундного расхода, л/с, воды. В последующих редакциях СП объем текста этого пункта было сокращено и оставлены ссылки на требования п.5.2 [7] по оценке расчетных расходов воды для санитарных приборов с учетом данных таблиц А1 и А2. Но суть требований п.5.2.1.2 [5] фактически не изменились. Где логика, и чему удивляться, когда на согласование балансов воды в водоканалы приносят расчеты расходов воды по объекту, одноименные параметры которых различаются на десятки и сотни м<sup>3</sup>/сут, поскольку одноименные показатели расхода воды рассчитывались как по СП [5, 6, 7] так и по СП [9]. Требованиями п.5.2. 2.5 [5] рекомендуется расчетные расходы воды назначать не с учетом нормативных коэффициентов неравномерности  $K_{сут.max}$ ,  $K_{сут.min}$ ,  $K_{ч.max}$ ,  $K_{ч.min}$ , а наоборот последние определять по расчетным расходам воды

$$K_{max} = \frac{q_{hr}}{q_T}, \text{ где } q_{hr} - \text{максимальный часовой расход воды (общий } q_{hr}^{tot},$$

горячей  $q_{hr}^h$ , или холодной  $q_{hr}^c$ ) м<sup>3</sup>/ч;  $q_T$  – средний часовой расход воды (общий  $q_T^{tot}$ , горячей  $q_T^h$ , или холодной  $q_T^c$ ) м<sup>3</sup>/ч. Если подача воды осуществляется одним и тем же потребителям по единой системе, то и статистические данные о потребности их в воде должны быть едиными. А они различаются. Только на одного жителя расходования нормируемых параметров расхода воды достигают десятки литров (см. табл. 1[9] и табл.А.2 [7]). Опытные инженеры технических отделов Водоканалов, выявляя подобные различия, оценивают их как допустимые погрешности расчетов, в целях сглаживания объективных проблем, сложившихся в области нормирования расходов воды на хозяйственно-питьевые нужды. Решить все эти проблемы за условно короткий период времени пока никому не удастся. Но нельзя и откладывать эти решения, тем более, что известен ряд неточностей, которые допущены при формировании действующих правил [7].

Например, не логично нормировать одинаковые расходы горячей и холодной воды в смесителе умывальника по условию:  $q_o^h = q_o^c = 0,2 \text{ л/с}$ ;  $q_o^{tot} = 0,3 \text{ л/с}$  (см.5.2.приложение 2 [7]). Не может



часть воды исчезать, если в смеситель подается:  $q_0^{tot} = (0,2 + 0,2) \neq 0,3$  л/с и не может нормироваться одинаковое количество горячей и холодной воды. Тем более при температуре воды  $\Delta t^\circ = (75^\circ + 10^\circ)/2 = 42,5^\circ$  можно и ошпариться, поскольку для детских учреждений даже кратковременная подача горячей воды  $t_0$  (гор)  $\leq 37^\circ$  недопустима [12,16,18]. В качестве сравнения, в США за расчетный расход водоразборного крана принимается величина  $q = 1$  галлон/мин ( $3,79$  л/мин  $= 0,063$  л/с) [19,20]. Соотношение по расходам горячей и холодной воды в смесителе для умывальника принимается равным:  $q_h/q_c = 0,25/0,75$  [19,20]. Следует отметить, что для нормального отбора воды, с учетом минимального образования брызг и экономии воды (при наличии водометров в квартире и здравомыслия), достаточно струи диаметром  $d = 7 \div 8$  мм, т.е.  $q_0^\Sigma = 0,059 \div 0,09 \approx 0,06$  л/с, что в 5 раз меньше нормируемого расхода вода:  $q_0^{tot} / q_0^\Sigma \approx 0,3/0,06 = 5$ .

### Материалы и методы

Для оценки справедливости изложенных допущений были выполнены лабораторные испытания водоразборной арматуры, замеры расходов и температуры, а также теплотехнические расчеты воды, прошедшей через смеситель арматуры. Результаты настоящих испытаний и сравнительные данные исследований отечественных и зарубежных инженеров по нормированию расходов воды и обеспечения санитарных условий для потребителей воды в жилых и общественных зданиях приведены в таблицах 1-6. При выполнении лабораторных испытаний использовалась типовая водоразборная арматура, мерные сосуды, электронные весы, термометр с делениями от  $0^\circ$  до  $+100^\circ\text{C}$ , секундомеры. Выборка данных испытаний для каждого опыта принималась в пределах 5-10.

