



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ

**СТРОИТЕЛЬНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

## ЯКОВЛЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ

Сборник докладов

XV Международной научно-технической конференции,  
посвященной памяти академика РАН С.В. Яковлева

*(г. Москва, 19 марта 2020 г.)*

© Национальный исследовательский  
Московский государственный  
строительный университет, 2020

ISBN 978-5-7264-2168-1

Москва  
Издательство МИСИ – МГСУ  
2020

УДК 626 : 628 : 696  
ББК 38.76 : 36.77  
Я47

Я47 **Яковлевские чтения** [Электронный ресурс] : сборник докладов XV Международной научно-технической конференции, посвященной памяти академика РАН С.В. Яковлева / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. — Электрон. дан. и прогр. (3 Мб). — Москва : Издательство МИСИ – МГСУ, 2020. — Режим доступа: <http://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkr-dostupa/>. — Загл. с титул. экрана.  
ISBN 978-5-7264-2168-1

В сборник включены доклады XV Международной научно-технической конференции «Яковлевские чтения», посвященной памяти академика РАН Сергея Васильевича Яковлева.

Для магистрантов, аспирантов, профессорско-преподавательского состава вузов, реализующих программы высшего профессионального образования в области строительства и экологии, а также для специалистов водной отрасли.

*Научное электронное издание*

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

© Национальный исследовательский  
Московский государственный  
строительный университет, 2020

Ответственный за выпуск: *А.П. Андрианов*

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

Тел.: +7 (495) 730-62-53

e-mail: {HYPERLINK "mailto:iiesm@mgsu.ru"}

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

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

*Для создания электронного издания использовано:*

Microsoft Word 2013, ПО Adobe Acrobat

Верстка макета *Е.В. Орлова*

Подписано к использованию 27.04.2020. Объем данных 3 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. 13-71, (499) 188-29-75, (499) 183-97-95.

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

**Организатор конференции:**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ)

**Организационный комитет:**

**Председатель конференции:**

**Д.А. Корольченко** – канд. техн. наук, доц., проректор НИУ МГСУ.

**Сопредседатели:**

**Е.С. Гогина** – канд. техн. наук, доц., проректор НИУ МГСУ;

**К.И. Лушин** – директор института инженерно-экологического строительства и механизации (ИИЭСМ) НИУ МГСУ.

**Заместитель председателя:**

**В.А. Орлов** – д-р. техн. наук, проф., зав. кафедрой водоснабжения и водоотведения (ВИВ) НИУ МГСУ.

**Члены организационного комитета:**

**А.П. Андрианов**, канд. техн. наук, доц. кафедры водоснабжения и водоотведения (ВИВ) НИУ МГСУ;

**Е.М. Чеботаева**, начальник Управления молодежной и информационной политики НИУ МГСУ;

**М.В. Митькина**, директор Издательства МИСИ-МГСУ;

**Н.В. Самогесова**, начальник Управления по координации международного сотрудничества НИУ МГСУ.

**Рабочая группа организационного комитета:**

**А.П. Андрианов**, канд. техн. наук, доц. кафедры водоснабжения и водоотведения (ВИВ) НИУ МГСУ;

**Н.А. Макиша** – канд. техн. наук, доц. кафедры водоснабжения и водоотведения (ВИВ) НИУ МГСУ;

**Е.В. Орлов**, канд. техн. наук, доц. кафедры водоснабжения и водоотведения (ВИВ) НИУ МГСУ;

**Р.Р. Шарапов**, канд. техн. наук, ст. преп. кафедры водоснабжения и водоотведения (ВИВ) НИУ МГСУ.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<i>Л.В. Боронина, Е.В. Давыдова, А.А. Медведев.</i> Стратегическое развитие систем водоснабжения и водоотведения современного города (на примере г. Астрахани).....	7
<i>А.Н. Григорьева, Р.Ш. Абиев.</i> К выбору типа и частоты вращения мешалки для эффективного перемешивания флокулянтов в воде .....	12
<i>И.С. Дежина, В.А. Орлов.</i> Повышение транспортирующей способности по выносу песчаных примесей в самотечных трубопроводах с учетом рельефа их поверхности .....	20
<i>Л.Г. Дерюшев, Н.Л. Дерюшева.</i> О совершенствовании методов расчета расходов воды систем внутреннего водоснабжения зданий.....	28
<i>А.А. Ерхов, Е.А. Королёва.</i> Мокрое окисление осадка в zmpго-процессе с получением уксусной кислоты.....	37
<i>А.А. Ерхов, Е.А. Королёва.</i> Водоснабжение для наружного пожаротушения с учётом рисков для городской среды .....	43
<i>В.Г. Исаков, А.М. Непогодин, М.Ю. Дягелев.</i> Эффективность флотационной очистки промышленных сточных вод на лабораторной установке.....	50
<i>Т.Р. Ишмаков, Д.Н. Кутлияров.</i> Мероприятия по берегоукреплению, проводимые в городском округе города Уфа Республики Башкортостан с устройством причала у монумента дружбы.....	55
<i>М.В. Кевбрина, А.Г. Дорофеев, А.М. Гаврилин.</i> Вторичные отстойники: сравнение методов расчета при проектировании и анализ параметров эффективной эксплуатации сооружений .....	61
<i>Е.А. Максимов.</i> Исследование работы электрофлотатора с автоматическим регулированием плотности тока .....	74
<i>Сайид Марам Али, Н.С. Серпокрылов.</i> Эколого-экономический анализ применения погружных вращающихся биофильтров для очистки сточных вод малых населенных пунктов в Сирии .....	80
<i>Р.Ш. Непаридзе, М.В. Уракин, Н.Н. Беляев, А.И. Соколов, Р.Н. Ковыришина, А.А. Нелюбина.</i> Результаты гидравлического расчета системы подачи и распределения воды г. Тобольска Тюменской области .....	87
<i>И.И. Павлинова.</i> Основы нормативно-правового обеспечения в сфере водоснабжения и водоотведения.....	94
<i>А.Г. Первов, К.В. Тихонов.</i> Использование метода обратного осмоса для очистки бытовых сточных вод как альтернатива мембранным биореакторам.....	99
<i>О.Г. Примин.</i> Реконструкция канализационных коллекторов полимербетоном .....	107
<i>О.А. Продоус.</i> Зависимость продолжительности использования металлических трубопроводов систем водоснабжения от толщины слоя отложений на внутренней поверхности труб.....	113

<i>Д.С. Радцевич, С.Н. Радцевич, Н.Б. Марков.</i> Биологическая очистка минерализованных хозяйственно-бытовых сточных вод.....	118
<i>В.С. Рожков, Ю.Г. Акулова.</i> Особенности доочистки водопроводной воды у потребителя в полновысотных фильтрах малого сечения .....	130
<i>Г.А. Самбурский, В.И. Баженев, Д.Б. Фрог.</i> Использование жизненного цикла оборудования и капитальных объектов ЖКХ в решении задач водопроводно-канализационной специализации.....	134
<i>И.А. Синянский, О.И. Шитков, Е.В. Орлов, В.Е. Цой.</i> К вопросу о необходимости строительства городов и населенных пунктов в зонах высокой водообеспеченности.....	140
<i>А.Ю. Скрябин.</i> Проблема токсичности диоксида хлора и его производных, образующихся при обеззараживании питьевой воды .....	143
<i>С.В. Староверов, Р.И. Юдин.</i> Исследование процесса деферризации методом упрощённой аэрации .....	149
<i>Е.А. Стрижкова, Д.Н. Кутляров.</i> Применение техногенных отходов в строительстве.....	157
<i>Л.Д. Терехов, Ш.Б. Майны.</i> Особенности эксплуатации канализационных выпусков в условиях сурового климата.....	161
<i>А.А. Файзурахманова, А.А. Кузнецов, М.Ю. Дягелев.</i> Опыт работы на экспериментальной установке по определению альфа-фактора.....	166
<i>Л.Н. Фесенко, А.Ю. Черкесов, И.В. Пчельников, Р.В. Исраилов, С.А. Шукин, С.И. Игнатенко, А.С. Пчельникова.</i> Очистка вентиляционных выбросов канализационных сооружений и насосных станций от сероводорода.....	173
<i>Л.Н. Фесенко, И.В. Пчельников, Нгуен Тхи Туан Зьеп.</i> Проблемы водного хозяйства Республики Вьетнам .....	178
<i>В.Н. Фисенко.</i> О типовом регламенте обследования и расчетам при реконструкции скважинных водозаборов подземных вод .....	185
<i>А.Ф. Хазитова, А.Р. Хафизов.</i> Оценка и повышение экологической устойчивости катен водосборов рек лесостепной зоны Башкортостана .....	193
<i>О.В. Харьковина, Р.Р. Закиев.</i> Достижение стабильного качества очищенной воды на уровне ПДК для водоемов рыбохозяйственного назначения.....	198
<i>Л.Р. Хисамеева, Т.В. Кедрова.</i> Реконструкция канализационных очистных сооружений .....	201
<i>К.И. Чижик, В.И. Щербаков, И.Ю. Пурусова.</i> Энергетические затраты на подъем воды из подземных источников .....	208
<i>Т.Н. Ширкова.</i> Новые технологии очистки фильтратов полигонов хранения твёрдых бытовых отходов с применением мембран низкого давления .....	212
<i>А.Н. Эпов, М.А. Канунникова.</i> Анализ процесса двухступенчатой нитрификации.....	226

## **СТРАТЕГИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ СОВРЕМЕННОГО ГОРОДА (НА ПРИМЕРЕ Г. АСТРАХАНИ)**

**Л.В. Боронина**, проф., к.т.н., ГАОУ АО ВО «АГАСУ», г. Астрахань; **Е.В. Давыдова**, асс., ГАОУ АО ВО «АГАСУ», г. Астрахань; **А.А. Медведев**, гл. инженер МУП «Астрводоканал», г. Астрахань

В последние годы Астраханская область является Каспийским центром развития туризма, она занимает Астраханская область имеет важное политическое значение для России, т.к. является ее южным форпостом, расположенном на Каспийском море.

Инженерное жизнеобеспечение современного города создает необходимые санитарно-гигиенические условия и обеспечен высокий уровень комфорта жителей и гостей. Для условия выполнимы при решении задачи общегосударственного масштаба по обеспечению экологической безопасности и надежности систем водоснабжения и водоотведения, которые обслуживают и население, и промышленность, и культурно-бытовые предприятия.

Кроме того, обеспечение населения города Астрахани и Астраханской области чистой питьевой водой нормативного качества, безопасность, доступность водопользования для всех слоев населения является одним из главных приоритетов социальной политики Астраханской области и составляет основу здоровья и благополучия человека.

В настоящее время в водном секторе региона существует ряд проблемных вопросов, от своевременного решения которых зависит надежная и бесперебойная работа систем водоснабжения и водоотведения, а также их экологическая безопасность.

Во-первых, это вопросы, связанные с особенностями географического расположения (Прикаспийская низменность, нижняя часть Волги) и резко континентального климата в регионе. Эти природные факторы способствуют образованию так называемой геохимической ловушки, аккумулирующей в себе все загрязнения, которые поступают с верховьев реки Волги. Среднегодовая токсическая нагрузка на экосистемы Волги и ее притоков в 5 раз превосходит среднегодовую токсическую нагрузку на водные экосистемы других регионов России. Более половины объема годового стока реки не удовлетворяет нормативам и превышает допустимые концентрации в течение всего года.

Во-вторых, ввиду того, что на территории Волжского бассейн проживает 40% населения России, здесь сосредоточена значительная часть промышленного производства и сельскохозяйственных угодий, возрастает риск техногенного загрязнения основного источника водоснабжения населения Астраханской области – реки Волга.

В-третьих, по данным управления Росприроднадзора по Астраханской области, качество воды водоёмов, используемых для питьевого водоснаб-

жения (I категория) и для рекреации (II категория), по санитарному состоянию за последние 10 лет года (2007-2017 годы) продолжает оставаться неудовлетворительным. По степени загрязнения Волга характеризуется как «сильно загрязнённая».

Увеличение содержания азота, фосфора и других биогенных элементов является еще одним важнейшим фактором нарушения экологического состояния водоемов, связанного с антропогенным эвтрофированием, способствующим активному росту микроводорослей и высших водных растений в результате хозяйственной деятельности человека.

Микрофиты присутствуют в волжской воде во все периоды года и представлены в основном диатомовыми водорослями (*Coscinodiscus radiatus*), синезелеными водорослями (*M. grevillei*) и зелеными водорослями (*Mougeotiasp*), причем из года в год наблюдается устойчивый рост количества клеток микроводорослей и изменения их видового состава.

В сложившихся условиях для водоисточников, характеризующихся постоянной антропогенной и техногенной нагрузкой, требуется усиление защитной барьерной функции очистных сооружений.

В-четвертых, конструктивные и технологические особенности морально устаревших элементов и сооружений очистных станций, построенных по типовым проектам 30-70-х годов и рассчитанные на более мягкие экологические условия эксплуатации, оказывают негативное действие на работу и эффективность водоочистного комплекса в целом.

Кроме того, нерациональное использование потенциала сооружений предварительной и основной очистки воды приводит к увеличению в целом грязевой нагрузки на водоочистные сооружения.

В-пятых, наиболее сложная ситуация в процессе эксплуатации водопроводных станций складывается в периоды паводков и залповых аварийных выбросов сточных вод, когда при относительно стабильных уровнях примесей естественного характера, прогнозируемых по многолетним наблюдениям, зачастую фиксируются достаточно высокие (пиковые) концентрации токсичных примесей антропогенного происхождения. Требуется повышение эффективности очистки сточных вод по биогенным элементам и микробиологическим показателям с применением наилучших доступных технологий.

Поэтому реконструкция системы водоснабжения и водоотведения фактически является требованием природоохранного законодательства, выполнение которого требует вложения значительных инвестиций.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) определить объекты водопроводно-канализационного хозяйства, перерывы и сбои в работе которых (с учетом текущего технического состояния) могут оказать негативное влияние на систему водоснабжения и водоотведения муниципального образования «Город Астрахань»;

- 2) разработать перечень мероприятий к проведению II Каспийского экономического форума в городе Астрахань с обоснованием необходимо-



сти их реализации, а также рассчитать стоимость указанных мероприятий с учетом их эффективности, в том числе при дальнейшей эксплуатации объектов для поддержания в надлежащем состоянии системы ВиВ МО «Город Астрахань».

Важным инструментом, позволяющим получить комплексный проект, интегрирующий главную цель, задачи развития, материальные ресурсы, направленные на достижение стратегических результатов, является стратегический план реализации мероприятий. Он состоит из трех основных разделов (рис. 1):

раздел I «Развитие централизованных систем питьевого водоснабжения»:

- водоисточники, гидротехнические сооружения и тракты подачи воды;
- фильтровальные станции;
- сети водопровода;
- сооружения очистки промывных вод;



**Рис. 1.** Стратегический план развития систем водоснабжения и водоотведения муниципального образования «Город Астрахань»

раздел II «Развитие централизованных систем водоотведения»:

- сети канализации;
- канализационные насосные станции;

- канализационные очистные сооружения;
- раздел III «Общие вопросы водоснабжения и водоотведения»:
- развитие технологий энергосбережения;
- создание благоприятных экономических условий;
- развитие инновационной деятельности.

Реализация стратегического плана краткосрочного развития систем водоснабжения и водоотведения МО «Город Астрахань» позволит систематизировать целевые показатели, которых надо достичь, производственных задач, которые надо решить, и необходимых для всего этого финансовых ресурсов.

#### Библиографический список

1. Боронина Л.В., Садчиков П.Н. Оценка качества поверхностных водисточников на основе показателей временных рядов динамики // Водоснабжение и санитарная техника. – 2012. № 11. – с. 15-21.
2. Водоподготовка: Справочник. [Текст] / под ред. д.т.н., действительного члена Академии промышленной экологии С.Е. Беликова. – М.: Акватерм, 2007. – 240 с.
3. Государственные нормативы 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Гигиенические нормативы (с изменениями от 28 сентября 2007 г.) / Государственное санитарно-эпидемиологическое нормирование РФ. Государственные санитарно-эпидемиологические правила и нормативы – Минздрав России. – Москва, 2003. – 353 с.
4. Государственные доклады об экологической обстановке на территории Астраханской области в 2008-2018 г.г. / Информационно-аналитический отдел службы природопользования и охраны окружающей среды Астраханской области. – Астрахань, 2009-2019.
5. Государственный комитет РФ по рыболовству приказ от 28 апреля 1999 г. № 96 «О рыбохозяйственных нормативах». – Астрахань, 1999. – 188 с.
6. Жуков, Н.Н. Актуальные задачи и проблемы обеспечения населения России питьевой водой [Текст] / Н.Н. Жуков // Водоснабжение и санитарная техника. – 2000. – № 1. – С. 10–13.
7. Орлов, Г.А. Перспективные методы подготовки питьевой воды / Г.А. Орлов, Г.Л. Железнова. – М. : ЦНТИ Минжилкомхоза РСФСР, 1987. – 71 с.
8. Боронина Л.В., Медведев А.А. Концепция сохранения и предотвращения загрязнения реки Волги (на примере Астраханской области) // Сборник докладов XIV Международной научно-технической конференции, посвященной памяти академика РАН С.В. Яковлева и 90-летию со дня создания факультета «ВиВ»; Москва: 2019. С. 5-8.

9. Boronina L., Israilov R., Fomichev V. (2018). Deodorization of water at water treatment plants in the lower Volga with activated anthracite. MATEC Web of Conferences. 251. 03046. 10.1051/matecconf/201825103046.

10. Ким А.Н., Давыдова Е.В., Полянская Д.И. Отведение и очистка поверхностного стока в Астрахани: современное состояние и перспектива развития // Градостроительство и архитектура. 2016. № 2 (23). С. 31-35.

## К ВЫБОРУ ТИПА И ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ МЕШАЛКИ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ФЛОКУЛЯНТОВ В ВОДЕ

**А.Н. Григорьева**, аспирант кафедры ОХБА СПбГТИ (ТУ); **Р.Ш. Абиев**, проф., д.т.н., зав. каф. ОХБА СПбГТИ (ТУ), г. Санкт-Петербург

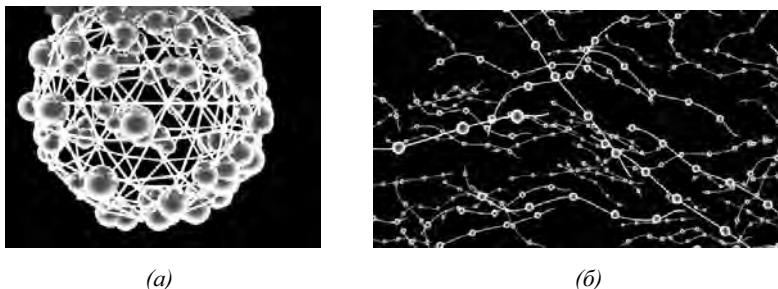
Коагулянты и флокулянты с давних пор применялись при подготовке воды для питьевых целей, очистки сточных вод. К основным технологическим проблемам при флокуляции относятся необходимость выбора наиболее эффективного флокулянта и создание оптимального технологического режима приготовления его растворов и их последующего применения [1]. Действие полимеров зависит от следующих факторов:

1. Природа флокулянта;
2. Молекулярная масса;
3. Концентрация дисперсной фазы;
4. Условия внесения и приготовления полимера.

подавляющее большинство флокулянтов поставляется в твердой форме. Это обусловлено экономией затрат при транспортировке, более легкими способами складирования и хранения сухих веществ [2]. Различные аспекты очистки воды с применением неорганических коагулянтов и флокулянтов многие годы изучались в НИИ ВОДГЕО, НИИКВ и ОВ, ИОТТ, институтах АН РФ и вузах под руководством Борца М.А., Клячко Ю.А., Драгинского В.Л., Бабенкова Е.Д. и др. Вместе с тем, в литературе и практике водоочистки отсутствует четкая методология выбора перемешивающего устройства для аппаратного оформления процесса приготовления флокулянта. Несовершенство методов приготовления растворов приводит к тому, что значительное количество полимера попадает в суспензию в виде геля и ассоциатов, что приводит к перерасходу дорогостоящих флокулянтов и понижению эффективности их действия при агрегации дисперсий.

Флокулянты как товарный продукт выпускаются в виде гелей, растворов, эмульсий и порошков. Рабочие же растворы, используемые для дозирования, готовят с концентрацией 0,01-1 % в специальных установках, имеющих различную конструкцию в зависимости от вида флокулянта. Пожалуй, наибольшие трудности вызывает растворение порошковых флокулянтов, представляющих собой полидисперсную смесь твердых частиц. Растворение, как правило, осуществляется в аппаратах с мешалками. При растворении флокулянтов в воде образуются истинные растворы, при этом процесс характеризуется следующими особенностями: набухание, предшествующее растворению; высокая вязкость раствора, низкий коэффициент диффузии, неспособность молекул проникать через полупроницаемые мембраны [1].

Макромолекулы флокулянта достаточно гибкие и находятся в воде в свернутом состоянии в виде молекулярных клубков (рис. 1, а), которые начинают раскрываться по мере разбавления раствора (рис. 1, б).



**Рис. 1.** Модель макромолекулы флокулянта в концентрированном (а) и разбавленном (б) водном растворе.

Для того, чтобы клубок из длинных цепей макромолекул полимера эффективно разворачивался, необходимо обеспечить хорошее смачивание всей его поверхности.

Цель данной работы – построение на основе экспериментальных исследований методики расчета максимально допустимой частоты вращения перемешивающего устройства с учетом геометрии рабочего колеса. При этом необходимо принять во внимание, что сдвиговые напряжения на наружном диаметре лопастей мешалки не должны превышать параметры, определяемые реологическими свойствами флокулянта. На основе теоретического анализа максимальной частоты вращения необходимо сравнить несколько типов перемешивающих устройств, способствующих наиболее быстрому растворению флокулянта.

Процесс растворения высокомолекулярных полимеров состоит из трех этапов: (1) смачивание дисперсных частиц флокулянта водой с образованием на поверхности гидратного слоя, (2) набухание – диффузное проникновение молекул воды в межмолекулярное пространство полимера с образованием геля, (3) непосредственно растворение полимера в воде или переход макромолекул в объем растворителя [4].

На первом этапе основной проблемой является необходимость смачивания всей частицы целиком, что, по мнению авторов работы [2], затруднено большой вязкостью полимера. На наш взгляд, основными трудностями на данном этапе являются: (1) низкая поверхностная энергия полимеров, характеризующаяся большими углами смачивания жидкостью; (2) неравнодоступность поверхности частиц, подаваемых в жидкость в виде слоя, когда доступ жидкости к частице блокируется соседними частицами. Если частица во время смачивания не полностью отделена от других, то на наружной поверхности этих частиц образуется слой геля, трудно пропускающий воду. Эти «комки» труднорастворимы; требуется несколько часов, чтобы их ликвидировать [2]. Отсюда напрашивается вывод о необходимости подвода достаточного количества энергии к поверхности частиц, как для их отделения друг от друга, так и для предотвращения образования комков.

После завершения первого этапа адсорбции и смачивания частиц полимера, молекулы флокулянта продолжают разворачиваться и покидают наружную поверхность геля. Теперь они находятся в растворе в виде отдельных молекул. Скорость растворения полимера зависит от крупности частиц. Из литературы известно, что раствор полимера обладает свойствами неньютоновских жидкостей [5], однако данное утверждение справедливо для высоких концентраций полимера. В практике очистки сточных вод обычно используются концентрации 0,1-0,3%. При анализе реологических кривых в статье [6] отмечено, что при малых концентрациях гели ведут себя практически как ньютоновские жидкости. Таким образом, в настоящем исследовании мы рассматриваем низко концентрированные растворы флокулянтов, процесс перемешивания которых можно приравнять к перемешиванию в системе жидкость-твердое.

Для того чтобы процесс набухания и растворения проходил как можно быстрее, необходимо поддерживать все частицы во взвешенном состоянии, равномерно распределенными по всему объему жидкости, при этом избегая больших срезающих усилий.

В большинстве случаев интенсивность механического перемешивания принято оценивать посредством среднеквадратичного градиента скорости  $G$ , который определяется по формуле (1) [7]:

$$G = \sqrt{\frac{\varepsilon}{\mu_a}}, \quad (1)$$

где  $\varepsilon$  – мощность, диссипированная в единице объема жидкости (удельная скорость диссипации энергии), Вт/м<sup>3</sup>,

$\mu_a$  – динамическая вязкость жидкости, Па·с.

Авторы работы [8] утверждают, что среднеквадратичный градиент скорости  $G$  должен быть в пределах 200-1000 с<sup>-1</sup>, в то время как в [9] полагают, что для распределения всех частиц по объёму достаточно создать перемешивание, при котором  $G = 100-400$  с<sup>-1</sup>. Согласно рекомендациям фирм-производителей, при приготовлении флокулянта перемешивание должно проходить в две стадии: сначала «быстро», а потом «медленно». Однако при установке перемешивающего устройства необходимо иметь детальную информацию о размере диаметра мешалки, скорости вращения, наилучшей геометрии (типе) рабочего колеса. Таким образом, в существующих литературных источниках информация относительно точного выбора мешалки и критериев эффективности перемешивания отсутствует.

Согласно формуле (1), среднеквадратичный градиент скорости зависит от мощности, вводимой в аппарат. Однако в условиях турбулентности решающее значение имеет полезный эффект от перемешивающего устройства. При расчете градиента скорости исходя из мощности, диссипированной в единице объёма жидкости, не принимается во внимание особенности геометрии мешалки и, следовательно, распределение скоростей в окружном и осевом направлениях.

Повышение частоты вращения мешалки приводит к увеличению степени турбулизации потока и возрастанию скорости обтекания каждой частицы жидкостью. При достаточно сильной турбулизации потока происходит утончение ламинарной пленки вокруг частицы, в которой концентрация растворяемого вещества достигает насыщения, что способствует интенсификации процесса растворения частиц. Однако возрастание частоты вращения сопровождается увеличением касательных напряжений, вызывающих деструкцию макромолекул полимера. Вследствие этого повышение частоты вращения мешалки сверх оптимального значения недопустимо, так как приводит к резкому снижению технологических свойств готового раствора [9]. Эффективность растворения частиц флокулянта во многом определяется конструкцией аппарата и частотой вращения мешалки. Таким образом, надо удовлетворить двум противоречащим друг другу требованиям: 1) подвести достаточное количество энергии для растворения флокулянтов; 2) не допустить разрушения уже развернувшихся частиц флокулянта. Этим определяется необходимость проведения процесса в два этапа: сначала перемешивание должно быть интенсивным, а затем умеренным. Существует некоторая оптимальная частота вращения мешалки, которую назовем определяющей.

Методика расчета определяющей частоты вращения мешалки основана на определении касательных напряжений турбулентного трения Рейнольдса, создаваемых мешалкой во время ее работы и зависящих от геометрии мешалки. Данные напряжения не должны превышать напряжения сдвига, достаточные для разрушения макромолекул флокулянта.

Напряжения турбулентного трения рассчитываются из полуэмпирических моделей турбулентности, самой распространенной из которых является модель Прандтля, согласно которой напряжения турбулентного трения  $\tau_T$  (Па) определяется как:

$$\tau_T = \rho L^2 \left| \frac{du}{dy} \right| \frac{du}{dy}, \quad (2)$$

где  $\rho$  – плотность жидкости,  $\text{кг/м}^3$ ;  $L$  – путь смещения, м;  $du/dy$  – градиент окружной скорости в осевом направлении,  $\text{с}^{-1}$ .

Перенос вещества от поверхности растворяющейся частицы флокулянта в объем раствора складывается из гидродинамического и диффузионного процессов, которые в общем виде описываются дифференциальными уравнениями гидродинамики вязкой жидкости и конвективной диффузии. Основой анализа закономерностей турбулентного переноса в аппаратах с мешалками являются данные об особенностях гидродинамики перемешиваемой среды. Учитывая наличие осевой симметрии поля скоростей и постоянство профиля скорости по высоте в основной части объема, локальное значение коэффициента турбулентного переноса ( $D_{mi}$ ) на радиусе  $r$  определяется по формуле [10]:

$$D_T^I(r) = a_0^2 r_0^2 \left| \frac{du(r)}{dr} \right|, \quad (3)$$

где  $\left| \frac{du(r)}{dr} \right|$  – градиент скорости на радиусе  $r$ ,  $c^{-1}$ ;  $a_0$  – коэффициент.

Коэффициент турбулентной диффузии для периферийной зоны смешения определяется по формуле [10]:

$$D_{T2} = a_0^2 \omega_0 r_0^2 \frac{(\hat{R} - \hat{r}_m)^2}{\hat{R}^2 - \hat{r}_m^2} \times \\ \times \left[ 1,6\psi_1(\hat{r}_m^5 - 1) + 1,5\psi_2(\hat{r}_m^4 - 1) + (\hat{r}_m^2 - 1) + 2(\psi_1 + \psi_2 + 1) \ln \hat{R} \right] \quad (4)$$

где  $\omega_0$  – угловая скорость вращения мешалки,  $c^{-1}$ ;  $\hat{R} = D/d_m$  – главный геометрический критерий подобия – отношение диаметра аппарата  $D$  к диаметру мешалки  $d_m$ ;  $r_0$  – радиус мешалки, м;  $\hat{r}_m = 0,75 r_0$  – средняя величина безразмерного радиуса разделения первой и второй зоны смешения в аппарате;  $\psi_1, \psi_2$  – параметры распределения окружной скорости, зависящие от геометрии перемешивающего устройства.

Приравнивая правые части выражений (3) и (4), получим формулу для абсолютного градиента скорости:

$$\left| \frac{du}{dy} \right| = \omega_0 \frac{(\hat{R} - \hat{r}_m)^2}{\hat{R}^2 - \hat{r}_m^2} \times \\ \times \left[ 1,6\psi_1(\hat{r}_m^5 - 1) + 1,5\psi_2(\hat{r}_m^4 - 1) + (\hat{r}_m^2 - 1) + 2(\psi_1 + \psi_2 + 1) \ln(\hat{R}) \right] \quad (5)$$

Длину пути перемешивания можно вычислить из полуэмпирической модели турбулентности, предложенной Карманом. Согласно ему,  $L$  можно рассчитать как [11]:

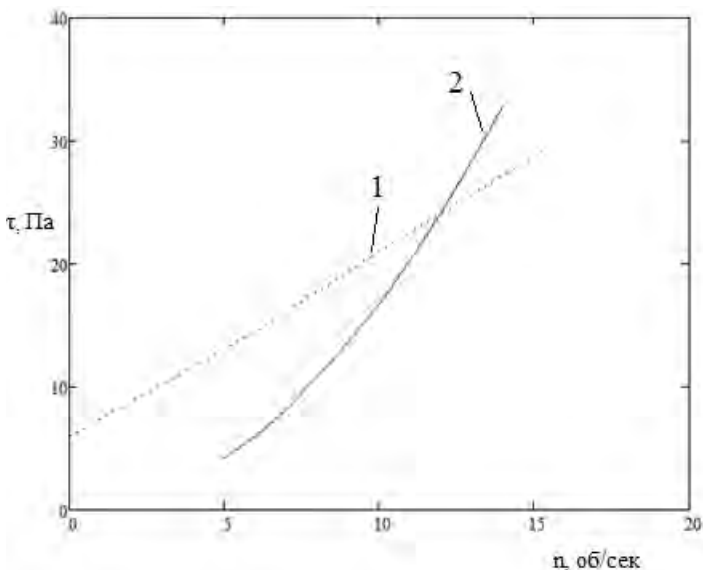
$$L = k \cdot y, \quad (6)$$

где  $k = 0,4$  – универсальная константа турбулентности;  $y = \pi d_m / z$  – расстояние по окружности между лопастями мешалки ( $z$  – число лопастей мешалки).

Зная значения абсолютного градиента скорости и длину пути перемешивания, по формуле Прандтля (2) можно рассчитать величину турбулентных напряжений Рейнольдса, создаваемых мешалкой определенной геометрии при различной частоте вращения.



В статье [6] изучены реологические свойства растворов высокомолекулярных флокулянтов, где изучены какие напряжения сдвига будут критическими для разрыва полимерных связей при различной концентрации порошка  $C$  другой стороны несложно построить график зависимости напряжения турбулентного трения мешалки при различной частоте вращения для определенной геометрической формы мешалки. Совместив два графика на пересечении, находим определяющую частоту вращения мешалки, т.е. максимально возможную частоту мешалки определенной геометрической формы, при которой молекулярные связи полимера будут сохраняться. Пример построения графика для определения определяющей частоты вращения конической мешалки представлен на рис. 2.



**Рис. 2.** Совмещенный график зависимости вводимых конической мешалкой турбулентных напряжений (линия 2) и напряжений сдвига флокулянта Магнафлок М155 (линия 1) от частоты вращения  $n$

График зависимости градиента скорости  $du/dy$  (по существу совпадает со значением скорости сдвига в данных условиях) от напряжения сдвига ( $\tau$ ) был использован из [6], данные были взяты для 0,3 %-ого раствора флокулянта с молекулярной массой 5-8 млн. График зависимости величины турбулентных напряжений Рейнольдса, создаваемых мешалкой определенной геометрии при различной частоте вращения, от скорости сдвига рассчитывали по формуле Прандтля (2). На пересечении кривых находится точка критического градиента скорости, выше значения которого напряжения, становятся разрушительными для молекул флокулянта.

Результаты расчета определяющей частоты вращения, времени растворения и мощности на перемешивание представлены в табл. 1.

Таблица 1

Тип мешалки	Определяющая частота вращения, об/сек	Мощность на перемешивание N, Вт	Время растворения T, мин	Количество циклов растворения в час, Q (60/T)	Q/N, Вт <sup>-1</sup>
Коническая	12	0,162	40	1,5	7,31
Трехлопастная	7,5	0,061	60	1	6,32
Турбинная	6	0,281	50	1,2	2,1

Таким образом, с использованием конической мешалки можно перемешивать флокулянт на наибольшей частоте вращения среди исследованных мешалок, т.к. она создает меньше сдвиговых напряжений во время работы за счет обтекаемой формы лопастей. Применение турбинной мешалки на высоких частотах вращения ограничено, т.к. она создает опасные сдвиговые напряжения за счет острых кромок лопаток, расположенных под углом 90° к плоскости вращения. Причем аппарат с конической мешалкой не только самый производительный, но и самый выгодный с точки зрения отношения полезного эффекта (кратность объемов аппарата, которое можно перемешать за час) к затратам (потребляемой мощности мешалки).

В результате работы было установлено, что применение новой конической мешалки позволяет ускорить процесс приготовления флокулянтов в 1,5 раза по сравнению с наиболее распространенной лопастной мешалкой и в 1,25 раза по сравнению с турбинной. Следовательно, для правильного подбора мешалки определенной геометрической формы для приготовления растворов флокулянта необходимо:

- Выбрать диаметр мешалки и длину вала в зависимости от размеров аппарата исходя из рекомендаций для данного типа перемешивающего устройства для эффективного суспендирования в системе жидкость-твердое.
- Определить значения градиента скорости в осевом направлении по формуле (5). Параметры распределения скоростей для стандартных мешалок можно получить из справочных данных, например воспользовавшись [12].
- Рассчитать путь перемешивания по формуле (6).
- Построить график зависимости напряжений сдвига от частоты вращения мешалки для данного диаметра, вычислив значения по формуле (2).
- Найти определяющую скорость вращения мешалки путем совмещения графиков. Для нахождения определяющей скорости необходимо иметь данные о реологических свойствах растворов флокулянтов.
- Рассчитать мощность, необходимую для перемешивания по формуле из [13].

Следует отметить, что вышеизложенная методика приемлема только для низкоконцентрированных растворов, которые имеют свойства ньютоновской жидкости.

### Библиографический список

1. Гандурина Л.В. Очистка сточных вод с применением синтетических флокулянтов. – М: ДАР/ВОДГЕО, 2007.
2. Фролов В.С., Удовицкий В.И. Приготовление порошкообразных флокулянтов на углеобогатительных предприятиях Кузбасса // Горный информационно-аналитический бюллетень. Отдельный выпуск № 7. 2009. Кузбасс-1.
3. Гетманцев С.В., Нечаев И.А., Гандурина Л.В. Очистка производственных сточных вод коагулянтами и флокулянтами. – М: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2008.
4. Тагер А.А. Физикохимия полимеров. - 3-е изд., перераб. – М.: Химия, 1978.
5. Вейцер Ю.И., Минц Д.М. Высокомолекулярные флокулянты в очистке сточных вод. - 2-е изд. перераб. и доп. – М: Стройиздат, 1984.
6. Ульрих Е.В., Шевченко Т.В., Пирогов А.Н., Мидуцина Ю.С., Изучение реологических свойств флокулянтов // Химическая промышленность сегодня. 2011. №4, С. 25-28.
7. Хенце М. Очистка сточных вод: пер. с англ. – М: Мир, 2006.
8. Запольский А.К., Баран А.А. Коагулянты и флокулянты в процессах очистки воды: Свойства. Получение. Применение. – Л: Химия, 1987.
9. Аксенова В.И., Аникин Ю.В. Применение флокулянтов в системах водного хозяйства: учебное пособие. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2008.
10. Брагинский Л.Н., Бегачев В.И., Барабаш В.М. Перемешивание в жидких средах – Л.: Химия, 1984.
11. Бай Ши-И Турбулентное течение жидкостей и газов. Пер. с англ. М.Г. Морозова – М: Издательство иностранной литературы, 1962.
12. Барабаш В.М., Бегачев В.И., Брагинский Л.Н., Васильцов Э.А. РД 26-01-90-85 «Механические перемешивающие устройства. Метод расчета», 1986.
13. Григорьева А.Н., Абиев Р.Ш. Сравнительный анализ влияния геометрической формы рабочих колес перемешивающих устройств на эффективность суспендирования в системе жидкость – твердое // Известия СПбГТИ(ТУ), 2018, № 45.

## **ПОВЫШЕНИЕ ТРАНСПОРТИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПО ВЫНОСУ ПЕСЧАНЫХ ПРИМЕСЕЙ В САМОТЕЧНЫХ ТРУБОПРОВОДАХ С УЧЕТОМ РЕЛЬЕФА ИХ ПОВЕРХНОСТИ**

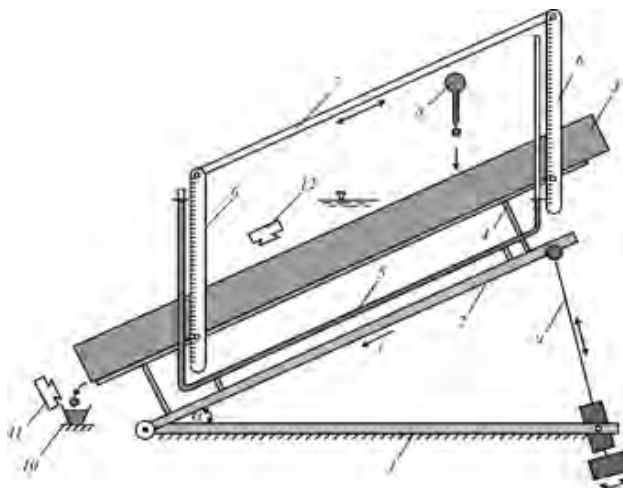
**И.С. Дежина**, аспирант, НИУ МГСУ; **В.А. Орлов**, проф., д.т.н., зав. каф. Водоснабжения и Водоотведения, НИУ МГСУ, г. Москва

Для обеспечения эффективной транспортировки по самотечным трубопроводам сточных вод, содержащих большое количество взвешенных веществ, необходимо создать ряд условий, влияющих на скорость течения, в частности, обеспечить уклоны лотка труб и наполнение [1]. Определенное влияние оказывает и состояние внутренней поверхности труб (в особенности, малого диаметра 100-200 мм), которые по мере возможности должны иметь минимальные значения гидравлического трения [2]. Прогнозирование критической скорости осаждения и, как следствие, влияние выноса твердых включений связаны со средней скоростью, градиентом давления в направлении потока [3, 4]. Важно также оценивать состав взвешенных веществ, их концентрацию, размер частиц и степень однородности смеси [5, 6]. Идеальным вариантом внутренней поверхности труб может быть такое их исполнение, чтобы даже при скоростях ниже критических (менее 0,7 м/с) была возможность транспортировки взвешенных частиц [7]. Однако, если скорость потока в течение долгого времени остается ниже критической (самоочищающей), то примеси не удерживаются во взвешенном состоянии и выпадают в осадок, образуя плотные отложения. При этом даже гладкая внутренняя поверхность труб не будет способствовать перемещению выпавших в осадок и слежавшихся загрязнений, так как турбулентный режим течения переходит в ламинарный [8].

Некоторые отложения, в основном верхние слои при относительно большом наполнении в трубопроводе, могут быть вынесены потоком в часы максимального водопотребления в городе, а слежавшиеся оставаться в лотковой части трубы, что потребует периодической прочистки трубопровода различными методами [9]. Такое положение может привести к неэффективной работе трубопроводной системы: снижению ее производительности или к дополнительным затратам на преодоление сил трения в результате сужения живого сечения трубопроводов [10]. При этом поддержание взвешенных веществ в максимально взмученном состоянии могло бы снизить количество слежавшихся отложений. В связи с этим исследователями была выдвинута организации особой структуры поверхности, сочетающей в себе особый рельеф поверхности, вызывающий принудительный эффект турбулизации потока в сочетании с гидрофобными свойствами внутренней поверхности трубопровода [11].

Для проработки данной гипотезы был спроектирован и смонтирован «Испытательный стенд по определению степени гидрофобности материалов для изготовления труб и ремонта трубопроводов» [12]. Испытательный стенд представляет собой наклонный лоток с регулируемым уровнем укло-

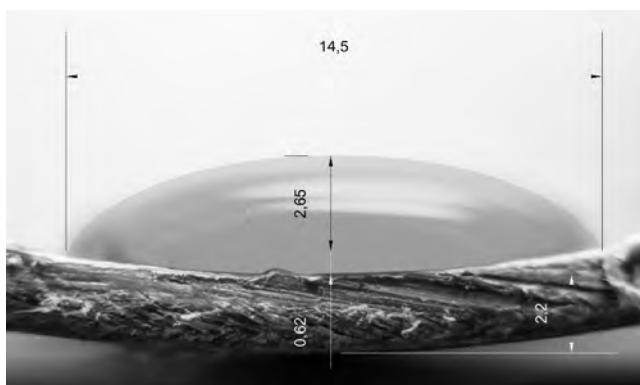
на и взаимозаменяемыми рабочими поверхностями. После дозирования, так называемого, «минипотока» жидкости происходит фиксация его геометрических параметров при помощи фронтальной и коаксиальной фотокамер. Схематичное изображение испытательного стенда приведено на рис. 1.



**Рис. 1.** Схематичное изображение экспериментальной установки при максимальном уклоне жёлоба длиной 1 м:

1 – опорная рама; 2 – эстакада; 3 – открытый жёлоб (лоток); 4 – стойки; 5 – система сообщающихся сосудов; 6 – мерные линейки; 7 – планка управления; 8 – пипетка с водой; 9 – штанга механического домкрата; 10 – сборник капель; 11, 12 – фотокамеры фронтальной и коаксиальной съёмки потока

Итогом работы на испытательном стенде являлись детализированные фотографии, отражающие поведение минипотока (рис. 2).



**Рис. 2.** Капля на поверхности из полипропилена

Испытательный стенд комплектуется специально созданной расчётной программой для ускорения и повышения точности вычислений заданных параметров. Кроме получения относительного показателя гидрофобности, для сравнения гидрофобных характеристик материалов, стратегически важным является получение коэффициента Шези и коэффициента относительной шероховатости по Маннингу, используемых для гидравлических расчётов канализационных сетей.

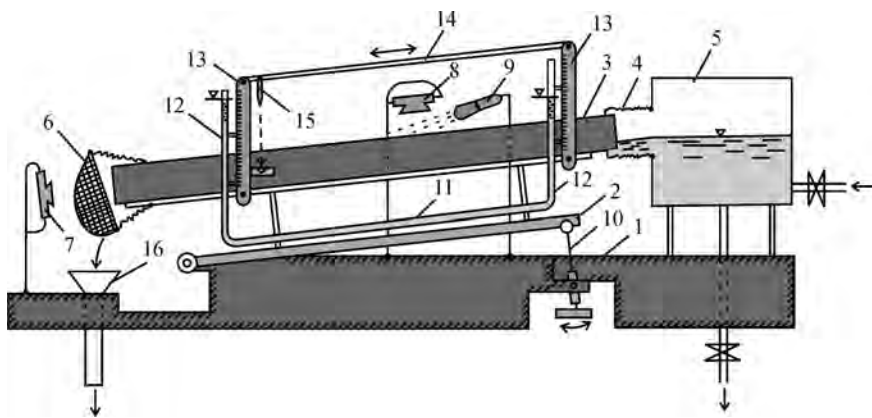
Последующей эволюцией исследования поведения потока жидкости стал анализ и создание эффекта микротурбулентности при малых скоростях течения жидкости в трубопроводе. Целью являлось создание особых условий течения жидкости с принудительным взмучиванием взвешенных в ней веществ [13]. Перспективной моделью движения частиц является не их стихийное волочение в донной части трубы, а их скачкообразное перемещение в потоке (без слеживания). В таком случае количество осаждающихся отложений было бы минимальным независимо от скоростей и наполнений в трубопроводе. Данного эффекта можно достичь при расстановке препятствий различной формы в лотковой части трубопровода. При этом практический интерес создания эффекта микротурбулентности потока обусловлен потенциальным повышением эффективности эксплуатации трубопроводных сетей, а именно, сокращением числа необходимых прочисток участка и, как следствие, снижением количества потенциальных аварийных ситуаций [14].

Для исследования этого вопроса был создан «испытательный стенд по исследованию турбулентности и транспортирующей способности потока жидкости оптическими средствами» [15]. Эскиз стенда представлен на рис. 3.

Методика работы заключается в пропуске потока жидкости из накопительной емкости на открытый лоток (диаметром 130 мм) с различным последовательно заменяемым искусственным рельефом. На дне лотка находятся различные инородные включения, а именно песок различной крупности от 0,1 до 2,5 мм. При повышении скорости пропускаемого потока жидкости с 0,2 до 0,8 м/с происходит вынос инородных включений. Эффективность выноса твердых частиц контролируется при помощи сетчатого уловителя. Определение скорости потока жидкости происходит через расход жидкости по тарировочной кривой, построенной ранее с использованием объемного метода. Аналогичным методом, как и в предыдущем испытательном стенде, происходит регулирование уклона рабочей поверхности – при помощи механического домкрата и системы сообщающихся сосудов.

При включении источника светового излучения на поверхности потока можно заметить световой эффект, подчеркивающий контрастность образования микротурбулентности и перемещения включений вдоль лотка. На базе этого эффекта, при использовании фототехники происходит фиксация геометрических показателей потока (длина, ширина и площадь зон микротурбулентности) и его характер (высота слоя, наполнение).

Во время проведения экспериментальных исследований на испытательном стенде изучались явления микротурбулентности на различном рельефе поверхности и фиксировалась картина взмучивания и передвижения песка разных фракций в широком диапазоне расходов (скоростях течения потока).




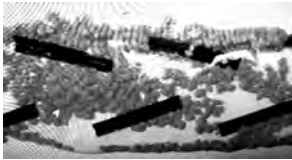
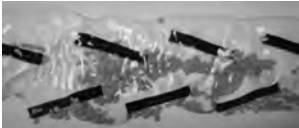
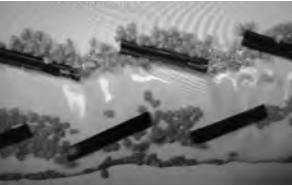


**Рис. 3.** Схематичное изображение испытательного стенда по исследованию турбулентности и транспортирующей способности потока жидкости оптическими средствами:

1 – неподвижная рама; 2 – подвижная платформа; 3 – открытый лоток; 4 – резиновый гофрированный патрубок; 5 – накопительная емкость для жидкости; 6 – съемный сетчатый уловитель инородных дисперсных включений; 7, 8 – фотокамеры соответственно фронтальной и коаксиальной съемки; 9 – источник светового излучения; 10 – механический домкрат; 11 – водная магистраль; 12 – гибкие прозрачные сообщающиеся трубки; 13 – подвижные мерные линейки; 14 – планка; 15 – лазерный отвес; 16 – приемная мерная емкость

В качестве рифленых поверхностей использовались несколько типов групповых препятствий, симметрично расположенных на дне лотка по обе стороны от его оси. Ниже приведены результаты экспериментов по визуальному и гидравлическому исследованию одного из типов препятствий, а именно брусков из полимерных материалов прямоугольного сечения длиной около 20 мм, высотой 2 мм симметрично расположенные под углом около 30°. Расположение брусков представляло собой так называемую «прямую елку», «обратную елку», а также вариант, сочетающий в себе два предыдущих «двурядная елка». Моделью твердых включений в воде в этом случае служил песок различной крупности (1,5 и 2,5 мм). Для контроля выноса взвешенных веществ использовался сетчатый уловитель.

В табл. 1 и 2 представлены результаты экспериментальных исследований с типом расстановки препятствий «прямая» и «обратная елка» для песка крупностью фракций 1,5 мм и 2,5 мм.


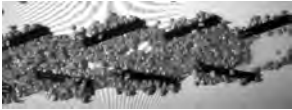
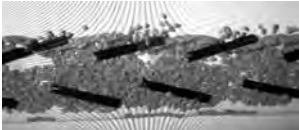
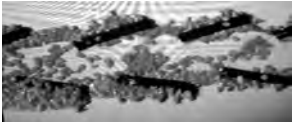
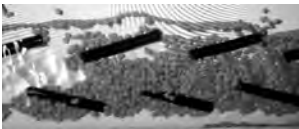

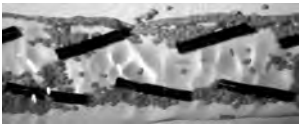

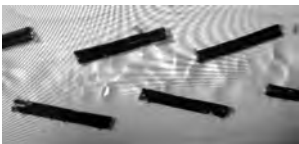

**Результаты выноса песчаных примесей для песка крупностью фракций 1,5 и 2,5 мм при расстановке препятствий «прямая елка»**

Картина выноса песка крупностью 1,5 мм	Скор. теч. воды, м/с	Картина выноса песка крупностью 2,5 мм	Скор. теч. воды, м/с
	0,38		0,47
	0,48		0,62
	0,66		0,93

Песок более мелкой крупности выносятся более результативно при одинаковой расстановке препятствий и одинаковой скорости водного потока. При скорости потока менее 0,3 м/с эффект микротурбулентности практически отсутствует. По достижении скорости 0,4-0,5 м/с эффект микротурбулентности начинает проявляться (более ярко для менее крупного песка), но происходит образование скоплений по урезу воды с нижней стороны, которые могут быть вынесены из лотка путем усиления турбулизации потока. При достижении скорости течения более 0,6 м/с, картина выноса песка разной крупности начинает отличаться, для песка крупностью 2,5 мм происходит почти полное вымывание песка по оси, при этом с отсутствием смыва по краям, со скоплением песка по урезу воды. При этом для песка крупностью 1,5 мм при скорости 0,66 м/с происходит полный вынос по оси лотка, а остатки песка по краям существенно меньше.



**Результаты выноса песчаных примесей для песка крупностью фракций 1,5 и 2,5 мм при расстановке препятствий «обратная елка»**

Картина выноса песка крупностью 1,5 мм	Скор. теч. воды, м/с	Картина выноса песка крупностью 2,5 мм	Скор. теч. воды, м/с
	0,34		0,31
	0,39		0,38
	0,45		0,54
	0,54		0,62
	0,66		0,76

Анализ результатов эффективности песка на «обратной елке» показал похожие результаты. Скопление песка вблизи уреза воды начинает образовываться по достижению скорости 0,5-0,6 м/с. Исследование динамики выноса веществ позволило спрогнозировать необходимость создания второго

ряда препятствий, обеспечивающих вымывание песка из пограничных зон при увеличении наполнения.

По результатам проведения экспериментальных исследований на «двурядной елке», представляющей из себя препятствия, симметрично расположенные в 4 ряда, получены следующие результаты.

При низких скоростях течения жидкости, таких как 0,3 м/с какой-либо эффект повышения транспортирующей способности отсутствует. По достижению скорости 0,4 м/с песок крупностью 2,5 мм начинает скапливаться в виде линий по урезу воды; для песка крупностью 1,5 мм этот эффект появляется только при достижении скорости 0,5 м/с. При дальнейшем повышении скорости более 0,6 м/с и наличии песка диаметром 1,5 мм наблюдается активное движение песка по оси лотка, а при диаметре фракций 2,5 мм наблюдается появление скоплений песка на урезе воды как снизу, так и сверху. Повышение скорости до 0,7 м/с для песка диаметром 2,5 мм снизило количество скоплений песка на урезе воды снизу и сверху, с полным выносом при достижении 0,83 м/с. При этом для песка крупностью 1,5 мм полный вынос был обеспечен только при повышении скорости потока (почти в два раза – до 1,63 м/с). Вынос песка по оси лотка происходил после достижения скорости течения 0,79 м/с.

#### Выводы:

1. Для решения поставленной задачи по исследованию гидрофобных характеристик и эффекта микротурбулентности были созданы специальные испытательные стенды в комплексе с методиками проведения испытаний.

2. С помощью оптических средств на специальном гидравлическом стенде проведены комплексные исследования по анализу образования микротурбулентности и проявления транспортирующей способности потока жидкости в открытых лотках с различным рельефом их внутренней поверхности

3. Установлено, что эффективность выноса фракций песка разного диаметра различна для соответствующего рельефа. Вынос песка крупностью 1,5 мм происходит эффективнее при двурядной расстановке препятствий; вынос песка при диаметре фракций 2,5 мм происходит эффективнее, чем при 1,5 мм для четырехрядного исполнения расстановки, что достигается увеличением наполнения, способствующего более быстрому выносу частиц неслежавшегося песка. Конечной целью последующих исследований является подтверждение натуральных экспериментов с использованием численных методов.

#### Библиографический список

1. Grossmann S., Lohse D. Curvature effects on the velocity profile in turbulent pipe flow. //Eur. Phys. J. E. 2017. No. 40. p. 16-19.
2. Houghtalen R., Osman A., Akan A., Hwang N. Fundamentals of Hydraulic Engineering Systems, 5th edition. Pearson. 2016. 528 p.

3. Aksoy H. et al. Non-deposition self-cleansing design criteria for drainage systems // *Journal of Hydro-environment Research*. – 2017. – Т. 14. – С. 76-84.
4. Arolla S.K., Desjardins O. Transport modeling of sedimenting particles in a turbulent pipe flow using Euler–Lagrange large eddy simulation // *International Journal of Multiphase Flow*– Elsevier, 2015. v. 75. p. 1-11.
5. Ebtehaj I., Bonakdari H., Comparison of genetic algorithm and imperialist competitive algorithms in predicting bed load transport in clean pipe. // *Water Sci Technol*. 2014, N.70(10), p. 695-701.
6. Bailey S.C.C., Vallikivi M., Hultmark M., Smits A. J., Estimating the value of von Kármán’s constant in turbulent pipe flow // *Fluid Mech*. Cambridge University Press, 2014, vol. 749, p. 79–98.
7. Cheng-Hsien Lee, Ying Min Low, Yee-Meng Chiew Multi-dimensional rheology-based two-phase model for sediment transport and applications to sheet flow and pipeline scour // *Physics of Fluids*. 2016. N.28, 053305.
8. Орлов В.А. Бионика и бестраншейная реновации трубопроводных сетей. // *Научное обозрение*. 2014, № 1, с. 58-68.
9. Гиргидов А.Д. Изменение диссипации энергии при переходе от ламинарного режима к турбулентному // *Инженерно-строительный журнал*. 2011. № 5(23). с. 49-52.
10. Калицун В.И. Водоотводящие системы и сооружения. М.: Стройиздат, 2008. 345 с.
11. Бойнович Л.Б., Емельяненко А.М. Гидрофобные материалы и покрытия: принципы создания, свойства и применение // *Журнал «Успехи химии»*. 2008. № 77 (7). С. 621-638.
12. Орлов В.А., Дежина И.С., Орлов Е.В., Аверкеев И.А Испытательный стенд по определению степени гидрофобности материалов для изготовления труб и ремонта трубопроводов // Патент на полезную модель РФ № 157695.
13. Брянская Ю.В. Уточнение кинематических характеристик турбулентного течения // *Инженерно-строительный журнал*. 2013. № 6(41). С. 31–38.
14. Орлов В. А., Орлов Е. В. Строительство, реконструкция и ремонт водопроводных и водоотводящих сетей бестраншейными методами. – Издательский Дом "Инфра-М", 2014. 222 с.
15. Орлов В.А., Дежина И.С., Пелипенко А.А., Орлов Е.В., Испытательный стенд по исследованию турбулентности и транспортирующей способности потока жидкости оптическими средствами в открытых лотках при различном рельефе их внутренней поверхности. // Патент на полезную модель РФ № 176330.

## О СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ МЕТОДОВ РАСЧЕТА РАСХОДОВ ВОДЫ СИСТЕМ ВНУТРЕННЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ЗДАНИЙ

**Л.Г. Дерюшев**, доц., к.т.н., кафедра строительства систем и сооружений водоснабжения и водоотведения, МГРИ, г. Москва; **Н.Л. Дерюшева**, к.т.н., инспектор отдела административного контроля Управления государственного экологического контроля, Департамент природопользования и охраны окружающей среды города Москвы, г. Москва

В соответствии с новыми экономическими условиями, законодательством и структурой управления на базе действующих норм и правил в строительной области РФ, с учетом международных стандартов, в нашей стране разрабатывается новая система нормативных документов [1]. В частности, в области проектирования и строительства систем внутреннего водоснабжения и канализации зданий формируются работы по актуализации СНиП 2.04.0-85\* [2], которые именуются в настоящее время сводом правил СП [3]. С 1996 года было опубликовано три варианта СП [3], но работы в данном направлении продолжают сравнительно интенсивно не только по причине формирования новых направлений в области организации нормирования, но и наличия нерешенных вопросов по оценке расходов воды потребителями.

В настоящее время расчетный расход воды на тупиковом участке сети, предлагается определять по формуле [3]

$$q_o = \frac{\sum_1^m N_i P_i q_{oi}}{\sum_1^m N_i P_i}, \quad (1)$$

где  $N$  – количество санитарно-технических приборов;  $m$  – количество групп водопотребителей;  $q_{oi}$  – расход воды санитарно-техническим прибором  $i$ , л/с;  $P_i$  – вероятность действия санитарно-технических приборов, определяемая для каждой группы водопотребителей,

- при одинаковых водопотребителях

$$P_i = \frac{q_{hr,u} \cdot U}{3600 \cdot q_o \cdot N}, \quad (2)$$

- при разных водопотребителях

$$P = \frac{\sum_1^m N_i P_i}{\sum_1^m N_i}, \quad (3)$$

где  $U_i$  – число водопотребителей различного типа;  $q_{hr,u}$  – норма расхода воды в час наибольшего водопотребления, л/ч.

Следует отметить, что параметры расходов воды для зданий и сооружений, рассчитанные с учетом оценок по формулам (1, 2, 3) [3], существенно рождаются от параметров, рассчитанных по формулам требований [4], что часто выявляется при согласовании балансовых расчетов расходов воды по объектам. Если придерживаться строгого теоретического определения вероятности случайного события  $P(A)$ , которое используется инженерами в технике [5], то

$$P(A) = \frac{m}{n}, \quad (4)$$

где  $m$  – число случаев, благоприятных событию  $A$ ;  $n$  – общее число случаев.

Закономерность или устойчивость проявления исследуемого случайного события  $A$  оценивается методами математической статистики с использованием математических законов распределения случайных величин [5-7], которые подразделяют на дискретные и непрерывные.

Непрерывные случайные величины в отличие от дискретных величин могут принимать любые значения в границах известного интервала. Событие, связанное с включением или отключением санитарного прибора, относится к дискретным случайным величинам, а расход воды потребителем или санитарным прибором – к непрерывным. Очевидно, существует принципиальная разница в методах оценки отмеченных однородных величин. Распределение дискретных величин подчиняется одним закономерностям, например, биномиальному закону, гипергеометрическому, закону Пуассона и т.д., а непрерывные величины – другим: нормальному, равномерному,  $\chi^2$ -распределению и т.д. Для каждого однородного потока случайных событий используются определенные формулы, оценки ее параметров, в том числе и вероятности исследуемого события. В случае же оценки вероятности действия санитарно-технических приборов  $P_i$  по формуле (2), определяемой для каждой группы водопотребителей или оценки расчетного расхода воды для различных приборов  $q_o$  по формуле (1), используемых разными потребителями на расчетном участке тупиковой сети, одновременно рассматриваются и дискретные и непрерывные величины. Подобный подход к инженерным расчетам трубопроводных систем водоснабжения противоречит не только законам теории математической статистики, но и здравому смыслу. Например, наибольшее количество воды потребители расходуют при принятии ванны или уборке помещения, но это не значит, что отмеченные события будут наблюдаться в установленное время, на заданном участке. Больше время потребители воды могут проводить время в других зданиях с санитарно-техническими приборами и там расходовать основной нормируемый расход воды. По условию же, которое отража-

ет формула (2), все  $m$  групп водопотребителей  $U = \sum_{i=1}^m U_i$  принимают участие в потреблении воды, а вероятности их присутствия на объекте не принимаются во внимание. И наоборот, участок сети может быть перегружен при одновременном включении одним потребителем мойки, стиральной машины и т.д., хотя норма расхода воды потребителем не будет достигать максимальных значений из-за упомянутых выше причин (вероятность присутствия такого потребителя  $P \neq 1$ ).

До 1985 г. в нашей стране использовались методы расчета внутренних систем водоснабжения и водоотведения зданий и сооружений сравнительно схожие с методами, применяемыми в США и Европейских странах. Упомянутые методы не могут однозначно относиться к образцовым, но отдельные положения, которые приводятся в них, очевидно можно использовать при совершенствовании отечественных правил расчета внутренних систем водоснабжения зданий.

В стандарте BMS65 США, для определения расчетных расходов в сетях внутренних водопроводов принимаются следующие предпосылки:

1) Вероятность одновременного действия количества  $m$  санитарных приборов из числа  $n$ , установленного на расчетном участке, вычисляется на основании функции биномиального распределения:

$$P(n, m) = \frac{m!}{m(n-m)!} \left(\frac{t}{T}\right)^m \left(\frac{T-t}{T}\right)^{n-m}, \quad (5)$$

где  $\frac{t}{T}$  – вероятность работы отдельных, санитарных приборов того или иного типа;  $t$  – продолжительность работы водоразборной арматуры;  $T$  – продолжительность пользования санитарным прибором.

2) Вероятность нарушения расчетного режима принимается 0,01, т.е. в течение максимального водоразбора вероятность включения в работу  $m+1$  водоразборных точек не превышает  $F \leq 0,01$ , где  $F = 1 - P$ .

Учитывая, что внутренний водопровод объединяет санитарные приборы различного назначения, было введено понятие «веса» того или иного санитарного прибора в системе, т.е. понятие эквивалента санитарно-технического оборудования, как это принималось ранее в нашей отечественной практике [8]. Для вычисления расчетных расходов на участках сети пользуются эмпирической формулой:

$$q = 1,5N^{0,561}, \quad (6)$$

где  $q$  – расчётный расход, галлон/мин (3,79 л/мин = 0,063 л/с);  $N$  – количество санитарных приборов, выраженных в эквивалентах;

За эквивалентный расход принимается подача воды смывным краном унитаза. Соотношение по расходам горячей и холодной воды принимается равным: 0,25/0,75 (для сравнения, в наших нормативах [3]:  $q^h = q^c$ ,  $0,2 = 0,2$  л/с; при температуре воды  $\Delta t^o = (75^o + 15^o)/2 = 45^o$  можно и ошпариться). В этом случае расходы в каждой сети вычисляются исходя из величины общей расчётной нагрузки, выраженной в эквивалентах, и умножаются на снижающий коэффициент, учитывающий одновременность работы холодного и горячего водопровода.

По мнению американских инженеров, рекомендованный метод определения расчетных расходов в большей мере отвечает требованиям эксплуатации систем водоснабжения в общественных зданиях. Расчетные расходы воды в жилых зданиях, оснащенных большим количеством санитарно-технического оборудования, являются завышенными. Поэтому при гидравлическом расчете производится их корректировка. При гидравлическом расчете внутренних водопроводов, рекомендуется потери напора оценивать до «центра тяжести нагрузки стояка». Одновременно с этим необходимо выполнять поверочный расчет, выявляющий достаточность напора (без учета потерь в трубопроводах) для нормальной работы, наиболее удаленной и высокорасположенной водоразборной арматуры. То обстоятельство, что понижающий коэффициент все же вводится в расчет, служит объяснением неполноценности основного метода вычисления расходов в сетях внутреннего водопровода и не отражает существа работы внутреннего водопровода, кроме того не гарантирует бесперебойность его действия при использовании не только методики США, но и отечественных рекомендаций [3].

В справедливости отмеченных рекомендаций можно убедиться (см. табл. 1), если выполнить даже элементарные замеры расходов воды, которые наблюдаются при заполнении мерных сосудов в квартире из водоразборной арматуры (крана, вентиля).

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

Согласно примечанию, п. 5.2.2.1 СП [3], общий расход воды (холодной и горячей), отбираемый из системы с помощью санитарно-технического прибора, по которому отсутствуют сведения, допускается принимать:  $q_0^{tot} = 0,3 \text{ л/с}$ ,  $q_0^h = q_0^c = 0,2 \text{ л/с}$ , где  $q_0^h$ ,  $q_0^c$  – расходы горячей и холодной воды, соответственно, л/с.

Следует отметить, что для нормального отбора воды, с учетом минимального образования брызг и экономии воды (при наличии водомеров 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:  $q_0^{tot} / q_0^\Sigma \approx 0,3 / 0,06 = 5$ .

Для сравнения можно привести данные расчетных расходов воды, которые принимались в нашей стране [7], когда норма расхода воды на человека достигала 500 л/сут, а стоимость 1 кВт·ч электроэнергии составляла 1 и менее копейки, давление на отметке наиболее низкорасположенного санитарно-технического прибора 0,6 МПа > 0,45 МПа [2, 3, 4].

Таблица 2

**Расчетные (максимальные) расходы воды, эквиваленты санитарных приборов**

Приборы	Диаметр под-водки, 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

В настоящее время можно допустить, что все водоразборные краны (умывальников, душевых, моек) оборудованы смесителями, а потому оценка расхода воды, забираемой из водоразборного крана,  $q_0^\Sigma = 0,06$  л/с – не отвергается, поскольку вероятность среднего значения расхода воды потребителем имеет наибольшее значение по мнению специалистов многих стран.

В Англии, как и в США, строгих ограничений в использовании методов оценки расходов и гидравлического расчета трубопроводов не предусматривается. Однако специальными указаниями, разработанными Research Station in England для расчета внутренних сетей холодного и горяче-



го водоснабжения, рекомендуется метод, основанный на применении теории вероятностей и математической статистики [6, 8]. Указанный метод вычисления коэффициента одновременности действия водоразборной арматуры аналогичен методу, применяемому в США и ранее применяемому в РФ [7, 9]. Однако сложность вычисления значений вероятности  $P = m/n$ , имеющая место при биномиальном распределении, затрудняла практическое применение этого метода. В нормативных документах, учебных и справочных пособиях для удобства расчета внутренних, водопроводов (холодного и горячего) приводятся таблицы расчетных расходов, составленные применительно к типовому комплексу санитарно-технического оборудования жилых зданий. В связи с тем, что табличные значения расчетных расходов, вычисленные для типового решения, не могут быть рекомендованы для всех случаев жизни, понятие санитарно-технического эквивалента не устанавливается, а в качестве исходных данных принимается сумма нормативных расходов из всех водоразборных точек, установленных на расчетном участке. Наряду с таблицами для определения расчетных расходов, используются различные графики для определения расчетных расходов воды в сети внутреннего водопровода.

В тех случаях, когда пользоваться таблицами или графиками практически неудобно, рекомендуется определять расчетные расходы в сетях горячего и холодного водопровода по эмпирической формуле:

$$q = 1,5\sqrt{Q}, \quad (7)$$

где  $q$  – расчетный расход в  $\text{фут}^3/\text{мин}$ . ( $0,3048 \text{ м}^3/\text{мин} = 5 \text{ л/с}$ );  $Q$  – общий расход воды в  $\text{фут}^3/\text{мин}$ , при одновременной работе всех санитарных приборов.

Результаты вычислений по этой формуле согласуются с требованиями установленных стандартов. При этом никаких поправочных коэффициентов, учитывающих одновременность действия обеих сетей, не вводится.

Во Франции и Италии расчет и проектирование внутренних водопроводов выполняется аналогично. Основные расчетные параметры, характеризующие гидравлический режим работы арматуры, приводятся в таблицах нормативных документов. Расчетные расходы воды на участке сети вычисляются по формуле:

$$q_p = K \sum_{i=1}^m q_i n_i, \quad (9)$$

где  $q_p$  – расчетный расход в л/сек;  $q_i$  – нормативный расход воды санитарным прибором данного типа в л/сек;  $n_i$  – количество санитарно-технических приборов одного наименования;  $K$  – коэффициент одновременности действия санитарных приборов на расчетном участке, принимаемый в зависимости от  $n$ .

Для вычисления коэффициента одновременности действия санитарных приборов используется эмпирическая формула

$$K = \frac{1}{\sqrt{n-1}}, \quad (10)$$

либо графики зависимости  $K = f(n)$  построенные с учетом упомянутой формулы, для зданий с различным уровнем благоустройства.

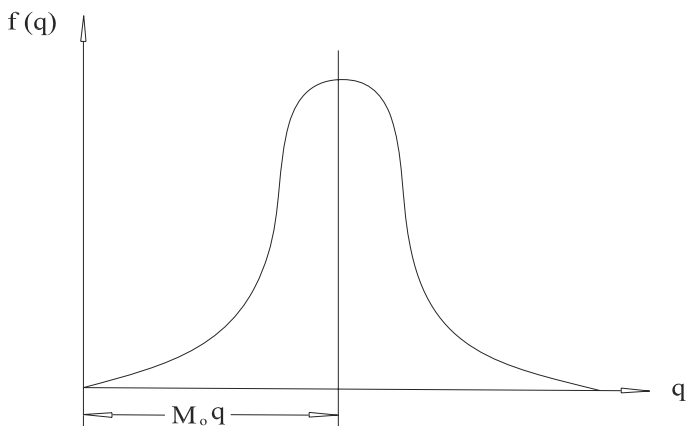
Анализируя рассмотренные выше методы расчета расходов воды в зданиях в целях разработки предложений по их совершенствованию, необходимо остановиться на следующих теоретических положениях, которые лежат в основе проектирования систем водоснабжения.

Во-первых, любой внутренний водопровод здания является элементом системы водоснабжения конкретного объекта (города, населенного пункта, промышленного предприятия и т.д.). Если формируется теория расчета расходов воды, то она должна быть единой, что для системы, то и для ее элемента. Следовательно, и нормативные документы, которые регламентируют правила оценки расходов воды для них, должны быть взаимосвязаны, а не противоречить друг другу. В настоящее время в действующих нормативных документах [2, 3, 4] такие противоречия существуют.

В СП п. 5.2 [3] регламентируется, что расчетными расходами воды проектируемой системы водоснабжения являются максимальные и минимальные часовые расходы в максимальные и минимальные сутки. В СП п.5.2.1.2 [2] почему-то рекомендуется, что расчетный расход воды во внутренних водопроводах холодной и горячей воды следует определять в зависимости от: а) секундного, л/с, или б) часового расхода, м<sup>3</sup>/ч, воды. Спрашивается, где логика? Характерные и номинальные характеристики водомерных приборов, по которым контролируется потребление воды, измеряются в м<sup>3</sup>/ч. В этих же единицах, а не в л/с, составляется отчетная документация о расходах воды потребителями. Десятилетиями в учебной и справочной литературе обосновывается, что в течение часа расход воды потребителями принимается равномерным [10]. Неравномерность водопотребления на годовом и суточном интервалах оценивалась и назначается коэффициентами неравномерности  $K_{cym.max}$ ,  $K_{cym.min}$ . В правилах [3] это условие упоминается, только используется неверно. Экстремальные расчетные расходы воды назначаются не с учетом упомянутых коэффициентов неравномерности, а наоборот последние определяются по расчетным расходам воды  $K_{max} = \frac{q_{hr}}{q_T}$  [3], где  $q_{hr}$  – 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. Все это, при желании, пересмотреть не сложно.

Во-вторых, следует исключить из текста [3] ряд неточностей по нормированию надежности, долговечности и ремонтпригодности внутренних систем водоснабжения и водоотведения. Они настолько очевидны, что их нет необходимости упоминать.

Очевидно, что режим водопотребления относится к случайным процессам, у которых важнейшим из числовых характеристик является мода или наиболее вероятное значение  $x_i$  величины  $q$ , обозначаемое символом  $M_o q$ . В нашем случае в качестве моды можно рассматривать величину расхода воды из крана со смесителем  $q_0^\Sigma = 0,06-0,07$  л/с, плотность вероятности  $f(q)$  которой имеет наибольшее значение (рис. 1).



**Рис. 1.** Одномодальная кривая распределения.

$M_o q$  – мода с плотностью вероятности  $f(q)$ , имеющей наибольшее значение

Необходимо отметить, что не логично назначать одинаковые расходы горячей и холодной воды при наличии не только отмеченной ранее разницы температур  $\Delta t^o = 45^o$ , но и условия, что:  $q_o^h = q_o^c = 0,2$  л/с;  $q_o^{tot} = 0,3$  л/с. Не может часть воды исчезать, если в смеситель подается, как утверждается [3],  $q_o^{tot} = (0,2 + 0,2) = 0,3$  л/с. Целесообразно обратиться к методике расчета расходов воды, как это рекомендовалось ранее в нашей стране [7, 9] и за рубежом [6, 8], но с частичной доработкой. В первую очередь целесообразно доработать методику оценки вероятности действия санитарно-технических приборов на объектах с различными водопотребителями.

**Выводы:**

1 Анализ методов расчета расходов воды при проектировании внутренних систем водоснабжения, которые ранее использовались в нашей стране и за рубежом, позволяет сделать вывод об их подобии.

2. В целях совершенствования методов расчета расходов воды необходимо провести дополнительные исследования по уточнению параметров вероятности действия санитарно-технических приборов.

#### Библиографический список

1. Федеральный закон от 27 декабря 2002 г. №184-ФЗ "О техническом регулировании".
2. СНиП 2.04.01-85\*. Внутренний водопровод и канализация зданий. 1996.
3. СП 30.13330.2016. Внутренний водопровод и канализация зданий. 2017.
4. СП 31.13330.2012. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. 2019.
5. 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.
6. Шопенский Л.А. Методы расчёта внутренних водопроводов в США, Англии, Франции и Германии – М.: Информационно-издательский сектор, 1964. С. 3-48.
7. Репин Н.Н., Шопенский Л.А. Санитарно-технические устройства и газоснабжение зданий. – М.: Стройиздат. 1975. С. 75.
8. Конюшков А.М. Водопотребление и состояние водоснабжения в зарубежных странах. – ЦИНИС, 1958. С. 2-35.
9. СНиП II-Г.1-70. Внутренний водопровод зданий. Нормы проектирования. – М., 1970.
10. Абрамов Н.Н. Водоснабжение – М.: Стройиздат. 1974. С. 480.

## МОКРОЕ ОКИСЛЕНИЕ ОСАДКА В ZIMPRO-ПРОЦЕССЕ С ПОЛУЧЕНИЕМ УКСУСНОЙ КИСЛОТЫ

**А.А. Ерхов**, доц., к.т.н., каф. строительства систем и сооружений водоснабжения и водоотведения, МГРИ, г. Москва; **Е.А. Королёва**, к.т.н., каф. водоснабжения и водоотведения, НИУ МГСУ, г. Москва

Термическая обработка предназначена для обеззараживания и уменьшения массы осадков сточных вод, предварительно обезвоженных на вакуум-фильтрах, центрифугах или фильтр-прессах. Такой способ упрощает задачу удаления осадков с территорий очистных сооружений и их последующую утилизацию. Осадок после термической обработки представляет незагнивающий, свободный от гельминтов и патогенных микроорганизмов, внешне сухой (влажностью 10-50%) сыпучий материал. Известны различные способы термической обработки: конвективный, радиационно-конвективный, кондуктивный, сублимационный в электромагнитном поле. Наиболее распространён конвективный способ сушки, при котором необходимая для испарения влаги тепловая энергия непосредственно передается высушиваемому материалу теплоносителем – сушильным агентом, в качестве которого могут использоваться топочные газы, перегретый пар или горячий воздух. Влияние тепловой обработки на химический состав осадков исследовано Соммерсом и Картисом.

С ростом населения при необходимости очистки больших объёмов сточных вод резко возрастает количество избыточного активного ила, и это связано с ужесточением экологических нормативов и поиском путей его утилизации. Обработка ила имеет особое значение, поскольку процесс занимает 50 % эксплуатационных затрат. Стабилизация избыточного активного ила вызывает постоянный интерес. Мокрое окисление воздухом - Wet Air Oxidation (WAO) может применяться для окончательной стабилизации осадка, а также для вторичного использования при производстве побочных продуктов, таких как уксусная кислота. Описываемая технология идёт под высокими давлением и температурой в присутствии окислителя, и в конечном счёте происходит полное разложение органических отходов коммунальных стоков. Исследования по кинетике и особенностям мокрого окисления идут в направлении выявления преимуществ и недостатков метода с выявлением проблем технологии мокрого окисления активного ила. WAO идёт в широком диапазоне температур, подходящих для обработки различных отходов. Влажное окисление положительно влияет на глобальное потепление и эвтрофикацию водоёмов по сравнению с традиционными методами переработки. В целом, эта технология способна значительно улучшить контроль за биоотходами, её применение к городским отходам уменьшает объём сброса более чем на 90 %. Кроме того, условия процесса задаются такими, чтобы образовывались углеводородные соединения, такие как уксусная кислота.

Прежде всего необходимо решить задачи:

- выявления приоритетных способов уплотнения осадков;
- изучения проектирование систем уплотнения осадков;
- проведения оценки системы теплового кондиционирования осадков с помощью Зимпро-процесса.

Развитие направления термической обработки осадков состоит в:

- внедрении результатов на промышленных предприятиях, что позволит комплексно оценить систему термической обработки осадков;
- разработке конструктивных элементов предлагаемой системы;
- всестороннем изучении Зимпро-процесса термической обработки.

Системы Zimpro Wet Air Oxidation используются, главным образом, для очистки высококонцентрированных промышленных сточных вод.

Окисление мокрым воздухом – это окисление растворимых или взвешенных компонентов в воде с использованием кислорода в качестве окислителя. Реакции окисления протекают при температуре от 150 до 320° С и давлении от 1 до 22 МПа.

Процесс мокрого окисления воздуха может предварительно очищать сложные по составу сточные воды, делая их пригодными для сброса на обычную установку биологической очистки. Процесс также используется для окисления загрязняющих веществ в производственных растворах для повторного использования.

Области применения обычного окисления влажным воздухом включают:

- очистка высококонцентрированных сточных вод, в том числе, высокощелочных, образующихся при химическом производстве и с нефтеперерабатывающих заводов;
- в процессе, для обработки и рециркуляции / регенерации потоков технологической жидкости;
- кондиционирование и утилизация биологического осадка.

Окисление влажным воздухом (WAO) исторически использовалось для коммунально-бытовых сточных вод. При более низких температурах и давлениях ил кондиционируется для улучшения обезвоживания. Это называется окислением под низким давлением. При более высоких температурах и давлениях использование метода для активного ила является альтернативой его сжигания.

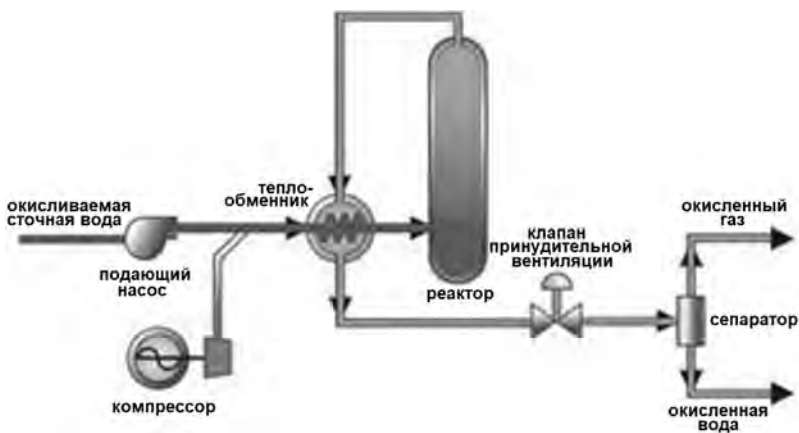
Характеристики и преимущества метода:

- предварительная обработка высококонцентрированных сточных вод для получения биоразлагаемых остаточных органических веществ;
- разложение конкретных соединений;
- устранение токсичности или реактивности;
- обработка технологического раствора для переработки и восстановления;
- валовое снижение химической потребности в кислороде (ХПК).

Проведя анализ результатов исследования, можно сделать следующие выводы:

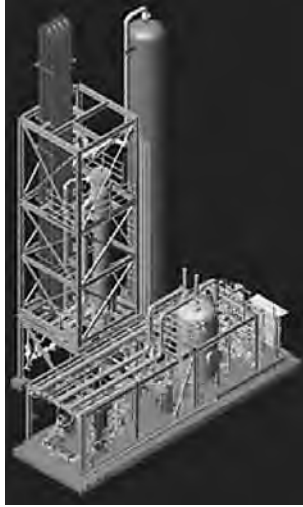
- тепловая обработка приводит к снижению более чем на 50% содержания общего азота, и она практически не влияет или влияет в малой степени на содержание фосфора и концентрацию металлов;
- основные особенности Зимпро-процесса заключаются в том, что добавляемый в реактор воздух для окисления улучшает теплообменные характеристики осадков и снижает потребность в топливе и обеспечивает возможность использования горячего осадка для нагрева поступающего осадка;
- уплотнение осадка позволяет повысить концентрацию сухого вещества разбавленного осадка от первоначального значения до несколько большего в пределах 10-12 %. Процессы уплотнения предназначаются для уменьшения объема осадка с целью его дальнейшей обработки.

Процесс Зимпро – это относительно инновационный способ обработки осадка. Он функционирует на основе принципов окисления органических веществ, содержащихся в воде, и доступных для окисления, и какая бы теплота не образовывалась, окисление на этой стадии более эффективно, чем высушивание и сжигание осадка в виде топлива. Поскольку тепло выделяется органикой только при сгорании в присутствии воздуха, процесс Зимпро зависит от его количества, подаваемого в реактор. Одной из целей этого процесса является получение максимального количества теплоты из органического вещества в отходящий поток на единицу сжатого воздуха (рис. 1).



**Рис. 1.** Принципиальная технологическая схема Зимпро-процесса

Поскольку процесс Зимпро позволяет обходиться без фильтров, реагентов, установок обезвоживания, мусоросжигательных реакторов и заводов, и прочего оборудования, он экономит место под отводимые земельные участки, что важно в условиях города (рис. 2). Конечными продуктами являются пар, азот,  $\text{CO}_2$  и зола. Выхлопные газы из реактора, «промытые» водой, не содержат летучей золы и практически не имеют запаха.



**Рис. 2.** Установка для Зимпро-процесса.

При обработке осадка сточных вод окисление идёт под непрерывной подачей осадка и пропорционального количества воздуха в реактор. Горение происходит, когда кислород сжатого воздуха соединяется с органическим веществом осадка с образованием  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$  и пара, а зола остаётся в воде. Реактор и весь технологический процесс поддерживаются автоматикой, то есть обеспечивается постоянное давление и температура, и продукты сгорания непрерывно из реактора удаляются. Если концентрация летучих веществ высока, и достаточно велика концентрация осадка сточных вод ( $>5\%$ ), пар, а также газы ( $\text{CO}_2$  и  $\text{N}_2$ ), являющиеся продуктами сгорания, будут содержать достаточное количество энергии для работы компрессоров и насосов. Остаточная горячая вода из реакторов используется в теплообменниках, поднимающих температуру поступающего ила и воздуха для последующего окисления. Таким образом, после запуска процесса не требуется внешнего источника тепла или энергии для поддержания горения. Оборудование, необходимое для процесса Zimpro, включает в себя: компрессор, ресивер воздуха, иловый насос высокого давления, резервуар для хранения ила с мешалками, теплообменники, реактор, сепаратор и охладитель. Конечные продукты представляют собой:

- неорганическую, инертную, биологически безопасную золу;
- остаточную воду;
- газообразные продукты сгорания, не имеющие запаха (углекислый газ, азот и пар).

Завод рассчитан на автоматическую работу с минимальным обслуживанием. Воздушный компрессор и иловый насос являются единственными единицами оборудования с трущимися частями. Потребляемая мощность примерно 35 кВт на тонну по сухому весу.



Проблемы данного процесса обусловлены кислой средой осадка (что может потребовать вентиляции) и возможным наличием запахов от образовавшихся газов (может потребоваться установки для каталитического сжигания).

Очистка сточных вод и повторное использование в технологических процессах в промышленности являются критически важной проблемой для сохранения природной среды. Каталитическое окисление мокрым воздухом (CWAO) является привлекательным и эффективным методом очистки стока, имеющего концентрации органических загрязнителей слишком низкие, чтобы сжигание и другие методы были экономически целесообразными, или при неэффективности биологической очистки. В CWAO сжигание происходит на катализаторах  $Pt/Al_2O_3$ , как правило, при температуре на несколько градусов ниже температуры термического сжигания. В процессе CWAO органические загрязнители, растворённые в воде, либо частично разлагаются с помощью окислителя до биоразлагаемых промежуточных соединений, либо минерализуются до безвредных неорганических соединений, таких как  $CO_2$ ,  $H_2O$  и неорганические соли, остающиеся в водной фазе. В отличие от других термических процессов CWAO не ведёт к образованию  $NO_x$ ,  $SO_2$ ,  $HCl$ , диоксинов, фурана, летучей золы и т.п.

Состав осадков сточных вод может различаться сильно, но основными и постоянными компонентами являются углеводы, жиры и белки. На первом этапе процесса осадок включает в себя большую часть нерастворимой органики, превращаемой в более простые растворимые органические соединения (сахара, аминокислоты, жирные кислоты и др.). Затем меньшие молекулы окисляются в легко биоразлагаемые и насыщенные кислородом продукты (диоксид углерода, неорганические соли и воды). Это превращение достигается при помощи реакций гидролиза и окисления в сериях, которые идут в присутствии углеводородного радикала, полученного через окисление связи C–H. Полученные радикалы способны окислять все органические соединения, содержащие водород. Органические соединения постепенно разлагаются на более стабильные промежуточные продукты, которые, в конечном итоге, окисляются до диоксида углерода и воды. Скорость реакции замедляется, поскольку легко окисляемые соединения постепенно заканчиваются и образуется уксусная кислота и другие стабильные промежуточные продукты.

Чтобы упростить механизм понимания WAO, можно предположить, что утилизация осадка идёт двумя путями – прямым или косвенным. В первом, все начальные относительно нестабильные промежуточные продукты активного ила прямо реагируют с кислородом, превращаясь в углекислый газ. При втором, эти первоначально относительно нестабильные интермедиаты сначала подвергаются гидролизу с образованием относительно тугоплавких интермедиатов, таких как уксусная кислота, затем окисляясь в углекислый газ.

Однако осадок содержит сложную смесь соединений. Некоторые органические соединения в WAO полностью окисляются, тогда как другие пре-

вращаются в промежуточные продукты с более низкой реакционной способностью.

WAO эффективно гидролизует твердые частицы ила, однако окисление органики не полное, и на выходе можно иметь до 10 % ацетатов. Образование органических кислот определяется температурой реакции. Выход  $\text{CH}_3\text{COOH}$  возрастает в четыре раза при увеличении температуры с 180 до 240 °С за 40 минут.

Двухступенчатый процесс для улучшения качества  $\text{CH}_3\text{COOH}$ , идёт в гидротермальном режиме в отсутствии кислорода. На первом этапе идёт образование фурана, затем процесс ускоряется. На втором этапе эти фуран превращается в уксусную кислоту – 12 %  $\text{CH}_3\text{COOH}$  при чистоте 38 %.

Спрос на уксусную кислоту неуклонно растёт во всём мире (рис. 3).



Рис. 3. Динамика спроса на уксусную кислоту, млн. тонн.

Производство полезных химических продуктов является стимулом широкого внедрения WAO для обработки осадка.

#### Библиографический список

1. Process Design Manual for Sludge Treatment and Disposal, EPA Technology Transfer. EPA 625, October 1998. – p. 14.
2. Hauge, R.T., Sludge Processing to Optimize Digestibility and Energy Production, Journal WPCF, November 1999. – p. 58.
3. Евилевич А. З. Удаление, обработка и использование осадков сточных вод – М.: Госстройиздат, 1954. – 226 с.
4. Технический справочник по обработке воды: [в 2 т.]: пер. с фр. Т. 2/ пер., распространение Водоканал СПб. – 2-е изд. – СПб.: Новый журнал, 2007. – 919 с.

# ВОДОСНАБЖЕНИЕ ДЛЯ НАРУЖНОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ С УЧЁТОМ РИСКОВ ДЛЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

**А.А. Ерхов**, доц., к.т.н., каф. строительства систем и сооружений водоснабжения и водоотведения, МГРИ, г. Москва; **Е.А. Королёва**, к.т.н., каф. водоснабжения и водоотведения, НИУ МГСУ, г. Москва

Для обеспечения наружного пожаротушения, прежде всего, следует придерживаться рекомендаций по проектированию соответствующих систем, вопросы организации системы тушения пожаров вторые в очереди. Современный подход к тушению пожаров основан на системном подходе в разработке методов и правил организации борьбы со стихией, и с учётом возможных рисков. Успех борьбы с пожаром зависит от достаточного количества воды, что позволяет контролировать распространение пожара и помогает организовать спасательные работы. Пожарно-спасательная служба должна иметь доступ к источнику водоснабжения для проведения противопожарных и спасательных мероприятий, что обеспечивается, обычно, системой централизованных водопроводов через пожарные гидранты, или путём перекачки воды из альтернативных источников, таких как резервуары и пожарные ёмкости. В некоторых случаях существующей системы водоснабжения может оказаться достаточной, и нет необходимости в дополнительном источнике, поэтому на ранних стадиях проектирования следует искать согласований с пожарно-спасательной службой и водохозяйственным органом, чтобы учесть возможности существующей системы водоснабжения, если таковое имеется, и оно соответствует ФЗ «О пожарной безопасности».

## 1. Водоснабжение

Каждое здание должно быть обеспечено системой водоснабжения для тушения пожаров и проведения спасательных работ:

- жилищно-коммунальное водоснабжение;
- альтернативные источники водоснабжения.

## 2. Централизованное водоснабжение

Существующий гидрант может использоваться для подачи воды на пожаротушение, если:

- расстановка гидрантов на водопроводной сети обеспечивает пожаротушение любого здания или сооружения, или их частей;
- количество гидрантов не менее двух;
- расстояние от здания определяется его высотой – малоэтажные 160 м, высотные – 100;
- при наличии мотопомп длина прокладки рукавных линий в зависимости от типа 100-150 м;

- при наличии автонасосов не более 200 м;
- этажность не превышает 16;
- площадь тушения определяется радиусом и глубиной и рассчитывается для каждого случая по простым геометрическим формулам с эмпирическими коэффициентами.

### 3. Расположение гидрантов

В здании должен быть хотя бы один гидрант, но, если нет водопроводной воды, должен быть предусмотрен альтернативный источник водоснабжения. Гидранты должны быть расположены снаружи каждого здания или быть доступными, если они общие для нескольких зданий:

- расположены рядом с парковочным местом для машины, оборудованной автонасосом или мотопомпой (рис. 1);



**Рис. 1.** Расположение гидранта и насосного устройства

- расстояние от края проезжей части не более 2,5 м;
- расстояние до стены здания не ближе 5 м;
- для машины с пожарным оборудованием должно быть предусмотрено парковочное место, пожарный гидрант должен быть расположен рядом с этим местом;
- гидранты должны быть доступны для подключения в любое время;
- должен быть свободной прокладка пожарного рукава от гидранта к зданию;
- гидрант должен соответствовать ГОСТ (вес, размер и проч.) (рис. 2);



**Рис. 2.** Манипуляции с пожарной колонкой

- пожарный гидрант должен быть обозначен табличкой, прикрепленной рядом, и заметной.

#### **4. Критерий эффективности гидрантов**

Гидрант должен быть подсоединён к водопроводной трубе, способной подавать расход не менее  $54 \text{ м}^3/\text{ч}$  из сети. Количественно расход определяется объёмом, огнестойкостью, конструктивной пожарной опасностью здания. Однако не каждый водопровод может иметь такие характеристики – давление и расход сети могут быть недостаточными для противопожарных мероприятий.

#### **5. Мобильные насосные системы**

В некоторых случаях, когда у существующих зданий не хватает пожарных гидрантов, обычной практикой является использование переносных насосов для перекачки воды на пожар (рис. 3). Хотя этот метод водоподачи является довольно распространённым, его следует избегать при проектировании новых зданий из-за потери времени в развёртывании пожарных расчётов и задержки в подаче воды.



**Рис. 3.** Мобильные противопожарные системы – передвижные насосы.

## **6. Альтернативные источники водоснабжения**

Часто проектирование сети водоснабжения технически невозможно или экономически не целесообразно. Где отсутствует водопроводная вода, или в водопроводной магистрали недостаточное давление и расход, должен быть в наличии альтернативный источник воды в соответствии со следующими рекомендациями:

- наличие заполненного водой стационарного резервуара объемом, определяемым временем тушения, в соответствии с требованиями СП 8.13130.2009, и должен быть не менее  $V_{\text{в}} = V_{\text{нз}} + V_{\text{н}}$ .  $V_{\text{нз}}$  – неприкасаемый запас при совмещённой системе водоснабжения,  $V_{\text{н}}$  – неиспользуемый (мёртвый) объём воды в резервуаре;
- наличие водоисточника – реки, канала, озера, пруда или родника, способных обеспечить или хранить заданный расчётный воды в любое время года, с наличием доступа, наличием места и его надёжного положения с целью размещения насосного оборудования;
- наличие любых других средств обеспечения водой для противопожарных целей, которые пожарно-спасательные службы сочтёт необходимыми.

Водоснабжение традиционно связано с опасностью пожаров, и нацелено, в том числе, на борьбу с ними. Риск пожара равен произведению частоты пожара и последствий, а это есть сумма по заданной площади возможных пожаров и возникающих последствий.

Риск пожара часто может быть ограничен одним зданием, однако в пределах городской территории необходимо учитывать другие риски, такие как транспортное сообщение, складские комплексы, электрические и газораспределительные станции, должны приниматься во внимание и потребности в водных и материально-технических ресурсах – и для борьбы с пожарами и для возможности спасения. Хотя эти факторы не входят в расчёты пожаротушения, они показывают, городские власти должны учитывать риски в большем масштабе, чем пожар одного здания. Следовательно, проект водоснабжения не ограничивается зданием, а отражает «спектр риска» для всего города.

Различия в масштабах пожаротушения привели к тому, что методы определения запасов воды на пожар являются завышенными для частных потребностей, что отражается на стоимости строительства. При проектировании зданий надо акцентировать внимание на том из них, которое в разработке, нельзя спроектировать сеть водоснабжения исходя из предположения, что пожар не будет распространяться за пределы здания. Фактически, результаты работы архитектора основаны на данном оборудовании существующих зданий. Риск здесь зависит от принятых правил. Общеизвестно, что до 95 % рисков связано с традицией, то есть с поведением. В результате сложился консервативный подход к ожидаемой реакции на пожар, в значительной степени основанный на опыте реальных пожаров. Поскольку неопределённость возникает в основном в результате человеческого фактора, существуют ограничения в реальном проектировании.

Также, фактический риск пожара растёт с годом постройки здания – риск для нового и такого же старого здания разный – различны конструкции новых и старых зданий.

Пожарный риск для отдельного здания или комплекса – это одно, риск для города – это совершенно другое.

Кроме того, крупные пожары, рассматриваемые на макроуровне, должны отвечать остаточному давлению в сети около 15 м вод. ст., и такой напор может быть увеличен пожарным насосным оборудованием.

Опыт оценки риска возникновения пожара необходим, чтобы оценка потребности в воде была реальной.