**Таблица 1.** Данные замеров расходов воды, забираемой через водоразборный кран раковины со смесителем

№	Диаметр струи, d, мм	Время заполнения емкости $W=1$ л, t, с	Расход воды $q_0^\Sigma$ , л/с	Площадь поперечного сечения струи, $\omega \cdot 10^{-3}$ , м <sup>2</sup>	Примечание: степень открытия крана
1	5	27	0,037	0,0196	частичное
2	6	22	0,045	0,0282	-«-
3	7	17	0,059	0,0384	-«-
4	8	11	0,09	0,0480	-«-
5	9	9	0,11	0,0635	-«-
6	10	6	0,16	0,0785	-«-
7	11	4,5	0,22	0,0949	-«-
8	12	3,3	0,30	0,113	полное

Как показали экспериментальные исследования и теплотехнические расчеты, в потоке воды  $Q_{(x+гор)} = 0,3$  л/с, температурой  $t^\circ_{(x+гор)} = 37,5^\circ\text{C}$

соотношение между расходами холодной и горячей воды может находиться в пределах  $q_x/q_{гор} = 0,56/0,44$ , при  $q_x = 0,17$  л/с,  $t^o_x \approx 10^o C^o$ ,  $q_{гор} = 0,13$  л/с,  $t^o_{гор} \approx 65^o C^o$ .

Теплотехнические расчеты воды выполнялись с соблюдением основ и законов термодинамики [21]. Допускалось, что холодная и горячая вода в смесителе водоразборной арматуры перемешиваются. Холодная и горячая вода как любое тело обладают теплоемкостью. При нагревании воды единичной массой  $m$  с температурой  $t^o$  до температуры  $t^o = t^o + \Delta t^o$  ей сообщается количество тепла  $\Delta Q$ . Количество тепла  $\Delta Q$ , полученное водой массы  $m$  при увеличении ее температуры на  $\Delta t^o$ , равно [21]

$$\Delta Q = c \cdot m \cdot \Delta t^o, \text{ Дж} \quad (1)$$

где  $c$  - удельная теплоемкость, для воды, кДж/кг·К;

$K$  - кельвин,  $t^o C^o = 273,15 K$ ;

теплоемкость воды при  $t^o = 10^o C^o$ . -  $c = 4,192$  кДж/ кг·К;

теплоемкость воды при  $t^o = 65^o C^o$ . -  $c = 4,186$  кДж/ кг·К;

При тепловом взаимодействии холодной и горячей воды, количество тепловой энергии передается от горячего к холодному потоку. Количество теплоты, переданное слоем вещества  $\Delta \delta$  площадью  $F$  при поддержании на его плоскостях разности температур  $\Delta t^o$  за время  $T$ , определяется по формуле [21]:

$$\Delta Q = \lambda \frac{\Delta t^o}{\Delta \delta} FT, \quad (2)$$

где  $\lambda$  - коэффициент теплопроводности, для воды при  $t^o = 65^o C^o$ .  $\lambda = 0,667$  (Вт/м·К).

Время взаимодействия потоков воды в смесителе принималось в пределах  $T = 1$  с, толщина слоя струйного потока  $\Delta \delta = 1$  мм. Если через смеситель подается холодной и горячей воды  $0,3 = 0,17 + 0,13$  л/с, то количество тепла, которое сообщается холодной воде массой  $m = 0,17$  л при изменении температуры  $\Delta t^o =$  с  $10^o$  до  $32,5^o$ , составит  $\Delta Q = 214$  Дж. Принимая во внимание, что:

1) поток горячей воды внутри смесителя отдает тепло не с одной, а как минимум с двух сторон;

2) объем воды в смесителе равен -  $W = F \cdot \Delta \delta = 0,13 \text{ л} = 0,00013 \text{ м}^3$ ;

3) с учетом закона сохранения энергии тепло отдается в том же количестве, что и принимается  $\Delta Q_{отдается} = \Delta Q_{принимается}$  (отдается потоку холодной воды, трубе и окружающей среде) можно допустить:

$$F \cdot \Delta \delta = W \approx \frac{\Delta Q}{2 \cdot 1,25 \cdot \lambda \cdot \Delta t^o \cdot T}, \quad (3)$$

где 1,25 коэффициент, для учета отдачи тепла арматуре и в окружающую среду.

Сопоставление результатов теплотехнического расчета по формулам (2), (3) и лабораторных данных по замерам  $\Delta Q_{холодной} = c_{холодной} \cdot m_{холодной} \cdot \Delta t^o \cong \Delta Q_{горячей} =$

$= c_{\text{горячей}} \cdot m_{\text{горячей}} \cdot \Delta t^0$ , позволило сделать вывод о соответствии выдвинутой гипотезы о соотношении расходов горячей и холодной воды ( $q_x / q_{\text{гор}} \approx 0,56/0,44$ ), при отборе воды из смесителя для умывальника.