Типичные сценарии специализированных оценок определения пожаров и проектирование систем водоснабжения, включают:

- города, требующие улучшения систем водоснабжения для противопожарной защиты (например, историческая застройка);
- расширение города или городской застройки при развитии территории – часто для жилищного сектора (иногда с ограниченным расходом или тупиковой сетью).

Всё это требует комплексной оценки пожароопасности. В случае, когда все здания защищены автоматическими спринклерами (рис. 4), на первый план выступают другие факторы. Большинство стандартов пожарозащиты учитывают уменьшение пламени в результате разбрызгивания воды.



**Рис. 4.** Работа системы автоматического пожаротушения

За пределами города использование спринклерных систем целесообразно для снижения рисков для растущих городов.

Для промышленных объектов требуется большая надёжность из-за применяемых производственно-технологических процессов. Проектирование систем водоснабжения будет предполагать, по меньшей мере, две системы водоснабжения, и даже третичную и четвертичную.

Системы подачи солёной воды, используемые на пирсах и причалах, подвержены коррозии, сильному загрязнению и попаданию рыбы, растительности, а также заилению (что способствует износу и разрушению деталей насоса), поэтому должны проектироваться с учётом снижения аварийности.

Аналогичная проблема может возникнуть с резервуарами и прудами, поскольку они становятся объектами развития и роста гидробионтов; автоматическая обратная промывка всасывающего трубопровода может снизить риски попадания рыбы и других водных обитателей.

Надёжность систем водоснабжения становится проблемой, когда возрастает риск возникновения пожара. Например, если нет системы централизованного водоснабжения, рекомендуется, как было сказано, дополнительная ёмкость. Если пожарная бригада не имеет пожарных рукавов необходимой длины, могут применяться стояки, вместо гидрантов.

В масштабе города риском являются не отдельные здания: оценка пожарных рисков в городах (и посёлках) позволяет выработать системные стандарты защиты, отражающие масштабы мелких рисков и методы совершенствования систем безопасности на больших территориях. Даже снижение риска возникновения пожара в отдельных зданиях, может не повлиять на риск для всего города.

В последние годы были достигнуты значительные успехи в огнестойкости строительных материалов, поэтому для снижения рисков пожара следует в новых конструкциях, например, избегать использования дерева.

Использование спринклеров в качестве общей стратегии снижения риска позволяет предположить, что в городах объём ресурсов, затрачиваемых на противопожарные мероприятия, может быть в значительной степени снижен – в связи с этой концепцией – охраняемых автоматическими противопожарными системами зданий.

Проектирование систем водоснабжения для противопожарной защиты является устоявшимся. Для отдельных конструкций логично предположить, что пожар должен быть потушен из спринклеров и пожарных рукавов. Однако, если имеются сложные конструкции, или их множество, или, когда величина риска возрастает из-за возраста здания, тогда требуются дополнительные решения. Таким образом, проблема водоснабжения и надёжности спринклера становится ключевой, особенно для определённых зданий (исторической застройки) или необычных объектов, таких как крупные производственные предприятия относительно высокой стоимости.

Возникающие пожары учат многому, и, прежде всего, позволяют совершенствовать пожарные и строительные нормы, а также правила противопожарной защиты и гражданской обороны.



## Библиографический список

1. Системный анализ и проблемы пожарной безопасности народного хозяйства / Н.Н. Брушлинский, В.В. Кафидов, В.И. Козлачков и др.; под ред. Н.Н. Брушлинского. – М.: Стройиздат, 1988. – 413 с.
2. Пожарные риски. Динамика, управление, прогнозирование / Под ред. Брушлинского Н.Н. – М., 2007.
3. Васильев, Е.П. Оценка социально-экономической эффективности пожарной охраны // Системные аспекты пожарной безопасности: Сборник научных трудов. – М.: ВНИИПО МВД СССР, 1989.

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФЛОТАЦИОННОЙ ОЧИСТКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД НА ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКЕ

**В.Г. Исаков**, проф., д.т.н., ИжГТУ имени М.Т. Калашникова; **А.М. Непогодин**, ст. преп., ИжГТУ имени М.Т. Калашникова; **М.Ю. Дягелев**, доц., к.т.н., ИжГТУ имени М.Т. Калашникова, г. Ижевск

Один из эффективных методов извлечения из сточных вод гидрофобных загрязнителей является напорная флотация.

Этот вид очистки сточных вод выполняется в две стадии: насыщение воды воздухом под давлением; выделение пузырьков воздуха соответствующего диаметра и всплытие взвешенных и эмульгированных частиц примесей вместе с пузырьками воздуха. Если флотация проводится с добавлением реагентов, то это – физико-химический способ.

Однако, несмотря на большое число публикаций [1, 2], посвященных этому методу, слабо проработанным остается вопрос получения газовых эмульсий, характеризующихся большей степенью газосодержания при малом диаметре пузырьков.

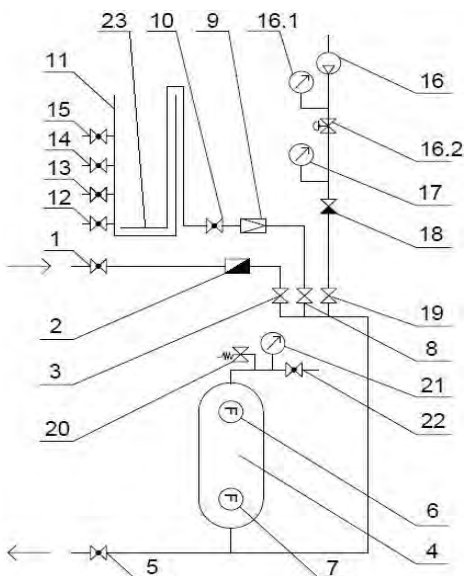
В 2018 году силами ИжГТУ имени М.Т. Калашникова была разработана и изготовлена лабораторная флотационная установка ЛФМ-001 (рис. 1) для технологических исследований процесса очистки сточных вод предприятия от загрязнений. В настоящее время установка эксплуатируется в исследовательской лаборатории промышленного предприятия.

Лабораторная флотационная установка ЛФМ-001 предназначена для получения рабочей жидкости (воды, насыщенной мелкодисперсными пузырьками воздуха диаметром 60...100 мкм) для экспериментальных исследований режимов и технологии флотационного метода очистки промышленных сточных вод.

В ее состав входят: компрессор «Patriot euro 24-240» в напольном исполнении, устройства для регулирования давления (редукторы), подачи, расхода воздуха и рабочей жидкости, контрольно-измерительная аппаратура, обратный и предохранительный клапаны (настроен на 7 бар), камера аэрации объемом 50 л из нержавеющей стали толщиной 1 мм, рассчитанная на давление до 7 бар (максимальное), настольная камера флотации объемом 38 л и высотой 700 мм из прозрачного органического стекла, соединительные трубопроводы и шланги высокого давления (до 8 бар), рассеиватель для ввода подготовленной жидкости в нижнюю центральную часть камеры флотации, устройства пробоотбора очищенной сточной воды, запорочные и сливные краны и вентили.

Рабочая жидкость: в камере аэрации - водопроводная вода (объем 35-40 дм<sup>3</sup> в зависимости от задач испытания), в камере флотации — смесь сточной и насыщенной воздухом водопроводной воды. Расход воздуха: до 3-5% от расхода воды.

Размер образующихся пузырьков определяется установленным в эксперименте давлением в камере аэрации и расходом водовоздушной смеси в камере флотации.



**Рис. 1.** Общий вид лабораторной флотационной установки ЛФМ-001:  
1, 5, 10, 12, 22 – кран шаровый запорный; 2 – счетчик крыльчатый СВУ-15; 3, 8, 19 – клапан запорный; 4 – камера аэрации; 6, 7 – термометры; 9 – регулятор давления (редуктор); 11 – камера флотации; 13, 14, 15 – пробоотборник; 16 – компрессор; 16.1 – манометр; 16.2 – регулятор давления; 17, 21 – манометр; 18 – клапан обратный; 20 – клапан предохранительный; 23 – рассеиватель

Для отработки методики работы лабораторной установки ЛФМ-001 были проведены исследования возможности очистки загрязненной сточной воды после мойки железнодорожных локомотивов с поверхностно-активными веществами.

Для экспериментов были выбраны следующие параметры для получения водовоздушной смеси:

- объем воды для насыщения воздухом – 15 литрам;
- давление, при котором происходило насыщение – 0,5 МПа;
- время насыщения воды воздухом в камере аэрации лабораторной флотомашины – 10 минут;
- средняя температура воды при насыщении ее воздухом – 19 °С.

Для каждого эксперимента подготавливался модельный раствор загрязненного стока, возможность очистки которого необходимо было установить в условиях лабораторной флотомашины ЛФМ-001. Модельные рас-

творы приготавливались в пяти лабораторных стаканах емкостью 1000 мл. Для приготовления модельного раствора стока после мойки железнодорожных локомотивов использовались мазут и анионное поверхностно-активное вещество додецилсульфат натрия  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}\text{OSO}_3\text{Na}$  с концентрацией 0,1 г/дм<sup>3</sup> (далее – АПАВ). Додецилсульфат натрия представляет собой амфифильное вещество, применяющееся в промышленности как сильное чистящее и смачивающее средство, машинных маслах, при производстве большинства моющих средств, шампуней, зубной пасты, косметики для образования пены.

В экспериментальных исследованиях использовались следующие реагенты:

- коагулянт Аква-Аурат 30 (полиоксихлорид алюминия  $\text{Al}_2(\text{OH})_n\text{Cl}_{6-n}$ ) в виде рабочего раствора с массовой долей  $\text{Al}_2\text{O}_3$  от 1% до 9 %;
- раствора гидроксида натрия  $\text{NaOH}$  – для активации процессов коагуляции рН раствора жидкости доводилось до 7;
- раствор порошкообразного активированного угля (далее – ПАУ).

На начальном этапе в каждый из 5-ти стаканов добавлена водопроводная вода в объеме 500 мл. В стаканы для проведения эксперимента было добавлено: водопроводная вода, мазут, АПАВ, раствор Аква-Аурата, раствора  $\text{NaOH}$  и водовоздушная смесь, полученная на установке ЛФМ-001. Соотношение объемов веществ, добавляемых в стаканы, указано в табл. 1. Результаты эксперимента показаны на рис. 2.

Таблица 1

Соотношение объёмов и количество веществ в стаканах

№ стакана	Водопроводная вода, мл	АПАВ, мл	Мазут, см <sup>3</sup>	Аква-Аурат 30, мл	Раствор $\text{NaOH}$ , мл	ПАУ, мл	Водовоздушная смесь, мл
1	1000	-	1	-	-	-	-
2	1000	0,5	1	-	-	-	-
3	500	0,5	1	2	1,8	2	-
4	500	0,5	1	2	1,8	2	500
5	500	0,5	1	2	1,8	2	500

В первом стакане мазут всплыл в верхнюю часть стакана и образовал маслянистую пленку 1...2 мм. Также было видно, часть мазута осталась в толще воды и вода помутнела по сравнению с ее начальным состоянием (рис. 2, № 1).

Во втором стакане при добавлении АПАВ, мазут в большей степени растворился в воде, что дало сильную мутность воды. На поверхности воды в стакане образовалась такая же маслянистая пленка 1...2 мм. Частички мазута были меньшего размера по сравнению с водой из первого стакана, из за реакции с АПАВ (рис. 2, № 2).



№ 1

№2

№3

№4

№5

**Рис. 2.** Процессы, происходящие в стаканах, в результате эксперимента в течении 10 мин

В третьем стакане произошло хлопьеобразование. Было видно темные хлопья размером 1...4 мм, которые с течением времени частично поднимались на поверхность, опускались на дно стакана, часть хлопьев оставалась в толще жидкости. Через 10 минут произошло расслоение. В средней части стакана была жидкость с небольшой концентрацией хлопьев, в верхней части образовался слой пены, состоящий из хлопьев, частиц мазута и пузырьков воздуха, на дне стакана можно было увидеть тонкий слой мелких хлопьевидных частиц (рис. 2, № 3).

В четвертом стакане оказалось все намного интереснее, так как в него была добавлена водовоздушная смесь, частицы мазута, находившиеся в толще воды, и коагулянт образовали хлопья. Эти хлопья вместе с пузырьками воздуха водовоздушной смеси всплыли на поверхность стакана, образовав вспененный, маслянистый слой толщиной 5 мм. Вода визуально была прозрачной с мелким содержанием частиц в толще воды (рис. 2, № 4).

В пятом стакане разделение жидкости на слои произошло быстрее. Третий и пятый стаканы заметно отличаются друг от друга. В пятом стакане слой хлопьев стал гораздо плотнее, в осадок выпало меньшее количество хлопьев угля, вода стала прозрачнее по сравнению с 3-м стаканом. Хлопья верхнего и нижнего слоя стали меньше, их структура стала более разрыхленной (рис. 2, № 5).

Результаты анализа проб, взятых из стаканов, по остаточному содержанию в воде нефтепродуктов показаны в табл. 2, а по остаточному содержанию в воде АПАВ – в табл. 3.

Очистка сточной воды, загрязненной после мойки железнодорожных локомотивов поверхностно-активными веществами, наиболее эффективно проходит напорная флотация с применением коагулянта и фильтрацией. При этом, средний эффект очистки от АПАВ составляет 89 %, средний эффект очистки от нефтепродуктов до фильтрования 52%, средний эффект очистки от нефтепродуктов после фильтрования 93%.

## Результаты анализа проб по остаточному содержанию в воде нефтепродуктов

№ стакана	Концентрация нефтепродуктов в осветленной жидкости, мг/дм <sup>3</sup>	Эффект очистки до фильтрования, %	Концентрация нефтепродуктов в осветленной жидкости после фильтрования, мг/дм <sup>3</sup>	Эффект очистки после фильтрования, %
1	13	–	–	–
2	37	–	20	–
3	33	11	2,6	87
4	1,6	96	–	100
5	19	49	1,9	91

Таблица 3

## Результаты анализа проб по остаточному содержанию в воде АПАВ

№ стакана	Концентрация АПАВ, мг/дм <sup>3</sup>	Эффективность очистки, %
2	410	-
3	42	90
4	56	86
5	40	90

Лабораторная флотационная установка ЛФМ-001 позволяет проводить наглядные экспериментальные исследования по очистке сточных вод от ПАВ и нефтепродуктов при заданных параметрах работы.

## Библиографический список

1. Кочетов Л. М., Сажин Б. С., Сажин В. Б., Попов И. А., Хазанов Г. И., Бутко А. С. Применение напорной флотации при очистке стоков/ Успехи в химии и химической технологии. Том XXIV. 2010. №3 (108). С. 113 – 116.

2. Ксенофонтов Б.С. Сазонов Д.В. Карелин А.Н. Определение интенсивности барботирования в лабораторной флотационной установке. Электронный журнал Молодежный научно-технический вестник. Издатель ФГБОУ ВПО «МГТУ им.Н.Э. Баумана». Эл.№ ФС77-51038.

## **МЕРОПРИЯТИЯ ПО БЕРЕГОУКРЕПЛЕНИЮ, ПРОВОДИМЫЕ В ГОРОДСКОМ ОКРУГЕ ГОРОДА УФА РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН С УСТРОЙСТВОМ ПРИЧАЛА У МОНУМЕНТА ДРУЖБЫ**

**Т.Р. Ишмаков**, магистрант, ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ; **Д.Н. Кутляров**, доц., к.т.н., кафедра природоустройства, строительства и гидравлики, ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, г. Уфа

Город Уфа является одним из крупнейших центров России столицей Республики Башкортостан. Город республиканского значения, образует муниципальное образование город Уфа со статусом городского округа. Входит в число крупнейших экономических, культурных и научных центров Российской Федерации.

Город расположен на берегу реки Белой, при впадении в неё рек Уфы и Дёмы, на Прибельской увалисто-волнистой равнине, в 100 км к западу от хребтов Южного Урала. Лежит преимущественно в междуречье рек Белой и Уфы, на Уфимском полуострове.

Благоустройство набережной реки Белая проходило в 60-70-е годы прошлого века. Берег тогда был укреплен от оползней, проложены асфальтированные дорожки со смотровыми площадками от бассейна «Юность» до Монумента Дружбы. Двухполосная автодорога продолжалась до железнодорожного моста, заканчиваясь ниже Мусульманского кладбища. В те годы планировалось более масштабное строительство. Дорога по набережной должна была начинаться от Пугачевской улицы, проходить через Монумент и далее соединять с Нижегородкой. Однако строительство было отложено на неопределенный срок.

Целью настоящей работы является анализ проектных решений по организации причального пассажирского сооружения.

В соответствии с указанной целью была поставлена задача рассмотреть проведение строительно-монтажных работ сооружений объекта капитального строительства, для этого дать общую характеристику рассматриваемого объекта, провести анализ колебаний уровней воды в навигационный период, обосновать актуальность данных работ.

Рассматриваемый участок р. Белой в районе реконструируемых пассажирских причалов протяжённостью 3,0 км расположен в г. Уфе от 2207,0 до 2210,0 км) на территории Республики Башкортостан.

Подлежащий реконструкции существующий причал «Монумент Дружбы» расположен у правого берега ниже по течению устья р. Сутолоки на 2208,2÷2209,1 км. Кроме него на рассматриваемом участке расположено три причала (два на левом и один на правом берегах), отстойный пункт РОСТО в левобережном ковше на 2208,4 км, база отдыха ЦСС ГИМС МЧС правый берег на 2207,5 км.

Водный режим на рассматриваемом участке – типичный для равнинных рек восточноевропейского типа: с одновысоким весенним поло-

водьем и довольно устойчивым ходом уровней воды в летний и зимний периоды.

Преимущественное питание реки – снеговое, основная доля стока приходится на весеннее половодье, которое начинается в первой декаде апреля (начало 8 апреля), продолжается в среднем 68 суток и заканчивается в двадцатых числах июня (максимальная продолжительность 107 сут, минимальная – 45 сут).

Средний подъём уровня в половодье над нулём графика гидропоста Уфа составляет 7,4 м. Подъём уровня воды идёт интенсивно и обычно при скорости подъёма 35 см/сут через 3 недели достигает максимума. Максимальная интенсивность подъёма может составить 100 см/сут и более. Спад происходит медленно и продолжается при скорости 15 см/сут более 40 дней. Максимальная его интенсивность не превышает 50 см/сут. Превышение продолжительности периода спада над периодом подъёма объясняется постепенным таянием снега в горах. Средняя дата наступления пика половодья 30 апреля. Превышение максимальных уровней над нулём графика может составить 11,2 м.

Отведенная территория расположена в месте существующего причала. Протяжённость причального сооружения и его акватории определена с учётом необходимости перемещения судов вдоль причальной линии по мере изменения уровня воды для швартовки у соответствующей площадки и составляет 275,0 м. Причальная линия вынесена в русло реки на 10,0 м от ранее существующих причалов. Отметка верха набережной равна 84,62 м.

Отметка проектного дна акватории при принятой отметке проектного уровня воды на перспективу 80,4 м БС равна 78,4 м БС.

С учетом колебаний уровней воды в навигационный период проектом предусмотрены диапазоны работы причала в трех положениях: на отметках 84,62, 83,50 и 82,50 м БС, что позволяет максимально использовать причал в навигационный период.

Учитывая большую амплитуду стояния уровней воды в период физической навигации в створе гидропоста «Уфа» ( $92,7 - 80,0 = 12,7$  м с 25 апреля по 31 октября), проектируемый пассажирский причал сможет эксплуатироваться только часть навигации.

Это будет происходить из-за затопления территории в многоводные годы как во время весеннего половодья, так и в период прохождения летне-осенних дождевых паводков, а также в маловодные годы из-за стояния уровней воды в летне-осеннюю межень ниже расчётного минимального.

Пассажирские суда, движущиеся сверху вниз по течению, перед швартовкой к причалу «Монумент Дружбы» делают оборот ниже Оренбургских мостов на 2208,2 км в сторону левого берега. Суда, отходящие от причала, для движения вниз по течению делают оборот на 2209,7 км в сторону левого берега.

Берегоукрепление на участке организации пассажирского причального сооружения выполнено вертикального типа в виде безанкерного больверка.

Тело сооружения образовано засыпкой за шпунтовую стенку, выполненную из шпунта трубчатого сварного типа ШТС Ø1020x12 мм, песчано-



гравийной смеси с нормативным углом внутреннего трения 33 градуса, уплотненного до коэффициента пористости 0,65. Длина шпунтовых свай составляет 10,0; 12,0 и 14,0 м.

Для предотвращения процессов коррозии шпунтовые сваи покрыты антикоррозионной защитой типа «Примплатина».

По верху шпунтового ряда выполняется устройство ж/б шапочного бруса с размерами 1,4 (с учётом толщины плиты облицовки) х 0,6 (0,8 с учетом колесоотбойного бруса) м.

Покрытие горизонтальных площадок выполнено отсыпкой щебня, по которому укладываются ж.б. плиты покрытия толщиной 120 мм. В составе берегоукрепления предусмотрены сходы к воде.

Конструктивно на данном участке причал представляет собой ступенчатую конструкцию в трех уровнях. Первый (верхний) уровень на отметке 84,62 м БС выполнен с покрытием из сборных ж/б плит и монолитными вставками. Второй уровень на отметке 83,50 м БС и третий уровень на отметке 82,50 м БС. Все уровни соединяются между собой лестничными маршами и пандусами.

Настоящими проектными решениями предусматривается обустройство причала у Монумента Дружбы, с возможностью подхода и причаливания судов, а также благоустройство сходов причала, предназначенных для высадки/посадки и погрузки/ выгрузки багажа при различных уровнях р. Белая.

Местоположение пассажирского причала «Монумент Дружбы» находится на участке, где в настоящее время осуществляется строительство с реконструкцией инженерных сооружений берегоукрепления по проектной документации, разработанной ранее ОАО «Гипроречтранс» по отдельному договору.

Причалы располагаются на первом (нижнем) уровне проектируемого берегоукрепления с отметкой территории 84,62 м БС. Учитывая это, их эксплуатация может начаться на спаде весеннего половодья только после осушки поверхности первого уровня берегоукрепления.

Все элементы акватории (ширина, протяжённость, навигационная и проектная глубины) определены в соответствии с требованиями «Норм технологического проектирования портов на внутренних водных путях».

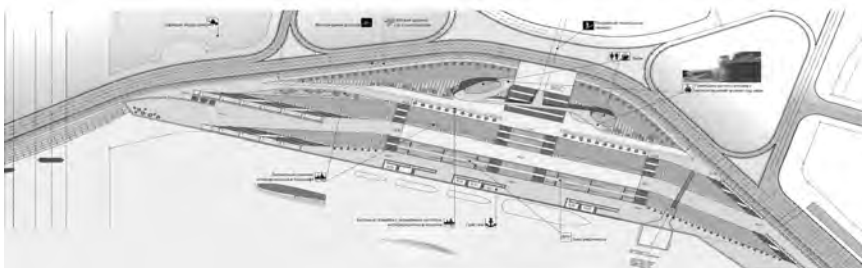
Для посадки пассажиров на суда и высадки их на причалы при переменных уровнях воды причалы оборудуются двумя дополнительными пониженными площадками.

Протяжённость причалов и их акватории определена с учётом необходимости перемещения судов вдоль причальной линии по мере изменения уровня воды для швартовки у соответствующей площадки.

Вся набережная представляет собой линию укрепления общей протяжённостью 4,92 км (условно разделена на четыре очереди 800 м; 1200 м; 2000 м; 920 м).

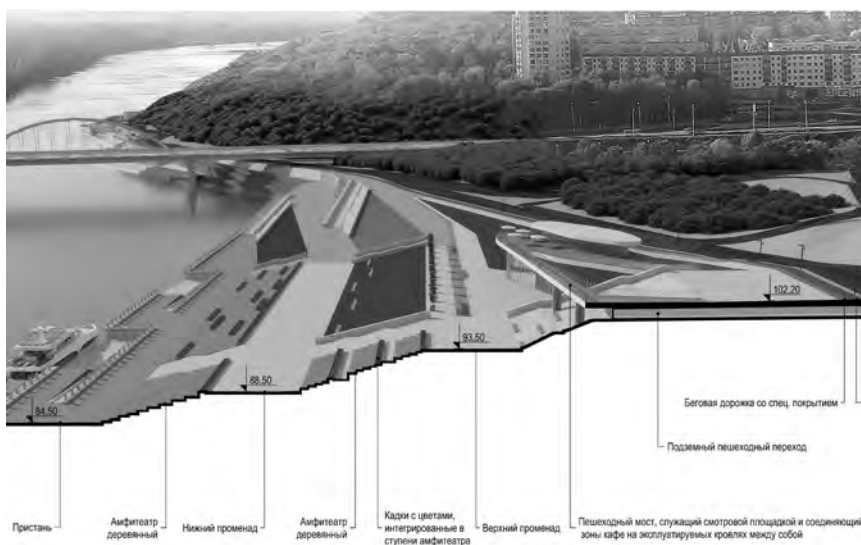
Конструкция берегоукрепления выбиралась исходя из сложных инженерно-геологических и природно-климатических условий участка строи-

тельства, а также в соответствии с согласованными Бельским районом водных путей допустимыми выходами нижней границы сооружения в русло реки от уреза воды на до 30 м. Все вопросы с земельными участками также решены [4, 5].



**Рис. 1.** План причала у монумента дружбы

В этих условиях берегоукрепление, аналогичное существующему, трудновыполнимо с градостроительной, технологической и архитектурной точки зрения. Поэтому берегоукрепление принято ступенчатого профиля.



**Рис. 2.** Поперечное сечение набережной в районе строительства причала

По завершению всего комплекса работ создаётся гидротехническое сооружение ориентировочной площадью 50 га, способное выдерживать негативные воздействия талых вод и осадков [6], а также еще одну досто-

примечательность города Уфа, так как в соответствии с архитектурной концепцией развития набережной предусмотрено устройство канатной дороги, автодороги, велодорожек, прогулочных зон, смотровых площадок. Будет укреплен берег, построена новая ливневая канализация, проведено освещение, в том числе построен причал, дающий возможность для швартовки судна или лодок с целью грузовых, пассажирских, ремонтных и прочих операций при переменных уровнях воды, что является неотъемлемой частью транспортной инфраструктуры городского округа город Уфа Республики Башкортостан.

Таким образом, изучаемое сооружение не только обеспечит пассажирооборот водным транспортом, а в свою очередь станет и украшением города, как элемент благоустройства набережной.

### Библиографический список

1. Абдульманов, Р.И. Использование БЛА ZALA – 421-04Ф при съемке населенных пунктов / Р.И. Абдульманов, Э.И. Галеев, М.Г. Ишбулатов // В сборнике: Аграрная наука в инновационном развитии АПК Материалы Международной научно-практической конференции в рамках XXVI Международной специализированной выставки "Агрокомплекс-2016". 2016. – С. 254-257.

2. Хисамов Р.Р. Мониторинг и охрана городской среды / Р.Р. Хисамов, М.Г. Ишбулатов. Уфа, 2014. – 113 с.

3. Федоров С.И. Защита почв от эрозии / С.И. Федоров, М.Г. Ишбулатов // учеб. пособие для студентов, обучающихся по агроном. специальностям / С. И. Федоров, М. Г. Ишбулатов. Уфа, 2004. – 121 с.

4. Искужина, Э.С. Резервирование земельных участков в городском округе город Уфа Республики Башкортостан/ Э.С. Искужина, М.Г. Ишбулатов // В сборнике: Развитие научной, творческой и инновационной деятельности молодежи - материалы VI Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации; ФГБОУ ВПО «Курганская государственная сельскохозяйственная академия имени Т.С. Мальцева». 2015. – С. 47-50.

5. Искужина, Э.С. Порядок установления, изменения вида разрешенного использования земельных участков / Э.С. Искужина, М.Г. Ишбулатов // В сборнике: Молодежная наука и АПК: проблемы и перспективы Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых. Башкирский государственный аграрный университет. 2014. С. 196-201.

6. Кутляров, Д.Н. Программа для расчёта фильтрационных параметров при построении депрессионных кривых в теле грунтовых плотин с дренажным устройством (с использованием MS Visual C++) [Текст] / Д.Н. Кутляров, А.Н. Кутляров // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RUS №2017617769 17.04.2017.

7. Кутляров, А.Н. Совершенствование экономического механизма защиты земель от деградации [Текст] / А.Н. Кутляров // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. 2007. № 11. С. 55.

8. Кутляров, А.Н. Планирование рационального использования и охраны земель [Текст] / А.Н. Кутляров // В сборнике: Научное обеспечение инновационного развития АПК материалы Всероссийской научно-практической конференции в рамках XX Юбилейной специализированной выставки "АгроКомплекс-2010". 2010. С. 236-238.

## ВТОРИЧНЫЕ ОТСТОЙНИКИ: СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ЭФФЕКТИВНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ СООРУЖЕНИЙ

**М.В. Кевбрина**, к.б.н., начальник отдела очистки сточных вод, Инженерно-технологический центр управления новой техники и технологий, АО «Мосводоканал»; **А.Г. Дорофеев**, к.б.н., главный специалист отдела очистки сточных вод Инженерно-технологического центра управления новой техники и технологий, АО «Мосводоканал»; **А.М. Гаврилин**, начальник управления новой техники и технологий, АО «Мосводоканал», г. Москва

Очистка сточных вод в биореакторах с активным илом (аэротенках) во многом зависит от работы вторичных отстойников. Именно поэтому при проектировании сооружений биологической очистки сточных вод большое внимание уделяется корректному расчету этих сооружений. Вторичные отстойники должны обеспечивать эффективное осаждение иловой смеси и ее возврат в биореактор. В то же время очищенная вода из вторичных отстойников должна содержать минимальное количество взвешенных веществ перед сбросом в реку или перед поступлением на сооружения доочистки и обеззараживания.

В отечественной практике проектирования используется методика расчета вторичных отстойников в соответствии со СНиП 2.04.03-85 [1]. За рубежом в разных странах используются разные методы, которые можно разделить на две основные группы [2–4]. Немецкая методика Standart ATV и голландская STORA (STOWA) основываются на эмпирических параметрах и иловом индексе; английская методика WRC, американская US EPA и французская методики основываются на теории массовых потоков (*flux theory*). Эти методы дают разные результаты.

Как показано для пяти действующих сооружений в Хорватии, площадь поверхности вторичных отстойников, рассчитанная по методикам Standart ATV и STORA, основывающимся на эмпирических факторах и иловом индексе, значительно больше, чем площадь, рассчитанная по американской и английской методикам, основывающимся на теории массовых потоков [3]. Авторы статьи, проводившие данное сравнение, в качестве рекомендации предлагают проводить расчет вторичных отстойников по всем методикам и из полученных результатов выбирать средний вариант, наиболее подходящий для достижения требуемого качества очищенной воды. Такая рекомендация авторов статьи выглядит не вполне определенно. Для понимания, какая из методик дает площадь поверхности, достаточную для достижения требуемого качества очищенной воды, целесообразно сравнивать действующие сооружения, спроектированные по разным методам расчета, при разных условиях эксплуатации. Необходимо отметить, что вышеприведенные методики не сравнивались с методикой расчета, приведенной в СНиП 2.04.03-85. А такое сравнение представляет интерес для российских специалистов.

Данная статья посвящена сравнительной оценке отечественной методики расчета по СНиП 2.04.03-85 [1] с немецкой методикой Standart ATV, основанной на эмпирических параметрах и иловом индексе [5], и американской методикой, основанной на теории массовых потоков [6]. Проведен анализ работы действующих отстойников диаметром 54 м для определения зависимости эффективности осветления от эксплуатационных параметров.

Расчет по СНиП 2.04.03-85, Standart ATV и американской методике основывается на разных параметрах, принимаемых в качестве исходных данных. В одних методиках эти параметры рассчитываются, в других, напротив, они принимаются в качестве основы для расчетов. Рассмотрим основные принципы расчетов вторичных отстойников по разным методикам на примере радиальных отстойников.

**СНиП 2.04.03-85.** Расчет основан на вычислении гидравлической нагрузки на поверхность отстойников  $q_{ssa}$ ,  $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ , по формуле:

$$q_{ssa} = \frac{4,5K_{ss}H_{set}^{0,8}}{(0,1J_i a_i)^{0,5-0,01at}}, \quad (1)$$

где  $K_{ss}$  – коэффициент использования объема зоны отстаивания (для радиальных отстойников принимается 0,4);  $H_{set}$  – высота отстойника, м;  $J_i$  – иловый индекс;  $a_i$  – доза ила в аэротенке (принимается не более 15 г/л);  $a_t$  – концентрация взвешенных веществ (вынос ила) в осветленной воде (принимается не менее 10 мг/л).

Далее рассчитывается площадь поверхности одного отстойника  $F_1$ ,  $\text{м}^2$  и его диаметр  $D$ , м.

**Standart ATV.** Расчет также основан на вычислении гидравлической нагрузки  $q_A$ ,  $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ , на поверхность отстойников:

$$q_A = \frac{q_{SV}}{SS_{EAT}SVI}, \quad (2)$$

где  $q_{SV}$  – нагрузка по иловой смеси на поверхность отстойника (принимается менее 500 л/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}));  $SS_{EAT}$  – доза ила,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $SVI$  – иловый индекс.

Далее рассчитывается площадь поверхности всех отстойников  $A_{ST}$ ,  $\text{м}^2$ , его диаметр  $D$ , м. и глубина отстойников, исходя из функциональных зон отстойника.

**Американская методика.** Расчет основывается на теории массового баланса. Рассмотрим принципы данной теории. Массовый баланс определяется соотношением массовых потоков сухого вещества активного ила в отстойнике. Массовый поток соответствует нагрузке по сухому веществу на единицу площади отстойника в его разных горизонтальных сечениях и выражается в кг сухого вещества, проходящего через  $\text{м}^2$  выбранного сечения в час [7]. На прохождение вещества в вертикальном направлении через

горизонтальное сечение отстойника влияют два процесса. Во-первых, процесс осаждения частиц активного ила в состоянии покоя, называемый в методике потоком гравитационного осаждения, или гравитационным потоком (*gravity flux*,  $G_g$ ). Во-вторых, процесс движения жидкости вертикально вниз, вызываемый откачкой избыточного активного ила. Нисходящее движение жидкости за счет откачки также вызывает перенос массы, выражаемый гидравлическим нисходящим потоком (*underflow flux*,  $G_u$ ). Общий массовый поток сухого вещества в вертикальном направлении (*total flux*,  $G_t$ ) складывается из суммы потока гравитационного осаждения в покое (*gravity flux*,  $G_g$ ) и гидравлического нисходящего потока, вызванного отводом осадка (*underflow flux*,  $G_u$ ):

$$G_t = G_g + G_u; \quad (3)$$

$$G_g = C_i V_g; \quad (4)$$

$$G_u = C_i V_u = C_i \frac{Q_u}{A}, \quad (5)$$

где  $C_i$  – концентрация взвешенных веществ в рассматриваемом горизонтальном сечении отстойника, кг/м<sup>3</sup>;  $V_u$  – нисходящая скорость движения жидкости в отстойнике, м/ч;  $Q_u$  – расход жидкости в отстойнике, направленный вертикально вниз, возникающий за счет движения жидкости, отводимой из отстойника с возвратным илом, равный расходу избыточного активного ила, отводимого из отстойника, м<sup>3</sup>/ч;  $A$  – площадь поверхности отстойника, м<sup>2</sup>.

Скорость гравитационного осаждения в покое является функцией от концентрации активного ила в рассматриваемом сечении и уменьшается при увеличении концентрации в соответствии с уравнением:

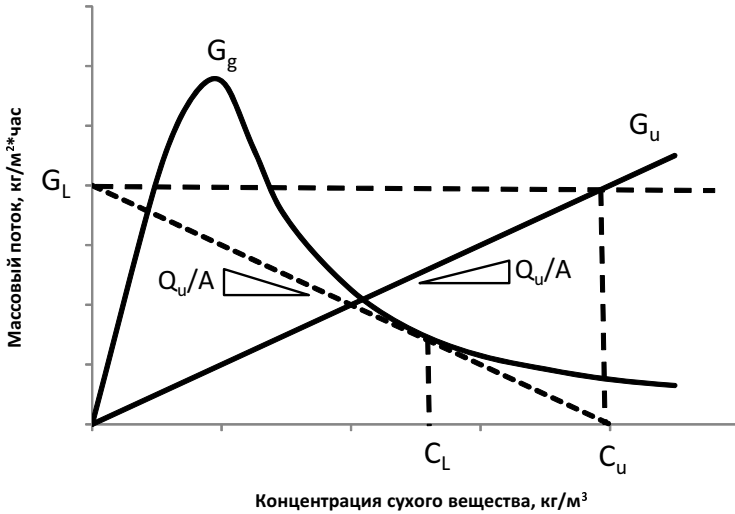
$$V_g = v_0 e^{-K C_i}, \quad (6)$$

где  $K$  – коэффициент осаждения, м<sup>3</sup>/кг;  $v_0$  – коэффициент, выражающий скорость осаждения на границе элементарного слоя с концентраций  $C_i = 0$  м/ч.

Уравнение (6) описывает кривую осаждения Кинша без начальной фазы агломерации частиц.

Параметры, необходимые для расчета, определяются по кривой гравитационного потока  $G_g$  (рис. 1). Производная массового потока  $G_t'$  равна сумме производных составляющих ее потоков  $G_g' + G_u'$  и в точке  $C_L$  равна нулю:

$$G_t' = G_g' + G_u' = 0. \quad (7)$$



**Рис. 1.** Графическое определение  $G_L$  и  $C_u$  по массовому потоку  $G_g$

Учитывая, что

$$G_u' = \frac{Q_u}{A}, \quad (8)$$

находим, что в точке  $C_L$ :

$$G_g' = -\frac{Q_u}{A}. \quad (9)$$

Таким образом, касательная, проведенная к функции  $G_g$  в точке  $C_L$ , имеет тот же тангенс угла наклона, что и функция  $G_u$  (рис. 1). Очевидно, что касательная к функции  $G_g$  отсекает на осях ординат и абсцисс отрезки, равные по значениям  $C_u$  и  $G_L$  соответственно.

Подача иловой смеси в отстойник формирует поступающий поток сухого вещества, в идеальном случае распределяющийся по всей площади отстойника. Поступающий поток  $G_a$ ,  $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ , можно определить как:

$$G_a = \frac{Q_i + Q_r}{A} C_0, \quad (10)$$

где  $Q_i$  – расход поступающей воды на сооружения,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  $Q_r$  – расход возвратного ила, равный потоку отвода осадка,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  $C_0$  – доза ила в аэротенках,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .



Фактически поступающий поток является нагрузкой на отстойник по сухому веществу.

Если поступающий поток  $G_a$  (*applied flux*) будет превышать лимитирующий поток  $G_L$  (предельную нагрузку по сухому веществу), то активный ил будет выноситься с очищенной водой (рис. 2). Поэтому, чтобы на практике не происходило избыточное накопление ила в донной части, поступающий поток должен быть меньше или равен предельному потоку. Другими словами, нагрузка по сухому веществу не должна превышать предельных значений.

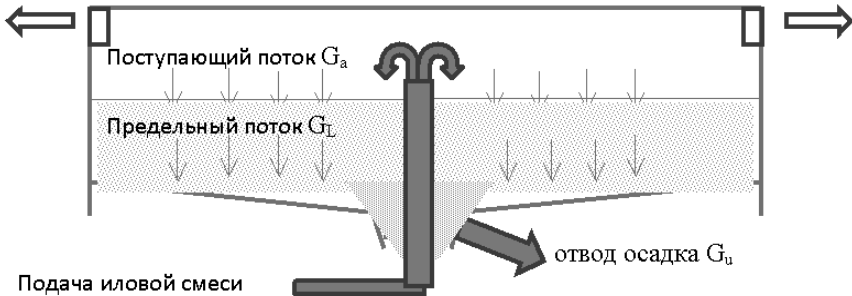


Рис. 2. Поступающий и предельный потоки во вторичном отстойнике

Графический метод определения параметров позволяет решать и обратные задачи. Для заданной концентрации взвешенных веществ отводимого осадка  $C_u$  возможно практически определить предельный поток  $G_L$  и скорость отвода осадка  $Q_u$ . На этом основан метод расчета вторичных отстойников в американской методике [6].

Сравнение параметров расчета вторичных отстойников по разным методикам (СНиП 2.04.03-85, Standart ATV и американская методика) приведено в табл. 1.

В методиках СНиП 2.04.03-85 и Standart ATV расчет площади поверхности отстойников проводится для максимального часового расхода воды, в американской методике – для среднего суточного. В методиках СНиП 2.04.03-85 и Standart ATV расчет основан на вычислении гидравлической нагрузки на поверхность отстойников по принимаемым показателям. В американской методике расчет основан на определении предельного массового потока. При этом в методике СНиП 2.04.03-85 глубина отстойника принимается, а в методиках Standart ATV и американской – рассчитывается.

Для сравнения расчетов, получающихся при использовании разных методик, было выбрано модельное очистное сооружение со следующими характеристиками:  $Q_{сут} = 21600 \text{ м}^3/\text{сут}$ ,  $Q_{час} = 900 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $Q_{час,max} = 2250 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $SVI (J_i) = 150 \text{ мл/г}$ ,  $RS (\alpha) = 75\%$ ,  $a_i (SS_{EAT}, C_0) = 4,375 \text{ г/л}$ ,  $SS_B (C_u) = 10 \text{ г/л}$ ,

$H_{set} = 3,7$  м,  $a_t (X_{SS,EST.}) = 10$  мг/л,  $K_{ss} = 0,4$ ,  $q_{sv} = 450$  л/(м<sup>2</sup>·ч),  $t_{Th} = 2$  ч,  $Y_{obs} = 0,3125$  фут/фут,  $S_0 = 375$  мг/л,  $S = 15$  мг/л. Результаты расчетов вторичных отстойников для модельного очистного сооружения по разным методикам (СНиП 2.04.03-85, Standart ATV и американская методика) приведены в табл. 2.

Таблица 1

Параметр	СНиП 2.04.03-85	Standart ATV	Американская методика
1	2	3	4
Расход воды	$Q_{max}$ Принимается максимальный часовой расход воды на аэротенки, м <sup>3</sup> /ч	$Q_{ww,h}$ Принимается пиковый часовой расход воды на аэротенки при влажной погоде, м <sup>3</sup> /ч	$Q_i$ Для расчета площади поверхности отстойников принимается средний суточный расход сточной воды, Мгал/сут; для расчета глубины отстойников принимается пиковый расход воды $Q_{pik}$ , Мгал/сут
Гидравлическая нагрузка	$q_{ssa}$ Рассчитывается, значения 0,5–1,5 м <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> ·ч)	$q_A$ Рассчитывается, значения менее 1,6 м <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> ·ч)	OFR (overflow rate) Для расчета вторичных отстойников не требуется. Для среднего расхода воды на сооружениях 0,5–1 м <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> ·ч), для пикового 2–2,5 м <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> ·ч)
Нагрузка по илу	–	$q_{sv}$ Принимается менее 500 л/(м <sup>2</sup> ·ч), или 0,5 м <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> ·ч)	–
Предельный массовый поток	–	–	$G_L$ Определяется по графику, кг/(м <sup>2</sup> ·ч)
Концентрация взвешенных веществ в осветленной воде	$a_t$ Принимается не менее 10 мг/л	$X_{SS,EST}$ Принимается менее 20 мг/л	Для расчета вторичных отстойников не требуется. Принимается до 30 мг/л

1	2	3	4
Глубина отстойника	$H_{set}$ Принимается от 1,5 до 5 м	$h$ Рассчитывается, не менее 2,5 м	$d$ Рассчитывается в диапазоне 3–5,5 м, в среднем 4,5–5 м
Доза ила	$a_i$ Принимается не более 15 г/л	$SS_{EAT}$ Принимается в диапазоне 1-5 г/л	$C_0$ Принимается в диапазоне 1–4 г/л
Иловый индекс	$J_i$ , см <sup>3</sup> /г. Принимается	$SVI$ Принимается. В диапазоне 50–200 л/кг, в среднем 100–150 л/кг	$SVI$ Для расчета вторичных отстойников не требуется. В диапазоне 100–250 мл/г, в среднем 150 мл/г
Рецикл (соотношение) возвратного ила	–	$RS$ Принимается в диапазоне 50–75%	$A$ Рассчитывается в диапазоне 20–100%
Время отстаивания	–	$t_{Th}$ , ч Принимается	–
Концентрация возвратного ила	–	$SS_{BS}$ , г/л Принимается	$C_u$ Принимается

Таблица 2

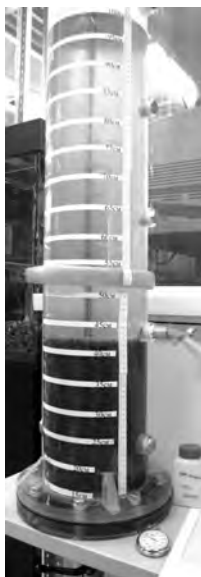
Показатель	СНиП 2.04.03-85	Standart ATV	Американская методика
Площадь поверхности вторичных отстойников, м <sup>2</sup>	2344	3261	2462
Глубина отстойников, м	3,7 (принимается)	3,7	3,7

Из табл. 2 видно, что по методике Standart ATV расчет дает самую большую поверхность вторичных отстойников, что согласуется с литературными данными [3]. Несмотря на то, что американская методика основана на определении предельного массового потока активного ила, а методика СНиП 2.04.03-85 – на расчете предельной гидравлической нагрузки, площади поверхностей отстойников, рассчитанные по этим методикам, очень близки. При этом методика СНиП 2.04.03-85 гораздо проще, и для нее требуется намного меньше исходных параметров, чем в американской методике. Опыт проектирования и эксплуатации вторичных отстойников в РФ

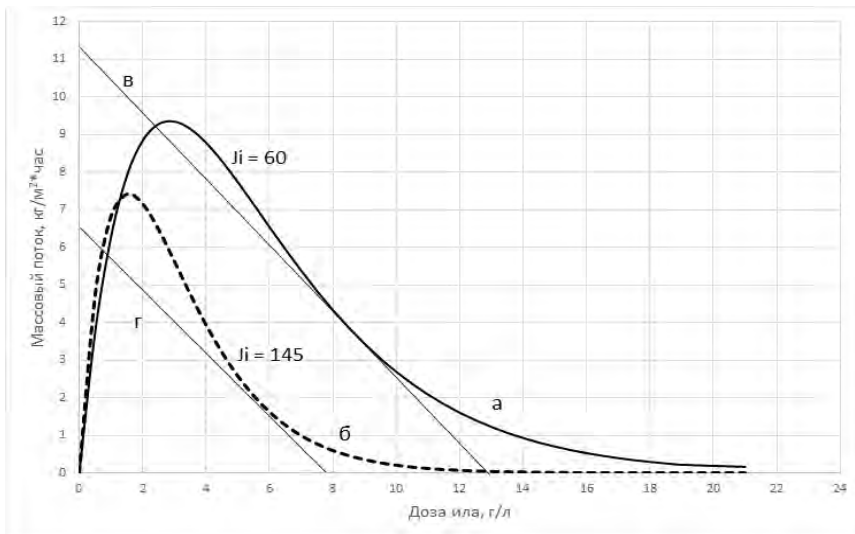
показывает, что площадь вторичных отстойников, рассчитанная по методике СНиП 2.04.03-85, обеспечивает требуемое качество очищенной воды по взвешенным веществам. Примером могут служить московские очистные сооружения: на блоке удаления биогенных элементов Люберецких очистных сооружений в биологически очищенной воде содержание взвешенных веществ составляет 5–8 мг/л при нормативе 8 мг/л [8].

Таким образом, при проектировании вторичных отстойников отечественная методика СНиП 2.04.03-85 обеспечивает необходимые площади для эффективного отстаивания иловой смеси. Однако для целей эксплуатации отстойников в американской теории массовых потоков имеется больше параметров, позволяющих налаживать и контролировать работу отстойников. В отечественной литературе нет сведений о применении теории массовых потоков к расчетам вторичных отстойников и рекомендациям наладки их работы. Поэтому авторы сочли необходимым проведение экспериментов по определению параметров, используемых в теории массовых потоков, на отечественных очистных сооружениях.

С активным илом Люберецких и Курьяновских очистных сооружений Москвы были проведены эксперименты по определению скорости оседания частиц (рис. 3). Активный ил (объем 30 л, доза 3–8 г/л, иловый индекс 60 и 145 см<sup>3</sup>/г) помещался в колонну с внутренним диаметром 20 см. Каждые десять минут измерялась высота границы раздела фаз от дна колонны. По кривым осадения (кривые Кинша) были определены скорости оседания частиц и построена кривая гравитационного массового потока  $G_g$  (рис. 4).



**Рис. 3.** Проведение эксперимента в колоннах по осадению активного ила Курьяновских очистных сооружений



**Рис. 4.** Кривые гравитационного массового потока для иловых смесей Люберецких (а) и Курьяновских (б) очистных сооружений, в, г – касательные к кривым гравитационного потока,  $J_i$  – иловый индекс

По полученным кривым гравитационного массового потока (рис. 4) можно определить предельный массовый поток  $G_L$ . Для ила Курьяновских очистных сооружений с иловым индексом  $145 \text{ см}^3/\text{г}$  предельный массовый поток будет находиться в диапазоне  $6-6,5 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ , для ила Люберецких очистных сооружений с иловым индексом  $60 \text{ см}^3/\text{г}$  предельный массовый поток будет находиться в диапазоне  $10-11,5 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ . Из литературы [9] известно, что для оптимальной работы вторичных отстойников должно соблюдаться равенство поступающего  $G_a$  и предельного  $G_L$  массовых потоков. В ситуации, когда поступающий поток меньше предельного  $G_a < G_L$ , отстойники работают в недогруженном состоянии, не обеспечивая требуемую концентрацию возвратного ила. При превышении поступающего потока над предельным  $G_a > G_L$  отстойники работают в перегруженном состоянии, не обеспечивая необходимое илоразделение и, как следствие, наличие высоких концентраций взвешенных веществ в отводимой воде. Таким образом, для оптимальной работы отстойников Курьяновских очистных сооружений необходимо поддерживать поступающий поток не выше  $6,5 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ , а отстойников Люберецких очистных сооружений –  $11,5 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ .

В американской литературе [10] поступающему массовому потоку  $G_a$  соответствует технологический показатель «нагрузка по сухому веществу на поверхность отстойника» ( $SLR$ , *solids loading rate*). Максимальные значения этого показателя, по американским источникам, принимаются в диапазоне  $100-150 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$ , что соответствует  $4-6 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$  и сопоставимо с

данными, полученными для активного ила московских очистных сооружений. Этот показатель зависит от илового индекса: чем ниже иловый индекс, тем выше значения нагрузки по сухому веществу.

На практике это означает следующее. Увеличение дозы ила в аэротенках для интенсификации процессов очистки, не вызывающее срыва работы вторичных отстойников, возможно только либо при снижении илового индекса, либо при снижении расхода воды. При этом важно удерживать нагрузку по сухому веществу на одном уровне. Так как в стабильно работающих сооружениях иловый индекс, как правило, постояен, то регулирование работы аэротенков может осуществляться за счет изменения расхода воды на аэротенки и дозы ила, то есть, увеличивая расход воды, необходимо снижать дозу ила, и наоборот.

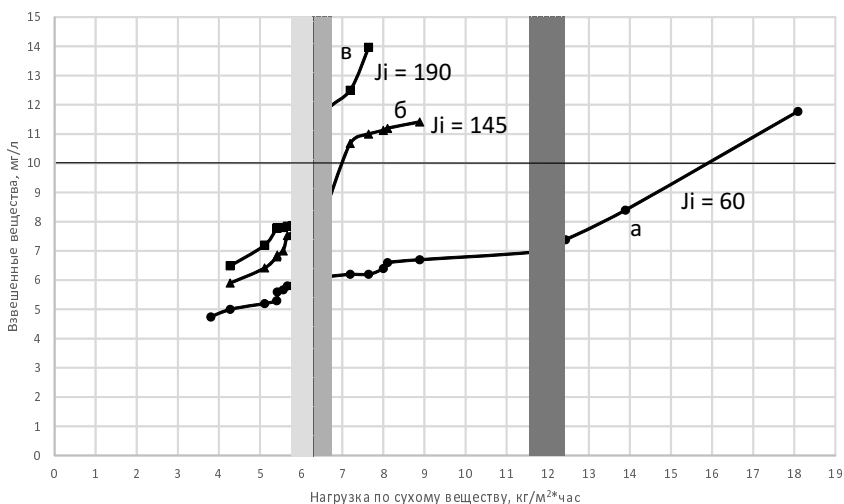
В американской литературе не уделяется должного внимания влиянию нагрузки по сухому веществу на концентрацию взвешенных веществ в отводимой воде отстойника. Тем не менее, в отечественной практике существует необходимость поддержания концентрации этого загрязнителя на нормативном уровне, поэтому выявление зависимости концентрации взвешенных веществ в отводимой воде от нагрузки по сухому веществу на поверхность отстойника является актуальной задачей. Для выяснения этой закономерности были проанализированы данные, полученные при эксплуатации вторичных отстойников диаметром 54 м (Курьяновские очистные сооружения, г. Москва). Нагрузка по сухому веществу на поверхность отстойника,  $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ , рассчитывалась по формуле:

$$SLR = \frac{(Q_{\text{сут}} + Q_r) a_i}{24 F_{\text{общ}}}, \quad (11)$$

где  $Q_{\text{сут}}$  – средний суточный расход поступающей сточной воды,  $\text{м}^3/\text{сут}$ ;  $Q_r$  – расход рецикла возвратного ила,  $\text{м}^3/\text{сут}$ ;  $a_i$  – доза ила в аэротенках,  $\text{г}/\text{л}$ ;  $F_{\text{общ}}$  – общая площадь поверхности отстойников,  $\text{м}^2$ .

На рис. 5 показаны зависимости концентрации взвешенных веществ в очищенной воде экспериментального аэротенка Люберецких очистных сооружений от поступающего массового потока и илового индекса иловой смеси, поступающей на вторичные отстойники. Данные зависимости были выведены при анализе массива данных работы аэротенков и вторичных отстойников за период 2013-2019 гг. На рисунке цветом выделены области, соответствующие предельным массовым потокам для иловой смеси с разным иловым индексом. При возрастании нагрузки по сухому веществу выше предельного массового потока (для илового индекса  $60 \text{ см}^3/\text{г}$  выше значения  $11,5 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{час})$ , для  $145 \text{ см}^3/\text{г}$  – выше  $6,5 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{час})$ , для  $190 \text{ см}^3/\text{г}$  – выше  $6,0 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{час})$ ) происходит значительное увеличение концентрации взвешенных веществ в очищенной воде. Для поддержания нормативного качества очистки сточной воды по взвешенным веществам на Люберецких очистных сооружениях (значение  $10 \text{ мг}/\text{л}$ ) необходимо не допускать на-

грузку по сухому веществу выше  $6,0 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{час})$  при иловом индексе  $190 \text{ см}^3/\text{г}$ . При низких иловых индексах  $145$  и  $60 \text{ см}^3/\text{г}$  возможно увеличение нагрузки до  $6,5$  и  $15,5 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{час})$ , соответственно. Таким образом, при высоком иловом индексе необходимо удерживать меньшую нагрузку по сухому веществу на отстойники и не допускать резких колебаний данной нагрузки для обеспечения нормативного качества очистки воды по взвешенным веществам. Необходимо отметить, что в американской литературе максимальные значения нагрузки по сухому веществу на поверхность отстойника принимаются в диапазоне  $100\text{--}150 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$ , что соответствует  $4\text{--}6 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$  и сопоставимо с данными, полученными для активного ила московских очистных сооружений.



**Рис. 5.** Зависимость концентрации взвешенных веществ в очищенной воде экспериментального аэротенка Люберецких очистных сооружений от поступающего массового потока и илового индекса, а – для илового индекса  $60 \text{ см}^3/\text{г}$ , б –  $145 \text{ см}^3/\text{г}$ , в –  $190 \text{ см}^3/\text{г}$ , Ji – иловый индекс, голубым цветом выделена область предельного массового потока для кривой «а», зеленым – для кривой «б», бежевым – для кривой «в»

Таким образом, данный показатель (нагрузка по сухому веществу на поверхность вторичных отстойников) является еще одним параметром, позволяющим регулировать работу вторичных отстойников в период их эксплуатации.

В отечественной практике эксплуатации для оценки работы вторичных отстойников используются следующие показатели: гидравлическая нагрузка на поверхность отстойников, концентрация взвешенных веществ в очищенной воде, концентрация возвратного ила, уровень стояния ила в отстойнике, доза ила в аэротенках, иловый индекс. Показатель «нагрузка по

сухому веществу на поверхность вторичных отстойников» не используется совсем. Авторы предлагают показатель «нагрузка по сухому веществу на поверхность вторичных отстойников» ввести в практику эксплуатации вторичных отстойников, как еще один инструмент для регулировки их работы, обеспечивающий нормативное качество очищенной воды по взвешенным веществам.

### Выводы

Впервые проведено сравнение расчета вторичных отстойников по методике СНиП 2.04.03-85 с расчетами по другим методикам (Germany Standard ATV-DVWK-A131E и американской методикой, основанной на теории массовых потоков). Показано, что площади поверхностей отстойников, рассчитанные по СНиП 2.04.03-85 и американской методике, очень близки. При этом методика СНиП 2.04.03-85 гораздо проще, и требуется гораздо меньше используемых параметров, чем в американской методике. Опыт проектирования и эксплуатации вторичных отстойников в РФ показывает, что площадь вторичных отстойников, рассчитанная по методике СНиП 2.04.03-85, обеспечивает требуемое качество очищенной воды по взвешенным веществам. Авторы предлагают при проектировании вторичных отстойников придерживаться отечественной методики СНиП 2.04.03-85.

Впервые были проведены эксперименты на отечественных очистных сооружениях по определению параметров, использующихся в теории массовых потоков. Выявлена зависимость концентрации взвешенных веществ в очищенной воде от нагрузки по сухому веществу на поверхность вторичных отстойников. Показатель «нагрузка по сухому веществу на поверхность вторичных отстойников» предлагается ввести в практику эксплуатации вторичных отстойников как еще один инструмент для регулирования их работы. Этот показатель означает, сколько сухого вещества иловой смеси из аэротенков поступает на единицу поверхности вторичных отстойников за час и соответствует поступающему массовому потоку  $G_d$ . Изменением нагрузки по сухому веществу на поверхность вторичных отстойников можно обеспечить нормативное качество очищенной воды по взвешенным веществам.

### Библиографический список

1. СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения. – М., Государственный комитет СССР по делам строительства, 1986.
2. Van Haandel A. C., van der Lubbe J. G. M. Handbook of biological wastewater treatment. Design and optimisation of activated sludge systems. Second edition. IWA Publishing, 2012. [www.wastewaterhandbook.com](http://www.wastewaterhandbook.com) (дата обращения – октябрь 2018 года).
3. Šikić T., Meijer S. C. F., Yunico B. V., Širac S., Matošić M., Brdjanovic D. Five methods for secondary settler design. Filtration+Separation, July/August 2017, P. 28–31.



4. Degrémont. Технический справочник по обработке воды. В 2 т. Т. 1. – СПб.: Новый журнал, 2007. 920 с.
5. ATV-DVWK Standard A 131E, Dimensioning of single-stage activated sludge plants, water, wastewater, waste. – Hennef, Germany, 2000. 57 p.
6. Metcalf & Eddy. Wastewater engineering, treatment and reuse: 3th edition. Tata McGraw-Hill Publishing, USA, 1991.
7. ATV-Handbuch. Mechanische Abwasserreinigung. – Berlin, Verlag für Architektur und Technische Wissenschaften GmbH Ernst und Sohn, 1997
8. Кевбрина М. В., Гаврилин А. М., Козлов И. М. (). Новая организация процесса преферментации для удаления биогенных элементов из сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2014. № 5. С. 73–79.
9. Marcos von Sperling. Basic principles of wastewater treatment. Biological Wasterwater Treatment Series. V. 2. – London – New York: IWA Publishing, 2007.
10. Design of municipal wastewater treatment plants. WEF Manual of Practice №.8, ASCE Manual and Report on Engineering Practice №.76. 1998.

# ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОФЛОТАТОРА С АВТОМАТИЧЕСКИМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ ПЛОТНОСТИ ТОКА

Е.А. Максимов, доц., к.т.н., ЮУрГУ, г. Челябинск

## Введение

В настоящее время одной из важнейших проблем современности является рациональное использование природных ресурсов и охрана окружающей среды. В связи с интенсивным загрязнением природной среды производственными предприятиями, особое значение приобретает разработка инновационных технологий, обеспечивающих очистку промышленных стоков до предельно допустимых значений.

В настоящее время для решения этой задачи используются новые технологии, но этого явно не достаточно. Наиболее остро этот вопрос стоит на предприятиях ТЭК, АЭС, транспортных предприятий, НПЗ, нефтебаз, логистических центров, а также предприятиях АПК и коммунального хозяйства, в том числе мясокомбинатах, маслосырзаводах, молокозаводах, консервных заводах, рыбоконсервных заводах.

В целом предприятия масложировой промышленности нашей страны сбрасывают в год до 100 млн. кубометров сточных вод, в которых содержится до 20 тыс. тонн жировых веществ [1]. Основными загрязнителями жиросодержащих и нефтесодержащих сточных вод являются: нейтральный жир, жирные кислоты, углеводороды, глицерин, минеральные соли, загрязнителями нефтесодержащих сточных вод – минеральные масла, мазут, нефтепродукты и др. [2-3].

Исследованиями установлено, что концентрация жировой фракции в сточных водах предприятий масложировой промышленности во много раз превышает нормы сброса. Например, на предприятиях производящих рафинированное масло содержание жировой фазы в сточных водах 20 000 мг/л, при нормативе 50 мг/л, то есть превышение составляет 400 раз. Кроме жиров в стоки в значительном количестве поступают конденсаты, содержащие бензин, используемый в качестве экстрагента [4].

Жидкая фракция жиров, бензин, образуют тонкую эмульсию, являющуюся основным загрязнителем. Содержание загрязнений в стоках: ХПК 500-600 мгО<sub>2</sub>/л, БПК 400-500 мгО<sub>2</sub>/л, бензин 40-50 мг/л.

При рафинировании жиров основными отходами являются соапсток и промывные воды. Соапсток представляет собой водную эмульсию омыленных жиров. Промывные воды содержат ХПК 700-720 мг/л, БПК 680-700 мгО<sub>2</sub>/л, жировые вещества 3-3,5 мг/л.

Нефть и нефтепродукты в производственных сточных водах находятся в нерастворенном состоянии – в виде крупных капель и пленки, коллоидном состоянии – в виде эмульсии с крупностью капель от 0,1 до 100 мкм и растворенном. Нефть представляет собой медленно и трудно окисляющееся вещество из-за ее устойчивой структуры и малой растворимости в воде.

Минеральные масла, получаемые из различной нефти удельного веса от 0,65 до 1,2 г/мм<sup>3</sup>, представляют собой сложную смесь жидких углеводородов парафинового (50-86 %), нафтенового и ароматического рядов, а также сернистых и азотосодержащих производных углеводородов. Все жидкие углеводороды находятся в минеральном масле в состоянии молекулярного раствора [5].

Для решения этой задачи в настоящее время широко применяются: механические, химические, вакуумные, пневматические, эжекторные, физико-химические методы очистки. Из вышеперечисленных методов, по нашему мнению, наиболее перспективными являются физико-химические методы очистки, так они позволяют добиться наибольшей степени очистки, в том числе превышающих нормативные.

В настоящем исследовании рассматривается разновидность физико-химического метода – электрофлотация.

Этот метод имеет определенные преимущества перед другими:

- быстрый запуск и малая инерционность при изменении нагрузки,
- нечувствительность к токсичности поступающих стоков,
- эффективность по отношению к таким загрязнителям, как жиры, нефтепродукты, детергенты,
- дезодорация обработанных сточных вод,
- простота и надежность обслуживания,
- незначительные габариты,
- отсутствие вращающихся частей,
- приемлемые эксплуатационные затраты,
- возможность обработки высококонцентрированных сточных вод, а также их резкого выброса,
- бесшумность работы,
- минимальные затраты на сервисное обслуживание,
- возможность регулирования степени очистки стоков в зависимости от фазово-дисперсного состояния загрязнений стоков.

### **Методика исследований**

Преимущество электрофлотации проявляется в том, что обеспечивается генерация пузырьков газа очень тонкой дисперсности – от 10 до 200 мкм, на долю пузырьков от 25 до 40 мкм приходится более 50%.

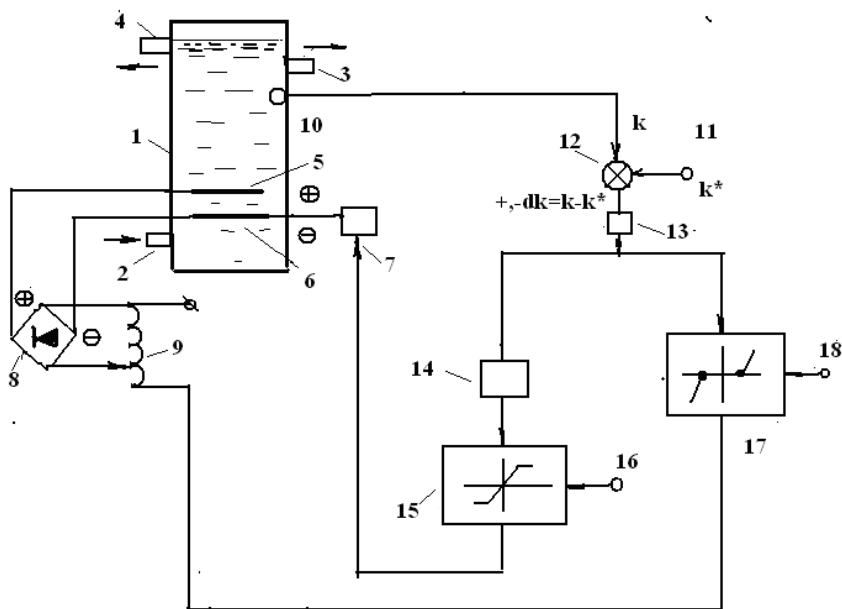
Исследования, выполненные с целью выяснения возможности применения электрофлотации для обезжиривания сточных вод, показали, что на эффективность процесса оказывают влияние: величина плотности тока. Продолжительность (время) обработки, температура сточной воды, водородный показатель pH.

Процесс утилизации подмыльного щелока изучали на лабораторной установке, которая представляет собой электрофлотатор, корпус которого изготовлен из органического стекла, размерами: 60×60×700 мм. Анод электрофлотатора выполнен из графита, катод – из проволочной сетки, изго-

товленной из нержавеющей стали. В качестве источника постоянного тока использовали выпрямитель типа ВСА.

Целью является исследование закономерностей влияния основных факторов процесса электрофлотации на эффективность извлечения жировых загрязнений из сточных вод, а также разработка современных технологий и оборудования для очистки жиросодержащих и нефтесодержащих сточных вод.

Известно, что при работе технологического оборудования происходит изменение концентрации загрязнений сточных вод (например, при залповых выбросах). Однако очистное оборудование, как правило, настроено на очистку загрязнений строго определенной концентрации и при их изменении необходима его переналадка. Для устранения указанных явлений может использоваться электрофлотатор с автоматическим регулированием плотности тока и расстояния между электродами.



**Рис. 1.** Схема электрофлотатора с автоматическим регулированием плотности тока: 1 – корпус; 2 – патрубок для подвода сточной воды; 3 – патрубок отвода очищенной воды; 4 – патрубок для отвода пены; 5 – анод; 6 – катод; 7 – механизм перемещения катода в вертикальном направлении; 8 – выпрямитель; 9 – автотрансформатор; 10 – датчик фактической величины концентрации загрязнений; 11 – датчик номинальной величины концентрации загрязнений; 12 – блок вычитания; 13 – усилитель; 14 – масштабный преобразователь; 15 – ограничительный блок; 16 – датчик зоны блока ограничения; 17 – блок зоны нечувствительности; 18 – датчик зоны нечувствительности

Исследования выполнялись на лабораторной установке, представляющей собой прямоугольную емкость 1000×1000×600 мм с горизонтально расположенными в нижней поверхности емкости пластинчатыми электродами, при этом один из электродов – анод изготовлялся из графита, другой электрод – катод – из стальной сетки с ячейками 2×2 мм, концентрация жиров определялась по специальной методике. Плотность тока на электродах поддерживалась от 8-12 мА/см<sup>2</sup>, напряжение в пределах 5-11,5 В. Обработке подвергался подмыльный щелок, содержащий нейтральный жир (концентрация 3,6 г/л), мыла, глицерин, хлориды, сульфаты.

Электрофлотатор с автоматическим регулированием плотности тока работает следующим образом.

Сточные воды, насыщенные частицами органических соединений (жиров), через патрубков поступают в нижнюю часть корпуса, где они насыщаются пузырьками газа, выделяющимися в результате электролиза на аноде и катоде. Пузырьки газа прилипают к частицам органических соединений (жира) и флотируют их поверхность жидкости, где образуется пена, которая выводится из корпуса через патрубок. Очищенная вода также выводится из корпуса через другой патрубок.

Сигнал от датчика фактической величины концентрации загрязнений поступает в блок вычитания, где сравнивается с сигналом задатчика номинальной величины концентрации загрязнений. Сигнал отклонения ( $\Delta k$ ) усиливается по мощности в усилителе, преобразуется в масштабном преобразователе, и поступает на первый вход ограничительного блока, на второй вход которого поступает сигнал от задатчика зоны блока ограничения, пропорциональный допустимому расстоянию между электродами. Если результирующий сигнал не превышает допустимого значения, то с ограничительного блока снимается сигнал, который поступает на вход механизма перемещения катода в вертикальном направлении и происходит изменение расстояния между электродами.

В блоке зоны нечувствительности, сигнал, поступающий от усилителя, сравнивается с сигналом, пропорциональным зоне нечувствительности, поступающим от задатчика зоны нечувствительности. Если результирующий сигнал превышает допустимое значение, то с блока зоны нечувствительности снимается сигнал, который поступает на вход автотрансформатора, регулирующего напряжение на входе выпрямителя.

В результате электролиза воды на поверхности электродов происходит образование пузырьков газа, которые флотируют на поверхность жидкости частицы жира. Поднимаясь вверх, пузырька газа при своем движении увлекают частицы жира, переводя их в пену. Таким образом, частицы жира извлекаются из стоков и собираются на поверхности жидкости в виде пены, которая затем удаляется.

### **Результаты исследований**

Влияние продолжительности обработки подмыльного щелока представлено на рис. 2. Анализ зависимостей представленных на рис. 2, пока-

зал, что увеличением времени обработки от 0 до 20 мин степень извлечения жира из щелока: при рН = 2 на 10%, при рН = 3 на 15%, при рН = 6 на 20%, при рН = 8 на 25%. Дальнейшее увеличение времени обработки не приводит к увеличению извлечения жира из воды. Это можно объяснить, что при увеличении времени обработки происходит вымывание частиц прикрепленных к пузырькам газа – частиц, которые повторно загрязняют очищаемую жидкость. Исследования показали, что оптимальной продолжительностью обработки является диапазон 15-20 мин.

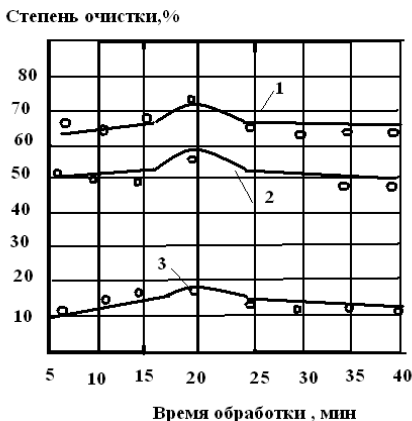


Рис. 2. Влияние продолжительности обработки на степень очистки подмыльного щелока

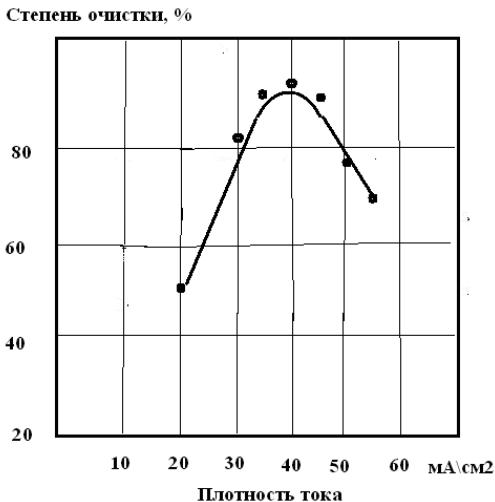


Рис. 3. Влияние плотности тока на степень очистки подмыльного щелока: время обработки 20 мин, температура 25 °С

Влияние плотности тока на эффективность очистки сточных вод представлено на рис. 3.

Анализ графика на рис. 3 позволяет установить, что оптимальная плотность тока находится в пределах 30-40 мА/см<sup>2</sup>. Напряжение при этом изменяется в пределах 4-6 В.

Преимущества установки заключаются в следующем:

- производится автоматический режим работы,
- минимальные затраты электроэнергии,
- использование в системе оборотного водоснабжения, позволяет существенно сократить расход водопотребления,
- может применяться при строительстве новых очистных сооружений, а также при модернизации существующих.

### Выводы

1. Исследовано влияния основных факторов и конструктивных особенностей электрофлотатора: продолжительности обработки, плотности тока, расстояние между электродами на процесс электрофлотации и эффективность извлечения жировых загрязнений из подмыльного шелока.

2. Показано, что наряду с традиционными факторами (продолжительность обработки, плотность тока, температура обрабатываемой жидкости) оказывающими влияние по процесс электрофлотации и эффективность очистки сточных вод, на степень очистки влияет расположение электродов, в частности, расстояние между ними.

3. Эффективность очистки сточных вод значительно повышается при использовании электрофлотатора с автоматическим регулированием плотности тока.

### Библиографический список

1. Яковлев С.В., Карелин Я.А., Лисков Ю.М. Водоотводящие системы промышленных предприятий. Учебник для ВУЗов. – М.: Стройиздат, 1990. – 511 с.

2. Коваленко В.Л., Ильинский А.А. Основы техники очистки жидкостей от механических загрязнений. – М.: Химия, 1982. – 272 с.

3. Каракеян В.И., Кольцов В.Б. Теоретические основы защиты окружающей среды. Обезвоживание и методы очистки сточных вод. – М.: Стройиздат, 2004. – 154 с.

4. Самыгин В.Д., Игнаткина В.А. Процессы и аппараты очистки сточных вод. – М.: Издательство «Дом М», 2009. – 222 с.

5. Карелин Я.А., Жуков Д.Д., Денисов М.А. Очистка производственных сточных вод. – М.: Стройиздат, 1970. – 153 с.

# ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ПОГРУЖНЫХ ВРАЩАЮЩИХСЯ БИОФИЛЬТРОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД МАЛЫХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ В СИРИИ

Сайид Марам Али, аспирант, ДГТУ; Н.С. Серпокрылов, проф., д.т.н., ДГТУ, г. Ростов-на-Дону

## Введение

В Сирии в последнее время прилагаются целенаправленные усилия по очистке сточных вод, что способствует улучшению экологического состояния и предотвращает возникновение катастроф в области здравоохранения в дополнение к значимости использования очищенной воды, особенно для орошения, поскольку большая часть территории Сирийской Арабской Республики состоит из пустынных холмов и из-за отсутствия осадков в этой стране не хватает водных ресурсов [1]. Эти усилия стали неотложными в связи с ухудшением экологической ситуации в стране, поскольку результаты экологической оценки качества основных речных бассейнов в Сирии, проведенной Японским агентством международного сотрудничества (JICA), свидетельствует о значительном загрязнении поверхностных и подземных вод в результате неочищенных бытовых сточных вод или недостаточно очищенной сточной воды, коммерческих сточных вод предприятий, и также утечки промышленных сточных вод от некоторых видов деятельности, таких как оливковые прессы, мясоперерабатывающие заводы, бумажные фабрики, кожевенные заводы. Эти сточные воды характеризуются высокой концентрацией органических загрязнений и соединений азота [2], что требует повышения эффективности очистных сооружений и интенсификации процесса биологической очистки.

Хотя канализационные сети были построены во многих городах и поселках, всегда существовал значительный дефицит в количестве очистных сооружений, особенно в малых населенных пунктах [3], которые чаще всего страдают от проблем, наиболее важными из которых являются:

1. Применение централизованных очистных сооружений для очистки сточных вод, что приводит к строительству длинных канализационных линий и, как следствие, к увеличению финансовых затрат в дополнение к изменению состава сточных вод в результате их транспортировки на большие расстояния.
2. Недостаток квалифицированных кадров по эксплуатации оборудования очистных сооружений.
3. Высокие концентрации загрязнений, большие колебания расходов сточных вод и частые перебои в подаче электроэнергии.
4. Неудачный выбор метода очистки, поскольку статистика показывает, что применение метода очистки вод с активным илом с продленной аэрацией составляет 98% без учета других методов, которые наиболее со-



ответствуют особенностям Сирии. Результаты оценки эффективности очистных сооружений, работающих таким образом, показывают следующие недостатки:

- Этот метод не является гибким с точки зрения приспособления к большим колебаниям концентраций загрязняющих веществ и расходов сточных вод, особенно из-за чрезвычайных условий в стране, в дополнение к его несовместимости с любыми будущими изменениями в законодательстве.

- Огромное потребление электроэнергии и высокие затраты на техническое обслуживание насосов ила и аэрационного оборудования.

- Плохое управление технологическим процессом из-за недостатка квалифицированных кадров.

- Большие земельные площади, необходимые для строительства станции, поскольку объем аэротенков в 3-6 раз больше, чем обычная система активного ила.

- Количество избыточного ила относительно велико, и нет четкой стратегии для его утилизации [4, 5, 6].

После многих лет проблем, связанных с выбором метода очистки сточных вод, а также проектированием и эксплуатацией очистных сооружений, Министерство водных ресурсов разработало справочное руководство по методологии изучения и выбора технологии очистки сточных вод, в которое включены методы очистки сточных вод, соответствующие условиям Сирии, подчеркивая важность увеличения зависимости от наших специфических условий, местного производства и доступных материалов. Одним из приоритетных методов очистки сточных вод малых населенных пунктах согласно справочному руководству считаются погружные вращающиеся биофильтры (далее ПВБ), благодаря следующим преимуществам:

1. Относительно малые занимаемые площади и простота в строительстве и эксплуатации.

2. Устойчивость к колебаниям загрязнений и токсическим нагрузкам.

3. Компактность погружного биофильтра и возможность промышленного изготовления ротора для такого биофильтра, а также всего сооружения в промышленных условиях.

4. По сравнению с методом активного ила затраты электроэнергии в 3-5 раз ниже, а также объем избыточной биопленки из вторичного отстойника в 5-10 раз меньше.

5. Возможность применения этого метода в качестве центрального или децентрализованного очистного сооружения, что позволяет снизить затраты на строительство протяженных канализационных линий и потребность в больших земельных площадях [1].

Однако, поскольку метод ПВБ ранее не применялся для очистки городских сточных вод в малых населенных пунктах в Сирии, актуально исследование его характеристик и разработка способов улучшения их показателей.

## Современное состояние применения ПВБ для очистки сточных вод

Концепция погружных вращающихся биофильтров появилась в Германии в 20-х годах XX века, где они получили название как «вращающаяся аэробная масса», закрепленная на загрузке-поддержке [7]. В России была выдана привилегия на способ биологического очищения воды, отличающейся тем, что в бассейне с очищаемой водой поочередно погружаются и поднимаются для контакта с воздухом железный каркас с натянутыми в нем проволоками, на которые насажены пластины из пробки, ваты или кусков ткани, или тела из легкого материала [8]. Однако, первое сооружение было зарегистрировано в США и запатентовано в 1961 году, затем оно постоянно совершенствовалось до настоящего времени.

Метод ПВБ применяется в разных областях, он обычно используется для вторичной биологической очистки сточных вод не только для небольших объектов, таких как малые населенные пункты, дома отдыха, коттеджи и отдельно стоящие промышленные предприятия, а также для обработки потоков до нескольких миллионов литров в сутки [9]. Например, в Китае ПВБ использовались в качестве экономичной, эффективной, стабильной и мало потребляемой в электроэнергию технологии для преодоления проблемы очистки сточных вод в сельской местности [10]; в Канаде система третичной очистки, используемая ПВБ, содержит 8 ступеней, успешно применилась для нитрификации аммиака, содержащегося городских сточных водах [11].

Данный метод не был широко использован в практике РФ, однако он успешно применен для очистки бытовых сточных вод небольших населенных пунктов и предприятиях на действующих очистных сооружениях, расположенных в поселках Солнечная Поляна и Восточный. Соответственно, в Ставропольском и Красноярском краях, в Самарской области [12] и логистическом центре «Логопарк Дон» в Ростовской области [13].

В децентрализованных системах водоотведения стран Средиземноморского бассейна, страдающих от дефицита воды, ПВБ использовались в качестве инновационной технологии для очистки серых вод [14]. Метод успешно использовался для обработки сточных вод различных отраслей промышленности таких как, нефтесодержащих сточных вод [15] и сыворотки, получаемой в процессе производства сыра [16]. Благодаря простой конструкции системы ПВБ, в последние годы появились инновационные применения, например, в Польше ПВБ новой конструкции были применены для одновременной утилизации и очистки сточных вод в сельской местности [17].

Основные конструктивные элементы ПВБ: резервуар биофильтра, ротор с загрузкой, закрепленный на горизонтальном валу, механический двигатель или пневматический привод для вращения вала, лотки для распределения поступающей и сбора обработанной сточной воды. Они обычно работают в серии нескольких ступеней в зависимости от степени необходимой очистки [1]. Непрерывное вращение вала приводит к формированию биопленки на всей площади загрузочного материала, которая метаболизирует органические вещества, содержащиеся в сточных водах.

Со времени изобретения ПВБ произошли значительные улучшения в типах загрузочного материала и конфигурации оборудования. В настоящее время во всем мире работает множество установок и доступно несколько различных типов ПВБ в зависимости от конкретных требований. По типу пространственной конструкции загрузки ПВБ разделяются на: дисковые; барабанные; трубчатые и роторные, однако наиболее практически применяемым типом является дисковые и барабанные [7]. Диски могут иметь плоскую или гофрированную поверхность, и также могут быть изготовлены из сегментов, установленных на валу с помощью решетчатой конструкции [18], а барабан представляет собой цилиндрический каркас, который обтягивают сеткой с нагружаемой поверхностью. Внутренняя полость барабана разделена перфорированными перегородками на шесть – восемь секторов. Секции заполнены на 60 – 90% по объёму загрузочным материалом [19].

Хотя ПВБ имеют существенные преимущества, они также не лишены недостатков, таких как: механические отказы (наиболее распространенными являются сбой в приводе вала и в загрузке) и достаточно низкая концентрация растворенного кислорода в сточной воде [7], поскольку перенос кислорода происходит в основном только на стадии вращения фильтра в воздухе и осуществляется тремя способами: при абсорбции кислорода воздуха пленкой жидкости, удерживаемой на поверхности загрузки; путем прямого переноса кислорода в жидкость, находящуюся в резервуаре; при потреблении кислорода биопленкой в момент ее контакта с атмосферой [1]. Это требует разработки инновационных способов для увеличения скорости массопереноса и содержания кислорода, что отражается положительно на интенсификации процесса биологической очистки и удаления загрязнений.

Анализ литературных источников показывает, что наиболее важными технологическими факторами, влияющими на окислительную способность ПВБ, являются: скорость вращения; процент погружения; органическая и гидравлическая нагрузка; время пребывания; число ступеней; тип загрузки. Обычно увеличение скорости вращения увеличивает концентрацию растворенного кислорода, однако увеличение скорости вращения приводит к увеличению потребляемой электроэнергии, что может быть неэкономичным [20]. Погружение свыше 50% приведет к уменьшению скорости переноса кислорода в системе, поэтому, если ПВБ используется для аэробной очистки сточных вод, необходимо использовать дополнительные аэрационные устройства для обеспечения кислорода и вращения, что также считается неэкономичным [21]. Производительность ПВБ исторически коррелировала с гидравлической нагрузкой, поскольку увеличение гидравлической нагрузки уменьшает время пребывания жидкости в системе и приводит к снижению эффективности удаления загрязнений. Имеющиеся данные показывают, что с увеличением органической загрузки, эффективность удаления загрязнений снижается. Снижение эффективности может указывать на ограничение растворенного кислорода [20].

Системы ПВБ значительно эволюционировали от оригинального типа нескольких вращающихся дисков, поскольку в настоящее время существу-

ет множество вариантов, начиная от простых плоских дисков до гофрирования или ячеистых сеток. Однако единственная форма, небольшая удельная площадь поверхности и короткий срок службы ограничивают ее дальнейшее применение [22]. Результаты исследований показывают, что ПВБ типа барабана с мобильной загрузкой были успешно использованы в качестве заменителей дисков. Такие загрузки обеспечивают большую площадь для прикрепления биопленки в пределах того же размера реактора RBC, способствуя более высокой эффективности массообмена из-за повышенной турбулентности. Кроме того, они имеют низкое энергопотребление, а стоимость изготовления почти на треть меньше, чем у дисков [20]. Губка также использовалась в качестве загрузочного материала либо путем прикрепления ее к обычным дискам, либо в качестве мобильных материалов, заполняющих барабан, но чрезмерный рост биомассы приводит к закупорке пор переноса кислорода, что отрицательно влияет на окислительной способности [23, 22]. С другой стороны, многие полимерные материалы, такие как кольца и цилиндрические пластмассовые элементы разных размеров, использовались в качестве наполнителей барабанов из-за их доступности на рынке и простоты изготовления.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что ПВБ типа барабан являются более эффективными и экономичными по сравнению с обычными дисками. Однако хотя использование ПВБ типа барабана с мобильными загрузочными материалами не является новым, лишь немногие производители используют его в коммерческих целях в больших масштабах, как с обычными дисками.

Поскольку большинство современных ПВБ типа барабан имеют конструктивные факторы, которые отрицательно влияют на скорость переноса кислорода, включая относительно большую длину барабана и прямоугольные стены внутри него, которые препятствуют движению загрузочного материала и равномерному переносу кислорода во всех точках внутри барабана. Кроме того, процесс массообмена между сточными водами и загрузкой происходит только во время вращения барабана внутри резервуара, что снижает интенсивность процесса очистки, тогда как сточные воды внутри резервуара часто аэрируются только посредством контакта с кислородом воздуха, что также снижает окислительную способность. Что касается используемых полимерных материалов, большинство из них имеют относительно низкую площадь поверхности в диапазоне от 150 до 220 м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>, поэтому существует острая необходимость использовать альтернативы с большей площадью поверхности для интенсификации процесса биологической очистки и уменьшить количество ступеней, необходимых для достижения требуемой эффективности обработки.

## **Выводы**

Экологический и экономический анализ показывает что, погружные вращающиеся биофильтры являются оптимальным вариантом для очистки

сточных вод малых населенных пунктов в Сирии благодаря своей простоте в эксплуатации и относительно низкой стоимости строительства, а также высокой эффективности очистки хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод и удаления многих типов загрязняющих веществ, наиболее важными из которых являются органические загрязнения и соединения азота. Однако изучение наиболее важных технологических и конструктивных факторов, влияющих на эффективность ПВБ, показывает актуальность разработки и внедрения инновационных конструкторских решений для увеличения скорости массообмена и окислительной способности этих фильтров, что положительно отражается на эффективности очистки и качестве воды.

#### Библиографический список

1. Сайид Марам Али, Серпокрьлов Н. С. Анализ практики использования вращающихся биофильтров в очистке сточных вод применительно к условиям Сирии // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань: ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2019. № 4 (30). С. 100-104.

2. Японское агентство международного сотрудничества (JICA). Изучить развитие систем канализации в Сирийской Арабской Республике. Министерство строительства и жилищно-коммунального, Сирии, 2008. 86 с.

3. Сайид Марам Али. Особенности очистки сточных вод в Сирии // Материалы IX международной научно-практической конференции «технологии оистки воды», г. Ростов на Дону, 2016 г. – С. 240-243.

4. Сайид Марам Али. Оценка эффективности некоторых систем канализации в провинции Латакия: Магистерская диссертация. Латакия, 2014. 165 с.

5. Сайид Марам Али. Перспективы применения погружных вращающихся биофильтров для очистки сточных вод малых населенных пунктов в Сирии // Наука и инновации современные концепции: конф. – Москва, 2019. – С. 109-114.

6. Сайид Марам Али. Очистка сточных вод малых населенных пунктов в Сирии методом погружных вращающихся биофильтров// Научные разработки: евразийский регион: конф. – Москва, 2019. – С. 194-199.

7. Сайид Марам Али. Разработка фото-вращающегося биофильтра для повышения эффективности очистки в перекрытых узлах очистных сооружений сточных вод// Точная наука. - 2018. - №30. - С. 5-11.

8. Яковлев С.В. Биологические фильтры / СВ. Яковлев, Ю.В. Воронов. - 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1982. – 120 с.

9. Сайид Марам Али, Серпокрьлов Н. С. Основные характеристики и классификации погружных вращающихся биофильтров примененных для очистки сточных вод // European science of the future: конф. – Смоленск, 2019. – С. 60-64.

10. Han Y. New Integrated Self-Refluxing Rotating Biological Contactor for ruralsewage treatment / Ma J. Xiao B. Huo X. and Guo X. // Journal of Cleaner Production. - 2019. - № 217. - Pp. 324-334.

11. Sauder L. A. Low-ammonia niche of ammonia-oxidizing archaea in rotating biological contactors of a municipal wastewater treatment plant / Peterse F. Schouten S. and Neufeld J. D. // *Environmental Microbiology*. - 2012. - № 14. - Pp. 2589-2600.

12. Шувалов Р.М. Очистка бытовых сточных вод малых населенных пунктов на коммунальных очистных сооружениях с применением дисковых биофильтров// дис. ... канд. техн. наук. – Самара, 2010. – 213 с.

13. Красильников Е.А. Опыт эксплуатации модернизированных очистных сооружений сточных вод логистического центра «логопарк дон»// *Технологии Очистки Воды «Техновод-2017»* / Макаров В.Л. Серпокрылов Н.С. Саид Марам // X-я Юбил. межд. научн.-прак. конф. – Астрахань, 2017. – С. 209-214.

14. Abdel-Kader A. M. Studying the efficiency of grey water treatment by using rotating biological contactors system // *Journal of King Saud University – Engineering Sciences*. 2013. № 25. Pp. 89-95.

15. Safa M. Biodegradability of oily wastewater using rotating biological contactor combined with an external membrane / Alemzadeh I. and Vossoughi M. // *Journal of Environmental Health Science & Engineering*. - 2014. - № 12. - Pp. 117-122.

16. Ebrahimi A. Optimization of Whey Treatment in Rotating Biological Contactor: Application of Taguchi Method / Najafpour G. D. Anazadeh M. and Ghavami M. // *Iranian Journal of Energy and Environment*. - 2018. - № 9. - Pp. 146-152.

17. Szulżyk-Cieplak J. Study on the Influence of Selected Technological Parameters of a Rotating Biological Contactor on the Degree of Liquid Aeration / Tarnogórska A. and Lenik Z. // *Journal of Ecological Engineering*. - 2018. - № 19. - Pp. 247-253.

18. ATV-DVWK-A 281E. German Rules and Standards: Dimensioning of Trickling filters and rotating biological contactors. German Association for Water, Wastewater and Waste. 2001. 25 P.

19. Шувалов Р.М. Результаты сравнения технологических показателей при выборе типа биореактора для очистки сточных вод малых населенных пунктов// *Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура*. - 2011. - № 2. - С. 88-96.

20. Cortez S. Rotating biological contactors: a review on main factors affecting performance / Teixeira P. Oliveira R. and Mota M. // *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*. - № 7. - Pp. 155-172.

21. Rodgers M. Moving-medium biofilm reactors / Zhan XM. // *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*. - 2003. - № 2. - Pp 213-224.

22. Li N. Oxygen mass transfer and post-denitrification in a modified rotating drum biological contactor / Zeng W, Yang Y, Wang B, Li Z, Peng Y. // *Biochemical Engineering Journal*. 2019. - № 144. - С. 48-56. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2019.01.008>.

23. Hewawasam C. Oxygen transfer dynamics and nitrification in a novel rotational sponge reactor / Matsuura N. Maharjan N. Hatamoto M. and Yamaguchi T. // *Biochemical Engineering Journal*. - 2017. - № 128. - Pp. 162-167.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА СИСТЕМЫ ПОДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДЫ Г. ТОБОЛЬСКА ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

**Р.Ш. Непаридзе**, проф., д.т.н., Генеральный директор ООО Институт «Гипроком-мунводоканал», г. Москва; **М.В. Уракин**, директор; **Н.Н. Беляев**, заместитель директора; **А.И. Соколов**, ООО «РВКН», инженер-технолог, г. Москва; **Р.Н. Ковыршина**, ведущий инженер, ПАО «СУЭНКО», г. Тюмень; **А.А. Нелюбина**, заместитель начальника производственно-технической службы по коммунальному комплексу Тобольского филиала ПАО «СУЭНКО», г. Тобольск

В течение 2017-18 гг. специалистами ООО «РВКН», при содействии сотрудников Публичного акционерного общества «Сибирско-Уральская энергетическая компания» (ПАО «СУЭНКО») была выполнена работа по техническому обследованию и гидравлическому расчету системы подачи и распределения воды (СПРВ) г. Тобольска.

Необходимость данной работы возникла в связи с предстоящим кардинальным изменением схемы питания города водой от вновь вводимого в эксплуатацию Соколовского водозаборного узла.

Подобных работ ранее на водопроводе г. Тобольска не выполнялось.

В состав этих работ входили работы по оценке технического состояния сооружений и сетей, а также создание математической модели СПРВ города и гидравлический расчет множества вариантов режима работы централизованной системы водопровода города.

В настоящее время город Тобольск является индустриальным, современным, благоустроенным городом, с богатой историей и культурой. Жилая застройка города представлена 1-12-этажными зданиями. Начинается строительство 14-этажных домов. Население города около 100 тыс. человек, в т.ч. обеспечиваемые водой от централизованной системы водоснабжения 93 тыс. чел.

Климат в Тобольске, несмотря на то, что классифицируется как холодно-умеренный, является достаточно суровым. При среднегодовой температуре воздуха  $0 \div -0,3^{\circ}\text{C}$ , абсолютный минимум достигает  $-46^{\circ}\text{C}$ , абсолютный максимум  $+38^{\circ}\text{C}$ . Глубина промерзания грунта – 1,92 м.

Эксплуатация системы водоснабжения города осуществляется в крайне неблагоприятных и сложных погодных условиях.

Начало централизованного водоснабжения Тобольска датируется 1910 г.

Источником водоснабжения города исторически служила река Иртыш.

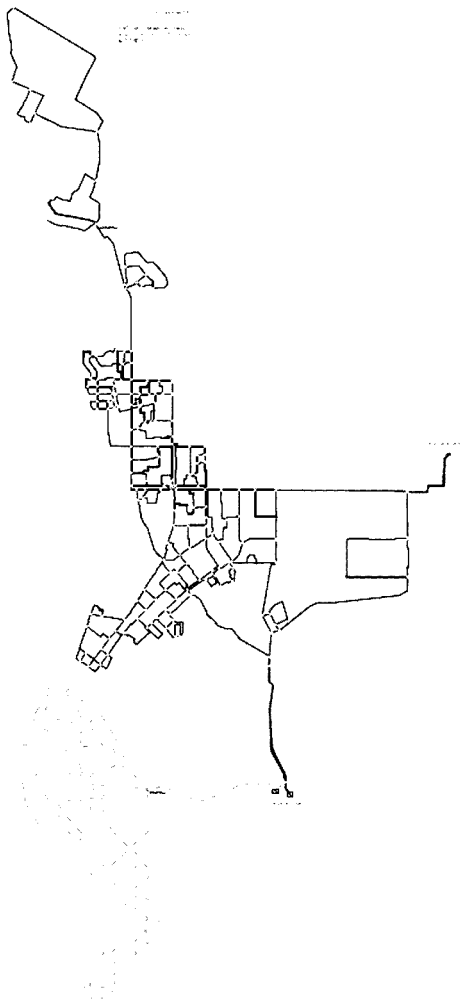
Речную воду подавали в центральную часть города в водонапорную башню, откуда она поступала в водопроводные сети города. До этого вода развозилась потребителям гужевым транспортом или добывалась из индивидуальных колодцев. В настоящее время водонапорная башня отключена из-за маленькой емкости резервуара и недостаточной ее высоты.