Если допустить, что для нормальных условий отбора воды из смесителя струей  $d \geq 9 \div 11$  мм с расходом  $0,0635 \div 0,0785$  л/с, при соотношении холодных и горячих потоков

$q_x / q_{\text{гор}} \approx 0,56/0,44$ , расходы холодной и горячей воды составят:  $q_x = 0,035 \approx 0,04$  л/с,  $q_{\text{гор}} = 0,028 \approx 0,03$  л/с,  $q_0^{\text{tot}} = 0,07$  л/с.

Следует отметить, что аналогичных выводов придерживались и специалисты 60–х годов, когда на базе экспертных заключений они назначали энергетические параметры для водоразборной арматуры (см. таблицу 4) [2, 13, 18].

**Таблица 4.** Расчетные (максимальные расходы воды, эквиваленты санитарных приборов)

Приборы	Диаметр подводки, мм	Расчетный расход воды, л/с	Эквивалент
Водоразборный кран с аэратором	10-15	0,2	1
Туалетный кран для умывальника	10-15	0,07	0,33
Смеситель для умывальника	10-15	0,1	0,5
Смеситель для душевых	10-15	0,1-0,14	0,5-0,7
Поплавковый клапан смывного клозетного бачка	10-15	0,1	0,5

Ранее придерживались строгого подхода при разработке нормативных требований в области водоснабжения, не пренебрегали базовыми положениями гидродинамики и теории вероятностей при формировании методик оценки расчетных расходов воды потребителями, поэтому водоразборную арматуру, насосы, трубы приводили к единым эквивалентам. При формировании оценок случайных величин придерживались правил соблюдения однородности выборки статистической информации как в нашей стране (см. [22] и таблицы 5, 6), так и за рубежом (см. формулу 4) [19, 21].

**Таблица 5.** Данные по нормированию санитарных приборов и мебели в гардеробных на одного человека

Группа производственных процессов	Санитарная характеристика производственных процессов	Расчетное число человек		Типы гардеробных, число отделений шкафа на 1 человека	Специальные бытовые помещения и устройства
		на одну душевую сетку	на один кран		
1	Процессы, вызывающие загрязнение				-

	веществами 3-го и 4-го классов опасности:				
1 а	только рук	25	7	Общие, одно отделение	-
1 б	тела и спецодежды	15	10	Общие, два отделения	-
1 в	тела и спецодежды, удаляемое с применением специальных моющих средств	5	20	Раздельные, по одному отделению	Химчист-ка или стирка спец-одежды

**Таблица 6.** Проценты одновременного действия санитарных приборов в производственных зданиях бытовых помещениях промышленных предприятий

Наименование с-х приборов	Количество установленных санитарных приборов								
	1	2	3	10	20	40	60	100	200
Умывальники	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Душевые сетки	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Писсуары с автоматическими смывными бачками	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Унитазы со смывными кранами	100	30	25	20	15	10	10	10	5
Унитазы со смывными бачками	100	75	65	60	50	45	40	40	40

Вероятность одновременного действия количества  $m$  санитарных приборов из числа  $n$ , установленного на расчетном участке, вычисляется на основании функции биномиального распределения:

$$P(n, m) = \frac{m!}{m(n-m)!} \left(\frac{t}{T}\right)^m \left(\frac{T-t}{T}\right)^{n-m}, \quad (4)$$

где  $\frac{t}{T}$  - вероятность работы отдельных, санитарных приборов того или иного типа;

$t$  - продолжительность работы водоразборной арматуры;

$T$  - продолжительность пользования санитарным прибором.

$F = 1 - P$  - вероятность нарушения расчетного режима принимается 0,01, т.е. в течение максимального водоразбора вероятность включения в работу  $m+1$  водоразборных точек не превышает  $F \leq 0,01$

Для сравнения, в действующих строительных правилах [21] вероятность действия санитарно-технических приборов  $P_i$  на участках сети определяется при одинаковых потребителях воды

$$P_i = \frac{q_{hr,u} \cdot U}{3600 \cdot q_o \cdot N}, \quad (5)$$

где  $U$  - число водопотребителей;  
 $N$  - количество санитарно-технических приборов;  
 $q_{hr,u}$  - норма расхода воды потребителя в час наибольшего водопотребления, л/ч, при разных потребителях воды

$$P = \frac{\sum_1^m N_i P_i}{\sum_1^m N_i} \quad \text{или} \quad P = \frac{\sum_1^m N_i \cdot q_{hr,u} \cdot U}{\sum_1^m N_i \cdot 3600 \cdot q_{oi} \cdot N}, \quad (6)$$

где  $q_{oi}$  - расход воды санитарно-техническим прибором  $i$ , л/с;  
 $m$  - количество групп потребителей;

$P_i$  - вероятность действия санитарно-технических приборов, определяемая для каждой группы водопотребителей.

Анализируя формулы (5) и (6) не трудно убедиться, что они составлены с нарушением математическо-статистических и теоретико-вероятностных методов оценки показателей событий.