Заметным этапом развития системы водоснабжения города явилось строительство и ввод в эксплуатацию комплекса Жуковских водозаборных и водопроводных очистных сооружений в 1976 г.

Современная система водопровода города разделена на две параллельные, жестко изолированные друг от друга технологические зоны: Нагорную и Подгорную.

В Нагорную часть города вода подается насосной станцией 2-го подъема Жуковского водозаборного узла (ВЗУ), в Подгорную часть, расположенную на 50 м ниже, вода из двух резервуаров чистой воды (РЧВ) общей емкостью 6 тыс.м<sup>3</sup> поступает самотеком по одной нитке водовода  $D = 700-600-500-400$  мм.

Ниже на рис. 1 приводится схема водоснабжения г. Тобольска.



**Рис. 1.** Схема водоснабжения г. Тобольска



Головные сооружения Жуковского ВЗУ, загруженные в настоящее время практически на полную мощность, обеспечивают забор, очистку, хранение и подачу воды потребителям города до 23 тыс.м<sup>3</sup>/сут.

Этого вполне достаточно для покрытия потребностей города в воде, о чем свидетельствует отсутствие хронического дефицита воды.

Усредненное фактическое удельное водопотребление воды на 1 жителя составляет (при установленном 230 л/сут):

– в Нагорной части - 208÷247 л/сут на 1 чел.;

– в Подгорной части – 7,5÷160 л/сут на 1 чел.

Здесь рост усредненной нормы до 160 л/сут на 1 чел. объясняется интенсивным поливом приусадебных участков в весенне-летний период.

Техническое состояние сооружений и сетей не отличается чем либо от среднероссийского, износ находится на уровне 40÷70%, однако насосная станция 1-го подъема и несколько водоводов Д = 500 мм достигли критического, 100%-ной степени износа.

Более чем сорокалетняя практика эксплуатации Жуковского ВЗУ свидетельствует, что задача обеспечения бесперебойной работы водозабора на стадии его проектирования была не решена.

Вызывает сомнение, что в процессе проектирования и выбора места «посадки» Жуковского водозабора, были проведены обширные предпроектные изыскания и глубоко изучены гидрогеологические особенности основного источника водоснабжения города – реки Иртыш.

Даже при самых примитивных способах обследования реки, наверняка было заранее известно, что река в паводковые периоды несет большое количество взвешенных веществ, а периоду ледостава предшествует необратимое шугообразование.

В результате нескольких шуголедовых заторов, когда оголовки были забиты шугой и песчано-илистыми отложениями, была нарушена работа не только головных сооружений, но и всей централизованной системы водоснабжения Тобольска, когда вода не поступала населению даже до 2-го этажа зданий.

Эксплуатируемые в таких сложных климатических и гидрогеологических условиях Жуковские ВЗУ не в состоянии в настоящее время обеспечить надежную работу системы водопровода города.

Заложником этой негативной ситуации в настоящее время является наряду с эксплуатирующей организацией практически все население г. Тобольска.

Состояние водосети в целом удовлетворительное за счет проводимой большой работе по реконструкции и замене старых металлических труб на полиэтиленовые.

Как показывает статистика повреждений трубопроводов в Нагорной зоне на водосетях города абсолютное количество повреждений в 2016 г. составляло 64, а в 2017 г. уже меньше – 53 повреждения. Отсюда удельное количество повреждений на 1 км водосети в 2017 г. составило 0,27. Это довольно низкая величина по сравнению со среднероссийской – 0,8-1,3.

Изучение фактического режима работы системы водопровода показало следующее:

1. Насосная станция 1-го подъема подает воду на ОСВ неравномерно, с коэффициентом часовой неравномерности, достигающем довольно большой величины – 1,15. Как показывает практика пусконаладочных работ, неравномерная подача воды на водоочистные сооружения, как правило, неблагоприятно влияет на их работу.

2. Практически не используется регулирующий объем двух резервуаров чистой воды емкостью 3 тыс.м<sup>3</sup> каждый, составляющий 40% общего объема.

3. В Подгорной технологической зоне и в пониженных местах Нагорной технологической зоны избыточные напоры достигают 50÷82 м.в.ст. (0,5÷0,82 МПа).

Для построения математической модели СПРВ города были проведены технологические изыскания, которые включили в себя:

- составление расчетной схемы, ее детализация, уточнение и упрощение;
- обработка данных о водопотреблении абонентской службы с подсчетом узловых расходов;
- изучение фактических режимов работы насосных станций;
- снятие фактических характеристик насосного оборудования и построение графиков совместной работы насосов, водоводов и сети;
- подготовка и проведение манометрической съемки напоров.

Математическая модель работы системы водопровода города была создана с помощью расчетно-программного комплекса ГИС Zulu, разработанного фирмой «Политерм», г. Санкт-Петербург.

При выполнении гидравлического расчета было рассмотрено 25 вариантов:

Вариант 1. Оптимизирующий работу системы ПРВ города.

Вариант 2. Режим: зимний период, дневные часы.

Вариант 3. Режим: зимний период, ночные часы.

Вариант 4. Режим: зимний период, утренние часы.

Вариант 5. Режим: зимний период, вечерние часы.

Вариант 6. Режим: летний период с учетом поливочного сезона.

Вариант 7. Режим: осенне-зимний период с началом отопительного сезона.

Вариант 8. Режим: зимний период, 31 декабря.

Вариант 9. Одновременная работа Жуковского и Соколовского водозаборов.

Вариант 10. В работе один новый Соколовский водозабор.

Вариант 11. Модель +  $Q_{max}$  + 2 пожара (по зонам).

Вариант 12. Модель +  $Q_{max}$  + 2 пожара (по зонам) + включение Соколовского ВЗУ.

Вариант 13. Модель +  $Q_{max}$  + 2 пожара (по зонам) + в работе только один Соколовский ВЗУ.

Вариант 14. Модель + отключение водовода №1. Имитация аварии на одном из двух водоводов Жуковского ВЗУ  $D = 500$  мм.

Вариант 15. Модель + отключение водовода №2  $D = 500$  мм Жуковского ВЗУ.

Вариант 16. Модель + отключение участка на схеме т.2б – т.24  $D = 500$  мм.

Вариант 17. Модель + отключение участка на схеме т.10 – т.11  $D = 500$  мм.

Вариант 18. Модель + Вариант 13 + отключение 1-го водовода  $D = 500$  мм на участке по схеме: Сокловский ВЗУ – т.7

Вариант 19. Вариант 13 + отключение водовода  $D=500$ мм на участке по схеме т.7 – т.71.

Вариант 20. Обеспечение водой Прииртышского поселка с учетом пожарного расхода 10 л/с.

Вариант 21. Новая схема запитки поселков Менделеево, Башково и Ломаева, непосредственно от Соколовского ВЗУ.

Вариант 22. Вариант 21 + закольцовка от водосетей Иртышского поселка.

Вариант 23. Вариант 22 + перспектива 2019 г.

Вариант 24. Вариант 23 +  $Q_{\max}$  + пожары.

Вариант 25. Вариант 23 + перспектива 2028 г.

На основании выполненного гидравлического расчета установлено, что факторами, влияющими на экономические и качественные показатели работы системы ПРВ города, являются:

1. Износ водопроводных сооружений и водосетей, срок эксплуатации которых достигает 30-40-50 лет, приближается к 70%, а некоторых сооружений и трубопроводов достигает 100% износа, что подтверждается проведенным натурным обследованием, материалами проекта Генплана г. Тобольска и другими официальными документами.

В натуральных показателях это выражается в следующем:

- величина непроизводительных потерь воды составляет около 29,4%;
- Жуковские водозаборные сооружения эксплуатируются с регулярными осложнениями в работе в период весенних паводков и осенне-зимних шуголедовых явлениях, что показывает уязвимость водозаборных сооружений к внешним воздействиям;

- насосная станция 1-го подъема Жуковского ВЗУ находится в неудовлетворительном, предельном техническом состоянии со 100% износом, дальнейшая эксплуатация которой уже невозможна;

- низкая технологическая надежность системы ПРВ города, из-за этого не обеспечивается пропуск максимальных и пожарных расходов воды от Жуковского ВЗУ в отдаленные районы города;

- при достаточной суммарной емкости 6000 м<sup>3</sup> двух РЧВ на Жуковском ВЗУ в процессе эксплуатации практически не используется их регулирующий объем;

- повышенное давление, поддерживаемое на НС-2 Жуковского ВЗУ, особенно в ночное время, ведет к перерасходу эл/энергии;

- дросселирование (гашение) напора на НС-2 Жуковского ВЗБ с 74 м до 53 м увеличивает энергоемкость системы, которая, в свою очередь, из-за высокого износа не обеспечивает надежное электроснабжение водозабора;
- ограничена пропускная способность головных водоводов  $D = 500$  мм и  $D = 700-600-500-400$  мм.

## 2. Конструктивная незавершенность системы ПРВ:

- наличие большой протяженности тупиковых участков трубопроводов;

- водовод  $D = 500$  мм №3 – перемычка между Жуковским и Соколовским водозаборами находится в неудовлетворительном состоянии, пропускная способность которого в настоящее время соответствует трубопроводу  $D = 150$  мм;

- принудительно не регулируется подача воды в Подгорную зону, поступающей по самотечному водоводу  $D = 700-600-500-400$  мм, что приводит к избыточным напорам;

- существующая система ПРВ не обладает конструктивной надежностью, при выходе из строя хотя бы одного из главных водоводов №1 или №2, а также самотечного водовода  $D = 700-600-500-400$  мм Жуковского ВЗУ потребители города остаются практически без воды.

Отсюда предложенные мероприятия были выстроены поэтапно с целью постепенной реализации в плане развития системы водоснабжения города.

Рекомендации 1-го этапа включили мероприятия, позволяющие, по возможности, без привлечения значительных средств получить определенный технико-экономический эффект в настоящее время.

Мероприятия 2-го этапа предлагаются для повышения технологической и конструктивной надежности системы водопровода за счет капитального ремонта, реконструкции и нового строительства трубопроводов, обеспечивающих стабильную подачу воды потребителям и пропуск пожарных расходов воды в часы максимального водопотребления.

Мероприятия 3-го этапа учитывают перспективное развитие водоснабжения города за счет расширения системы ПРВ и подключения к ней близлежащих поселков: Менделеево, Башкова, Ломаева, Прииртышского, Соколовки, а также поэтапного ввода в работу Соколовского ВЗУ по специально разработанному графику.

Организация строгого зонирования в системе ПРВ Нагорной части города на период одновременной работы двух источников: Жуковского и Соколовского водозаборных узлов.

Прогнозируемые результаты при реализации предлагаемых мероприятий следующие:

1. Снижение непроизводительных затрат эл/энергии на насосной станции 2-го подъема Жуковского водозабора на 0,5 млн.кВт в год за счет срезки или замены рабочего колеса у установленных насосов марки Д 360-90.

2. Уменьшение потерь воды в год на 6% от средней годовой подачи воды в город, что в абсолютном исчислении составит более 400 тыс.м<sup>3</sup>/год,

за счет снижения избыточных напоров в водосетях на 10÷20 м.в.ст. (По данным НИИ КВОВ АКХ увеличение избыточного напора на вводе в здание на 10 м.в.ст. (0,1 Мпа) приводит к увеличению водопотребления в среднем на 6,5%).

3. Повышение технологической и конструктивной надежности централизованной системы водоснабжения города.

## Выводы

1. Проведенная работа, а так же многолетний опыт специалистов Росводоканалналадки показывает, что эффективная эксплуатация систем водопроводов уже невозможна без глубокого инженерного анализа с применением математического моделирования и гидравлических расчетов с помощью современных расчетно-вычислительных программных комплексов.

2. Практическое использование данных работ позволит в конечном итоге избежать неэффективного использования инвестиций в реконструкцию и расширение централизованных систем водоснабжения, о чем свидетельствует порочная практика, сложившаяся в стране с разработкой слабо технически проработанных генеральных планов населенных мест.

## Библиографический список

1. Методика оценки пропускной способности действующих водопроводных сетей и разработка мероприятий по интенсификации их работы с применением ЭВМ. М., АКХ им. К.Д. Памфилова, 1992 г.

2. Абрамов Н.Н. «Теория и методика расчета систем подачи и распределения воды». – М., СИ, 1972 г.

3. Беляев Н.Н., Казанцев Б.К., Колесов В.В. – «Реконструкция систем подачи и распределения воды». – Журнал ВСТ, №6, 1999 г.

4. Беляев Н., Диваров С., Музыченко В., Гавриленко В. и др. – «Оперативный гидравлический расчет». – Журнал «Коммунальный комплекс России» №9, 2005 г.

5. Беляев Н.Н., Диваров С.А., Сукачева И.Н. – «Практика использования программного комплекса ZULU для выполнения гидравлических расчетов систем подачи и распределения воды». – Материалы семинара конференции НИИКВоВ, РАВВ, Москва, 2005 г.

6. Рекомендации по экспериментальной оценке эффективности технических решений, направленных на сокращение расходов воды в жилых зданиях. М. АКХ им. К.Д. Памфилова, 1987 г.

## **ОСНОВЫ НОРМАТИВНО-ПРАВОВОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В СФЕРЕ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ**

**И.И. Павлинова**, проф., д.т.н., АО «МосводоканалНИИпроект», руководитель подкомитета 15 «Проектирование и строительство сетей водоснабжения и водоотведения» ТК 465 «Строительство» Министерства строительства и ЖКХ РФ, советник РААСН, г. Москва

Введенные в жизнь Федеральный закон №184 «О техническом регулировании» и новый «Градостроительный кодекс Российской Федерации» позволяют специалистам, работающим в сфере проектирования, строительства и эксплуатации инженерных систем водоснабжения и водоотведения расширить свои возможности при выполнении работ.

При введении в действие закона от 07.12.2011 № 416-ФЗ «О водоснабжении и водоотведении» в части нормативно-правовых актов были определены и разработанные следующие акты:

Постановление Правительства РФ от 13 мая 2013 г. N 406 «О государственном регулировании тарифов в сфере водоснабжения и водоотведения» (с изменениями и дополнениями);

Постановление Правительства РФ от 29.07.2013 N 642 (ред. от 12.04.2018) «Об утверждении Правил горячего водоснабжения и внесении изменения в постановление Правительства РФ от 13 февраля 2006 г. N 83»;

Постановление Правительства РФ от 29.07.2013 N 644 (ред. от 14.02.2020) «Об утверждении Правил холодного водоснабжения и водоотведения и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации» и др., которые сформировали сегодня нормативно-правовое поле в сфере водоснабжения и водоотведения.

В Федеральном законе от 30.12.2009 №384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений (в редакции от 02.07.2013 г №185-ФЗ) Правительству РФ поручено утверждать и пересматривать перечень национальных стандартов и сводов правил, в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается безопасность зданий и сооружений, а следовательно и систем водоснабжения и водоотведения.

При этом необходима разработка мероприятий не только по безопасности, но в особенности для эксплуатации инженерных систем. Требуется разработка нормативов по надежности обеспечения населения качественной питьевой водой и отвода сточных вод от любых объектов будь то жилой фонд или промышленная зона.

На сегодняшний день водное законодательство РФ опирается на основной документ – Федеральный закон от 3 июня 2006 г. № 74-ФЗ «Водный кодекс Российской Федерации (в редакции от 28 ноября 2015 г. № 357-ФЗ), в котором указано, что водные отношения регулируются Указами Президента РФ, нормативно-правовыми актами, утвержденными правительством РФ, федеральными органами исполнительной власти, а также органами местного самоуправления.

Проанализировав утвержденные нормативные документы в сфере водоснабжения и водоотведения, можно констатировать полноту реализации полномочий правительства РФ в соответствии с Федеральным законом от 7 декабря 2011 г. № 416-ФЗ «О водоснабжении и водоотведении (в редакции от 29 декабря 2015 г. № 404-ФЗ)».

Наиболее важным документом является Распоряжение Правительства РФ от 21 июня 2010 г. № 1047-р, где установлен «Перечень национальных стандартов и сводов правил», в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона № 416-ФЗ.

Ранее для написания СНИПов и ГОСТов проводились длительные исследования, анализировался опыт многих строительных и проектных организаций, однако сегодня они отменены или переведены в область добровольного применения.

В настоящее время в области строительства отменены типовые проекты, поэтому имеет место большое разнообразие технических и конструктивных решений, которые в той или иной мере вошли в новые нормативы. Однако быстрое изменение строительных технологий, появление нового оборудования, технологических решений, не изложенных в нормативах, все менее отвечают реальному уровню развития строительной отрасли и инженерных систем в частности. Они сдерживают и ограничивают применение новых, оригинальных и прогрессивных схем, конструкций, которые значительно отличаются от привычных типовых и стандартных решений.

Сегодня в Российской Федерации и Европейском союзе производится активная работа по гармонизации законодательства и технических регламентов стран ЕС. Основу при проведении указанных работ составляют своды правил и технические регламенты по актуализации их в России. Однако хотелось бы отметить, что разделение документов, особенно их частей и пунктов, на обязательные и добровольные вносит дополнительные трудности для проектных и экспертных организаций. Изменение статуса при переходе из обязательных документов в рекомендательные повлекло за собой необходимость разработки новых актуализированных нормативов. При этом специалисты получают возможность использовать для решения конкретной технической задачи все имеющиеся в отечественной и зарубежной практике новые технические решения.

В настоящее время в России принципиально изменился подход к процессу создания новой нормативной базы и контролю качества продукции. Вначале государство определяет базовые требования к продукции на основе Федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» (последняя редакция – от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ). Специалист, имея собственный опыт и соответствующую квалификацию, с учетом требований технического регламента и требований заказчика создает продукцию. Такая свобода при принятии технического решения одновременно повышает ответственность специалиста за качество его реализации. В конфликтной ситуации, согласно действующему законодательству,

специалист, утвердивший техническое решение, персонально отвечает всем своим имуществом за возможный ущерб.

АО «МосводоканалНИИпроект», многие годы занимаясь проектированием с использованием нормативно-правовой базы РФ, имеет большой опыт создания СНиПов и СП. Сотрудники участвовали в разработке СНиП 2.04.01-85 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения», СНиП II-32-74 ч. II, затем СНиП 2.04.03-85 и СП 32.13330.2012 «Канализация. Наружные сети и сооружения», СП 66.13330.2011 «Проектирование и строительство напорных сетей водоснабжения и водоотведения с применением высокопрочных труб из чугуна с шаровидным графитом». Нормативные документов, разработанные институтом, входят в «Перечень национальных стандартов и сводов правил». Из них к сфере водоснабжения и водоотведения относятся СП 30.13330.2012. «Внутренний водопровод и канализация зданий», СП 31.13330.2012. «Водоснабжение Наружные сети и сооружения», СП 32.13330.2012. «Канализация. Наружные сети и сооружения».

Опыт формирования нормативных документов показывает, что без глубокого анализа, сбора статистических данных по эксплуатируемым объектам невозможно создать полноценный всеобъемлющий нормативный документ.

Примером могут служить пересмотры и изменения, вносимые в Своды правил: 30.13330.2012., 31.13330.2012., 32.13330.2012. И до сих пор много вопросов возникает у проектировщиков. Как проектировать, какие нормы учитывать. Эти Своды правил, к сожалению, не дают ответа на них.

Хотелось бы напомнить о новых введенных сводах правил, сделанных по европейскому образцу: СП 272.1325800.2016 «Системы водоотведения городские и поселковые. Правила обследования» и СП 273.1325800.2016 «Водоснабжение и водоотведение. Правила проектирования и производства работ при восстановлении трубопроводов гибкими полимерными рукавами». Эти документы сделаны на хорошем профессиональном уровне, но, утвержденные в 2017 г. уже требуют изменений в соответствии с требованиями времени и развитием отрасли. Так для СП 272.1325800.2016 требуется расширение нормативов по обследованию не только трубопроводных систем, но и зданий и сооружений. У нас на очистных сооружениях наблюдается старение и разрушение строительных материалов. Как определить их временную пригодность и срок службы. Это необходимо указать и нормировать.

Если анализировать европейский опыт нормирования, то видно, что документы создаются по узким вопросам проектирования, эксплуатации и строительства. В российских же документах эти вопросы освещены шире в комплексе.

Если рассматриваемый вопрос нормирования затрагивает только одну составляющую процесса, то документом могут пользоваться специалисты, каждодневно его использующие в практике, но это не позволяет оценить систему в целом. Исходя из вышеизложенного, всеобъемлющий документ с большим объемом справочного материала обеспечит полноценную оценку и решение проблем комплексно.



Следует отметить, что многие годы АО «МосводоканалНИИпроект» занимается развитием научных исследований по вопросам надежности работы систем водоснабжения и водоотведения. Институтом проведены глубокие исследования по анализу водопотребления населением России. Получен результат по сокращению водопотребления, заложенному в сводах правил до 180 л/(сут·чел.), что снижает потребность в воде на 50–60%. А это влечет за собой сокращение капитальных и эксплуатационных затрат и, как следствие, изменения тарифов для населения.

Сегодня в сводах правил количество приложений, необходимых для проектирования, сокращено по сравнению со СНиПами, что существенно затрудняет расчеты, которые требуются не только проектировщикам, но и эксплуатационникам. Их разработка была основана на многолетних исследованиях ведущих научно-исследовательских институтов, но изменения, произошедшие за последние годы в технологии и эксплуатации систем водоснабжения и водоотведения, повлекли за собой необходимость корректировки этих приложений. Для этого необходимо выделение финансирования, что на сегодняшний день вызывает большие трудности. Как следствие, ответственность за расчеты и принятие решений полностью ложится на плечи производителя продукции, проектировщика, строителя.

АО «МосводоканалНИИпроект» уже несколько лет работает над созданием и включением в нормативные документы на федеральном уровне правил эксплуатации систем водоснабжения и водоотведения. Каждый водоканал имеет свои регламенты и правила по эксплуатации систем водоснабжения и водоотведения, но включают они все необходимые требования или нет, это становится известно при авариях. Поэтому базовое нормирование по эксплуатации систем водоснабжения и водоотведения на федеральном уровне жизненно необходимо. То же самое относится к обследованию систем водоснабжения и водоотведения. Утвержденный в 2017 г. СП 272.1325800.2016 «Системы водоотведения городские и поселковые. Правила обследования» базируется на европейских стандартах и охватывает узкий круг вопросов обследования канализационных коллекторов. В связи с этим необходимо развитие и создание документа по обследованию всех элементов систем водоснабжения и водоотведения: насосных станций, водозаборов, очистных сооружений и т. д. АО «МосводоканалНИИпроект» готов к проведению этой работы, имея многолетний опыт работы совместно с АО «Мосводоканал» по созданию нормативных документов.

## **Выводы**

Проведенный анализ нормативно-правовой базы в сфере водоснабжения и водоотведения показал, что на федеральном уровне этот вопрос решен, однако на региональном уровне требуется его дальнейшая глубокая проработка. Все утвержденные ключевые документы позволяют грамотно проектировать, строить и эксплуатировать системы водоснабжения и водоотведения с учетом фактора надежности, но нередко необходимы доработка, а в

некоторых случаях и переработка нормативно-правовых актов. Избежать недоработок в нормативной базе возможно лишь при тщательном анализе технических и технологических решений с привлечением широкого круга специалистов и при корректном внесении изменений в действующие документы. Проведение предварительных научных исследований, анализ масштабного многолетнего опыта проектирования, строительства и эксплуатации систем водоснабжения и водоотведения, а также европейский опыт нормирования и его использование при формировании нормативной документации позволят избежать многочисленных доработок уже существующих документов. Необходимо в дальнейшем пересмотреть перечень нормативно-технических актов, относящихся к сфере водоснабжения и водоотведения, а также расширить их список как обязательных.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ОБРАТНОГО ОСМОСА ДЛЯ ОЧИСТКИ БЫТОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД КАК АЛЬТЕРНАТИВА МЕМБРАННЫМ БИОРЕАКТОРАМ**

**А.Г. Первов**, проф., д.т.н., каф. водоснабжения и водоотведения, НИУ МГСУ;  
**К.В. Тихонов**, аспирант, НИУ МГСУ, г. Москва

Метод обратного осмоса уже доказал свою эффективность в очистке от целого ряда загрязнений, содержащихся в сточных водах, и области его применения очень быстро расширяются благодаря постоянному совершенствованию этого процесса.

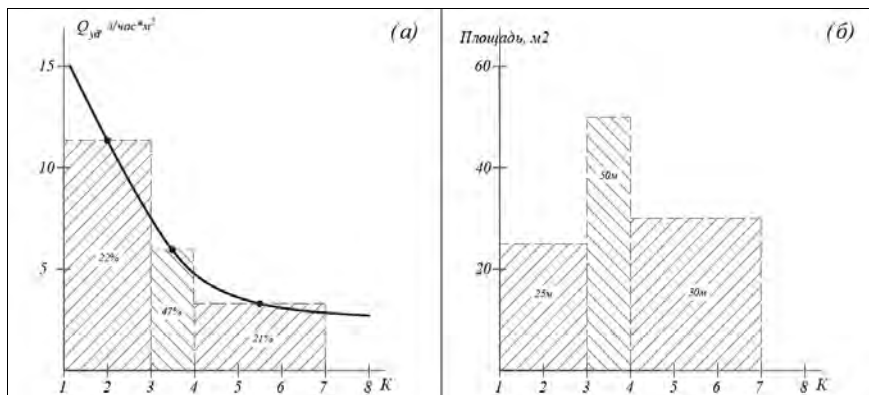
В настоящее время обратный осмос (ОО) применяется для глубокой доочистки бытовых сточных вод после традиционных сооружений биологической очистки с целью повторного использования очищенной воды в технических целях: использования в оборотных системах охлаждения, теплосетях и др. [1-2]. Изучение работы систем обратного осмоса показывает, что мембраны имеют высокую эффективность в задержании ряда органических загрязнений и могут использоваться для очистки бытовых стоков «напрямую» без биологической очистки. Таким образом, установки обратного осмоса уже составляют конкуренцию установкам биологической очистки с нитрификацией-денитрификацией, а также мембранным биореакторам (МБР). Ввиду того, что мембранное оборудование имеет высокую стоимость, нами будут представлены результаты экономических исследований, направленных на определение общих затрат.

За последние несколько лет нами был выполнен ряд исследований направленных на изучение процессов очистки сточной воды на обратноосмотических мембранах, результаты которых были опубликованы в ряде работ [3-4].

К основным результатам этих исследований относится:

- методика сокращения объемов образующегося концентрата обратноосмотических установок до величины в 0,5-1 % от расхода очищаемой воды;
- методика расчета необходимой площади мембранных элементов для достижения требуемой концентрации ионов аммония и ХПК в очищенной воде, соответствующей нормативам для сброса в водные объекты, также позволяющая произвести расчет блока сокращения расхода концентрата.

Для определения величины эксплуатационных затрат необходимо знать поверхность мембран и количество мембранных модулей в установке. Автором в [3] была предложена методика определения требуемой величины удельной поверхности мембран для сокращения расхода концентрата установки обратного осмоса до величины, не превышающей 1% общего расхода очищаемой воды. Методика основана на обработке экспериментально полученных данных: зависимостей удельной производительности мембран от кратности снижения объёма исходной обрабатываемой воды в процессе эксперимента с применением различных мембран. Пример определения площади мембранной поверхности для установки производительностью 1000 литров в час показан на рис. 1.



**Рис. 1.** Определение требуемой площади поверхности мембран для достижения требуемой величины выхода фильтрата и  $K$

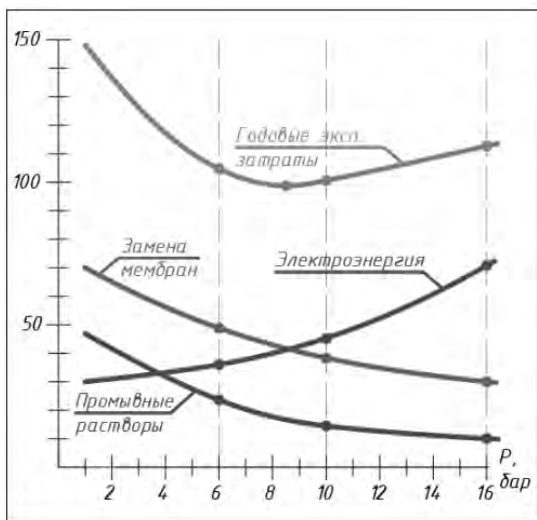
Расчет поверхности мембран, позволяет определить капитальные затраты на мембранные установки и годовые затраты на замену мембран, которая обычно осуществляется 1 раз в 5 лет. Серьезной статьёй расходов так же является расход электроэнергии. Традиционно считается, что обратный осмос – энергоёмкий процесс. Однако в наше время такое утверждение – «предрассудки». Современные мембраны низконапорного осмоса и нанофильтрации требуют давления в пределах 4 – 10 бар. С ростом величины рабочего давления растет величина удельной производительности мембраны, но при этом и растут затраты электроэнергии. На рис. 2 показаны результаты оптимизационных расчетов по определению величины рабочего давления, соответствующего минимуму эксплуатационных затрат, включающих затраты на электроэнергию, замену мембран и расхода на химические промывки.

Для полноты экономического сравнения необходимо учесть необходимость использования блока доочистки для технологий глубокой биологической очистки или самого блока МБР и блока предочистки при использовании обратноосмотических аппаратов.

Традиционно используются аппараты «погружного типа», как и в мембранных биореакторах. Стоимость таких аппаратов очень высока (порядка 50 долларов за один квадратный метр мембран) что связано со сложности их изготовления. Для сравнения, стоимость аппарата ультрафильтрации с полыми волокнами в напорном корпусе с площадью мембран 1 квадратный метр составляет менее 10 долларов. Поэтому нами было проведено исследование, позволяющее определить оптимальные величины рабочего давления и концентрации взвешенных веществ в исходной воде, соответствующие минимальным значениям эксплуатационных затрат.

Полученные результаты позволяют определять величину эксплуатационных затрат и сравнить станции очистки сточных вод разных технологий: с аэротенками, с мембранными биореакторами, с обратным осмосом и пре-

дочисткой. Основанием для таких сравнений послужили данные о высокой стоимости МБР: удельная производительность мембран составляет  $17 \text{ л/м}^2$ , а удельные затраты электроэнергии –  $3,3 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$  на  $1 \text{ м}^3$ , что выше, чем в случае применения обратного осмоса. Такие затраты определяются поддержанием очень высоких доз ила ( $8\text{-}12 \text{ г/л}$ ), при которых ведется процесс и при которых величина удельной производительности мембран имеет весьма низкое значение, вследствие высокого сопротивления накапливаемого на мембранах осадка.



**Рис. 2.** Оптимизационный расчет по определению оптимальной величины рабочего давления

В качестве примера, для сравнения вариантов были взяты КОС, построенные по типовому проекту 902-2-258, фактической производительностью  $2000 \text{ м}^3/\text{сут}$ , реальная эксплуатация которых осуществляется в Одинцовском районе Московской области. В настоящее время данные сооружения работают по схеме глубокой биологической очистки, не имеют сооружений доочистки, как и 80% сооружений подобного рода нуждаются в серьезной модернизации.

Ввиду этого руководством данного объекта было разработано техническое задание на разработку проектной документации по их реконструкции, в соответствии с которым были поставлены задачи увеличить производительность станции до  $3000 \text{ м}^3/\text{сут}$  в условиях стесненной застройки и необходимостью уменьшения СЗЗ ввиду наличия жилой застройки в радиусе 30-50 метров вокруг объекта и обеспечить на выходе качество воды, соответствующее ПДК для сброса воды в водный объект рыбохозяйственного назначения.

Основные показатели качества поступающей на очистку воды, средние показатели на выходе и целевые показатели представлены в табл. 1.

Таблица 1

### Показатели загрязнённости воды

Показатель	ед. изм.	вход	выход	норма
Взв. в-ва	мг/л	200	20	2
БПК	мг/л	180	17	3
Аммоний-ион	мг/л	30	19	0,39
Нитрит-ион	мг/л	0,6	5	0,02
Нитрат-ион	мг/л	2	140	9,1
Фосфат-ион	мг/л	20	10	0,1

Вопрос выбора технологии также осложнен показателем температуры, поскольку в зимние месяцы ее среднее значение находится в рамках значений в 6-8 °С, и процессы нитри-денитрификации практически не работают.

На рис. 3 показаны исходные габариты сооружений и их увеличение при реконструкции классическим методом.

Очевидно, что в условиях невозможности сильного расширения площади застройки, применение методов глубокой биологической очистки весьма затруднительно, поэтому обычно для подобных случаев, при необходимости увеличения мощности сооружений, используют технологию МБР, позволяющую не увеличивать (а в некоторых случаях уменьшать) размеры аэротенка и отказаться от использования вторичных отстойников. В случае применения технологии обратного осмоса, также возможно не увеличивать (или при необходимости сократить) строительные габариты сооружения. На рис. 4 показано изменение площади объекта при выборе технологии МБР и ОО.

Ориентировочно, капитальные затраты на реконструкцию блока биологической очистки по технологии МБР составят 45 млн. руб., 15 из которых составляет стоимость погружных блоков. В случае применения ОО капитальные затраты составят 30 млн. руб., при этом стоимость мембранного оборудования будет около 10 млн. руб.

Энергетические затраты сопоставимы и составят ориентировочно 3,3 кВт·ч/м<sup>3</sup> для МБР и 3 кВт·ч/м<sup>3</sup> для ОО, однако в случае применения технологии МБР для достижения целевых показателей в холодные месяцы необходимо обеспечить подогрев стока как минимум до 10-12 °С, что по самым оптимистичным расчетам увеличит удельное энергопотребление до 7 кВт·ч/м<sup>3</sup>. Таким образом суточное энергопотребление МБР составит 21 МВт/сут, против 9 МВт/сут при использовании ОО.

При применении технологии ОО сооружения становятся практически независимыми от температуры поступающей воды. Стоит отметить, что к минусам использования ОО относится образование концентрата в объеме около 30 м<sup>3</sup>/сут (что совершенно незначительно), который так же, как и обезвоженный осадок будет необходимо вывозить на дальнейшую утилизацию. Однако необходимо учитывать, что вода, прошедшая очистку на ОО, может быть повторно использована, к примеру для полива приусадебных участков, что в рассматриваемом случае весьма актуально, поскольку объект окружен дачными участками и имеет отдельную систему поливочного водопровода. Очевидно, что наиболее оптимальной является технология на основе ОО.

### Исходная компоновка



### Вариант 1



Рис. 3. Габариты исходного и проектируемого здания

## Вариант 2



## Вариант 3



Рис. 4. Варианты изменения габариты проектируемого здания.

В табл. 2 сведено общее сравнение затрат для рассматриваемых вариантов.

Таблица 2

### Сравнение затрат при реконструкции сооружений с применением МБР и доочистки методом обратного осмоса

Затраты	ед. изм.	МБР	ОО
Капитальные	млн. руб.	45	30
Эксплуатационные	млн. руб./год	32	21
Приведенные	млн. руб.	38,75	25,5

Описываемая в статье технология имеет наибольшую эффективность в случае ее применение на низкоконцентрированном стоке и дает дополнительный экономический эффект, когда сток имеет низкую температуру вследствие того, что для биологической очистки требуется его подогрев. В условия Крайнего Севера, в таких отраслях промышленности как газонефтедобыча и добыча полезных ископаемых, для очистки сточных вод обыч-



но применяют блочно-модульные станции сверхмалой производительности (20-300 м<sup>3</sup>/сут). Северные сточные воды характеризуются низкими концентрациями загрязнений, в табл. 3 представлены типовые характеристики такого стока, а температура на входе на очистные сооружения часто составляет 4-5 °С.

Таблица 3

**Усредненные характеристики сточных вод поселков  
Ямало-Ненецкого автономного округа**

Показатель	Ед. изм.	Значение
Общая минерализация	мг/л	550
Взв. в-ва	мг/л	280
БПК	мг/л	50
Аммоний-ион	мг/л	9
Нитрит-ион	мг/л	0,1
Нитрат-ион	мг/л	1,5
Фосфат-ион	мг/л	0,3

В виду стандартизированного подхода к очистке воды и в таких случаях применяется биологическая очистка. На рис. 5 приведена 3-D модель стандартной станции производительностью 50 м<sup>3</sup>/сут, состоящая из 3-х стандартных 9 метровых контейнеров. 1-й контейнер – блок механической очистки и подогрева воды, 2-й – блок биологической очистки на основе МБР, 3-й – блок обработки осадка и реагентного хозяйства. Стоимость такой станции составляет 15 млн. рублей.



**Рис. 5.** 3-D модель стандартной станции биологической очистки сточных вод производительностью 50 м<sup>3</sup>/сут.

Если рассматривать технологию ОО в качестве альтернативы для такой станции и применить ее без использования биологической очистки, «на прямую», на выходе мы получим очищенную воду высокого качества, сократим объем станции до 2 контейнеров, а капитальные затраты – до 7-8 млн. руб. Объем образующегося концентрата ввиду низкой минерализации поступающей воды легко удастся сократить до 250-350 л/сут. Столь малый объем концентрата может быть легко вывезен на большие КОС, либо сброшен в близлежащие хвостохранилища. Очевидно, что эксплуатационные затраты здесь будут складываться в основном из стоимости замены мембран и электроэнергии, и будут сопоставимы для обеих технологий.

### **Выводы**

1. Обратный осмос благодаря своей эффективности может использоваться не как метод доочистки, а как самостоятельный способ очистки сточных вод.
2. Эксплуатационные затраты установок обратного осмоса соизмеримы с затратами на эксплуатацию мембранных биореакторов.
3. Преимущество установок обратного осмоса особенно очевидно при реконструкции сооружений и увеличении их пропускной способности.
4. Для малых систем на Крайнем Севере обратный осмос не имеет себе равных.

### **Библиографический список**

1. Judd S. The MBR book, Principles and Applications of Membrane Bioreactors for Water and Wastewater Treatment, 2nd ed. Elsevier, 2010.
2. Mark Wilf. The Guidebook to membrane for wastewater reclamation. Balaban Desalination Publications, 2010, V.788.
3. Pervov A., Tikhonov K., Dabrowski W. Application of reverse osmosis to treat high ammonia concentrated reject water from sewage sludge digestion. // Desalination and water treatment. 2018. V.110. P. 1-9.
4. Pervov A., Tikhonov K., Makisha N. Application of reverse osmosis techniques to treat and reuse biologically treated wastewater. // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2018. V. 365. 062026.

## РЕКОНСТРУКЦИЯ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ КОЛЛЕКТОРОВ ПОЛИМЕРБЕТОНОМ

**О.Г. Примин**, проф., д.т.н., главный научный сотрудник АО «МосводоканалНИИ-проект», г. Москва

В настоящее время в России эксплуатируются подземные коммунальные канализационные каналы и коллектора протяженностью в сотни километров. Значительная часть из них выполнена из железобетона. Отмечается большое количество аварий на железобетонных коллекторах, трубопроводах и сооружениях, транспортирующих сточные воды, в том числе в Москве, Санкт-Петербурге, Краснодаре, Уфе, Набережных Челнах, Курске и многих других городах [1, 2, 3, 4, 5]. Аварии коллекторов нередко приводят к техногенным катастрофам и наносят значительный ущерб окружающей среде и населению [6, 7]. Результаты теледиагностики коллекторов современной аппаратурой с ультразвуковым сканированием показывают, что основной причиной разрушения коллекторов является воздействие агрессивной газовой среды, что и приводит к серьезным дефектам в подсводном пространстве (рис. 1).



**Рис. 1.** Газовая коррозия железобетонного трубопровода, обнажение арматуры

В этой связи, очевидно, что одной из наиболее актуальных проблем обеспечения надежности и экологической безопасности железобетонных канализационных коллекторов, каналов является их защита от газовой и биокоррозии. Проблемой коррозии железобетонных конструкций в сооружениях, транспортирующих сточные воды, инженеры и ученые по всему миру занимаются, начиная с 40-х годов XX века. [8, 9, 10]. Коррозию бетона индуцируют различные группы микроорганизмов, последовательно сменяющие друг друга. К параметрам оценки степени интенсивности биокоррозии относят: изменение pH среды, изменение количества ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Si}^{2+}$  [11, 12]. Для трубопроводов, проложенных в подземном пространстве, следует различать два пути коррозионного воздействия на тело трубы: с внешней стороны и с внутренней.

При воздействии транспортируемых по канализационному трубопроводу сточных вод на его внутренней поверхности происходит многостадийное бактериальное воздействие на материал трубопровода. Согласно [12] предлагается разделение всех методов борьбы с подобной коррозией на активные и пассивные. Под активными методами понимаются различные технологические мероприятия, направленные на снижение уровня агрессивности среды, а под пассивными – конструктивные изменения, позволяющие сооружению функционировать при заданном уровне агрессивности.

Исследования АО «МосводоканалНИИпроект» и МГСУ показали, что одной из перспективных и конкурирующих технологий защиты железобетонных канализационных каналов и коллекторов от газовой коррозии является реконструкция трубопроводов с использованием материала «полимербетон». Технология реконструкции заключается в облицовке внутренней поверхности каналов полимербетонными элементами. Полимербетон обладает высокой химической стойкостью к средам, концентрация которых в канализации Москвы достигает высоких величин. Полимербетон состоит из полиэфирного связующего на основе фталевых кислот и минерального наполнителя в виде кварцевых песков и щебней различного фракционного состава.

Впервые в Москве полимербетонные сегменты диаметром 400 мм и длиной 2 м были проложены с использованием микротоннелепроходческого комплекса в 1995 году. По многим характеристикам полимербетон далеко обходит обычный бетон. Превышая показатели по прочности – от четырех до шести раз, по преодолению растяжения – от пяти до десяти. А по стойкости к износу – в пятнадцать-тридцать раз, он значительно легче аналогичных элементов из бетона на цементной основе. Материал абсолютно водонепроницаемый, что обеспечивает высокую морозостойкость. Полимербетон устойчив к воздействию агрессивных сред без дополнительного покрытия.

Одним из первых объектов использования в городе Москве полимербетонных элементов была реконструкция подводящего канала к Люберецким очистным сооружениям (ЛОС). В результате проведенной комплексной технической диагностики установлена прогрессирующая газовая коррозия от газо-воздушной среды внутренней рабочей поверхности трубопровода с частичным разрушением свода, отслоение защитного слоя бетона, оголение и коррозия арматуры (рис. 2).

Технология реконструкции заключалась в монтаже внутри существующего трубопровода нового трубопровода из полимербетонных элементов, соединяющихся между собой на специальном клеевом составе, с последующей забутовкой межтрубного пространства высокотекучим раствором (рис. 3).

Для сравнительной оценки технико-экономических показателей и оценки стоимости работ по реконструкции канализационных коллекторов в качестве примера была выбрана реконструкция подводящего канала к ЛОС

на участке «К2- К4», Год постройки канала - 1994. На участке от камеры К-2 до К-4 канал имеет круглое сечение  $D_n = 5600$  мм,  $D_u = 4500$  мм. Проведенное обследование конструкций выявило сильную коррозию железобетонных и металлических конструкций камер и канала. Были рассмотрены следующие варианты реконструкции канала.



**Рис. 2.** Техническое состояние подводящего канала к ЛОС до реконструкции



**Рис. 3.** Подводящий канал к ЛОС после реконструкции

### **Вариант 1 Реконструкция канализационного канала облицовкой полимербетонными сегментами**

На участке от К-2 до К-4 реконструкция канализационного канала  $D_u = 4500$  мм выполняется устройством железобетонной рубашки всей внутренней поверхности канала с последующей облицовкой полимербетонными сегментами. Монтаж сегментов выполняется интервалами по 10 м в следующей последовательности:

- установка арматурной сетки под нижние лотковые сегменты;
- установка и закрепление нижних лотковых сегментов;
- выполнение отсечки и заполнение межтрубного пространства под нижними лотковыми сегментами цементно-песчаным раствором М-300;
- армирование остальной части канала;
- установка и закрепление боковых сегментов;
- установка и закрепление сегментов свода;
- заполнение межтрубного пространства цементно-песчаным раствором М-300.

Точное позиционирование и юстирование производят путем предварительно вмонтированных установочных винтов с использованием гидравлических домкратов, а также опор и распорок из пиломатериала.

**Вариант 2 Реконструкция канализационного канала методом «труба в трубе» – протяжка двух стеклопластиковых (НТТ «ХИМ»), Диаметр  $D_{нар} = 2\ 045,1$  мм,  $D_{вну} = 2000$  мм**

Труба «НТТ ХИМ» - изготавливается на основе специального химически стойкого связующего и превышающая по своей стойкости к агрессивным средам такие материалы, как железобетон и сталь, а по экономичности - полиэтилен, чугун и полипропилен.

**Вариант 3 Реконструкция канализационного канала методом «труба в трубе» – протяжка двух полимерных труб Корсис – плюс, Диаметр  $D_{нар} = 2\ 043$  мм,  $D_{вну} = 1800$  мм.**

Нормативная документация: ГОСТ 54475-2011 «Трубы полимерные со структурированной стенкой и фасонные части к ним для систем наружной канализации», ТУ 22.21.21-005-73011750-2017



**Рис. 4.** Реконструкция канализационного коллектора.

#### Вариант 4. Протяжка в канализационный коллектор стеклопластиковой трубы НТТ, Ду 3850

В табл. 1 приведены итоговые сравнительные технико-экономические показатели вариантов реконструкции подводящего канала к ЛОС на участке «К2- К4», канал железобетонный круглого сечения  $D_{нар} = 5600$  мм,  $D_{вну} = 4500$  мм, длина 1422,65 м.

Таблица 1

#### Итоговые сравнительные технико-экономические показатели вариантов реконструкции подводящего канала к ЛОС на участке «К2- К4»

Стоимость	Методы реконструкции			
	Вариант 1 Реконструкция канализационного канала облицовкой полимербетонными блоками	Вариант 2 Реконструкция канализационного канала методом «труба в трубе» – протяжка двух стеклопластиковых труб для хозяйственно- бытовой канализации. $D_{вну}$ 2000 мм.	Вариант 3 Реконструкция канализационного канала методом «труба в трубе»– протяжка двух полимерных труб Корсис-плюс для хоз.бытовой канализации $D_{вну}$ 1800 мм	Вариант 4 Протяжка в канализационный коллектор стеклопластиковой трубы $D_{вну}$ 3850 мм
Всего тыс.р	517 740,78	606 985,48	486 322,78	1 305 662,10

Наиболее оптимальный вариант реконструкции подводящего канала ЛОС - облицовка полимербетонными блоками (сегментами). Реконструкция канализационного канала методом «труба в трубе» протяжка двух полимерных труб Корсис -плюс  $D_{вну}$  1800 мм дешевле на 30 000 р, но не обеспечивает гидравлические параметры движения жидкости.

#### Выводы

1. Одной из перспективных технологий защиты железобетонных канализационных каналов и коллекторов от газовой и биокоррозии является реконструкция трубопроводов с использованием материала полимербетон. Полимербетон обладает высокой прочностью и химической стойкостью к средам, концентрация которых в канализации достигает высоких величин.

2. Проведенная в АО «Мосводоканал» диагностика и обследование реконструированных с использованием полимербетона канализационных коллекторов показала их высокие эксплуатационные свойства и подтвердили эффективность их применения для защиты коллекторов больших диаметров от газовой и химической коррозии.