Вероятность случайного события  $P(A)$  оценивается по формуле [4]:

$$P(A) = \frac{k}{n}, \quad (7)$$

где  $k$  - число случаев, благоприятных событию  $A$ ;  
 $n$  - общее число случаев.

По типу величины случайных событий подразделяются на дискретные и непрерывные.

Дискретные случайные величины могут принимать лишь конечное или счетное множество значений.

Непрерывные случайные величины в отличие от дискретных могут принимать любые значения в границах известного интервала.

Событие, связанное с включением или отключением санитарного прибора, относится к дискретным случайным величинам, а расход воды потребителя или санитарного прибора - к непрерывным.

Существуют принципиальные различия в методах оценки рассматриваемых величин. Распределения дискретных величин характеризуются законами: биномиальным, гипергеометрическим, Пуассона, а непрерывные величины распределяются по законам: нормальному,  $\chi^2$  - распределению, распределению равномерной плотности и т.д. Для любого однородного потока случайных событий обусловлены правила оценки его параметров, в том числе и вероятности возникновения событий.

При оценке вероятности действия санитарно-технических приборов  $P_i$  по формулам (4), (5) одновременно рассматриваются дискретные величины ( $N$  - приборов,  $U$  - потребителей) и непрерывные (расход  $q_{oi}$  -  $i$ -го прибора, расход  $q_{hr,u}$  -  $u$ -го потребителя).

Санитарно-технические приборы системы водоснабжения, потребители воды и их расходы неоднородны, они различаются по величине и условиям формирования потоков случайных событий. Кроме того, частоты включений санитарно-технических приборов и режимы потребления воды

людьми в жилых домах, общественных зданиях, на промышленных предприятиях – специфичны и характеризуются различными законами теории вероятности. На предприятиях, учебных заведениях, перерывах спектаклей в театрах, клубах, люди используют санитарные приборы в одних режимах, а в жилых домах - с другой частотой и режимами открытия и закрытия водоразборных кранов. Особенности режимов водопотребления людьми на промышленных предприятиях, в общественных и жилых помещениях ранее учитывалось, поскольку нормативные документы и их требования для внутренних систем водоснабжения соответственно подразделялись, в зависимости от назначения проектируемых объектов [2,3]. В настоящее время подобное логическое нормирование требований по обеспечению потребителей водой, различающихся по виду деятельности, условиям санитарного обслуживания сохранились только в нормативных документах правил проектирования наружных систем водоснабжения [8], которые заложили в свое время ведущие наши ученые [10, 11, 23].

Нарушение принципа системного рассмотрения объекта и единства правил нормирования требований по выполнению поставленных задач неизбежно приводит к искажению проектных решений и оценок. Теория водоснабжения как наука не менее важна, и точна, чем любая другая наука в строительной отрасли.

## **Результаты**

Разработан метод оценки расходов горячей и холодной воды, которые поступают из смесителя для умывальника на санитарные нужды потребителей жилищно-коммунального хозяйства

## **Библиографический список**

1. Майзель М.П. Учет вопросов надежности водоснабжения при разработке норм водопотребления. //Проблемы надежности систем водоснабжения. Тезисы докладов Всесоюзной конференции по надежности систем водоснабжения. МИСИ// М., 1973 С. 39-45.
2. СНиП I - Г. 1-62. Внутренний водопровод жилых и общественных зданий. Нормы проектирования. М., 1962.
3. СНиП II-Г.1-70. Внутренний водопровод зданий. Нормы проектирования. – М., 1970.
4. СНиП 2.04.01. -85\*. "Внутренний водопровод и канализация зданий". 1996.
5. СП 30.13330 -2016. "Внутренний водопровод и канализация зданий". 2017.
6. СП 30.13330 -2016. "Внутренний водопровод и канализация зданий". 2019.
7. СП 30.13330 -2020. "Внутренний водопровод и канализация зданий". 2020.
8. СНиП 2.04.02-84\*. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. 1996.
9. СП 31. 1330-2012. "Водоснабжение. Наружные сети и сооружения". 2019
10. Абрамов Н.Н. Водоснабжение – М.: Стройиздат. 1974. С. 48 С. 6
11. Абрамов Н.Н. Надежность систем водоснабжения. //Стройиздат. 1979. С. 5-232
12. Постановление Правительства Российской Федерации "О схемах водоснабжения и водоотведения" № 782 от 5.09.2013.

13. Постановления Правительства РФ от 03.11.2016 № 1134 "Правила технической эксплуатации систем и сооружений коммунального водоснабжения и канализации"

14. Репин Н.Н., Шопенский Л.А. Санитарно-технические устройства и газоснабжение зданий. – М.: Стройиздат. 1975. С. 75.

15. СанПиН 2.1.2.2645-10. Санитарно-эпидемиологические требования к условиям проживания в жилых зданиях и помещениях. М., 2010

16. СанПиН 2.1.4.2496. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения. М., 2009

17. СНиП 1-2. Строительная терминология. Общие положения.1980.

18. СП 44.13330.2010. -Административные и бытовые здания. М., 2010

19. Конюшков А.М. Водопотребление и состояние водоснабжения в зарубежных странах. // ЦИНИС, 1958. С. 2-35

20. Шопенский Л.А. Методы расчёта внутренних водопроводов в США, Англии, Франции и Германии – М.: Информационно-издательский сектор, 1964. С. 3-48.

21. Кошкин Н.И., Ширкевич М.Г. Справочник по элементарной физике //Издательство "Наука".1976. С.60.

22. Дунин-Барковский И.В., Смирнов Н.В. Теория вероятностей и математическая статистика в технике (общая часть). – М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1955. С. 17-80.

23. Яковлев С.В., Карелин Я.А., Жуков А.И., Колобанов С.К. Канализация. //Стройиздат. 1976.С. 6-632.

## **ВОДА – СТРАТЕГИЧЕСКИЙ РЕСУРС ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНОВ РОССИИ**

**В.П. Прокопович, А.А. Алешин**

НИУ МГСУ, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26

\*Автор ответственный за переписку: [ikouchannel@gmail.com](mailto:ikouchannel@gmail.com)

**Аннотация.** В статье изложены результаты системного анализа статистических данных о физическом износе и моральном старении инженерных систем водоснабжения, водоотведения и других строительных объектов. И воздействия этих негативных показателей на экспоненциальный рост аварийности и техногенных катастроф данных объектов и, соответственно, на обеспечение граждан водой, теплом и другими коммунальными услугами требуемого качества. С этой целью разработана логико-математическая модель жизненного цикла двухстороннего встречного процесса «развития-старения» систем водо-канализационного хозяйства в процессе эксплуатации. Данная модель позволит прогнозировать возможные последствия от физического износа объектов ЖКХ как на рост качества коммунальных услуг населению, так и на безопасность их жизнедеятельности в целом в условиях роста “Западной” агрессии против России.

## Введение

Основанием для научных исследований по данной теме являются майский Указ №208 от 13.05.2017 “О Стратегии экономической безопасности Российской Федерации до 2030 года”, одной из приоритетных задач которого является “Выявление и оценка существующих потенциально возможных вызовов и угроз экономической безопасности России”.

И как показали результаты анализа, проводимого с 2000 года во взаимодействии с ГУП “Союзводоканалпроект”, ЗАО “Маяк-93” и Министерством промышленности и науки Московской области [1, 2, 3, 4], в соответствии с поручением №645 от 16.04.2003 года Президента РФ. [5]:

- физический износ коммунальной инфраструктуры к 2002 году составлял более 70%;
- около трети основных фондов полностью отслужили свой срок эксплуатации;
- количество аварий выросло за 10 лет (с 1990 по 2000 гг.) примерно в 5 раз и составило 70 аварий на 100 км сетей водоснабжения и водоотведения в год” [1, 2].

## Материалы и методы

### Динамика изменения состояния водопроводно-канализационного хозяйства и других объектов ЖКХ с 2000 до 2020 годы

Проведённый комплексный анализ показал, что на 2000 год практически в таком же физически изношенном и морально устаревшем состоянии находятся инженерные сети водопроводно-канализационного хозяйства (ВКХ) Московской и других областей Российской Федерации (табл. 1 и 2).

**Таблица 1.** Основные сводные количественные данные о физическом состоянии объектов подотрасли жилищно-коммунального комплекса («водоотведение») по Москве и Московской области [1].

№	Наименование Региона	Водоотведение					Сред. износ, %
		Число канализационных сетей, ед.шт	Число отдельных сетей, ед.шт	Протяжен. главных коллекторов, (км)	Протяжен. уличной канализационной сети, (км)	Протяжен. квартальной и внутри дворовой сети, (км)	
1	Москва	875	54	145,3	3905	3281,2	55,4
2	Московская Область	1048	992	3483,1	5541,7	2624,9	66,9
3	В целом по РФ	9663	6898	42683,8	72561,8	47759	60,51

Такое критическое состояние инженерных сетей водоснабжения и водоотведения приводит к росту аварий на системах ЖКХ. Это подтверждается рядом обрушений участков автотрасс в г. Москве летом 2006 г. (Ленинградский проспект, район Останкино, и др.) и авариями систем отопления, водоснабжения и канализации в крупных городах России летом и осенью 2006г.