## Библиографический список

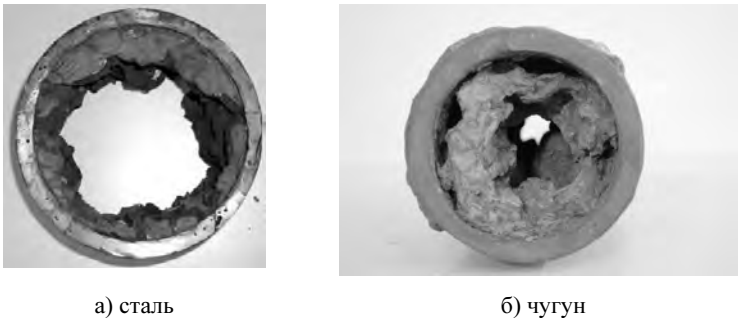
1. Храменков С.В., Примин О.Г., Орлов В.А. Реконструкция трубопроводных систем. М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2008 г. 215 с.
2. Столбихин Ю.В. Разработка методов предотвращения коррозии канализационных коллекторов и сооружений на основе совершенствования камер гашения напора. Автореферат кандидатской диссертации // ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет». -2016.-27 с.
3. Васильев, В. М. Методы антикоррозионной защиты тоннельных коллекторов и сооружений на них / В.М. Васильев, М.Н. Клементьев, Ю.В. Столбихин // Водоснабжение и санитарная техника. - 2015. - №1. - С. 58-66.
4. Васильев, В.М. Техническая эксплуатация системы канализационных тоннелей: учеб. пособие / В. М. Васильев, П. П. Бессолов, О. Н. Булгаков, М. Б. Лившиц, В.Т. Шаповалов. – СПб.: СПбГАСУ, 2002.- 59 с.
5. Zhang, L. Chemical and biological technologies for hydrogen sulphide emission control in sewer systems: A review / L. Zhang, P. De Schryver, B. De Gusseme, et al // Water Research. - 2008. - №42. - P. 1-12.
6. Richman, M. Microbial system control odors in Florida collection systems / M. Richman // Water Environ Technol. - 2015. - № 9. - P. 20-22.
7. Firer, D. Control of sulfide in sewer systems by dosage of iron salts: Comparison between theoretical and experimental results, and practical implications / D. Firer, E. Friedler, O. Lahav // Science of the environment. - 2008. - № 392. - P. 145-156.
8. Wells, P. A. Factors involved in the long term corrosion of concrete sewers (Paper 54) / P. A. Wells, R. E. Melchers // Corrosion and Prevention 2009: The Management of Infrastructure Deterioration : conference Proceedings, Coffs Harbour, Australia, Nov 2009. - Coffs Harbour, 2009. - P. 15 – 18.
9. Васильев, В.М. Повышение эффективности работы канализационных коллекторов и сооружений на них при совместном движении сточных вод и газов : дис. ... д-ра техн. наук : 05.23.04) / Васильев В.М. – СПб., 1996. - 343 с.
10. Flemming H.C. Biofilmas a particular from of microbial life in Biofouling and corrosion in industrial waster systems.1991. P. 1-9.
11. Дрозд, Г.Я. Бетонные и железобетонные канализационные коллекторы / Г.Я. Дрозд // Водоснабжение и санитарная техника. – 1988. - №2. - С. 8-10.
12. Диденко, Е.А. Влияние состава транспортируемых сточных вод на состояние канализационных трубопроводных систем / Е.А. Диденко, Я.Л. Хромченко, В.А. Светлополянский // Водоснабжение и санитарная техника. - 2002. - № 5. - С.33 – 35.



# ЗАВИСИМОСТЬ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ОТ ТОЛЩИНЫ СЛОЯ ОТЛОЖЕНИЙ НА ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ТРУБ

О.А. Продоус, проф., д.т.н., ООО «ИНКО-инжиниринг», г. Санкт-Петербург

Причиной изменения величины потерь напора в трубах из стали и серого чугуна являются отложения из продуктов коррозии и биообрастаний на их внутренней поверхности. Фрагменты отложений представлены на рис. 1 [1]. Механизм образования отложений на стенках труб хорошо изучен. Однако до настоящего времени методика оценки влияния толщины слоя отложений на остаточную продолжительность использования обросших металлических трубопроводов никем не предложена.



**Рис. 1.** Фрагменты отложений на внутренних стенках стальных (а) и чугунных (б) труб

Основной эксплуатационной характеристикой трубопроводов из любого вида материалов являются фактические потери напора на трение по длине  $i_\phi$  [2], определяемые для нижеприведенного примера трубопровода из чугунных труб по формуле профессора Ф.А. Шевелева [3], имеющей вид:

$$i_\phi = 0,00107 \frac{V_\phi^2}{(d_{вн}^\phi)^{1,3}}, \text{ при } V_\phi > 1,2 \text{ м/с} \quad (1)$$

где  $i_\phi$  – фактические потери напора на трение, м;  $V_\phi$  – фактическая средняя скорость потока, м/с;  $d_{вн}^\phi$  – фактический внутренний диаметр труб с учетом толщины слоя обрастаний, м;

Значение  $V_\phi$  определяют по формуле:

$$V_\phi = \frac{4 \cdot q}{\pi (d_{вн}^\phi)^2}, \text{ м/с}$$

где  $q$  – заданный расход,  $q = 0,300 \text{ м}^3/\text{с}$ , определяемый (измеряемый) с помощью переносного расходомера в комплекте с толщиномером [4].

Значение  $d_{\text{вн}}^{\text{ф}}$  вычисляется как разность значений между внутренним диаметром труб по сортаменту и толщиной слоя отложений, определенных толщиномером.

В табл. 1 рассчитаны значения  $i_{\text{ф}}$  в зависимости от изменяющихся в процессе эксплуатации трубопровода значений  $d_{\text{вн}}^{\text{ф}}$ , вызванных наличием отложений на внутренних стенках чугунных труб диаметром  $d_{\text{вн}}^{\text{п}} = 0,3022 \text{ м}$ .

На основе данных табл. 1 построен график зависимости  $i_{\text{ф}} = f(\Delta)$ , приведенный на рис. 2, который позволяет объективно оценить изменение характеристик гидравлического потенциала труб, определяющих значение коэффициента эффективности использования трубопровода, по которому согласно методике [4], производится оценка остаточной продолжительности использования металлических трубопроводов.

Таблица 1

Расчетный внутренний диаметр $d_{\text{вн}}^{\text{п}} = 0,3022 \text{ м}$					
Толщина слоя отложений на момент оценки, мм					
1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
Фактический внутренний диаметр $d_{\text{вн}}^{\text{ф}}$ , м					
0,3012	0,3002	0,2992	0,2982	0,2972	0,2962
Фактическая скорость потока $V_{\text{ф}}$ , м/с					
4,21	4,24	4,27	4,29	4,32	4,35
Фактические потери напора $i_{\text{ф}}$ , м/м					
0,0903	0,0921	0,0937	0,0950	0,0967	0,0985

Анализ расчетных значений характеристик труб, приведенных в табл. 1 показывает, что при росте толщины слоя отложений в 6 раз (с 1,0 мм до 6,0 мм) происходит изменение в 1,1 раза значения величины фактических потерь напора с  $i_{\text{ф}} = 0,0903 \text{ м/м}$  до  $i_{\text{ф}} = 0,0985 \text{ м/м}$ , то есть на 8,31 %.

Определим граничное значение величины  $i_{\text{ф}}$ , при котором выполняется условие  $K_{\text{эф}} \geq 0,95$  для зоны эффективного использования трубопровода [4].

Методом итерации определим толщину предельного слоя отложений  $\Delta$ , при которой значение  $K_{\text{эф}}$  превышает единицу и трубопровод работает в зоне недопустимого использования. Для этого необходимо рассчитать значения  $i_{\text{ф}}$ , соответствующие интервалу:  $K_{\text{эф}} \geq 1$ .

Установлены четыре зоны значений  $K_{\text{эф}}$  в интервале  $0 \geq K_{\text{эф}} \leq 1$  [4]:

**I-я зона:**  $K_{\text{эф}} \geq 0,95$  – **зона эффективного использования** трубопровода с минимальными энергозатратами насоса и минимальными потерями напора на преодоление сопротивлений по длине;

**II-я зона:**  $0,90 \geq K_{\text{эф}} \leq 0,95$  – зона энергозатратного использования трубопровода и насоса с повышенными потерями напора на преодоление сопротивлений;

**III-я зона:**  $K_{\text{эф}} \leq 0,90$  - зона неэффективного использования трубопровода;

**IV-я зона:**  $K_{\text{эф}} \gg 1$  – зона запредельного состояния и недопустимого использования трубопровода.

По данным табл. 1 при толщине слоя отложений  $\Delta = 1,0$  мм (0,001 м),  $\Delta = 2,0$  мм (0,002 м),  $\Delta = 3,0$  мм (0,003 м) и  $\Delta = 4,0$  мм (0,004 м) определим по формуле значение коэффициента эффективности использования трубопровода  $K_{\text{эф}}$  [4]:

$$K_{\text{эф}} = \frac{i_{\phi} \cdot (d_{\text{вн}}^{\phi})^2 \cdot V_{\phi}}{i_p \cdot (d_{\text{вн}}^p)^2 \cdot V_p}$$

где  $i_{\phi}$ , и  $V_{\phi}$  – фактические значения характеристик гидравлического потенциала трубопровода на момент прогнозирования;  $i_p$ , и  $V_p$  – проектные (расчетные) значения характеристик гидравлического потенциала трубопровода на момент его запуска в эксплуатацию.

$$K_{\text{эф}}^{1,0} = \frac{0,0903 \cdot (0,3012)^2 \cdot 4,21}{0,0886 \cdot (0,3022)^2 \cdot 4,18} = \frac{0,03449}{0,03382} = 1,02 > 1 \text{ на } 2,0 \%$$

$$K_{\text{эф}}^{2,0} = \frac{0,0921 \cdot (0,3002)^2 \cdot 4,24}{0,0886 \cdot (0,3022)^2 \cdot 4,18} = \frac{0,03519}{0,03382} = 1,04 > 1 \text{ на } 4,0 \%$$

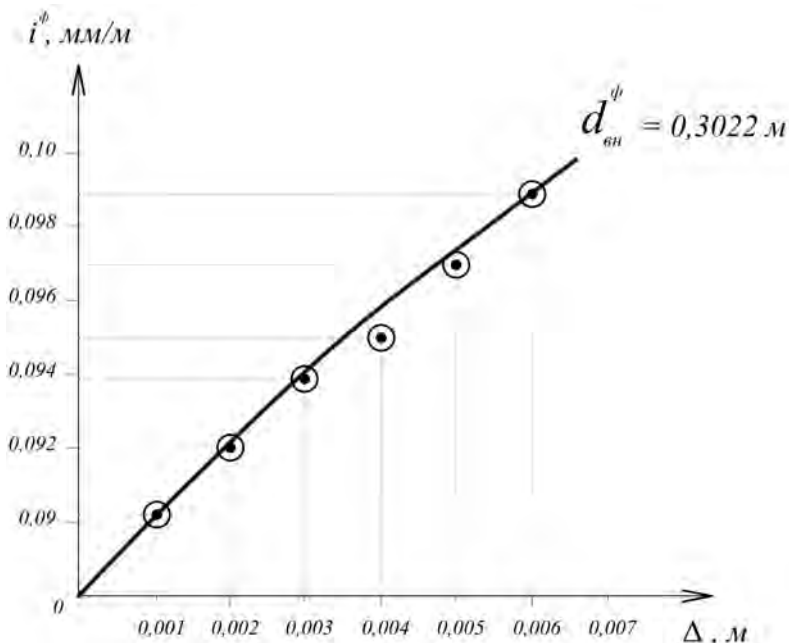
$$K_{\text{эф}}^{3,0} = \frac{0,0937 \cdot (0,2992)^2 \cdot 4,27}{0,0886 \cdot (0,3022)^2 \cdot 4,18} = \frac{0,03582}{0,03382} = 1,06 > 1 \text{ на } 6,0 \%$$

$$K_{\text{эф}}^{4,0} = \frac{0,0950 \cdot (0,2982)^2 \cdot 4,29}{0,0886 \cdot (0,3022)^2 \cdot 4,18} = \frac{0,03624}{0,03382} = 1,07 > 1 \text{ на } 7,0 \%$$

Каждое дискретное изменение толщины слоя отложений на 1 мм (0,001 м) дает изменение значения  $K_{\text{эф}}$  от 1 до 2,0 %. То есть при толщине  $\Delta=4,0$  мм (0,004 м) значение  $K_{\text{эф}}$  изменится на 7 %, что выводит трубопровод в зону с запредельным состоянием, при котором его дальнейшее использование недопустимо.

Поэтому только гидравлическая модель оценки продолжительности использования трубопровода позволяет объективно оценить изменение характеристик гидравлического потенциала труб, определяющих значение коэффициента эффективности использования трубопровода, по которому, согласно методике [4], производится оценка остаточной продолжительности использования металлических трубопроводов.

По данным табл. 1 на рис. 2 представлен график зависимости  $i_{\phi}=f(\Delta)$ , показывающий, что чем меньше толщина слоя отложений  $\Delta$ , тем меньше значение фактических потерь напора  $i_{\phi}$  в трубопроводе. И наоборот, чем больше толщина слоя отложений, уменьшающих внутреннее сечение труб, тем больше величина фактических потерь напора, за счет возросших сопротивлений.



**Рис. 2.** График зависимости  $i_{\phi}=f(\Delta)$

Таким образом, проведенный анализ характеристик гидравлического потенциала труб позволяет сделать выводы, касающиеся оценки периода остаточной продолжительности использования металлических трубопроводов, для чего необходимо:

- периодически (один раз в год) контролировать в процессе эксплуатации трубопроводов толщину слоя отложений на внутренних стенках труб с помощью переносных расходомеров в комплекте с толщиномером [5];

- согласно положений экспресс-методики оценки продолжительности использования металлических трубопроводов [4] производить расчет фактических потерь напора  $i_{\text{ф}}$ . По величине  $i_{\text{ф}}$  определять значение коэффициента эффективности (зоны) использования трубопровода  $K_{\text{эф}}$ . Использовать значение  $K_{\text{эф}}$  для последующего определения (оценки) продолжительности использования трубопровода;

- предельная толщина слоя отложений на внутренних стенках металлических труб зависит от величины фактических потерь напора в трубопроводе конкретного диаметра по сортаменту труб и должна определяться для каждого диаметра труб отдельно. Для этого потребуются проведение гидравлических расчетов, по результатам которых могут быть составлены специальные таблицы-рекомендации с указанием сроков остаточной продолжительности использования металлических труб, в зависимости от толщины слоя отложений на их внутренней поверхности.

### Библиографический список

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

2. Продоус О.А., Мурлин А.А., Иващенко В.В. Системный подход при замене изношенных трубопроводов водоснабжение и водоотведения. // Журнал «Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение». 2018, № 11(131). С. 68–72.

3. Шевелев Ф.А., Шевелев А.Ф. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб. Справочное пособие. // Издательский Дом «Бастет». М., 2014. – 382 с.

4. Продоус О.А. Экспресс-прогнозирование продолжительности использования металлических трубопроводов в инженерных системах водоснабжения и водоотведения. // Журнал «АКВА-ТЕРМ», 2020, № 2(114).

5. Ватин Н.И. Учет влияния отложений на стенке трубы на показания традиционного ультразвукового расходомера [Электронный ресурс] // Н.И. Ватин, А.Г. Куркин. – Электрон. текстовые дан. (1 файл: 211 KB). – СПб., 2001.– Свободный доступ из сети Интернет (чтение, печать, копирование). – Adobe Acrobat Reader 5,0. // <URL:http://elib.spbstu.ru/dl/016.pdf>.

## БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА МИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ХОЗЯЙСТВЕННО-БЫТОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Д.С. Радцевич, генеральный директор ООО «ВодЭкоФильтр»; С.Н. Радцевич, директор ТОО «ВодЭкоФильтр»; Н.Б. Марков, к.т.н., главный технолог ТОО «Вод-ЭкоФильтр», г. Санкт-Петербург

Первоочередной задачей защиты окружающей среды является очистка хозяйственно-бытовых сточных вод их перед сбросом в открытые водоемы, либо их очистка до показателей, удовлетворяющих требованиям на повторное использование в технологическом процессе. Обеспечить возможность повторного использования очищенных хозяйственно-бытовых сточных вод позволяет внедрение локальных установок водоочистки, эффективность которых возможна лишь в том случае, если используемая технология учитывает характер и свойства поступающих сточных вод, а также режим их поступления.

В настоящей работе рассматривается подход к решению задачи создания водооборотной системы с использованием современных технологических решений биологической очистки минерализованных хозяйственно-бытовых сточных вод.

Известно, для получения очищенной и деминерализованной хозяйственно-бытовой сточной воды, пригодной для повторного использования, требуется сочетание нескольких стадий ее обработки и очистки. В настоящее время все большее применение в практике очистки сточных вод находит мембранный метод: ультра- и нанофильтрация, обратный осмос, который является наиболее эффективным при реализации замкнутых оборотных циклов, при этом:

- осуществляется возврат в рецикл до 95% деминерализованных вод;
- степень очистки воды от солей достигает 95-99%;
- установки не требуют больших производственных площадей ввиду их относительно небольших габаритных размеров;
- процесс управления установками полностью автоматизирован, что исключает влияние человеческого фактора на технологический процесс;
- возможно удаленное управление установками.

Одним из условий эффективной и длительной работы обратноосмотических мембран является тщательная подготовка очищенной сточной воды перед подачей её на обессоливание. Примером разработки комплексной технологической схемы очистки минерализованных хозяйственно-бытовых сточных вод производительностью 6000 м<sup>3</sup>/сутки служит проект комплекса городских очистных сооружений города Аксай, разработанный ТОО «Вод-ЭкоФильтр» в городе Уральск (Республика Казахстан). Показатели качества исходной и очищенной сточной воды указаны в табл. 1.

Очистка хозяйственно-бытовой воды указанного качества проблематична ввиду высоких концентраций нефтепродуктов, фосфатов, железа и особенно ввиду общей минерализации и высокой концентрации хлоридов.

Согласно «Методических рекомендаций...» для осуществления биологической очистки сточных вод возможно принять загрязнители следующих концентраций (в мг/л): железо-5; фосфаты-20; нефтепродукты-15; жиры-50; СПАВ-20; хлориды-350. Отметим, что в приведенных стоках (табл. 1) также могут присутствовать и загрязнения, вообще не задерживаемые биологическими очистными сооружениями.

Таблица 1

Показатели	Ед. изм.	Значение показателей	
		Исходная	Очищенная
рН		7,5-8,9	6,5-8,5
БПК <sub>5</sub>	мг/л	506-588	3,0
Взвешенные вещества	мг/л	140-540	3,0
Нефтепродукты	мг/л	26,8-49,9	0,05
Железо общее	мг/л	2,04-6,2	0,3
АПАВ	мг/л	1,3-8,0	0,1
Азот аммонийный	мг/л	51,4-244	1,5
Фосфаты (по фосфору)	мг/л	5,24-27,9	0,2
Хлориды	мг/л	505-2988	350
Сухой остаток	мг/л	1876-11500	-
Минерализация общая	мг/л	1972-13323	-
Жесткость общая	ммоль/л	4,5-12	-

Для обработки указанных сточных вод ранее в г. Аксай РК были установлены классические сооружения биологической очистки (аэротенки+вторичные отстойники+доочистка), которые показали свою несостоятельность ввиду следующего:

- активный ил не формируется до требуемых концентраций ввиду ингибирования загрязняющими веществами высоких концентраций, что приводит к периодическому лизису микроорганизмов биомассы;
- биологические процессы в аэротенке протекают медленно и в нестабильном режиме, аэрация иловой смеси неэффективна при высокой минерализации стоков. Активный ил аэротенков подвержен вспуханию и выносу из вторичных отстойников с ухудшением качества очищенной воды;
- необходима доочистка, которая затруднена быстрым обрастанием фильтрующей загрузки, что приводит к снижению производительности и проскокам загрязнений;
- площадь аэротенков очистных сооружений не соответствует требуемым параметрам технологического процесса;
- необходимо постоянное присутствие грамотного персонала очистных сооружений, поскольку полностью автоматизировать технологический процесс не представляется возможным.

От этих недостатков свободны мембранные биореакторы (МБР-технология), где процесс биологической очистки сточных вод происходит в активном гидродинамическом режиме при высокой концентрации активного ила. Предварительно очищенная от грубых механических примесей сточная вода поступает в аэротенк с активным илом, который циркулирует через ультрафильтрационный модуль, служащий для отделения активного ила от пермеата, очистки его от взвешенных и коллоидных веществ, а также бактерий и большинства вирусов. Применение мембран позволяет повысить концентрацию активного ила до высоких значений по сравнению с классическим аэротенком, поэтому размеры мембранного биореактора существенно меньше. Аэрирование иловой смеси в МБР-реакторах осуществляется также, как и в обычных аэротенках-преимущественно с использованием мелкопузырчатых аэраторов. Кроме того, высококонцентрированный активный ил способствует глубокой очистке сточных вод от большинства загрязнителей и обладает высокой устойчивостью к воздействию ингибиторов, в том числе-хлоридов. Наличие в сточной воде высоких концентраций солей снижает растворимость кислорода в иловой смеси, что ограничивает доступ кислорода к аэробам и может привести к низкой скорости роста бактерий-нитрификаторов, входящих в состав активного ила, или их гибели. Действие солей на микроорганизмы возможно объяснить следующим образом: соли являются электролитами, которые непосредственно участвуют в обмене анионов и катионов в водной среде. Электролиты влияют на проницаемость поверхностного слоя протоплазмы микробов, разрыхляя или уплотняя его. Вид солей, их растворимость и прочие свойства имеют непосредственное значение для процесса очистки сточных вод.

При биологической очистке минерализованных сточных вод важную роль играет процесс адаптации различных групп (аэробов и анаэробов, термофилов и мезофилов, галофилов и галофобов и пр.) микроорганизмов активного ила к повышенному содержанию солей. Разделение бактерий на указанные группы связано с их адаптацией к условиям внешней среды, ввиду чего та или иная группа бактерий преобладает, а остальные являются спутниками основной группы. Адаптация различных видов и родов бактерий происходит по-разному, а с повышением степени минерализации иловой смеси ухудшается флокуляция активного ила, повышается концентрация взвешенных веществ в очищенной сточной воде, увеличивается БПК очищаемой сточной воды.

Тем не менее, ученое сообщество не имеет единого мнения о влиянии высоких концентраций минеральных солей на биологическую очистку. Некоторые исследователи указывают, что содержание солей в количестве 7-8 г/л является предельным, выше которого нарушается очистка активным илом [1]. Другие исследователи, при изучении влияния ионов хлора на производительность активного ила, выяснили, что содержание ионов хлора в очищаемой жидкости менее 8 г/л не оказывает выраженного влияния на эффективность окислительной способности активного ила. Сочетание высоких концентраций активного ила с низкими нагрузками на очистные



сооружения в значительной мере выравнивает влияние высоких концентраций ионов хлора. Поэтому для очистки сточных вод, характеризующихся высокой минерализацией, рекомендуется устанавливать вторичные отстойники, рассчитанные на нагрузку вдвое меньшую, чем отстойники, работающие в классическом очистном сооружении. С другой стороны отмечено, что длительное увеличение концентрации иона хлора подавляет дыхание бактерий, ухудшает флокуляцию ила, увеличивает количество грубодисперсных примесей в очищенной жидкости и примерно на 10% снижает очистку по БПК, на такую же величину снижается нитрификация по сравнению с контрольным опытом [2]. В этом случае меняется и внешний вид зооглей: водный раствор хлорида натрия концентрацией 3 г/л вызывает появление хлопьев активного ила, имеющих пальцеобразные выросты, а при повышении концентрации до 15 г/л появляются плотные, гладкие хлопья.

Негалофильные и толерантные бактерии, ведущие процесс биохимической очистки, развивается в сточных водах с содержанием солей до 1 г/л. Отдельные виды и популяции микроорганизмов, адаптированные к стокам с высоким содержанием солей (до 20 г/л), относятся к факультативным и умеренно облигатным галофилам – экстремофилы, организмы, обитающие в условиях высокой солёности - в морях, солёных озёрах, засоленных почвах (что свойственно местоположению очистной установки) и т.п. Галофилы способны поддерживать в жидкостях тела относительно постоянную концентрацию осмотически активных веществ, более низкую, чем в окружающей их соленой воде с помощью осморегуляции. Высокие концентрации NaCl необходимы им для поддержания структурной целостности цитоплазматической мембраны и функционирования связанных с ней ферментных систем. При удалении из солёной среды их клеточная стенка растворяется, а цитоплазматическая мембрана распадается на мелкие фрагменты. Галофильные микроорганизмы способны расти в средах с высокой концентрацией (до 32%) хлорида натрия. Экстремальные галофилы способны развиваться в средах, содержащих до 15-32% хлорида натрия (бактерии родов *Halobacterium*, *Halococcus*), умеренные галофилы растут на средах с 5-20% хлорида натрия (бактерии родов *Paracoccus*, *Halodenitrificans*, *Pseudomonas*, *Vibrio* и некоторые микроводоросли), слабогалофильные микроорганизмы лучше растут в средах с 2-5% хлорида натрия (морские микроорганизмы). Цитоплазматическая мембрана галофильных микроорганизмов имеет характерные черты строения - она состоит из около 1/3 липидов и 2/3 различных белков, включая обычные наборы флавопротеинов и цитохромов. Основная масса липидов экстремальных галофилов отличается тем, что в их молекуле глицерин связан с фитанолом, а не с остатками жирных кислот. Также клеточные мембраны экстремальных галофилов содержат много каротиноидных пигментов, основной из которых - бактериоруберин, обуславливающий окраску колоний от розового до красного цвета и красно-оранжевого цветов, что имеет для галофилов важное значение как средство защиты против избыточной радиации, так как для мест их обитания харак-

терна высокая освещённость. К данной группе также принадлежат организмы, обитающие во внутриматериковых водоёмах с солёностью от 10 до 45 и 135 мг/л, например, некоторые коловратки, рачок *Artemia salina*, личинка комара *Aedes togoi* и другие [5].

Авторами статьи [4] проводились исследования по определению показателей выживаемости микробов в хлоридных рассолах, в частности клеток *P. Halocryophilus*, который были помещены в водный раствор NaCl. Все клетки умерли в течение 2 недель при комнатной температуре, в то время как их выживаемость была существенно увеличена при температуре 4 °С и почти никакого сокращения количества клеток не произошло при температуре -15°С (см. графики на рис. 1).

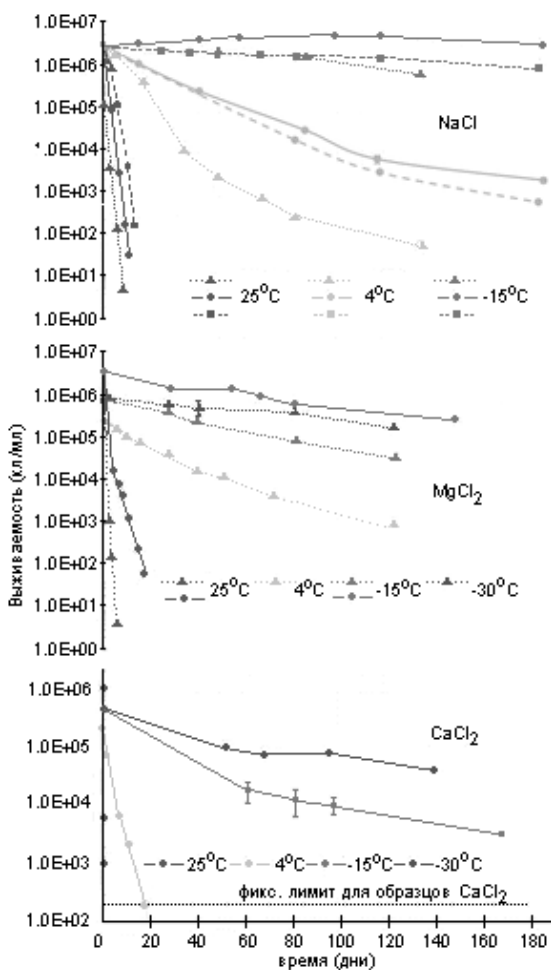


Рис. 1. Показатели выживаемости *P. halocryophilus* в образцах с ионами Cl

Приведенные данные показывают, что биологическая очистка сточных вод возможна при высоких концентрациях солей, но при достаточной концентрации кислорода в иловой смеси, при этом наиболее исследовано влияние NaCl на процесс очистки, а значение других солей для указанного процесса исследовано недостаточно.

В случае загрязнения минерализованной сточной воды нефтью и нефтепродуктами использована закачка их в аэрируемые резервуары, в которые введены специальные штаммы микроорганизмов и где возможно достаточно полное окисление нефти и нефтепродуктов, что реализовано в новом проекте. Этот способ позволяет не только очищать минерализованную воду, но и получать биомассу бактерий. Одно из основных требований к микроорганизмам, которые могут быть использованы для очистки минерализованных (морских) и пресных вод от нефти и нефтепродуктов, это их непатогенность и способность развиваться в нестерильных условиях в широком интервале pH и температур без использования биостимуляторов [6].

Указанные ограничения ведут к тому, что классические очистные сооружения не способны осуществлять биологическую очистку высокоминерализованных сточных вод, что возможно осуществлять на современных очистных сооружениях, выполненных на основе технологии мембранного биореактора (технология MBR).

Применение технологии MBR позволяет:

- формировать биоценоз активного ила с наличием экстремальных галофилов;
- производить стабильную глубокую очистку городских сточных вод от загрязняющих веществ до показателей, удовлетворяющих требованиям по сбросу очищенных стоков в природные водоемы всех категорий;
- повысить стабильность и устойчивость работы биореактора, особенно в случае залпового сброса загрязняющих веществ, в т.ч. хлоридов и нефтепродуктов, ввиду высокой концентрации активного ила оптимального видового состава;
- производить меньшее количество (до 30%) избыточного ила по сравнению с аэротенком, что значительно снижает утилизационные платежи, составляющие существенную часть эксплуатационных затрат очистных сооружений;
- снизить до 40% размеры аэротенка, так как для эффективной биологической очистки требуется меньший объем иловой смеси с активным илом высокой концентрации;
- упростить обеззараживание очищенных стоков за счет высокого качества фильтрата (пермеата) путем эффективного использования ультрафиолетовых бактерицидных ламп, разрушающих клеточные мембраны не только бактерий, но и большинства вирусов;
- снизить затраты на строительномонтажные работы в среднем на 20-25% (по сравнению с классическими очистными сооружениями) ввиду меньшего объема биореактора, небольшого количества монтируемого технологического оборудования и отсутствия вторичных отстойников;

– полностью автоматизировать процесс эксплуатации очистных сооружений и, как следствие, существенно сократить как количество обслуживающего персонала, так и затраты на эксплуатацию очистных сооружений.

Неоспоримо важным преимуществом мембранных технологий является возможность без капитальных затрат в относительно короткие сроки проводить модернизацию существующих, морально устаревших классических сооружений биологической очистки, переоборудовав их в высокоэффективные МБР-реакторы.

Технология очистки городских сточных вод, применяемая в проекте по г. Аксай, основана на модели идеального биореактора, показанного на рис. 2. Для одновременного удаления биологическим путем азота и фосфора необходимо чередование аноксидных и оксидных условий в зонах биореактора при возрасте активного ила более 25 суток. Ввиду резко меняющихся концентраций аммонийного азота, нитратов и нитритов, а также легкоокисляемой органики в поступающих на очистку сточных вод, предусмотрены стадии нитрификации (аэробная зона) и денитрификации (аноксидная зона). Например, если будет большое количество аммонийного азота, который вначале окислится до нитритов, а затем до нитратов, то процесс денитрификации не пройдет в полном объеме и на выходе сооружения не будут обеспечены требуемые показатели по концентрации азота, если при этом не будет достаточного количества легкоокисляемой органики (БПК). Если в состав биореактора включено несколько зон очистки с многоконтурной возвратной рециркуляцией активного ила, то в аэрируемой зоне эффективно протекает нитрификация, так как она начинается после окисления основной части органики, что не представляется возможным осуществить в классической аэротенке. В аноксидной зоне биореактора в условиях дефицита кислорода происходит перемешивание легкоокисляемой органики с нитритами и нитратами для прохождения денитрификации.

Графическая модель мембранного биореактора представлена на рис. 3.

С целью снижения концентрации аммонийного азота и нитратов в очищенной сточной воде на выходе мембранного биореактора при изменении входных показателей сточных вод по содержанию аммонийного азота следует автоматически увеличивать или уменьшать объем иловой смеси, возвращаемой с конца аэробной в начало аноксидной зоны мембранного биореактора, т.е. автоматически изменять значение коэффициента циркуляции  $R$  нитрифицированной иловой смеси после измерения датчиками градиента ( $N_{en}^{NH_4} - N_{ex}^{NH_4}$ ) и значения  $N_{ex}^{NO_3}$  в очищенной сточной воде (пермеате), т.о. работает нитратный рецикл.

С целью снижения концентрации фосфатов в очищенной сточной воде на выходе мембранного биореактора при изменении входных показателей сточных вод по содержанию фосфатов следует возвращать иловую смесь с конца аноксидной зоны в начало анаэробной зоны, т.е. определить значение коэффициента циркуляции  $R'$  денитрифицированной иловой смеси после измерения объема пермеата на выходе ультрафильтрационных мембран, т.о. работает фосфатный рецикл.

Модель идеального биореактора для технологии Air Lift MBR

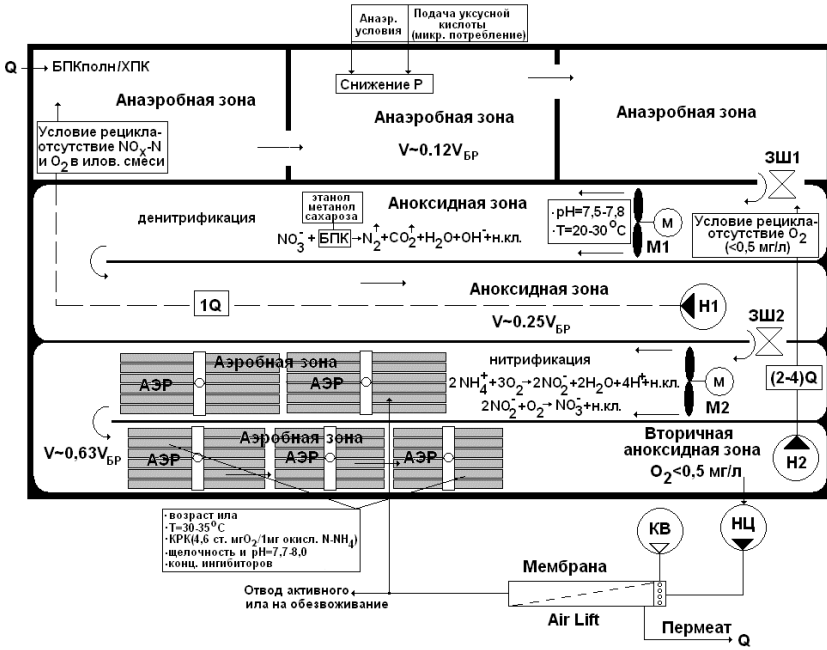


Рис. 2. Модель идеального MBR, выполненного по технологии ультрафильтрационных мембран Air-Lift выносного типа.

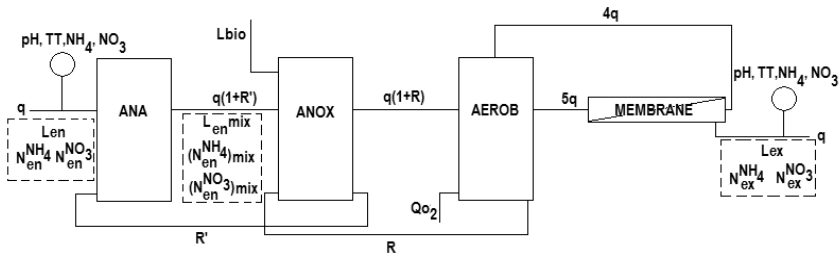


Рис. 3. Графическая модель мембранного биореактора:

ANA – анаэробная зона; ANOX – анаксидная зона; AEROB – аэробная зона; MEMBRANE – ультрафильтрационная мембрана;  $L_{\text{БИО}}$  – БПК биосубстрата; R, R' – коэффициент рециркуляции иловой смеси;  $N^{\text{NH}_4}$  – концентрация аммонийного азота на входе (en) и выходе (ex) установки;  $N^{\text{NO}_3}$  – концентрация нитратов на входе (en) и выходе (ex) зоны;  $Q_{\text{O}_2}$  – расход воздуха;  $N^{\text{NO}_2}$  – концентрация нитритов

Основные этапы проведения очистки минерализованных городских сточных вод на ОС г. Аксай РК представлены ниже:

– прием, преаэрация и обработка коагулянтом  $\text{FeCl}_3$  и щелочью сточных вод от септиков;

- сбор, усреднение состава и объема поступающих городских сточных вод с минеральными и органическими загрязнениями;
- предварительная очистка сточных вод от механических примесей;
- биологическая очистка обработанных сточных вод в мембранном биореакторе на ультрафильтрационных мембранах выносного типа;
- доочистка минерализованного фильтрата на ультрафильтрационной установке по методу Dead-End и обеззараживание пермеата ультрафиолетом;
- обессоливание доочищенных и обеззараженных сточных вод на обратноосмотической установке с выводом концентрата на поля рассеяния;
- обезвоживание смеси сырого осадка и избыточного ила на дисковых обезвоживателях;
- транспортировка обезвоженного илового осадка на полигон;
- возврат части очищенной, обеззараженной обессоленной сточной воды в голову процесса с целью разбавления исходных стоков и снижения в них концентрации солей;
- транспортировка очищенной, обеззараженной обессоленной сточной воды потребителю для вторичного использования.

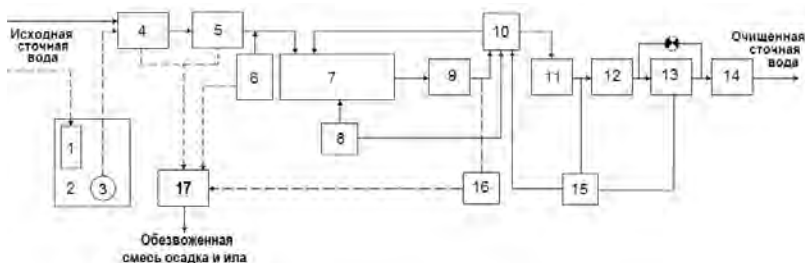
В состав установки включены следующие технологические модули:

- модуль механической очистки (жироуловитель с песколовкой, резервуары-усреднители, механические решетки, насосы, насосы-дозаторы, сетчатые самопромывающиеся фильтры, емкость сбора нефтепродуктов, жира, масла и флотопены);
- модуль биологической очистки (биореакторы, насосы, аэраторы, воздуходувное оборудование, ультрафильтрационные мембраны выносного типа);
- модули автоматического приготовления водных растворов и реагентов;
- модуль доочистки (ультрафильтрационная и обратноосмотическая установки);
- модуль обеззараживания (установка УФ-обеззараживания),
- блок дегельминтизации, обезвоживания и выгрузки осадка (аэробный стабилизатор ила, дисковые обезвоживатели, контейнеры, насосы-дозаторы).

Схема технологическая принципиальная выполнена в виде модулей и приведена на рис. 4.

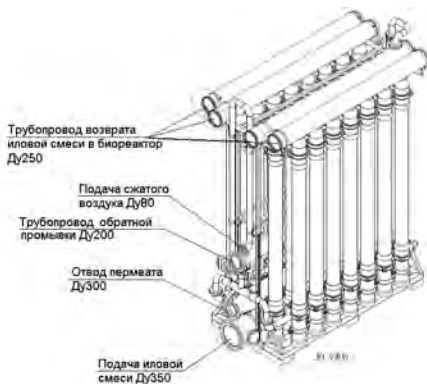
Следует учесть, что условия работы мембран в биомембранных процессах определяются режимами и параметрами работы биореактора, в частности, степенью образования в нем коллоидных соединений, отрицательно сказывающихся на проницаемости и сопротивлении мембран. Поэтому для работы мембранных биореакторов в условиях очистки реальных сточных вод необходимо подобрать оптимальные условия работы мембранных блоков, способов поддержания и восстановления их производительности. Важно обеспечить высокую степень предварительной очистки исходных стоков от твердых механических частиц и взвешенных веществ. С этой целью в проекте используются современные мембранные модули ALUF30 производства фирмы Pentair, где используются ультрафильтрационные

мембраны, изготовленные по технологии Helix. Общий вид мембранного модуля ALUF30 показан на рис. 5. Установка работает в автоматическом режиме с целью исключения влияния человеческого фактора на стабильность процесса биологической очистки. Автоматически контролируются технологические параметры работы установки: pH, температура иловой смеси, концентрация растворенного кислорода, концентрация аммонийного и нитратного азота, температура исходной сточной воды, температура в помещении установки, объем исходных и очищенных сточных вод. Для первичной обработки входной информации от периферийных устройств и выдачу управляющих команд на исполнительные механизмы установлен PLC SIMATIC S7-400.



**Рис. 4.** Модульная схема очистной установки на основе мембранного биореактора (МБР):

1 – решетка сетчатая; 2 – резервуар усреднения и гомогенизации; 3, 9, 12 – станции насосные; 4 – решетка механическая; 5 – фильтр сетчатый; 6 – станции приготовления и дозирования водных растворов химреагентов и биодобавок; 7 – биореактор; 8 – воздуходувка; 10 – мембранный модуль; 11 – емкость накопительная технологическая; 13 – модуль доочистки; 14 – модуль обеззараживания; 15 – модуль химпромывки мембран; 16 – резервуар-накопитель избыточного ила; 17 – модуль обезжелезивания смеси осадка и избыточного ила



**Рис. 5.** Общий вид ультрафильтрационного модуля ALUF30

Установка оснащена системой АСУТП с удаленным доступом для контроля режимов работы установки и управления параметрами технологических модулей, входящих в состав сооружения. Данное обстоятельство позволяет контролировать параметры работы оборудования и технологические режимы работы оборудования в процессе наращивания биомассы, оперативно вносить изменения в работу оборудования:

- адаптировать условия работы мембранных модулей к реальным параметрам исходных сточных вод;
- изменять алгоритм работы насосных агрегатов и прочего технологического оборудования;
- корректировать уровень поддержания рН в анаэробной зоне и растворенного кислорода в аэробной зоне биореактора;
- корректировать уровни заполнения емкостного оборудования при необходимости.

Одновременно система АСУТП позволяет:

- оптимизировать режим энергопотребления установки;
- передавать информацию о работе установке на пульт оператора заказчика;
- визуально наблюдать за работой агрегатов установки с любого места, где подключен Internet;
- отслеживать аварийные ситуации, оперативно реагировать и снимать аварийные режимы работы оборудования;
- выдавать рекомендации оператору в режиме реального времени, не выезжая на место размещения установки;
- контролировать условия эксплуатации в соответствии с требованиями инструкции по эксплуатации и техническому обслуживанию установки, а также фиксировать грубые нарушения условий эксплуатации, которые могут повлечь снятие гарантийных обязательств поставщика перед заказчиком.

Оборудование установки в процессе эксплуатации работает в режиме оптимального энергопотребления, не загрязняет окружающую природную среду выбросами вредных веществ и микроорганизмов в количествах выше допустимых значений, установленных государственными стандартами и санитарными нормами. Это достигается за счет двухступенчатой безреагентной системы обеззараживания, осуществляемой ультрафильтрационными мембранами и ультрафиолетовым облучением очищенной хозяйственно-бытовой сточной воды.

#### Библиографический список

1. Тимонин А.С. Инженерно-экологический справочник. Т.2. – Калуга: Издательство Н. Бочкаревой, 2003. – 884 с.
2. Когановский А.М., Кульский Л.А., Сотникова Е.В., Шмарук В.Л. Очистка промышленных сточных вод. – «Техника», 1974, 257 с. ил.



3. Ксенофонтов Б.С. Очистка сточных вод: флотация и сгущение осадков. – М.: Химия, 1992. – 144 с. ил.
4. Heinz J., Schirmack J., Airo A. , Kounaves S., Schulze-Makuch D.: Enhanced Microbial Survivability in Subzero Brines // *Astrobiology* Vol. 18, No. 9 Research Articles.
5. Cavicchioli R., Thomas T. Extremophiles // *Encyclopedia of Microbiology* / Lederberg J.-Second.-San Diego: Academic Press, 2000.-Т.2.-с. 317-337.
6. Атлас М.И., Литвишков Н.М., Малышек В.Т. Водоснабжение и отвод сточных вод нефтяных промыслов. – Баку ; Ленинград : Азнефтеиздат, 1953. – 300 с.

## ОСОБЕННОСТИ ДООЧИСТКИ ВОДОПРОВОДНОЙ ВОДЫ У ПОТРЕБИТЕЛЯ В ПОЛНОВЫСОТНЫХ ФИЛЬТРАХ МАЛОГО СЕЧЕНИЯ

**В.С. Рожков**, доц., к.т.н., ГОУ ВПО «ДонНАСА»; **Ю.Г. Акулова**, ассистент, ГОУ ВПО «ДонНАСА», г. Макеевка, Донецкая Народная Республика

В настоящее время большого внимания требует проблема сохранения качественных характеристик водопроводной воды при ее транспортировании по изношенным системам централизованного водоснабжения. Водопроводная питьевая вода по органолептическим, физико-химическим, санитарно-токсикологическим, микробиологическим и паразитологическим показателям не должна иметь отклонений от регламентирующих нормативов [1]. При рассмотрении показателей качества транспортируемой по распределительным сетям водопроводной воды [2-3] прослеживается тенденция увеличения процентного отношения проб воды с отклонениями от государственных санитарных норм и правил. Так, по статистическим данным мониторинг качества воды в распределительных сетях республики [4] в 2016-2018 гг. показывает отклонение от нормативных значений 3% проб по микробиологическим показателям и 2% проб по санитарно-химическим. Использование водопроводной воды несоответствующего качества отрицательно воздействует на здоровье человека, что достаточно широко описано в литературных источниках [5-6].

Длительное транспортирование воды по распределительным сетям, частые аварии, практика «почасовой подачи» и ряд других факторов приводят к ее вторичному загрязнению. Кроме того, следует отметить, что основным материалом, используемым для трубопроводов водоснабжения, является сталь, что усугубляет проблему, так как стальные трубопроводы наиболее подвержены коррозионным процессам. Происходит переход продуктов коррозии на участках сети с повышенными скоростями в водопроводную воду. Большинство выделяемых из материала труб в воду веществ отрицательно сказываются на органолептических показателях качества воды, таких как, привкус, запах, мутность воды.

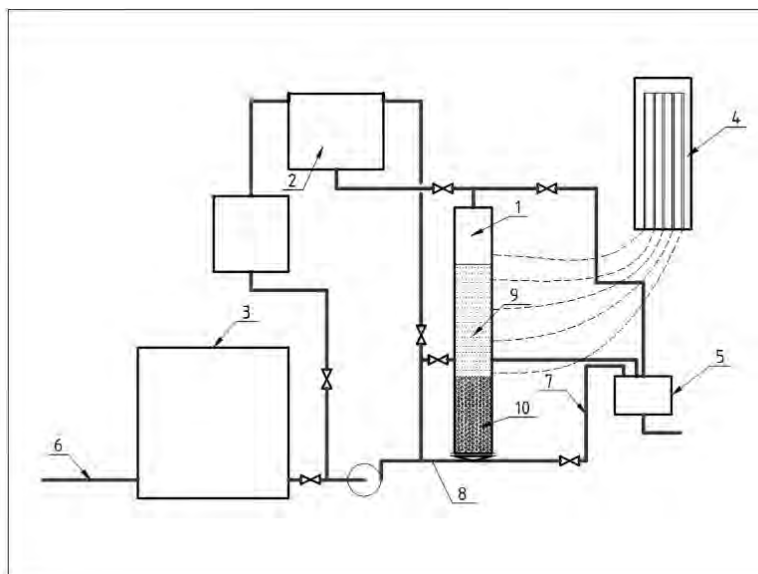
**Целью работы** является поиск альтернативных решений вопроса доочистки водопроводной воды при ее вторичном загрязнении.

### Основная часть

В связи с этим ставится задача доочистки водопроводной воды у потребителя. Наиболее распространенным и доступным методом на сегодняшний день является использование бытовых фильтров. Большая работа по оценке эффективности различных бытовых фильтров была проведена коллективом авторов [7]. Ими определены следующие достоинства и недостатки бытовых фильтров: улучшение отдельных параметров качества воды, гарантированных паспортом, но эффективность очистки и ресурс в большинстве случаев ниже паспортных данных.

Кроме того, слабой стороной таких фильтров является отсутствие возможности точно спрогнозировать или измерить момент исчерпания их емкости. Эффективность и безопасность применения фильтров гарантируется главным образом своевременной заменой картриджа с фильтрующей загрузкой. Следует добавить, что малый объем загрузки бытовых фильтров обеспечивает работу фильтра в качестве лишь защитного слоя, без создания полноценного фильтрующего слоя. Помимо этого, в них отсутствует система возобновления фильтрующих свойств, т.е. не возможно повторное использование этого фильтрующего материала.