Но несмотря на критическое состояние жилого фонда и инженерных сетей ВКХ, планово-предупредительный ремонт сетей, коммунальной энергетики, зданий и сооружений ЖКХ полностью уступил место “Стратегии выборочного (точечного) капитального ремонта” аварийных объектов и участков сетей, затраты на проведение которых в 2,5-3 раза, а с учётом устранения последствий от аварий — в 5-10 раз выше, чем затраты на плановый ремонт этих объектов в установленные нормативные сроки. Это еще более усугубляет нехватку ресурсов, ведет к лавинообразному накоплению недоремонта и падению надежности инженерных систем ВКХ.

**Таблица № 2.** Основные сводные количественные данные о физическом состоянии объектов подотрасли жилищно-коммунального комплекса («водоснабжение») по Москве и Московской области.

№	Водоснабжение						
	Наименование Региона	Число Водопроводов, ед.шт	Число отдельных сетей, ед.шт	Протяжен. Водопр., (км)	Протяжен. уличной водопроводной сети,(км)	Протяжен. квартальной и внутри дворовой сети,( км)	Сред. износ, %
1	Москва	1	.....	646,4	6498,4	3257,6	66,3
2	Московская Область	1048	992	4596	8630,5	3786,7	69,2
3	Всего по РФ	55827	14069	140164,8	318156,7	62470	61,7

Следствиями такого положения стало: обострение проблемы обеспечения населения питьевой водой нормативного качества; невозможность сохранения её санитарно-эпидемиологического состояния и здоровья населения, без чего невозможно повышение качества жизни людей – главной цели майского Указа №204 от 07.05.2018 г. Президента РФ [6].

Ведь анализ качественного состояния питьевой воды от источника до потребителя; оценка эффективности санитарной охраны источников воды; санитарно-технического состояния сооружений водоподготовки; а также роста заболеваемости населения, связанной с водным фактором показал, что «При существующих технологиях водоподготовки в стране, только 1 процент исходной воды поверхностных источников по своему качеству соответствует нормативам, которые гарантируют получение питьевой воды, отвечающей гигиеническим требованиям.

Однако, качество воды в местах водозаборов за последние годы так и не претерпело существенных изменений.

Следует отметить большую долю «нестандартных» проб воды по санитарно-химическим показателям, как из поверхностных, так и подземных источников» [3].

Кроме того, у 38,4% отсутствуют зоны санитарной охраны, что является прямой угрозой совершению террористических актов и диверсий в современных условиях “Западной” агрессии.

При этом, вспышки заболеваемости в 2004-2006 гг. от некачественной питьевой воды, а также ряд аварий на системах водоснабжения, канализации

и отопления свидетельствуют о том, что вышеуказанные показатели имеют тенденцию к дальнейшему ухудшению.

Причем, влияние химического состава питьевой воды проявляется в виде специфических и неспецифических патогенетических реакций организма человека как при экстремальных ситуациях - залповых аварийных сбросах токсических веществ со сточными водами в водоем ( в случае аварийных или диверсионных прорывов заградительных сооружений) так и при грубых нарушениях действующего водного санитарного законодательства.

А исследования по изучению влияния неудовлетворительного качества питьевой воды в Цимлянске, Томске, Нижневартовске, Острогожске, Владивостоке и др. городах позволили установить достоверную связь между используемыми в данных городах технологиями очистки воды и состоянием здоровья населения:

Кроме того, физический износ 60-80% трубопроводных систем водоснабжения и отопления, наличие трещин и свищей приводят к потерям до 30% питьевой воды, а изношенная теплоизоляция способствует потере до 35% тепла.

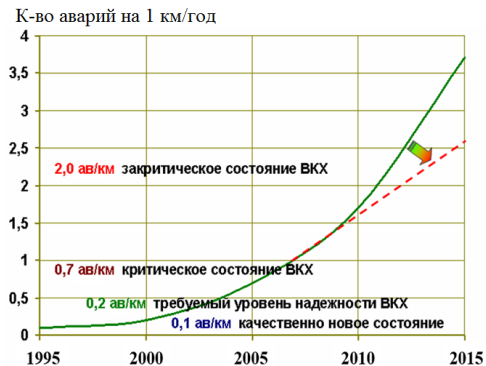
Естественно, такое нерациональное отношение к воде – одному из главных стратегических ресурсов России в XXI веке, ни с санитарно-эпидемиологической, ни с социально-экономической позиции, ни с позиции национальной безопасности - недопустимо.

Ведь как отметил 22.03.2022 года руководитель Федерального агентства водных ресурсов Д. Кириллов – “Будущее, которого мы хотим – благополучия жизни, здоровья, стабильности – всё это так или иначе упирается в вопросы количества и качества воды”.

Тем более что по прогнозам ООН к 2050 году около 60% населения планеты будет испытывать острый дефицит воды. То есть, уже сегодня вода, по своей социально-экономической важности превосходит значимость невозобновляемых ресурсов нефти и газа. Тем более, что Россия по объёмам пресной воды занимает второе место в мире. И инвестиции, вложенные сегодня в эффективность её использования многократно окупятся завтра.