Предлагается доочистка водопроводной воды на установке с полновысотным фильтрующим слоем с подключением системы промывки, что позволит многократно использовать загрузку. Схема лабораторной установки представлена на рис. 1. В качестве фильтрующей загрузки в предложенной установке по доочистке был рассмотрен дробленый антрацит. Крупность зерен антрацита 0,4 – 0,8 мм, высота этого слоя принята 1,4 м. В качестве поддерживающего слоя применялся гравий крупностью от 0,8 до 2,5 мм, толщина слоя 0,3 м. Величина необходимого напора перед фильтром принята не менее 0,5 атм, что обеспечивается давлением водопроводной сети. Установка работает по принципу сверхскорого фильтра (скорость фильтрования в пределах 25-50 м/час).



**Рис. 1.** Схема лабораторной установки:

- 1 – фильтровальная колонка; 2 – бак постоянного уровня; 3 – бак исходной воды;
- 4 – пьезометрический щит; 5 – сброс в канализацию; 6 – водопроводная вода;
- 7 – сброс фильтрата; 8 – подвод промывной воды; 9 – дробленый антрацит,
- 13 – гравий

В ходе лабораторных испытаний контролировались следующие показатели: давление, расход фильтрата, скорость фильтрования, продолжительность фильтроцикла и мутность до и после установки.

По результатам эксперимента возможно выделение 2-х этапов доочистки: первичное уплотнение дробленного антрацита в фильтрующей колонне и непосредственно процесс стабильного фильтрования. Первичное уплотнение длится 20-30 часов без какого-либо проскока загрязнений, без потери эффективности доочистки по контролю мутности на входе и выходе. В дальнейшем идет стабильный процесс фильтрования до 220 часов. График зависимости скорости фильтрования от продолжительности фильтрования по этапам доочистки представлены на рис. 2-3.

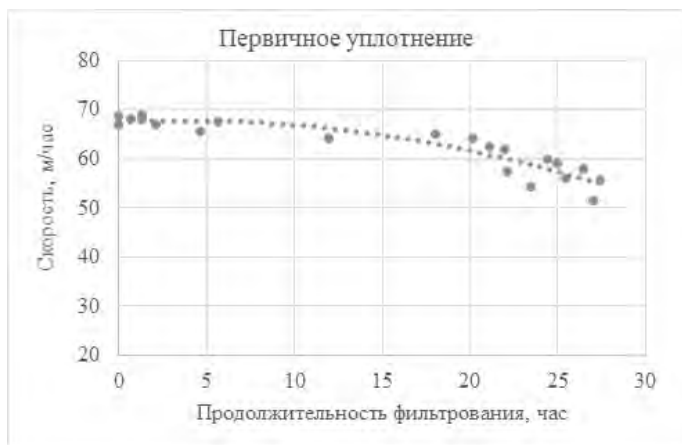


Рис. 2. Этап первичного уплотнения фильтрующей загрузки

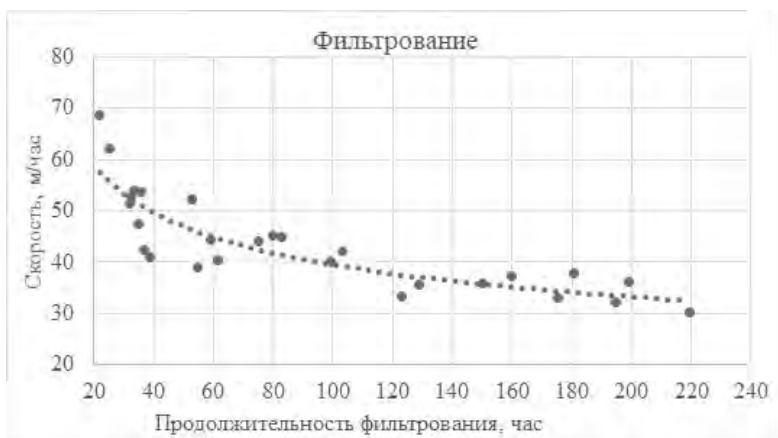


Рис. 3. Процесс фильтрования

Производительность установки составляет 16 м<sup>3</sup>/мес., что в среднем соответствует расходу воды семьей в месяц. Далее установка выводится на промывку с интенсивностью 18-27 л/с·м<sup>2</sup> в течение 10-12 минут. Расход промывных вод не превышает требуемых [8] величин и отводится в систему водоотведения. Потери напора в установке не превышают 0,1 атм.

На данный момент требует исследования еще вопрос возможного повышения микробиологических показателей водопроводной воды при длительной эксплуатации установки, что решается применением ультрафиолетовых ламп.

**Заключение:** Выделены 2 этапа доочистки водопроводной воды на полновысотных фильтрах с применением в качестве фильтрующего материала дробленого антрацита. Первый этап – первичное уплотнение – длится до 20 часов и позволяет выполнять доочистку по мутности до нормативных значений. При изучении второго этапа доочистки – фильтрация – установлена его продолжительность, которая составила в среднем 220 часов.

#### Библиографический список

1. Государственные санитарные нормы и правила «Гигиенические требования к воде питьевой, предназначенной для потребления человеком» (ГСанПиН 2.2.4-171-10). с. 25.

2. Турнаева Е.А. Сидоренко О.В. и др. Изменение качественных характеристик воды в результате вторичного загрязнения в водопроводных сетях города Тюмени // Современные наукоемкие технологии. – 2015. – № 12 (часть 1) – с. 53-57.

3. Букина Т.В. Проблемы и перспективы развития водоснабжения и водоотведения в г. Перми // ARS ADMINISTRANDI. 2013. №3. с. 82-93.

4. О качестве питьевой воды на территории Донецкой Народной Республики. Министерство здравоохранения ДНР. Режим доступа: <http://mzdnr.ru/news/o-kachestve-pitevoy-vody-na-territorii-doneckoy-narodnoy-respubliki>.

5. Степанов Н.А., Заводова Е.И. Характеристика влияния качественного состава питьевой воды на здоровье человека // Медицина труда и экология человека. -2015.- №3. с. 207-212.

6. Иванов С.В., Федорова Э.Л., и др. Влияние качества воды на здоровье населения // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2017. - №3 (часть 2) с. 186-189.

7. Найманов А.Я., Найманова А.А. и др. Испытание фильтров для доочистки воды в домашних условиях // Коммунальное хозяйство городов. – 2002. – №45 с. 144 – 151.

8. СП 31.13330.2012 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84\* с. 125.

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ОБОРУДОВАНИЯ И КАПИТАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ ЖКХ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ВОДОПРОВОДНО-КАНАЛИЗАЦИОННОЙ СПЕЦИАЛИЗАЦИИ

Г.А. Самбурский, доц., к.т.н., зав. кафедрой Экологической и промышленной безопасности, МИРЭА, г. Москва; В.И. Баженов, проф., д.т.н., исполнительный директор ЗАО «ВИВ», г. Москва; Д.Б. Фрог, к.т.н., зав. лаборатории № 35 НИИСФ РААСН, г. Москва

## Методологическая основа жизненного цикла

За рубежом существуют подробные варианты методик оценки стоимости жизненного цикла, в том числе: *Full cost accounting (FCA)*, *Full cost environmental accounting (FCEA)*, *Total cost assessment (TCA)*, *Life cycle accounting (LCA)*, *Life cycle cost assessment (LCCA)*, *Life cycle costing (LCC)*, *Full cost pricing (FCP)*, *Whole life costing (WLC)*. Эти документы разрабатывались на протяжении 20–30 лет большими коллективами специалистов, затем повсеместно обсуждались, их структура совершенствовалась в результате обсуждений.

В области строительства методика оценки полной стоимости владения (*WLC*) представлена международным стандартом ISO 15686-5, *Buildings and constructed assets – Service-life planning, Part 5: Life-cycle costing*, 2008 (рис. 1)

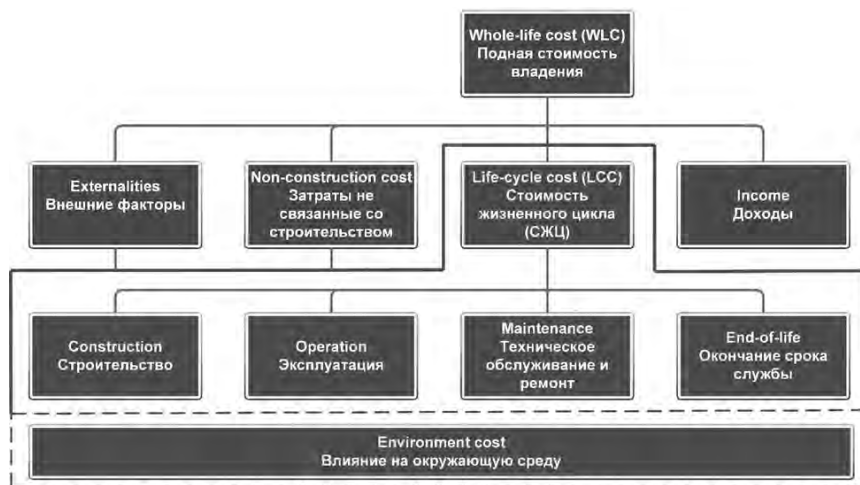


Рис. 1. Документ для строительной отрасли. Структура полной стоимости владения с выделением области стоимости жизненного цикла в соответствии с международным стандартом ISO 15686-5

В результате анализа зарубежных методик нами выявлено, что наиболее подробно изложенной и близкой к задачам их использования в России

является методика *Pump life cycle costs: A guide to LCC analysis for pumping systems*, разработанная для насосных систем [1]. В контексте ее использования важно подчеркнуть, что зарубежные компании довольно часто принимают участие в конкурсных процедурах на территории РФ. Узнаваемость аббревиатуры зарубежными участниками – важная составляющая нового стандарта, которая способствует его адаптации к международным аналогам.

Приоритетным направлением методологической разработки должно стать структурированное применение затрат, входящих в СЖЦ, для закупочных процедур ВКХ. Таковым механизмом является *Life Cycle Costing (LCC)*, или метод экономической оценки, учитывающий все соответствующие затраты в течение определенного расчетного периода, включая корректировку временной стоимости денег.

### **Задачи водопроводно-канализационной специализации**

Разработку стандарта СЖЦ следует рассматривать с позиции выявления производственных активов, отвечающих за процесс производства услуг (рис. 2) [2-4]. То есть такие процессы, как водозабор, перекачка, очистка, транспортировка, сброс и т. д., следует представить в виде производственного актива как объекта конкурсной процедуры. К производственным активам относятся:

*объект водоснабжения и водоотведения* – оборудование, товар, материал, комплектующее изделие или капитальный объект ВКХ, включающий системы или сооружения водоснабжения и водоотведения;

*оборудование* – профильные средства технологического оснащения объекта водоснабжения и водоотведения как отдельный продукт либо в составе общей технологической системы ее обслуживания. Это может быть силовое (например, насос) и не силовое оборудование (например, система аэрации, задвижка, нестандартное оборудование), средство автоматизации и вычислительной техники, прибор (например, учета и контроля), датчик и т. д.;

*товар* – профильный продукт, произведенный для продажи с целью технологического оснащения объекта водоснабжения и водоотведения (отдельный продукт, либо в составе общей технологической системы обслуживания). Простым примером регулярно используемого товара на объектах водоснабжения и водоотведения является химический реагент (коагулянт, флокулянт, дезинфектант, лабораторный препарат и др.). Товар может быть представлен расходным материалом и т. д.;

*капитальный объект ВКХ* – инженерное сооружение (производственное, непроизводственное, линейное), входящее в состав централизованной системы водоснабжения и водоотведения.

Производственный актив объектов ВКХ отличается от объектов строительной отрасли (например, жилищного строительства) и даже объектов смежной отрасли – теплогазоснабжения и вентиляции (наиболее близкий

аналог): повышенным потреблением энергии и ресурса; повышенным потреблением реагентов и товаров; высоким расходом запасных частей и расходных элементов; наличием емкостных сооружений (а не жилых зданий), а также линейных объектов (трубопроводных систем и т. д.).



**Рис. 2.** Схема производства и предоставления водоканалом услуги пользователю-абоненту

### Закрепление принципа СЖЦ в ГОСТ Р 58785-2019

Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии № 1489-ст был утвержден национальный стандарт по жизненному циклу объектов водоснабжения и водоотведения с датой введения в действие 1 июня 2020. Документ разработан Экспертно-технологическим советом Российской ассоциации водоснабжения и водоотведения (РАВВ) и ЗАО «Водоснабжение и водоотведение» (ЗАО «ВИВ»), внесен Техническим комитетом по стандартизации ТК 343 «Качество воды».

Стандарт имеет добровольное применение, он формулирует требования государства к качеству продукции, работ и услуг, имеющих межотраслевое значение, а именно – предназначен для эффективной работы систем и сооружений водоснабжения и водоотведения как промышленного, так и муниципального профиля. Также, разработчики надеются, что стандарт позволит использовать его в качестве аналога для инженерных систем городского жизнеобеспечения (теплогазоснабжение и вентиляция, силовые электрические кабельные устройства и линии, управляющие контрольные устройства и пр.).

Отличие ГОСТ от других стандартов:

оформление стандарта в формате ОСТ предполагало бы установление требований к качеству продукции в конкретной отрасли ВКХ;

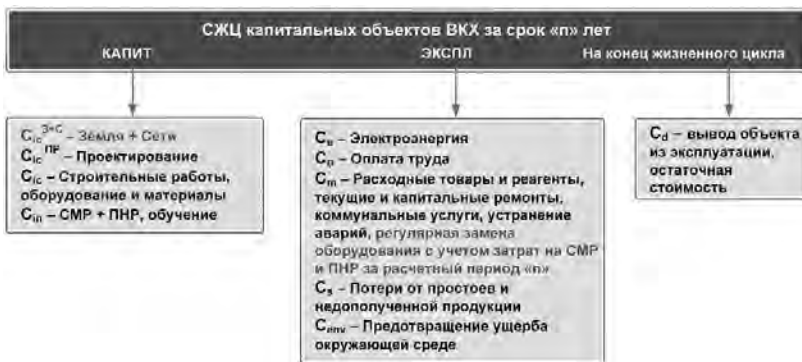


ТУ разрабатываются предпринимателями-производителями и являются их собственностью;

технический регламент характеризуется условиями использования готового изделия.

В задачи стандарта входила разработка общей концепции полного расчета стоимости жизненного цикла для объекта водоснабжения и водоотведения за расчетный период проекта СЖЦ, включая все виды капитальных и эксплуатационных затрат, вплоть до затрат на его демонтаж и утилизацию. Поэтому для ВКХ требовалось рассмотреть составляющие затрат стоимости жизненного цикла для учета типовых вариантов исполнения объекта ВИБ в качестве (рис. 3):

- вновь создаваемого или используемого объекта;
- реконструируемого объекта;
- использования по категории принадлежности: 1 – товар, оборудование; 2 – капитальных объектов ВИБ;
- объекта, характеризуемого технической и технологической системой характеристик, представленных в технических заданиях (ТЗ) Заказчика. Настоящий стандарт разработан с целью оказания помощи проектировщикам, специалистам предприятий водоснабжения и водоотведения, поставщикам товаров, услуг и оборудования, строительным и подрядным организациям для участия в открытых конкурсах по определению Исполнителя работ по поставке, проектированию, строительству и ремонту объектов ВИБ.



**Рис. 3.** Схема расчета СЖЦ на комплексном примере категории – капитальные объекты ВКХ (красным выделены позиции, не присущие категории, – оборудование и товар)

### Направления применения СЖЦ по ГОСТ

Ориентация стандарта на поддержку конкурсных процедур совсем не означает столь узкое его использование. Использование стандарта представляет интерес для структур и организаций, влияющих на реализацию объектов ВИБ по принципам эффективности (экологической, энергетической, ресурсной).

Как видно из табл. стандарт открывает новые возможности реализации технико-экономического анализа на основе СЖЦ или *LCC (Life cycle costing* – стандартный международный термин). Подобный анализ, уже очевидно, будет приоритетен и востребован при решении различных задач, отражающих динамику развития общества, техники и технологий.

Таблица

### Новые возможности реализации стандарта ГОСТ Р 58785

<b>Возможности</b>	<b>Приоритет и востребованность</b>
Технико-экономический анализ и обоснование	Научная деятельность (ТЭО для диссертационных исследований и НИОКР, построение имитационных моделей с учетом СЖЦ); Проектирование и строительство (инструмент обоснования выбора конкретных технологий и оборудования).
Поддержка и развитие актуальных направлений развития ВКХ	Совершенствование методов бенчмаркинга для выявления эффективных практик современного уровня техники и технологий; Коммерческие формы контрактов: энергосервисный, лизинговый (обоснование инвестиций в конкретный проект); Оценка эффективности мероприятий инвестиционной программы ВКХ [5]; Обоснование для использования альтернативных источников энергии в ВКХ (генерация энергии из гидросточников, газа, твердого и жидкого топлива, тепла, ветра, солнца); Управление стоимостью инвестиционно-строительных проектов в условиях государственно-частного партнерства [6].
Разработка принципиально новых и остро востребованных ключевых методов оценки деятельности предприятий ВКХ	Разработка энергетического эталонного показателя эффективности для сравнительного анализа предприятий, как альтернатива аналогу на основе размерности кВт·ч/м <sup>3</sup> ; Разработка эталонного принципа формирования тарифов на основе пересмотра существующей и формальной системы показателей качества, надежности и энергоэффективности [7].
Внедрение блока СЖЦ в автоматизированную информационную систему предприятия ВКХ «Цифровой водоканал» [8, 9]	Основой совершенствования является использование расчетных зависимостей стандарта ГОСТ Р непосредственно в Едином Информационном Пространстве предприятий ВКХ «он-лайн». Это обеспечит прозрачность и достоверность данных. Кроме того, будет обеспечиваться открытость и однозначность для оперативного принятия управленческих решений сотрудниками и руководителями. Использование расчетных зависимостей стандарта ГОСТ Р для совершенствования имитационных моделей технологического прогноза (гидравлических, технологических) также повысит оперативность принятия решений.

## Библиографический список

1. Pump life cycle costs: A guide to LCC analysis for pumping systems: Edited by L. Frenning. – New Jersey, Hydraulic Institute Europump, 2001. 194 p.

2. Баженов В. И., Березин С. Е., Самбурский Г.А. Методика расчета стоимости жизненного цикла для оборудования, систем и сооружений водоснабжения и водоотведения // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. 2017. № 4. С. 34–41.

3. Баженов В.И., Пупырев Е.И., Самбурский Г.А., Березин С.Е. Разработка методики расчета стоимости жизненного цикла оборудования, систем и сооружений для водоснабжения и водоотведения // Водоснабжение и санитарная техника. 2018. № 2. С. 10-19.

4. Баженов В. И., Березин С. Е., Самбурский Г.А., Шкаредо В.А. ГОСТ Р 58785-2019 «Оценка стоимости жизненного цикла для эффективной работы систем и сооружений водоснабжения и водоотведения»: возможности применения // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. 2020. № 1. С. 6–13.

5. Нефедова Е. Д., Хмяляйнен М. М., Ковжаровская И. Б. Опыт оценки эффективности мероприятий инвестиционной программы предприятия водопроводно-канализационного хозяйства // Водоснабжение и санитарная техника. 2017. № 3. С. 66-70.

6. Вьюнов С.С. Управление стоимостью инвестиционно-строительного проекта в условиях государственно-частного партнерства / диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва. 2019. – 182 с.

7. Довлатова Е. В., Эпштейн А. Д. Новый метод регулирования тарифов: от бенчмаркинга к эталонированию статей затрат // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. 2019. № 2. С. 2–5.

8. Баженов В.И., Данилович Д.А., Самбурский Г.А. и др. Цифровой водоканал – миф или реальность? // Наилучшие Доступные Технологии водоснабжения и водоотведения. 2017. № 6. С. 38-48.

9. 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.

## **К ВОПРОСУ О НЕОБХОДИМОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА ГОРОДОВ И НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ В ЗОНАХ ВЫСОКОЙ ВОДОБЕСПЕЧЕННОСТИ**

**И.А. Синянский**, к.т.н., доц., каф. строительства, Государственный университет по землеустройству (ГУЗ), г. Москва; **О.И. Шипков**, к.т.н., проф., каф. «Архитектура», ФГБОУ ВО РАЖВиЗ Ильи Глазунова, г. Москва; **Е.В. Орлов**, к.т.н., доц., каф. водоснабжения и водоотведения, НИУ МГСУ, г. Москва; **В.Е. Цой**, магистрант, институт ИИЭСМ, НИУ МГСУ, г. Москва

Сегодня основным фактором развития любого города и населенного пункта является его доступ к водным ресурсам, благодаря которым можно организовать бесперебойную подачу воды на хозяйственно-питьевые, производственные и другие нужды [1-3].

Градостроители и ранее высказывали утверждение о том, что имеется определенная необходимость в равномерном распределении городов и населенных пунктов по нашей стране, сосредотачивая их непосредственно рядом с крупными водными объектами с целью организации бесперебойного водоснабжения на различные городские нужды. Однако, в большинстве случаев данное утверждение не всегда выполнялось и сегодня можно встретить населенные пункты, которым необходимы требуемые объемы воды, но они не в состоянии их получить по причине своих сложных географических условий. Необходимые работы по улучшению водоснабжения бывают затруднительны с инженерной точки зрения, а в большинстве случаев оказываются экономически нецелесообразными, таким образом, они остаются полностью не решаемыми.

В нашей стране реки распределяются между бассейнами трех океанов, а также одним бессточным бассейном [4-5]. Примерно 90% объема речного стока дает непосредственно Северный Ледовитый океан, а бессточный Каспийский бассейн – 10 %.

Исторически большое количество населения и соответственно многие города, населенные пункты сконцентрировались в западной и южной части нашей страны. В городах было построено большое количество промышленных объектов и предприятий сельскохозяйственного назначения.

По степени водообеспеченности вышеперечисленные территории относят к зонам средней и низкой водообеспеченности. В то время как, районы нашей страны, находящиеся непосредственно на севере, северо-востоке и востоке относят к зонам высокой водообеспеченности. Там количество населенных пунктов, а также проживающего населения, в том числе промышленных и сельскохозяйственных объектов меньше, чем в западной и южной части.

По территории нашей страны протекает большое количество водотоков. В восточной части имеется несколько полноводных рек (Енисей, Обь, Амур, Лена), которые входят в двадцатку крупнейших рек мира и соответственно имеют огромный потенциал для развития народного хозяйства.

Многие участки данных водных объектов еще не освоены и в дальнейшем могут использоваться на цели хозяйственно-питьевого и промышленного водоснабжения, а также на цели энергетики и сельского хозяйства.

Развитие территории и её освоение является очень важной и вместе с тем сложной задачей, где должны решаться много вопросов, связанных также с водными ресурсами рядом с возводимыми объектами.

При районной планировке проводится большой комплекс работ, целью которых является непосредственно выявление природных ресурсов района, а также комплексное решение вопросов по размещению всех видов промышленности и сельского хозяйства для планомерного развития народного хозяйства.

Экономически районы с высокой водообеспеченностью являются наиболее приоритетными в развитии. Именно в них в полной мере возможно на перспективу решать вопросы в организации систем водоснабжения на различные городские нужды.

Большая площадь и протяженность нашей страны не дает возможность в полной мере осуществить управление и контроль за водными ресурсами для городов и населенных пунктов.

Многие водные объекты в некоторых своих частях находятся в неудовлетворительном состоянии и требуют проведение экологического мониторинга и экологической экспертизы для понимания всех вопросов антропогенного воздействия [6-8].

Было зафиксировано, что многие водные объекты, протекающие по территории нашей страны, очень часто приносят загрязнение в своем водном потоке от наших соседей, например, Китая. Систематически на протяжении нескольких лет фиксировали приход различных загрязнений с китайской территории по реке Амур в Россию. Экстренно закрывались водозаборные сооружения, населенные пункты на некоторое время оставались полностью без воды, что несло огромные сложности для населения.

Кроме того, на территориях, расположенных непосредственно в северных и северо-восточных районах не всегда климатические условия являются благоприятными. Для этого целесообразно проводить определенные виды изысканий для подтверждения или опровержения данного утверждения применительно к конкретному проектируемому объекту.

Таким образом, размещение населенных пунктов непосредственно в зонах высокой обеспеченности с учетом вышеперечисленных доводов является правильным решением. Однако, сегодня можно с уверенностью сказать, что в стране отсутствует какой-либо интерес в сфере развития данной предложенной авторами концепции о необходимости размещения городов и населенных пунктов в зонах с высокой обеспеченностью. Это обусловлено, прежде всего, большими экономическими проблемами в нашей стране, которые особенно усугубились после 2014 года. Развитие существующих городов, находящихся в восточной части нашей страны не происходит в полном объеме. Основные причины – наличие внутренней миграции населения на заработки в западную или южную часть нашей страны, а также в

крупные города, где качество жизни по статистике выше. Кроме того, происходит достаточно быстро убыль населения по естественным причинам.

Продолжаются более-менее развиваться только уже сформированные города с большой численностью населения. Кроме того, стоит отметить еще то, что в восточной части России проживает населения меньше, чем в западной части.

Размещение населенных пунктов и городов в восточной части России, а именно в зонах высокой водообеспеченности, при наличии доступных климатических условий, позволит планомерно разместить население по нашей стране, создать большое количество производств с выделением рабочих мест, создав, таким образом, в каждом населенном пункте градообразующую группу. Кроме того, будет необходим контроль в плане защиты окружающей среды и проведение экологического мониторинга для того, чтобы избежать загрязнения водных объектов непосредственно от соседних стран. Однако с учетом существующих реалий такой процесс является скорее желательным на ближайшую перспективу ввиду сложности экономической ситуации в нашей стране.

#### Библиографический список

1. Кедров В.С., Исаев В.Н., Орлов В.А., Пальгунов П.П., Сомов М.А., Чухин В.А. Водоснабжение и водоотведение. М.: Стройиздат. 2002. 336 с.
2. Исаев В.Н., Нечитаева В.А., Кондратьев В.В. Структура водопотребления в жилых зданиях // Трубопроводы и экология. 2004. № 2. С. 26.
3. Федоровская Т.Г., Викулина В.Б., Нечитаева В.А., Маслова О.Я. Водоснабжение и водоотведение жилой застройки. М.: Издательство АСВ. 2013. 144 с.
4. Пугачев Е.А., Исаев В.Н. Экономика рационального водопользования. М.: МГСУ. 2011. 284 с.
5. Исаев В.Н., Давыдова А.А. Питьевое и хозяйственное водоснабжение // Вестник МГСУ. 2009. № 2. С. 148-150.
6. Исаев В.Н. Проблемы водоснабжения и водоотведения // Водоочистка. 2010. № 4. С. 56-58.
7. Максименко Ю.Л., Кудряшова Г.Н. Охрана водных ресурсов. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2015. – 256 с.
8. Павлинова И.И., Баженов В.И., Губий И.Г. Водоснабжение и водоотведение: Учебник для бакалавров. – М.: Издательство «Юрайт», 2012. – 472 с.

## ПРОБЛЕМА ТОКСИЧНОСТИ ДИОКСИДА ХЛОРА И ЕГО ПРОИЗВОДНЫХ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПРИ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

**А.Ю. Скрябин**, доц., к.т.н., ДГТУ, г. Ростов-на-Дону

Обеззараживание является обязательной стадией на финишном этапе технологической схемы подготовки воды. Традиционно проблема санитарно-эпидемиологической безопасности питьевой воды решается хлорированием, которое продолжает оставаться самым распространенным в мире способом дезинфекции воды в силу своей санитарно-гигиенической надежности, пролонгированности бактерицидного действия, относительной простоты и экономичности. Однако, при использовании жидкого хлора бесспорной остается проблема его транспортировки через селитебные территории и хранение многотонных запасов на водоочистных станциях, многие из которых уже стали опасно соседствовать с расширяющейся городской жилой застройкой. Опасность использования жидкого хлора (2-й класс опасности), а также невозможность соблюдения Водоканалами ряда положений все более ужесточающихся Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности, в частности, «Правил безопасности производств хлора и хлорсодержащих сред», утвержденных Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору от 20 ноября 2013 г. №554, привели традиционную технологию обеззараживания воды в тупиковую ситуацию, решением которой может быть либо перенос водоочистной станции в более безопасное место (по сути – строительство новой за городской чертой), либо отселение жителей за пределы опасной зоны (не менее 500 м от хранения контейнеров с хлором), или перевод станции на менее опасный дезинфектант, сочетающий положительные качества хлорирования и отсутствие его недостатков.

С точки зрения эпидемической безопасности централизованного водоснабжения все хлорсодержащие реагенты (жидкий хлор, хлорная известь, гипохлориты и др.), а также кислородсодержащий диоксид хлора одинаково надежны и эффективны. Как следствие, при выборе конкретного реагента его преимущества следует искать не в каком-то супербактерицидном эффекте дезинфектанта, а в безопасности его доставки и хранения; технологичности его применения или его производства на месте потребления (электролизный гипохлорит или химически генерируемый диоксид хлора); образования и количестве сопутствующих вредных продуктов (летучих хлорорганических соединений, хлоритов, хлоратов и др.), синтезируемых при введении дезинфектанта в воду; сроках и условиях сохранения рабочих характеристик продукта; стоимости поставляемого с химзавода готового хлорсодержащего реагента (или компонентов, из которых он производится на месте потребления).

В то же время известно, что обеззараживание воды хлором и хлорсодержащими препаратами приводит к образованию побочных опасных ле-

тухих хлорорганических соединений (ЛХС), многие из которых обладают мутагенной и канцерогенной активностью. Особенно большое количество ЛХС может образовываться на стадии первичного хлорирования (перехлорирования, обычно дозами 3-5 мг/дм<sup>3</sup> и более) во всасывающих трубопроводах насосной станции 1-го подъема воды из поверхностных водоисточников в периоды половодья или цветения водоемов при повышенном содержании органических веществ, фито- и зоопланктона и бактериальном загрязнении.

Из существующих средств обеззараживания воды, применяемых в практике централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения, в последние годы повышенное внимание уделяется диоксиду хлора. Дезинфицирующие препараты, в основе которых лежит диоксид хлора, принадлежат к группе окислителей, не выделяющих активный хлор. По сравнению с аналогичными антисептиками, двуокись хлора оказывает более эффективное воздействие на бактерии, микроорганизмы, микробы, вирусы, водоросли и грибки в связи с более высоким окислительно-восстановительным потенциалом по сравнению с обычным хлором. В окислительно-восстановительных реакциях хлор способен принимать два электрона, в то время как диоксид хлора – пять. В диоксиде хлора электроны принимают атомы кислорода, у обыкновенного хлора, соответственно, только атомы хлора. В результате реакции между молекулой хлора и органическими веществами, к последним присоединяется атом хлора, что приводит к образованию токсичных хлорорганических соединений. Диоксид хлора отдает органическим загрязнениям в ходе реакции атомы кислорода, т.е. вместо того, чтобы соединяться с ароматическими кольцами, двуокись хлора разрушает их, поскольку действующим веществом в данном соединении выступает активный кислород.

При введении диоксида хлора в обрабатываемую воду может происходить ряд реакций восстановления его в хлорит-анион, хлорат-анион, хлорид-анион. В большинстве случаев преобладают реакции, которые приводят к образованию хлорит-аниона. Чистый диоксид хлора не образует ЛХС в реакциях с гуминовыми соединениями, но они могут образовываться, если в дозируемом растворе диоксида хлора присутствует еще и хлор.

Диоксид хлора – зеленовато-желтый ядовитый газ, имеющий более интенсивный запах, чем хлор. Он легко взрывается от электрической искры, на прямом солнечном свете или при нагревании до температуры более 60°C. Взрывоопасен при соприкосновении со многими органическими веществами при обычной температуре, а также в смеси с воздухом при содержании более 10%. Диоксид хлора не может перевозиться в виде готового продукта (сжатого газа), т.к. взрывоопасен и должен вырабатываться на месте потребления в виде водного раствора из хлора или соляной кислоты и раствора хлорита натрия. Данный способ получения ClO<sub>2</sub> достаточно сложный и требует специального оборудования, наличия квалифицированного персонала и обеспечения условий безопасности. Кроме того, хлорит натрия не производится в России и поставляется из-за рубежа, что обуслав-



ливают высокую стоимость диоксида хлора, который обходится в 4-5 раз дороже хлора. Другим недостатком применения диоксида хлора является образование побочных продуктов – хлоритов (ПДК в питьевой воде не более 0,2 мг/дм<sup>3</sup>) и в небольших концентрациях – хлоратов (ПДК не более 20 мг/дм<sup>3</sup>), относящихся к метгемоглобинообразователям. Сопутствующее образование хлоритов при обеззараживании питьевой воды ограничивает ПДК по содержанию остаточного диоксида хлора не более чем 0,2 мг/дм<sup>3</sup>, что не всегда бывает достаточным для полного удаления бактериального загрязнения воды. В связи с этим, диоксид хлора в мировой практике приходится использовать в сочетании с другими окислителями, а также снижать концентрацию хлоритов до значения ПДК химическим способом с использованием ионов железа или сорбцией на активных углях, что ведет к удорожанию водоочистки.

Впервые на юге России диоксид хлора, как средство для обеззараживания питьевой воды, стали применять на водоочистных сооружениях Промышленного района г. Новочеркаска (ВОС-2) с забором сырой воды из протоки реки Дон (р. Аксай). В основу технологии получения диоксида хлора на ВОС-2 положена предложенная АО «Уральский научно-исследовательский химический институт с опытным заводом» (АО «УНИ-ХИМ с ОЗ», г. Екатеринбург) технология комбинированного дезинфектанта «Диоксид хлора и хлор», реализуемая на производимых ими установках типа «ДХ-100», функционирующих на отечественном сырье-хлорате натрия, поваренной соли и серной кислоты. Метод основан на протекании окислительно-восстановительной реакции взаимодействия между хлоратом и хлоридом натрия, осуществляемой в кислой среде:



Предварительно из хлората натрия и хлорида натрия (поваренной соли) готовится водный раствор, поставляемый «УНИХИМ с ОЗ» в качестве расходного сырья (реagenta) на ВОС-2 и который одновременно с серной кислотой поступает в реактор установки «ДХ-100», где протекает взаимодействие реагентов по вышеуказанной реакции и далее, продукты реакции поглощаются водой в эжекторе установки с получением водного раствора диоксида хлора и хлора, который подается по трубопроводу в обрабатываемую воду. Среднее массовое соотношение  $\text{ClO}_2$  и  $\text{Cl}_2$  в рабочем растворе составляет 1:0,65, с концентрацией порядка 50-75 мг/дм<sup>3</sup> по диоксиду хлора и 32,5-50 мг/дм<sup>3</sup> по молекулярному хлору. Недостатком метода следует считать образование значительного количества свободного хлора, что сводит на нет положительный эффект при использовании его как дезинфектанта, позволяющего избежать сопутствующее образование хлораминов и тригалометанов (ЛХС).

При таком производстве смесь  $\text{NaClO}_3$  с минеральными кислотами взрывоопасна и может самовозгораться при повышении температуры, ударе, трении и т.п. Стоимость 1 т технического хлората натрия составляет 75-

85 тыс.руб. (без доставки), что делает экономически затратным его использование. Для получения 1 кг диоксида хлора с примесью свободного хлора необходимо около 1 кг хлората натрия, 0,6 кг поваренной соли и около 1 кг 100 %-ой серной кислоты, что делает производство такого продукта весьма дорогостоящим. Следует также отметить и то, что потребление в технологии серной кислоты автоматически выводит объект в ряд производственно опасных, со всеми вытекающими последствиями. Именно дороговизна и сложность получения диоксида хлора, взрывоопасность, а также токсичность его производства, сдерживают широкое применение данного реагента в отечественной практике обеззараживания воды.

Необходимо отметить и то, что применение реагента «Диоксид хлора и хлор» возможно только при наличии в лаборатории Водоканала аккредитованных методик контроля за концентрациями в воде диоксида хлора (не более  $0,2 \text{ мг/дм}^3$ ) и побочных продуктов его производства: хлоритов (не более  $0,2 \text{ мг/дм}^3$ ), хлоратов (не более  $20 \text{ мг/дм}^3$ ), свободного хлора (не более  $0,2-0,5 \text{ мг/дм}^3$ ) при их совместном присутствии и включение которых в область аккредитации производственных лабораторий возможно только спустя 6-месячного применения предлагаемого препарата в технологии обеззараживания воды и получения при этом положительных результатов по микробиологическим и иным показателям.

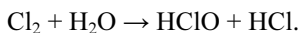
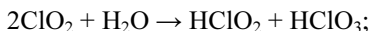
Поскольку ни один Водоканал не имеет возможности в течение полугода эксплуатировать водоочистную станцию для отработки методик с целью их аккредитации в своих лабораториях и при этом не будучи уверенным в получении положительных результатов химанализа, то представляется целесообразным отработать методики и технологию обеззараживания диоксидом хлора на пилотных установках, подключенных к сырой (исходной) воде объекта и полностью моделирующих существующую технологию водоочистной станции с включением в нее реагента «диоксид хлора плюс хлор» взамен существующего метода обеззараживания воды.

Следует также отметить, что на сегодняшний день потребителю и иным заинтересованным лицам практически неизвестны результаты о качестве обеззараженной диоксидом хлора донской воды на ВОС-2 Промрайона г. Новочеркаска ( $20 \text{ тыс. м}^3/\text{сут.}$ ) по таким показателям, как концентрация активного, связанного и диоксида хлора, хлората, хлорита, хлороформа, тригалометанов (бромформа, бромдихлорметана, дибромхлорметана и др. ЛХС), и это при том, что концентрация бромидов в донской воде находится в пределах  $0,18-0,20 \text{ мг/дм}^3$  (т.е. на грани ПДК, равного  $0,20 \text{ мг/дм}^3$ ), а также ОМУ, ОКБ, ТКБ, колифаги, что вызывает справедливые сомнения в эффективности и безопасности реализованного на ВОС-2 метода обеззараживания питьевой воды водной смесью диоксида и активного хлора.

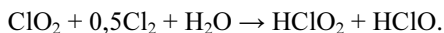
В этой связи, а также учитывая общеизвестный факт, что проблема безопасности диоксида хлора является одной из самых противоречивых в токсикологии окислителей как средства обеззараживания воды, в течение последних двух месяцев в лаборатории «Химия и технология воды» ООО

НПП «ЭКОФЕС», г. Новочеркасск, был проведен мониторинг качества питьевой воды, поступающей от ВОС-2 в хоз-питьевую водопроводную сеть Промрайона г. Новочеркаска, результаты которого представлены в табл. 1.

Как следует из результатов химанализа питьевой воды представленных в таблице, имеет место превышение требований СанПиН 2.1.4.1074-01 по хлоритам (от 2,0 до 3,5 ПДК) и суммарному активному хлору (до 1,64 мг/дм<sup>3</sup> против рекомендуемых 0,8-1,2 мг/дм<sup>3</sup> по связанному хлору). Хлораты в дезинфицируемой воде практически отсутствуют, так же, как и концентрация диоксида хлора (от 0,02 до 0,08 мг/дм<sup>3</sup>), что значительно ниже ожидаемой. Полученные данные возможно объяснить тем, что реакция получения смеси диоксида хлора и хлора протекает дальше, и в результате гидролиза ClO<sub>2</sub> и Cl<sub>2</sub> образуются хлористая HClO<sub>2</sub>, хлорноватистая HClO, и хлорноватая HClO<sub>3</sub> кислоты:



Или суммарно:



Т.е. в итоге генерируются хлорит и гипохлорит, как это и следует из данных, представленных в таблице. Повышенная концентрация активного связанного хлора объясняется наличием в р. Аксай природного азота аммонийного в концентрациях от 0,35 до 0,5 мг/дм<sup>3</sup> и который связывает генерируемый в хлоратной технологии гипохлорит-ион в моно- и дихлорамины.

По нашему мнению, и следуя полученным результатам химанализа питьевой воды, хлорат-хлоридная технология получения диоксида хлора в кислой среде сопровождается сопутствующим образованием хлоритов и гипохлорита в концентрациях, превышающих действующие нормативы качества питьевой воды.

С другой стороны, снижение концентрации свободного хлора (гипохлорита) до нормативных значений не более 0,3-0,5 мг/дм<sup>3</sup> или 0,8-1,2 мг/дм<sup>3</sup> по связанному хлору может быть недостаточным для полного удаления бактериального загрязнения воды по таким показателям как термотолерантные и общие колиформные бактерии, а также по общему микробному числу и колифагам. Технология обеззараживания воды реагентом «Диоксид хлора и хлор» требует организации на водоочистой станции тщательного лабораторного контроля за концентрациями побочных продуктов, образующихся при дезинфекционной обработке питьевой воды.

Таблица 1

## Концентрации диоксида хлора и его производных, образующихся при обеззараживании питьевой воды на ВОС-2

Дата Опреде- ляемый показатель	24.01.	28.01	30.01.	31.01.	07.02	10.02	11.02	02.03	03.03	04.03	10.03	11.03
Гипохлориты, мг/дм <sup>3</sup>	0,53	0,53	0,36	0,36	0,66	0,24	0,43	0,43	0,43	0,33	0,43	0,5
Хлориты, мг/дм <sup>3</sup>	0,25	0,3	0,42	0,38	0,53	0,55	0,74	0,67	0,64	0,59	0,48	0,67
Хлораты, мг/дм <sup>3</sup>	0,035	0,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Двуокись хлора, мг/дм <sup>3</sup>	-	-	-	-	-	0,02	0,017	0,067	0,084	0,07	0,03	0,07
Активный хлор, мг/дм <sup>3</sup>					-	0,89	1,35	1,4	1,5	1,5	1,56	1,64
Активный своб. хлор, мг/дм <sup>3</sup>					-	0,04	0,04	-	-	0,05	-	0,044
Активный связ. хлор, мг/дм <sup>3</sup>					-	0,85	1,31	-	-	1,45	-	1,6

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДЕФЕРРИЗАЦИИ МЕТОДОМ УПРОЩЕННОЙ АЭРАЦИИ

**С.В. Староверов**, к.т.н., доцент, БГТУ им. В.Г. Шухова; **Р.И. Юдин**, аспирант БГТУ им В.Г. Шухова, г. Белгород

На сегодняшний день наибольшее распространение в народном хозяйстве в вопросе очистки воды от растворённого железа получили безреагентные методы обезжелезивания. Причиной этого является прежде всего возможность использования доступного окислителя кислорода воздуха, что позволяет уменьшить эксплуатационные затраты на процесс очистки, а также позволяет работать станции в полном автоматическом режиме без обслуживающего персонала. В настоящее время все станции, работающие по технологии процесса окисления растворённого железа кислородом воздуха можно разделить на два типа:

1. Станции, работающие по принципу окисления железа в объёме, который заканчивается переходом растворённого железа в гидроокись железа, его коагуляцией в  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  с последующим фильтрованием через фильтрующую загрузку [1-3].

2. Станции, где удаление растворённого железа непосредственно идет на слое фильтрующей загрузки при использовании предварительной аэрации [4].

Как показала практика, станции, работающие по принципу окисления в объёме, применяют всё реже и реже. Это обусловлено несколькими факторами: высокие капитальные затраты на строительство резервуаров, так как даже при интенсивной аэрации и декарбонизации процесс перехода в нерастворимую форму происходит длительное время (несколько часов и более). При этом образуется коллоидная форма железа, которая имеет размер менее 3 мкм, что практически делает невозможным даже при малых скоростях фильтрования достичь нормативных значений по мутности.

Второй способ, который получил название «метод упрощённой аэрации», предполагает после аэрации непосредственную подачу воды, насыщенной кислородом и содержащей растворённые формы железа на слой фильтрующей загрузки. Исследованием этого метода занимались известные И.Э. Апельцина, Золотова, Г.Ю. Асс, В.А. Клячко, Г.И. Николидзе и др., которые выдвинули несколько гипотез процесса, происходящего на слое фильтрующей загрузки [4].

Одна из гипотез говорит о физико-химическом процессе, проходящем на слое фильтрующей загрузки при использовании «метода упрощённой аэрации». Сторонники второй гипотезы утверждают, что движущей силой при применении данного метода являются биологические процессы.

Сторонники первой гипотезы утверждают, что на слое фильтрующей загрузки с течением времени наращивается каталитический слой, состоящий из окислов железа, который во много раз увеличивает скорость реакции.

Более подробно этот процесс описывал в своих статьях инженер по наладке Янченко Д.Ф. В своих статья на основании экспериментов и опыта пуско-наладочных работ процесс обезжелезивания упрощенной азрацией он представил следующим образом: сперва происходит сорбция иона  $Fe^{2+}$  на активном центре фильтрующего материала, на нем происходит окисление  $Fe^{2+}$  до гидросокомплекса железа  $[Fe(OH_2)_6]^{3+}$ . Комплекс  $[Fe(OH_2)_6]^{3+}$  в силу большого заряда остается на активном центре, наращивая «сэндвич». В дальнейшем сорбция и окисление будут происходить на этом же активном центре. Этот процесс происходит на всех активных центрах по всей поверхности, доступной потоку воды с ионами  $Fe^{2+}$ , и они же являются центрами «автоэпитаксиального» роста фазы Fe(III). Поверхность фильтрующего материал плотно усеяна такими активными центрами. Пока поверхность фильтрующего материала целиком не покроется сформированными активными центрами, отложения в фильтре не станут высокоактивными. Автор применяет термин «осаждение» и «каталитическое обезжелезивание», и утверждает, что его надо понимать его как «наращивание», так как термин «осадок» соответствует понятию «отстой», а «отстой» отсутствует. По его мнению, свежесозаженный гидроксид железа (III) весьма реакционноспособен. При контакте гидроксида железа с момента осаждения, смежные комплексы  $[Fe(OH_2)_6]^{3+}$  совместно подвергаются дегидратации. Чтобы в отложениях могло удержаться количество солей, многократно превосходящее количество Fe(III), их должна «сковать» сила более мощная, чем осмотическое давление этого, по сути, концентрата. [5]

Гипотеза ряда авторов, основанная на предположении сорбции катионов железа из раствора электролита на поверхности фильтрующего материала, базируется на классической теории (модели) сорбции, которая изложена в работах Печенюк С.И., которая не является исследователем в области водоподготовки, но занималась исследование сорбции различных катионов и анионов из водных растворов. Согласно представленной Печенюк С.И. модели, сорбция катионов железа на слое фильтрующей загрузки идет за счёт разности потенциалов фильтрующего материала и катионов, содержащихся в растворе. [6]

Однако были и противники данной гипотезы, например, Е. Норделла и Р. Байденс, которые считали, что наличие осадка гидроокиси железа не влияет на скорость окисления двухвалентного железа. [4]

Другие исследователи метода упрощенной азрации, являющиеся так же сторонниками физико-химической модели обезжелезивания на слое фильтрующей загрузки, такие как Д.С. Гецкин и В.Д. Понамарев полагали, что адсорбируется на поверхности зёрен загрузки кислород, который впоследствии выступает как активный окислитель. [4]

Сторонники второй гипотезы придерживаются мнения о том, что в трансформации соединений железа в подземных водах, а также в системах водоподготовки ведущая роль принадлежит бактериям, осуществляющим процессы окисления и восстановления растворённого железа. По результатам обследования многих станций обезжелезивания, работающих по мето-

ду упрощенной аэрации с фильтрами, промывка которых производится не хлорированной водой, в большинстве из них обнаруживаются железобактерии. Свидетельством этого является их большое количество в промывной воде и в образовавшихся отложениях на поверхности и в толще фильтрующих загрузок. Причиной развития железобактерий является их наличие практически во всех исследованных водозаборных скважинах.

Вопросами железоокисляющих микроорганизмов занимались микробиологи Виноградский С.Н., Дубинина Г.А., Сорокина А.С., а также учёные в области водоподготовки такие как Седлухо Ю.П., Менча М.Н. и др. [7-9].

Железоокисляющие бактерий в зависимости от типа метаболизма – используемых доноров и акцепторов электронов подразделяются на четыре группы: аэробные литотрофы; анаэробные и факультативно-анаэробные литотрофы; анаэробные фототрофы; аэробные органогетеротрофы (гетеротрофы).

Аэробные литотрофы осуществляют реакции окисления  $Fe^{2+}$  в энергетических процессах для построения клеточного тела из  $CO_2$  (автотрофы) и не нуждаются в органическом веществе. Миксотрофные и литогетеротрофные железобактерии окисляют  $Fe^{2+}$  в процессах аэробного или анаэробного дыхания (с использованием нитратов в качестве акцептора электронов вместо кислорода) и используют углерод из органических соединений для синтеза клеточного материала.