Из вышеизложенного следует, что “Стратегия выборочного (точечного) капитального ремонта и модернизации участков трубопроводных сетей, находящихся в аварийном, закритическом состоянии”, способствует лишь частичному снижению их аварийности (рис. 1), что не обеспечивает ни качества питьевой воды, ни предотвращения кризисных ситуаций на системах ВКХ, ни упреждения потенциально возможных диверсий и техногенных катастроф в условиях роста “Западной” агрессии против России.

Как видим, такая стратегия не решает проблемы снижения аварийности систем ВКХ до требуемого уровня, а лишь обеспечивает переход от экспоненциального роста аварий к линейному (рис. 1).



**Рисунок 1** — Результаты стратегии выборочного ремонта аварийных участков трубопроводных систем ВКХ.

В последующем, начиная с 2015 года статистические данные о % физического износа и аварийности систем водоснабжения и водоотведения противоречивы. Это связано с одной стороны - со стремлением регионов понизить показатели физического износа для улучшения статистики (при повышении требовательности Правительства РФ и Министерства строительства), а с другой стороны - повысить этот % износа для получения дополнительного финансирования на их модернизацию.

Но ведь без знания вышеуказанных достоверных данных невозможно решение проблемы организации научно-обоснованного цифрового управления решением всей совокупности задач майского Указа №204 от 07.05.2018 г. в области строительства и ЖКХ.

Последующий анализ динамики изменения физического состояния систем ВКХ выявил противоречие:

- между данными о 70% их физическом износе на 2003 г.
- и официально публикуемыми данными на 2020-2021 гг. об их физическом износе лишь на 50-60%. Но ведь без проведения планово-предупредительного капитального ремонта (реконструкции, модернизации, замены) систем ВКХ, отслуживших установленный срок эксплуатации невозможно.

Данное несоответствие на наш взгляд связано: с одной стороны – с низкими темпами проведения ежегодного капитального ремонта, реконструкции и модернизации систем ВКХ, а с другой стороны – с ускорением процессов старения трубопроводных систем, дамб, плотин, инженерных заграждений и других элементов систем ВКХ на заключительном этапе и функционирования (после 25-35 летнего двойного и более сроков эксплуатации).

Подтверждением данного несоответствия являются выводы “Росстата”, что при существующих темпах ежегодного капитального ремонта

(реконструкции и модернизации) объектов ЖКХ – “К 2030 году объём неотремонта составит более 50%” (рис.2).



**Рисунок 2** – Динамика роста объёмов неотремонта объектов ВКХ.

Следствием из данного вывода является экспоненциальный рост аварий и техногенных катастроф на объектах ЖКХ (рис. 1), что угрожает не только качеству жизни населения, но и безопасности их жизнедеятельности в условиях глобальных вызовов и внешних угроз разрушению дамб, плотин, шлюзов, гидротехнических защитных сооружений, предприятий химической, биологической атомной промышленности – территориально-географически расположенных выше прилегающих городов и населённых пунктов. Это создаёт угрозу их затопления, разрушения и заражения, в том числе и от потенциально возможных диверсий и террористических актов в условиях “Западной” агрессии.

Из результатов вышеизложенного анализа следует необходимость научно-обоснованной оценки объёмов трубопроводных систем ВКХ и других объектов ЖКХ, находящихся в физически изношенном (аварийном) состоянии.

## Результаты

С этой целью нами предложена логико-математическая модель прогнозирования предельно-допустимых сроков их эксплуатации для предотвращения экспоненциального роста аварий и техногенных катастроф на данных системах в условиях нарастания потенциально возможных диверсий и террористических актов.

Ведь, как показал анализ нерешённых проблем и задач, поступивших из регионов по запросу Всероссийской общественной организации “Трудовая Доблесть России” – около 70% обращений граждан в органы региональной власти относится к сфере ЖКХ и в первую очередь по вопросу обеспечения качественной питьевой водой и централизованным отоплением.

Для получения объективных данных и их оценки по этим показателям нами, совместно с Всероссийской общественной организацией “Трудовая

Доблесть России” и её региональными отделениями, 25 апреля 2022 года организовано проведение Международного Форума с участием регионов с целью уяснения истинного состояния их инженерных систем водоснабжения, водоотведения, дамб, плотин, как объектов повышенной техногенной и террористической опасности в связи с нарастанием “Западной” агрессии против России.

Полученные таким образом достоверные данные из регионов в последующем будут использованы для организации “цифрового управления” жизненным циклом развития систем водоснабжения, водоотведения, теплоснабжения и других объектов ЖКХ на основе предлагаемой нами логико-математической модели.

Данная логико-математическая модель разработана с целью прогнозирования требуемых объемов объектов ВКХ (да и ЖКХ), которые должны находиться (на данный момент времени) в состоянии установленного гарантийного срока эксплуатации. Она может быть представлена в виде математической формулы общего пути  $S_t$ , пройденного объектом из точки А в точку Б с начальной скоростью  $V$  и ускорением  $a$  при встречном ускоренном движении ленточного транспортера со скоростью  $V^*$  и ускорением  $a^*$ :

$$S_t = (S_0 + VT + aT^2/2) - (S^*_0 + V^*T + a^*T^2/2)$$

В данной математической модели: - требуемый объём объектов ВКХ (ЖКХ), находящихся на стадии установленного гарантийного срока эксплуатации  $[(S)_t]$  определяется как разность между существующим объёмом таких объектов  $(S_0)$ , с ежегодным их приращением за счёт модернизации, реконструкции и капитального ремонта  $(VT)$  ежегодным ускорением такого приращения  $(aT^2/2)$  с одной стороны, и существующим объёмом, находящихся в аварийном состоянии  $[(S^*)_0]$  и темпами его ежегодного приращения аварийных объектов  $(V^*T)$ , с ежегодным ускорением данного приращения  $(a^* T^2/2)$  с другой стороны. И как показали результаты моделирования – при существующих темпах модернизации, реконструкции и капитального ремонта аварийных объектов систем ВКХ (да и ЖКХ в целом) - предельно допустимые сроки  $(T)$  их эксплуатации до наступления экспоненциального роста аварийности (закритическое состояние на рис. 1) составляют не более 7-8 лет. Знание вышеуказанных предельно допустимых сроков эксплуатации позволяет определить требуемые объёмы модернизации, реконструкции и капитального ремонта систем ВКХ (ЖКХ) с целью упреждения роста их аварийности до закритического уровня. Возможно решение и обратной задачи – по установленному предельно допустимому сроку эксплуатации  $(T)$  - определить требуемые объёмы проведения капитального ремонта (реконструкции, модернизации) и темпы их ежегодного приращения  $(VT + aT^2/2)$  с целью упреждения роста техногенных аварий и катастроф.

## **Заключение**

Питьевая вода, являясь одним из основных стратегических ресурсов России XXI века, превосходит по своей социально-экономической значимости нефтегазовые источники. Ведь и в Крыму и на Донбассе, главный удар ВСУ нанесли по их водопроводным артериям, лишив воды не только всех жителей этих регионов, но и сельское хозяйство и промышленность. Это подтверждает вывод о том, что вода, являясь одним из стратегически важных ресурсов, требует принципиально нового подхода:

- к поддержанию систем водопроводно-канализационного хозяйства в качественно новом физическом и санитарно-эпидемиологическом состоянии, обеспечивающем требуемый уровень безопасности их эксплуатации в условиях глобальной конкуренции за стратегические ресурсы

- к организации защиты водных объектов, систем ВКХ, дамб, плотин, очистных сооружений, шлюзов, охранных зон, предприятий химической, биологической, атомной и других видов промышленности с целью предупреждения угрозы их разрушений и загрязнений прилегающей территории;

- а главное, к организации эффективного цифрового управления всей системой водопроводно-канализационного хозяйства России с целью сохранения стратегических водных ресурсов и гарантированного выполнения основного требования майского Указа №204 от 07.05.2017 года — о повышении качества жизни населения и обеспечения безопасности его жизнедеятельности в условиях нарастания внешних вызовов и угроз.

## **Список литературы**

1. Концепция развития водопроводно-канализационного хозяйства в новых экономических условиях (Проект) ГУП “Союзводоканалпроект”. М., 2001.
2. Концепция развития водопроводно-канализационного хозяйства в Российской Федерации на период 2003-2005 гг. и до 2010 г. (Проект) ГУП “Союзводоканалпроект”. М., 2002.
3. Карта Госстроя РФ о физическом износе основных фондов ЖКХ по регионам России. М., 2002.
4. Прокопович В.П., Бисултанов Б.К., монография “Организация управления развитием социально-производственных систем (Строительство и ЖКХ)”. М., 2007.
5. Поручение Президента РФ №645 от 16.04.2003 г. Председателю правительства РФ и губернатору Московской области. М., Кремль.
6. Указ Президента РФ №204 от 07.05.2018 г. М., Кремль.
7. Указ Президента РФ №208 от 13.05.2017 г. М., Кремль.
8. Бухарев Е.Ю. «Маяк-93» - лидер производства металлополимерных труб. Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. №8, 2001 г.
9. Материалы к заседанию НТС Госстроя России 14.11.2003г. М., Сантехниипроект, 2003г.
10. Федеральная целевая программа “Жилище” на 2002-2010 гг. Проект, Госстрой РФ, Москва, 2001 г.
11. Материалы к заседанию НТС Госстроя России 14.11.2003г. М., ЦЭНЭФ, 2003г.