Органотрофные (или гетеротрофные) железобактерии нуждаются в органических веществах и для энергетического, и для конструктивного метаболизма. Окисление  $Fe^{2+}$  происходит за счет их взаимодействия с продуктами метаболизма клеток – активными формами кислорода,  $H_2O_2$ , супероксидными радикалами и др.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что нет единого мнения о процессе, происходящем на слое фильтрующей загрузки при использовании «метода упрощенной аэрации», и для того, чтобы усовершенствовать этот метод и достичь устойчивых результатов в работе станций, необходимо ответить на вопрос о природе процесса происходящем на слое фильтрующей загрузки.

Для решения поставленной цели необходимо провести эксперимент, подтверждающий или опровергающий возможность сорбции катионов железа на слое фильтрующей загрузки и эксперимент, подтверждающий или опровергающий биологический механизм трансформации железа как основной в «методе упрощенной аэрации». Рассмотрим эксперимент и полученные результаты ниже.

Был проведён эксперимент по определению сорбции железа в статических условиях из модельного раствора, согласно условиям теории сорбции.

Для подтверждения первой гипотезы мы разработали план эксперимента в основе которого лежит рассмотрение процесса сорбции из модельного раствора, имеющего определённый рН, концентрацию железа, концентрацию кислорода и концентрацию аргона и сорбента, имеющего требуемые физико-химические характеристики, а также так называемый  $pH_{тнз}$ .

Разработана модель сорбции катионов железа, согласно которой на примере инертного фильтрующего материала ОДМ 2Ф, который представляет собой смесь дисперсных частиц кремнезёма и гетита. Определены  $pH_{ТНЗ}$  фильтрующего материала.

Данные анализа свидетельствуют, что сорбент состоит из преобладающего компонента силики с  $pH_{ТНЗ} \cong 2 \div 4$  (кремнезем), который является кислотным окислом, и смеси алюмосиликатов, доломита (карбонатов) и оксидов с  $pH_{ТНЗ} \cong 7 \div 12$ .

Согласно представленной системы сорбции механизм выглядит следующим образом: на силику за счёт электростатических сил садятся избыточные протоны, потому что она кислота и её поверхность имеет отрицательный заряд. Остающиеся от воды гидроксилы располагаются вплотную к поверхности (слой Гельмгольца). Далее в слое Гуи (диффузионном) присутствуют вода, гидроксилы из нее и протоны, небольшой избыток протонов.

Поверхность гетита заряжена положительно. К поверхности подходит слой противоионов  $OH^-$ , который втягивают в слой Штерна протоны и катионы металла, например, железа. Число гидроксидов на поверхности определяется кристаллической структурой оксида, т.е. гетита. В слое Гуи – противоионы (гидроксилы и кислотные остатки). Поверхность со знаком -. Катионы  $FeOH^+$  сорбируются на поверхности и образуют внутрисферные комплексы  $Fe(OH)_2$  которые заряжены нейтрально. При том происходит депротонирование поверхности и на место  $H^+$  сорбируется катион железа. Избыток  $H^+$  выделяющихся при сорбции катионов сорбирует силика.

При динамическом режиме при подаче воды на колонну происходит аналогичный процесс сорбции, но при заполнении сорбционных центров катионом  $FeOH^+$ , на нейтральной поверхности  $Fe(OH)_2$  повторно происходит сорбция катиона  $H^+$  и поверхность вновь получает заряд. Это продолжается пока не наступит равновесие между  $pH_{ТНЗ}$  материала  $pH_{раств}$ . Так как катион  $FeOH^+$  при сорбции будет нейтрализоваться до  $Fe(OH)_2$  то колонна, загруженная фильтрующим материалом, будет обрабатываться по слоям, т.е. по высоте колонны непрерывно происходит изменение зарядов поверхностей,  $pH$  и концентраций железа.

Гетит и силика образуют мозаичную поверхность. В связи с этим фактор диффузии минимальный и за счёт перемешивания растворов, протоны и гидроксилы нейтрализуются до  $pH=6.5$ , что не создаёт препятствия для сорбции.

Согласно эксперимента, в дистиллированную воду содержащую растворённое железо вносился фильтрующий материал ОДМ 2Ф. Эксперимент проводился при постоянном насыщении кислородом, а также аргоном. Ниже в табл. 1 и табл. 2 представлены результаты эксперимента.

В табл. 1 приведена зависимость концентрации ионов  $Fe^{2+}$  от времени контакта с фильтрующим материалом ОДМ-2Ф в растворе.

В табл. 2 приведена зависимость концентрации ионов  $Fe^{3+}$  от времени контакта с фильтрующим материалом ОДМ-2Ф в растворе.



Таблица 1

**Зависимость концентрации ионов  $Fe^{2+}$  от времени контакта с фильтрующим материалом ОДМ-2Ф в растворе**

<b>Концентрация ионов <math>Fe^{2+}</math>, мг/л</b>										
Время контакта, (мин)	0	5	15	30	45	60	75	90	105	120
Проба №1 (аргон)	2.7	2.6	2.3	2.2	2.3	2.2	2.3	2.2	2.3	2.3
Проба №2 (кислород возд.)	2.7	2.5	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4

Таблица 2

**Зависимость концентрации ионов  $Fe^{3+}$  от времени контакта с фильтрующим материалом ОДМ-2Ф в растворе**

<b>Концентрация ионов <math>Fe^{3+}</math>, мг/л</b>										
Время контакта, (мин)	0	5	15	30	45	60	75	90	105	120
Проба №3 (аргон)	3,2	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Проба №4 (кислород возд.)	3,2	3,05	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0

Данные, полученные в ходе эксперимента, свидетельствуют о том, что сорбция ионов  $Fe^{2+}$  и  $Fe^{3+}$  на слое инертной фильтрующей загрузке ОДМ2Ф в модальных растворах не происходила ни в присутствии среды кислорода, ни в присутствии среды аргона. Таким образом можно сделать вывод о том, что процесса сорбции даже в динамическом режиме происходить не будет.

Для подтверждения второй гипотезы мы разработали план эксперимента, в основе которого лежит определение железобактерий в воде, а также сравнение физико-химического и биологического метода очистки с использованием труднорастворимых соединений железа.

Исследовались подземные воды, а также фильтрующий материал колонн обезжелезивания нескольких предприятий Белгородской области. Ниже в табл. 3 представлены результаты исследования.

Присутствие данных групп железобактерий в пробах, свидетельствует о возможности протекания процессов окисления и восстановления соединений железа в воде.

Следующим этапом являлось проведение эксперимента по оценке эффективности физико-химической и биологической очистки с использованием цитрата железа, который является трудно окисляемым комплексным

соединением. Дозирование цитрата железа осуществлялось в проточную воду, которая проходила через фильтр с загруженным инертным материалом ОДМ 2Ф.

Таблица 3

**Численность микроорганизмов, участвующих в процессах окисления и восстановления железа в исследуемых образцах воды и осадках.  
Объект ООО «ПКМ АГРО», ООО «ИЗОВОЛ АГРО»,  
ООО «АГРО БЕЛОГОРЬЕ»**

№ пробы	Исследуемый материал	рН	Клеток в 1 мл (на питательных средах)					
			Микроорганизмы, окисляющие Fe <sup>2+</sup>			Микроорганизмы, восстанавливающие Fe <sup>3+</sup>		
			Аэробные автотрофные железобактерии <i>Gallionella</i> *	Аэробные гетеротрофные железобактерии	Анаэробные литогетеротрофные железобактерии	Железо-редуцирующие бактерии	Бродильщики	Сульфат-редуцирующие бактерии
1-1	Вода из скважины	7,1	10 <sup>4</sup>	0	10 <sup>3</sup>	10 <sup>2</sup>	0	0
2-1	Осадок с фильтра	7,2	10 <sup>4</sup>	0	10 <sup>5</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>5</sup>	0
3-1	Вода после фильтра	7,2	0	0	10 <sup>2</sup>	0	10 <sup>2</sup>	0
1-2	Вода из скважины	6,9	10 <sup>4</sup>	0	10 <sup>4</sup>	10 <sup>3</sup>	0	0
2-2	Осадок с фильтра	7,1	10 <sup>4</sup>	0	10 <sup>6</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup>	0
3-2	Вода после фильтра	7,1	0	0	10 <sup>2</sup>	0	10 <sup>2</sup>	0
1-3	Вода из скважины	7,2	10 <sup>4</sup>	0	10 <sup>4</sup>	10 <sup>3</sup>	0	0
2-3	Осадок с фильтра	7,3	10 <sup>4</sup>	0	10 <sup>6</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>2</sup>	0
3-3	Вода после фильтра	7,3	0	0	10 <sup>4</sup>	0	10 <sup>1</sup>	0

Результаты серии опытов по сопоставлению скоростей процессов биологического и химического осаждения растворимых соединений Fe(II) из воды приведены в табл. 4.

Таблица 4

**Результаты серии опытов по сопоставлению скоростей процессов биологического и химического осаждения растворимых соединений Fe из воды на объекте ООО «ПКМ АГРО»**

Время от начала протока, сут.	Биологические процессы				Химические процессы			
	Концентрация Fe <sup>2+</sup> , мг/л. Исходная вода	рН. Исходная вода	Концентрация Fe <sup>2+</sup> , мг/л. Очищенная вода	рН. Исходная вода	Концентрация Fe <sup>3+</sup> , мг/л. Исходная вода	рН. Исходная вода	Концентрация Fe <sup>3+</sup> , мг/л. Очищенная вода	рН. Исходная вода
0	2,6	6,9	2,5	7,1	2,6	6,9	2,6	6,9
1	2,7	6,9	0,35	7,1	2,6	6,9	2,55	6,9
3	3,3	6,9	0,37	7,1	2,75	6,9	2,7	6,9
5	3,6	6,9	0,36	7,1	3,1	6,9	3,15	6,9
7	3,6	6,9	0,35	7,1	3,2	6,9	3,2	6,9
9	3,6	6,9	0,36	7,1	3,1	6,9	3,1	6,9

Установлено, что процесс деферризации артезианской воды, обусловлен жизнедеятельностью железобактерий, в данном случае аэробными автотрофными железooksисляющими бактериями рода *Gallionella* и анаэробными литогетеротрофными железooksисляющими бактериями. Окисление железа кислородом не имело места, т. к. железо в данной форме практически не окисляется кислородом воздуха. Также в экспериментах было установлено, что остановки системы водоподготовки негативно сказываются при использовании «метода упрощённой аэрации» и требуется некоторое время на восстановление эффективности очистки данным методом.

Из вышеизложенного следует сделать вывод о том, что основной движущей силой процесса обезжелезивания на слой фильтрующей загрузки при использовании «метода упрощённой аэрации» является жизнедеятельность железooksисляющих микроорганизмов.

Библиографический список

1. Saroj Kumar Sharma (2001). Adsorptive Iron Removal from Groundwater. Интернет-ресурсы: <http://repository.tudelft.nl>.
2. Hauer G.E. Iron and carbon dioxide removal. Journal AWWA. №42/1950.

3. Милов М.А. Исследование коррозионной активности воды в процессе её обезжелезивания: Тезисы докл. науч.-техн. конф. НИИЖТ. — Хабаровск: Изд-во НИИЖТ, 1972.

4. Золотова Е.Ф., Асс Г.Ю. Очистка воды от железа, марганца, фтора и сероводорода. — М.: Стройиздат, 1975.

5. Янченко Д.Ф. Способ очистки подземных вод: Патент РФ на изобретение №RU 2187463 от 06.06.2001.

6. Старение оксигидроксидных сорбентов, насыщенных катионами цветных металлов.// Печенюк С.И., Семушин В.В., Кашулина Т.Г. / Химия в интересах устойчивого развития. 2003.т.11, с.633-639.

7. Менча М.Н. Биологические помехи в работе систем питьевого водоснабжения //Водные проблемы. – Минск, БНТУ, 2004, с. 33-36.

8. Седлуха С.П., Софинская О.С. Биологический метод очистки подземных вод от железа // Вода и экология, 2001, № 1, с. 13-21.

9. Горленко В.М., Дубинина Г.А., Кузнецов С.И. Экология водных микроорганизмов. - М.: Наука, 1977. - 288 с.

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Е.А. Стрижкова, студент БашГАУ; Д.Н. Кутляров, доц., к.т.н., БашГАУ, г. Уфа

В современном мире накоплено огромное количество техногенных отходов, которые можно использовать в качестве вторсырья для производства строительных материалов.

Сегодня научно-технический прогресс в мире напрямую связан с использованием природных ресурсов и накоплением большого объема техногенных отходов. Уровень полезного использования отходов промышленности в хозяйственных целях составляет около 15 %. Одним из плохо используемых отходов является фосфогипс – 2%.

Хотя скопления фосфогипса и не привлекают такого внимания, как некоторые другие промышленные катастрофы, связанные с накоплением побочных продуктов (например, угольная зола), они, безусловно, оставляют свой отпечаток. Две главные проблемы, связанные с накопителями фосфогипса, это экологические риски, а также их стоимость для промышленности. Если раньше складирование было наиболее экономичным способом утилизации фосфогипса, то сейчас оно представляет собой значительные затраты для промышленности. Это особенно актуально в эпоху, когда правила обращения с отходами и их захоронения продолжают ужесточаться.

Состав фосфогипса варьируется от источника к источнику, но отходы часто содержат ряд нежелательных компонентов, таких как тяжелые металлы, которые наносят вред окружающей среде, при отсутствии тщательной обработки.

*Таблица 1*

**Примерный химический состав фосфогипса**

Компонент	Содержание (по сухому весу), %
Гипс ( $\text{CaSO}_4$ )	93,4
Фторид кальция ( $\text{CaF}_2$ )	2,6
Оксид фосфора ( $\text{P}_2\text{O}_5$ )	1,8
Диоксид кремния ( $\text{SiO}_2$ )	1,2
Оксид алюминия ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )	0,7
Оксид железа ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )	0,2
Хлорид кальция ( $\text{CaCl}_2$ )	0,1

По природе фосфогипс является побочным продуктом переработки фосфатной породы на заводах по производству фосфорной кислоты и фосфорных удобрений, таких как суперфосфат. Процесс мокрой химической обработки фосфорной кислотой или «мокрый процесс», при котором фосфатная руда переваривается серной кислотой, широко используется для производства фосфорной кислоты и сульфата кальция.

По результатам исследований независимых ученых из разных стран было опытным путем установлено, что физико-механические свойства фосфогипса делают его неплохой альтернативой для традиционных строительных материалов, в частности обычного гипса.

Ежегодное мировое производство фосфогипса оценивается в 600 млн. тонн. Этот побочный продукт загрязнен различными примесями, как химическими, так и радиоактивными, и обычно хранится в специальных зонах. Проблема загрязненного фосфогипса уже стала международной экологической проблемой. Например, огромное количество фосфогипса накопилось в США (штат Флорида), Иордании, Канаде, Сирии и России.

На территории России накоплено более 200 миллионов тонн фосфогипса, который утилизируется в отвалы, что усложняет эксплуатацию предприятий и ухудшает экологическую обстановку прилегающей к отвалам территорий. Исходя из этого, вопрос переработки и использования фосфогипса является особенно актуальным.

Индустрия производства строительных материалов является крупнейшей среди всех отраслей промышленности, которая способна перерабатывать наибольшее количество этого промышленного побочного продукта и приносить пользу человеку. Однако из-за загрязнения, только 15% мирового производства фосфогипса перерабатывается в качестве строительных продуктов и при производстве портландцемента (небольшое количество перерабатывается в качестве сельскохозяйственного удобрения), тогда как остальные 85% утилизируются без нейтрализации радиоактивных веществ.

Потенциал для создания товарного продукта из фосфогипса был бы огромным экономическим выигрышем для отрасли, создавая поток прибыли.

На сегодняшний день широкое применение получило использование фосфогипса в гражданском и дорожном строительстве.

В разных странах было несколько попыток изготовления строительных материалов из фосфогипса. Например, фосфогипс некоторое время назад использовался компанией из Нью-Джерси для производства стеновых панелей, блоков перегородок и штукатурки для распространения на северо-востоке США. Из-за отсутствия дешевого природного гипса и отсутствия места для длительного хранения, фосфогипс широко использовался для изготовления стеновых и других строительных материалов, а также в качестве замедлителя цемента в Японии и Южной Корее.

Производственная компания «Knauf» предлагает варианты производства вяжущих из фосфогипса в зависимости от области его применения. Один из вариантов, это, промывка загрязненного фосфогипса, и флотация для удаления водорастворимых и твердых примесей, затем фосфогипс дегидратируют в котлах периодического или непрерывного действия. По исходу, полученный чистый продукт не оказывает негативного воздействия на картон, покрывающий поверхность панелей или плит.

Следовательно, из чистого продукта можно получить материал, служащий заменой традиционному гипсу и обладающий теми же необходи-

мыми свойствами, а дигидрат сульфата кальция в виде гипса или фосфогипса может быть использован в термопластичных полимерных композициях в качестве наполнителя и модификатора. В зависимости от его количества и наличия других добавок сульфат кальция вызывает повышение прочности, твердости, износостойкости, а также снижение горючести и усадки.

Таблица 2

### Свойства фосфогипса

Основные свойства	Показатели
Водопотребность для нормальной густоты	60-70%
Начало схватывания	8-10 мин
2-часовая прочность на сжатие	5-6 МПа
2-часовая прочность на изгиб	2,4-3,0 МПа
Конец схватывания	10-15 минут
Предел прочности на сжатие	30-50 МПа

На основе химических анализов конкретного фосфогипса подбирают необходимые наполнители, которые нейтрализуют примеси снижающие свойства гипса и уже из полученной смеси делают перегородочные блоки и плиты, кирпичи, гипсокартонные листы, акустические и декоративные плиты.

Основные методы подготовки фосфогипса в производстве гипсовых вяжущих можно разделить на 4 группы: промывка фосфогипса водой, нейтрализация и осаждение примесей в фосфогипсе в сочетании с промывкой, термическое разложение примесей, постепенное добавление нейтрализующих и регулирующих добавок перед и после обжига.

Наблюдение и фиксирование состояния образцов из фосфогипса, снабженных различным количеством минеральных добавок, доказало, что происходит набор прочности, пропорциональный времени твердения. Наиболее интенсивный рост наблюдается во влажных условиях, где происходит полное образование гидросиликатов и алюминатов кальция.

Из фосфогипсовых вяжущих в перспективе можно получить стеновые гипсобетонные камни классов В7,5—В12,5 способом вибропрессования, а также крупноразмерные элементы для возведения стен. Изделия на основе фосфогипсовых вяжущих обладают более низкой деформативностью, чем на аналогичных вяжущих из природного сырья.

Помимо изготовления гипсовых камней на основе фосфогипса, наблюдается большая перспектива использования данного промышленного отхода в качестве связующего для стабилизации грунта и замены глины в строительстве второстепенных дорог и парковок. Опыт Департамента транспорта Флориды (США) показал огромную экономию на стоимости строительства с использованием фосфогипса по сравнению с традиционным методом.

Фосфогипс своего рода крупномасштабный отход в фосфатной промышленности, который ежегодно требует значительных затрат на утилизацию.

Указанное выше использование продуктов переработки фосфатной породы эффективно экономически и особенно экологически. С экономической точки зрения основное преимущество – низкая цена строительного материала, полученного из отхода. С экологической точки зрения преимущества переработки отходов, следующие:

- улучшается состояние окружающей среды, так как происходит ликвидация промышленных свалок;

- применение вторсырья позволяет серьезно снизить добычу природных ресурсов;

- полученные результаты по прочностным параметрам соответствуют традиционному гипсу и превосходят некоторые композитные материалы, которые обладают хорошими механическими свойствами и, вероятно, могут быть более дешевыми заменителями. Но, следует подчеркнуть, что, несмотря на эффективное использование фосфогипса не может покрыть потребность в его утилизации.

#### Библиографический список

1. Булатов Б.Г., Недосеко И.В. Автоматизация системы управления производством стеновых изделий на основе фосфогипса. // В сборнике: Повышение эффективности производства и применения гипсовых материалов и изделий. Материалы VIII международной научно-практической конференции. Под научной редакцией А.Ф. Бурьянова. 2016. С. 21-25.

2. Кутляров Д.Н., Кутляров А.Н. Особенности малоэтажного строительства // В сборнике: Проблемы сохранения и преобразования агроландшафтов материалы Международной интернет-конференции, посвященной 225-летию со дня рождения С.Т. Аксакова. 2016. С. 227-229.

3. Кутляров А.Н. Вопросы правового обеспечения организационно-экономического механизма защиты земель от деградации в Республике Башкортостан // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. 2008. № 7 (43). С. 78-79.

4. Кутляров А.Н. Совершенствование экономического механизма защиты земель от деградации // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. 2007. № 11. С. 55.



## ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ВЫПУСКОВ В УСЛОВИЯХ СУРОВОГО КЛИМАТА

Л.Д. Терехов, проф., д.т.н., ФГБОУ ВО ПГУПС, г. Санкт-Петербург; Ш.Б. Майны, ст. преп., ФГБОУ ВО ТувГУ, г. Кызыл

Территория Восточной Сибири характеризуется резко континентальным климатом. Это проявляется в исключительно больших сезонных различиях температуры воздуха, малой облачности и повышенной глубиной сезонного промерзания грунтов 3,2 м. Зимой погода в Восточной Сибири формируется под влиянием обширной области повышенного давления – Азиатского антициклона. К этим территориям относится и Республика Тыва. Столицей Республики Тыва является город Кызыл, с населением около 120 тыс. человек.

Основные климатические показатели города приведены в табл. 1 [1-5], где  $t_v$  – среднемесячная температура воздуха, °С;  $h_c$ , – средняя за зиму толщина снежного покрова, м;  $V_v$ , – средняя скорость ветра, м/с;  $n$  – наблюдаемая облачность в долях единицы;  $e$  – абсолютная влажность воздуха, г/м<sup>3</sup>;  $e_0$  – максимальная упругость водяных паров, гПа;  $J$  – эффективное излучение при безоблачном небе; Вт/м<sup>2</sup>;  $(Q+q)_0$  – суммарная солнечная радиация на уровне моря, Вт/м<sup>2</sup>;  $R$  – среднемесячное значение радиационного баланса, Вт/м<sup>2</sup>;  $E$  – среднемесячное значение затраты тепла на испарение с поверхности, Вт/м<sup>2</sup>.

Канализационные выпуски из домов в условиях Восточной Сибири являются наиболее ответственным участком канализационной сети как в отношении опасного влияния на стабильность грунта у фундаментов зданий, так и в отношении замерзания воды в самих выпусках. В первом случае опасность заключается в местном распространении талого грунта на глубину, большую глубину заложения фундамента здания, устойчивость которого может нарушиться вследствие периодических просадок и вспучиваний грунта в основании. Во втором случае, при перемерзании выпуска сложности возникают с отогревом замерзшей воды. Если работы по оттаиванию проводятся с опозданием, возможны разрывы труб с последующими значительными затратами на их восстановление. Правильное назначение оптимальной глубины заложения канализационного выпуска является одним из важнейших факторов надежной работы всей системы канализации.

Учитывая эти обстоятельства, на устройство домовых выпусков должно быть обращено особое внимание как в отношении выбора наиболее рациональных проектных вариантов, так и в отношении соблюдения всех требований качественного строительства выпусков.

Принципы устройства домовых выпусков и их конструкции тесно связаны с конструкциями и методами строительства зданий [6].

Очень большую опасность представляет собой вода, просачивающаяся в грунт основания. Поэтому всякая утечка из водопровода или канализации, как бы незначительна она ни была, рассматривается как авария и должна устраняться немедленно после ее обнаружения.

Таблица 1

## Основные климатические показатели г. Кызыла

№ п/п	Показатель	Месяцы												Средние значения	
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	За лето	За зиму
1	$t_{os}, ^\circ\text{C}$	-27,8	-25,8	-14,8	0,6	10,8	16,5	18,5	16,3	10,2	0,9	-11,7	-23,5	13,05	-18,2
2	$h_{cs}, \text{м}$	0,2	0,2	0,2	-	-	-	-	-	-	-	0,1	0,1	0,16	0,16
3	$V_{\theta}, \text{м/с}$	4,1	4,1	3,8	4,2	3,9	3,5	3,3	3,5	3,8	4,1	4,3	4,2	3,7	4,1
4	$n$ , дол. ед.	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6		
5	$e$ , гПа	0,8	1,0	1,8	3,2	5,2	10,6	14,8	13,1	7,6	3,9	1,8	1,1	9,08	1,73
6	$e_{\theta}$ , гПа	0,4	0,4	1,6	7,1	14,0	19,0	23,0	19,0	12,0	6,1	1,6	0,4		
7	$J_s$ , Вт/м <sup>2</sup>	75,0	75,0	75,0	100,0	100,0	75,0	85,0	85,0	90,0	100,0	75,0	75,0		
8	$(Q^{+q})_{\theta}$ , Вт/м <sup>2</sup>	65,0	112,0	179,0	255,0	312,0	334,0	319,0	272,0	204,0	134,0	78,0	55,0		
9	$R_s$ , Вт/м <sup>2</sup>	-44,0	-35,0	-21,0	-16,0	-9,0	9,6	0,8	-8,5	-23,0	-42,0	-41,0	-45,0		
10	$E_s$ , Вт/м <sup>2</sup>	0	0	0	34,0	72,0	63,0	59,0	44,0	35,0	18,0	0	0		

При устройстве канализации необходимо уделять большое внимание сохранению трубопроводов от замерзания. В периоды минимального притока сточных вод в канализационные выпуски в трубопроводе могут осажаться взвеси, и при понижении температуры в этом месте может образовываться наледь. Для предохранения от замерзания трубы прежде всего следует надежно теплоизолировать. Если в результате теплотехнических расчетов окажется необходимым слишком мощный слой теплоизоляционного материала, что приведет к значительному удорожанию строительства, тогда придется увеличивать глубину укладки выпуска, или для защиты труб от замерзания можно искусственно создавать дополнительный расход посредством сброса через санитарные приборы водопроводной воды.

Преимущество способа борьбы с замерзанием воды в трубопроводах с помощью искусственно создаваемых холостых сбросов воды в канализацию заключается в следующем:

- предохраняются от замерзания не только домовые выпуски, но и начальные участки уличной сети;
- простота осуществления, не требуется сколько-нибудь значительных усилий со стороны эксплуатационников;
- одновременно с канализацией предохраняется от замерзания и водопровод, особенно вводы в здания и участки трубопровода с малым расходом.

Наряду с перечисленными преимуществами, существующая практика холостых сбросов воды в канализацию в целях предохранения ее от замерзания имеет и недостатки:

- значительно увеличивается расход воды;
- увеличиваются затраты на эксплуатацию канализационных сетей.

Во всяком случае, при проектировании канализации надо стремиться устраивать минимальное количество выпусков из здания (лучше всего не более одного выпуска), сокращать длину выпуска от здания до наружной канализационной сети. Этого можно достичь только в том случае, если устройство внутридомовой наружной канализации будет полностью увязано как между собой, так и с внутренней планировкой здания и квартала или микрорайона.

Выбор способа защиты домового выпуска от замерзания определяется технико-экономическими показателями и должен в каждом отдельном проекте решаться с учетом местных условий [7].

В настоящее время для устройства домовых выпусков применяют стальные и чугунные трубы. Не говоря уже о дефицитности материала и о высокой стоимости этих труб, они обладают большой теплопроводностью и значительным весом, подвергаются коррозии, а при замерзании воды в них образуются трещины. Кроме того, стыки чугунных труб при их деформации довольно часто разрушаются.

Учитывая изложенное, а также трудности, связанные с доставкой труб в районы Восточной Сибири, надо обратить серьезнейшее внимание на применение труб из других материалов и, в частности, из полимерных материалов.

Полиэтиленовые трубы, особенно полиэтиленовые и винилпластовые (поливинилхлоридные), обладают рядом преимуществ по сравнению с металлическими трубами при использовании их не только для домовых выпусков, но и во всех внутренних и наружных канализационных прокладках.

Отметим общие положительные свойства полиэтиленовых труб:

- стойкость против химической и электрохимической коррозии;
- большая, чем у металлических труб, пропускная способность, что позволяет уменьшать их расчетное сечение;
- небольшой вес – они в 5-10 раз легче металлических труб;
- малая теплопроводность;
- достаточная механическая прочность и долговечность;
- отсутствие зарастания труб;
- неэлектропроводность, вследствие чего на них не действуют блуждающие токи.

В последние годы трубы из полимерных материалов получили довольно широкое распространение [8]. Производство и применение их в строительстве из года в год увеличивается.

В условиях сурового климата для устройства домовых выпусков и других наружных прокладок наиболее пригодными трубами являются полиэтиленовые, так как полиэтилен обладает многими положительными свойствами по сравнению с другими полимерными материалами.

Из всех видов полимеров полиэтилен самый легкий, обладает высокой морозостойкостью. При замерзании воды полиэтиленовые трубы не разрушаются, так как при образовании льда полиэтилен растягивается, а при таянии льда снова сжимается.

Благодаря большой прочности и упругости полиэтиленовые трубы хорошо противостоят усилиям, возникающим при деформации почвы.

### **Заключение**

При проектировании и строительстве домовых выпусков от жилых и общественных зданий в целях создания оптимальных условий для их работы необходимо руководствоваться следующими положениями:

1. При внутренней планировке зданий надо стремиться к компактному размещению санузлов в здании (объединение не менее четырех санузлов в каждом этаже одним канализационным стояком). Объединять несколько стояков на один выпуск. Количество выпусков должно быть минимальным.
2. Проводить мероприятия по предотвращению попадания сточных вод из выпуска в грунт.
3. Целесообразно выпуски выполнять из полиэтиленовых труб взамен металлических.

### **Библиографический список**

1. СП 131.13330.2012 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99\*.

2. Майны Ш.Б. Температурный режим сезоннопромерзающих грунтов (на примере г. Кызыла) // Промышленное и гражданское строительство. 2010. № 10. С. 50-51.

3. Майны Ш.Б. Проблемы бесканальной прокладки трубопроводов в горных регионах (на примере Республики Тыва) // Естественные и технические науки. 2014. № 7 (75). С. 114-118.

4. Терехов Л.Д., Майны Ш.Б., Черников Н.А. Экспериментальное исследование оттаивания грунта вокруг канализационных трубопроводов мелкого заложения в зимнее время // Вода и экология: проблемы и решения. 2019. № 4 (80). С. 71-78.

5. Терехов Л.Д., Майны Ш.Б. Исследование изменения теплового режима канализационных сетей в зимний период // Водоснабжение и санитарная техника. 2019. № 12. С. 42-47.

6. Воловник Г.И., Терехов Л.Д., Коробко М.И. Общие вопросы технической эксплуатации коммунальных систем водоснабжения и водоотведения // учебное пособие для студентов направления 653500 (270100) «Строительство» по специальности 290800 (270112) «Водоснабжение и водоотведение» вузов региона. Хабаровск: Изд-во ГОУ ВПО ДВГУПС, 2005. 84 с.

7. Майны Ш.Б., Заборщиков О.В. Анализ опыта строительства и эксплуатации канализационных трубопроводов в районах глубокого сезонного промерзания грунтов. В сборнике: Актуальные проблемы современного строительства 62-я Международная научно-техническая конференция молодых ученых: сборник материалов конференции: в 5 частях. Федеральное агентство по образованию, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. 2009. С. 13-17.

8. Продоус О.А., Терехов Л.Д. Гидравлические характеристики раструбных труб из ВЧШГ с полиуретановым покрытием внутренней поверхности // Водоснабжение и санитарная техника. 2017. № 5. С. 53-57.

## ОПЫТ РАБОТЫ НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ АЛЬФА-ФАКТОРА

**А.А. Файзурахманова**, магистрант, ИжГТУ имени М.Т. Калашникова; **А.А. Кузнецов**, магистрант, ИжГТУ имени М.Т. Калашникова; **М.Ю. Дягелев**, к.т.н., ИжГТУ имени М.Т. Калашникова, г. Ижевск

Затраты на электроэнергию, потребляемую воздухоудувками, обеспечивающими требуемый кислородный режим аэротенков, признаны как отечественными, так и зарубежными специалистами в области биологической очистки сточных вод, самыми высокими при эксплуатации канализационных очистных сооружений. Количество потребляемой электроэнергии как отмечают Харьковина О.В., Благодарная Г.И., Rosso D., Stenstrom M., Chern J.-M., Chou S.-R., Shang C.-S. в данном случае зависит от КПД воздухоудувных агрегатов, эффективности аэрационной системы, а также от количества кислорода, которое необходимо подать в аэротенки для обеспечения требуемой эффективности биологической очистки [1-5].

На рис. 1 и 2 приведено типичное распределение потребления электроэнергии различным оборудованием канализационных очистных сооружений России и Америки [2; 3]. На представленных диаграммах видно, в не зависимости от стран, что наибольшая доля потребляемой электроэнергии приходится на аэрацию, то есть на реализацию аэробных биохимических процессов в сооружениях биологической очистки.



**Рис. 1.** Типичное распределение электропотребления на городских канализационных очистных сооружениях России [2]



**Рис. 2.** Типичное распределение электропотребления на городских канализационных очистных сооружениях Соединенных Штатов Америки [2]

Системы аэрации, используемые в аэротенках, подразделяются на механические, пневматические, пневмомеханические и струйные или эжекторные (см. рис. 3). Выбор системы аэрации и схемы ее реализации для конкретных аэротенков производится индивидуально для рассматриваемых очистных сооружений с учетом таких факторов, как [2; 6; 7]:

- технология биологической очистки сточных вод, реализуемая в аэротенках (окисление углеродсодержащих соединений (с регенерацией активного ила или без регенерации), нитрификация, нитри-денитрификация, нитри-денитрификация и биологическое удаление фосфора);

- качество поступающих на биологическую очистку сточных вод и требования к очищенной воде;

- гидродинамические характеристики аэротенков (смесители, вытеснители, реакторы промежуточной гидродинамики потоков, аэротенки с рассредоточенной подачей воды и т. д.).



**Рис. 3.** Классификация аэрационных систем аэротенков [6]

Применение современных энергоэффективных управляемых воздушных машин позволяет снизить удельное потребление электроэнергии на единицу количества производимого воздуха. Количество же воздуха, которое требуется подать в аэротенки для обеспечения необходимого количества кислорода, потребляемого на биологические процессы, напрямую зависит от эффективности аэрационной системы.

Как отмечает Харьковина О.В., эффективность переноса кислорода воздуха является интегральным показателем эффективности работы аэрационных систем и представляет собой отношение количества воздуха, израсходованного для окисления массы загрязнений, поступивших в сооружение биологической очистки, к общему расходу воздуха, подаваемого в сооружение, выраженному в процентах. Эффективность переноса кислорода воздуха предлагается использовать в качестве оценки эффективности работы аэрационной системы, в качестве одного из основных параметров оперативного контроля работы сооружений [2].

При эксплуатации аэротенков, работающих только на окисление органических соединений, потребность в кислороде  $S_{O,L}$ , мг/л, определяется как [2, 3]:

$$S_{O,L} = 1.1(L_{en} - L_{ex})$$

где  $L_{en}$  – значение БПК<sub>полн</sub> сточных вод, поступающих на биологическую очистку, мг/л;  $L_{ex}$  – значение БПК<sub>полн</sub> сточных вод, прошедших биологическую очистку, мг/л.

Тогда количество кислорода на окисление органических соединений  $Q_{O,L}$ , кг/ч, определяется как:

$$Q_{O,L} = 0.001S_{O,L} \cdot Q_h$$

где  $Q_h$  – текущий часовой расход сточных вод, м<sup>3</sup>/ч.

При расчете требуемого количества кислорода для технологий нитрификации и нитри-денитрификации расчет следует проводить с учетом потребности в кислороде процесса нитрификации и снижения количества органических соединений, окисляемых растворенным кислородом, за счет потребления части органических соединений в ходе процесса денитрификации.

При 100%-й (идеальной) эффективности использования кислорода воздуха расход воздуха на окисление органических соединений  $Q_{air,100\%}$  м<sup>3</sup>/ч определяется как:

$$Q_{air,100\%} = \frac{Q_{O,L}}{0.21 \cdot 1.43}$$

где 0,21 – объемное содержание кислорода в воздухе (20,9 %); 1,43 – плотность кислорода, кг/м<sup>3</sup>, при нормальных условиях.



В общепринятой практике [1-10], критерием оценки эффективности работы аэрационных систем служит альфа-фактор, связывающий отношения коэффициента массопередачи с удельной площадью контакта воды с воздухом для иловой воды и коэффициента массопередачи с удельной площади контакта воды с воздухом для чистой воды:

$$\alpha = \frac{K_L \alpha(\text{wastewater})}{K_L \alpha(\text{tap water})}$$

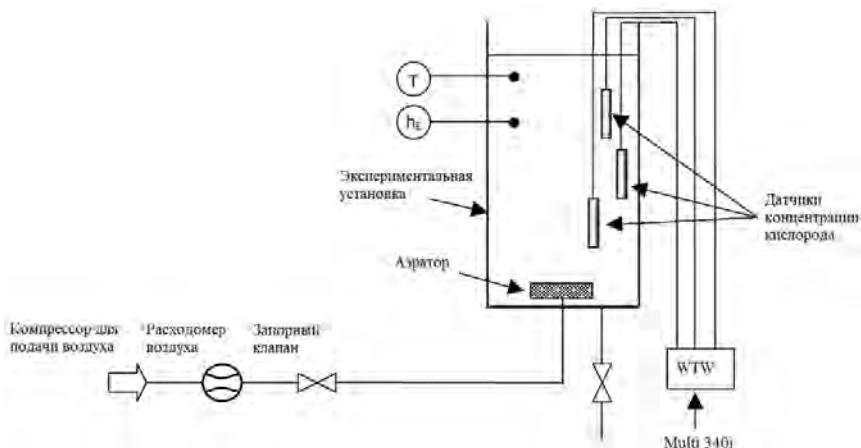
где  $(K_L a)_{\text{wastewater}}$  – объемный коэффициент массопередачи в иловой смеси,  $\text{мин}^{-1}$ ;  $(K_L a)_{\text{tap water}}$  – объемный коэффициент массопередачи в чистой воде,  $\text{мин}^{-1}$ .

В подавляющем большинстве случаев альфа-фактор  $\alpha < 1$ .

С экономической точки зрения величина альфа-фактора представляет большую ценность, чем последствия денитрификации: при снижении коэффициента качества к примеру с 0,9 до 0,6, расходы электроэнергии на аэрирование стоков увеличиваются почти в 1,5 раза.

При отсутствии реальных данных, обычно на практике эксплуатации очистных сооружений канализации принимается среднее негативное значение данной величины – 0,8.

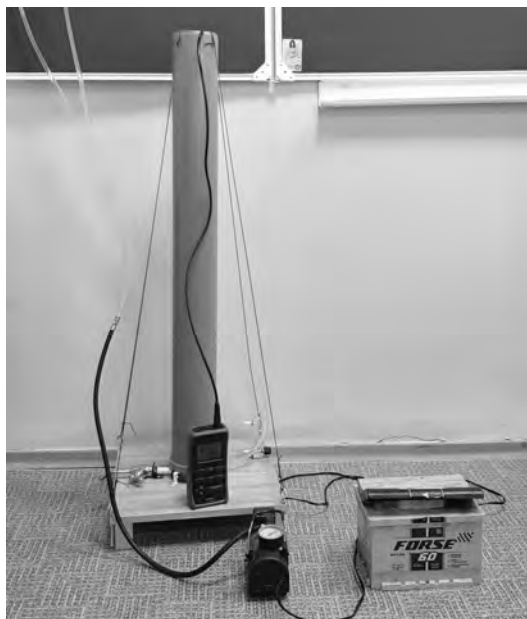
Для определения зависимости эффективности работы аэрационных систем от содержания поверхностно-активных веществ и взвешенных веществ была составлена схема (см. рис. 4) и разработана экспериментальная установка, представленная на рис. 5.



**Рис. 4.** Схема экспериментальной установки

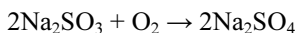
Установка состоит из круглой трубы диаметром 100 мм и высотой 1500 мм, подача воздуха осуществляется компрессором на мелкопузырчатый мембранный аэратор, объем подаваемого воздуха регулируется иголь-

чатый клапаном на расходомере. Изменение концентрация кислорода в объеме воды измеряется датчиками кислорода портативного мультипараметрового анализатора Multi 340i – оксиметром.



**Рис. 5.** Экспериментальная установка для определения альфа-фактора

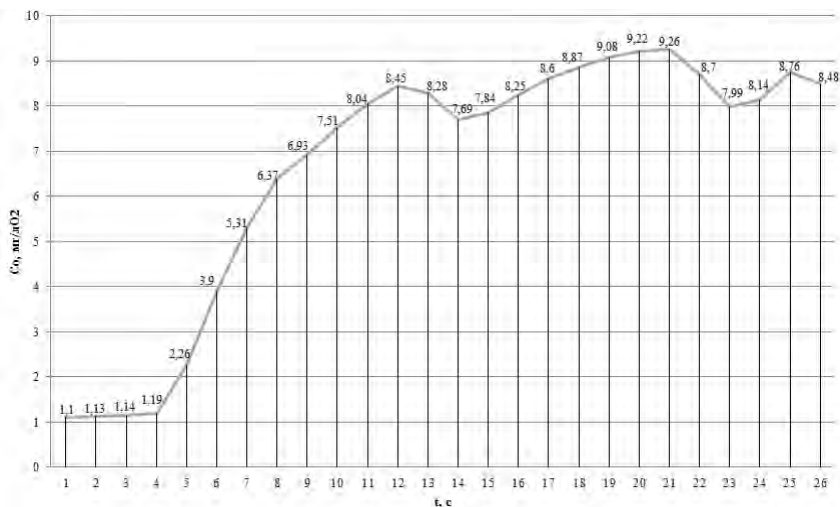
Реагентная деаэрация воды производилась сульфитным методом, с использованием реагента сульфита натрия  $Na_2SO_3$ . Обработка воды сульфитом натрия основана на реакции окисления сульфита растворенным в воде кислородом:



Навеска сульфита составила 2,5 г. Первичные опыты на чистой воде позволили получить кривую насыщения воды кислородом, (см. рис. 6). В дальнейшем на установке планируется проведения ряда экспериментов:

1. измерение  $(K_L a)_{wastewater}$  при различных концентрациях поверхностно-активных веществ;
2. измерение  $(K_{La})_{wastewater}$  при различных концентрациях взвешенных веществ.

Полученные значения планируется использовать для вычисления альфа-фактора и разработки практических рекомендаций по снижению энергопотребления при эксплуатации очистных сооружений.



**Рис. 6.** График зависимости насыщения кислородом воды с течением времени

Исследования выполняются при финансовой поддержке ИжГТУ имени М.Т. Калашникова в рамках научного проекта № ДМЮ/20-70-24.

#### Библиографический список

1. Благодарная Г.И. Энергосбережение при биологической очистке сточных вод // Ресурсосбережение и энергоэффективность инженерной инфраструктуры урбанизированных территорий: материалы международной конференции (Харьков, 1-28 февраля 2013 г.). – Харьков, 2013. С. 111-114.
2. Харькина О.В. Эффективная эксплуатация и расчет сооружений биологической очистки сточных вод. – Волгоград: Панорама, 2015. 433 с.
3. Rosso D. Oxygen transfer in activated sludge processes: bubbles, mixers et al. – Irvine: University of California, 2013. 49 p.
4. Chern J.-M., Chou S.-R., Shang C.-S. Effects of impurities on oxygen transfer rates in diffused aeration systems // Water Research, 2001. №35. pp. 3041-3048.
5. Rosso D., Stenstrom M. Surfactant effects on a-factors in aeration systems // Water Research, 2006. №40. pp. 1397-1404.
6. Файзурахманова А.А., Непогодин А.М., Дягелев М.Ю. Разработка экспериментальной установки для определения эффективности аэрации в процессе биологической очистки // В сборнике: Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения. Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. Юргинский технологический институт. 2020. С. 101-104.

7. Кузнецов А.А., Непогодин А.М., Дягелев М.Ю. Анализ энергопотребления городских очистных сооружений канализации // В сборнике: Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения. Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. Юргинский технологический институт. 2020. С. 92-95.

8. Избаш М.Ю., Лунин С.В., Янчак Е.А. Внедрение инновационной системы аэрации для снижения эксплуатационных затрат и повышения эффективности биологической очистки сточных вод // Коммунальное хозяйство. 2014. №114. С. 118-121.

9. Мешенгиссер Ю.М. Теоретическое обоснование и разработка новых полимерных аэраторов для биологической очистки сточных вод: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. М.: "НИИ ВОДГЕО", 2005. 47 с.

10. Мишуков Б.Г., Соловьева Е.А. Мембранные биологические реакторы для глубокой очистки сточных вод: учебное пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭУ, 2017. 64 с.

## **ОЧИСТКА ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ ВЫБРОСОВ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ СООРУЖЕНИЙ И НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ ОТ СЕРОВОДОРОДА**

**Л.Н. Фесенко**, проф., д.т.н., ЮРГПУ (НПИ) имени М.И. Платова; **А.Ю. Черкесов**, доц., к.т.н., ЮРГПУ (НПИ) имени М.И. Платова; **И.В. Пчельников**, доц., к.т.н., ЮРГПУ (НПИ) имени М.И. Платова; **Р.В. Исраилов**, аспирант, ЮРГПУ (НПИ) имени М.И. Платова; **С.А. Щукин**, аспирант, ЮРГПУ (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск; **С.И. Игнатенко**, директор по научной работе, ООО НПП «ЭКО-ФЕС», г. Новочеркасск; **А.С. Пчельникова**, ведущий технолог, ГУП РО УРСВ, г. Шахты

При движении сточных вод по закрытым коллекторам и нахождении в емкостных сооружениях канализационных сооружений и насосных станций протекают процессы распада органических соединений [1, 2]. Постоянная температура (около 26 °С) и влажность (порядка 98 %) способствуют развитию различных сульфатредуцирующих бактерий, в процессе жизнедеятельности которых протекают процессы окисления и восстановления органических. Процесс может протекать как в аэробных, так и анаэробных условиях [1].

В аэробной среде распад органических веществ приводит к образованию углекислого газа, воды, аммиака. Однако, ввиду замкнутого пространства и отсутствия доступа «свежего» воздуха при протекании в сточной жидкости химических процессов окисления органических веществ количество растворенного кислорода быстро сокращается и при достижении концентрации менее 0,1 мг/л начинают превалировать анаэробные процессы с образованием углекислого газа, метана, сероводорода [3].

В результате поступления промышленных сточных вод в канализационную сеть кроме перечисленных веществ в газовой фазе могут присутствовать метилмеркаптаны и окислы азота [4].

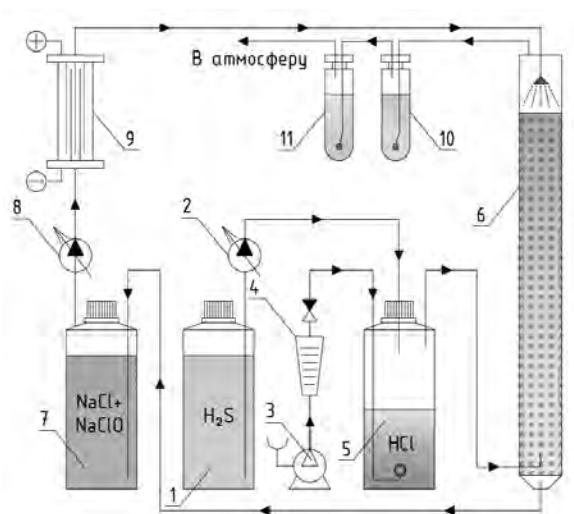
Совокупность газов, образующиеся при разложении органических веществ и присутствующие в воздухе вентиляционных выбросов, образуют дурно-пахнущие вещества (ДПВ). Основным дурно-пахнущим и в тоже время токсичным веществом, образующимся в процессе эксплуатации канализационных очистных сооружений (КОС) и насосных станций (КНС), является сероводород (СВ) [5].

Ранее в материалах статьи [6] был теоретически рассмотрен метод мокрой газоочистки для удаления ДПВ из воздуха вентиляционных выбросов с использованием циркулирующего поглотительного раствора, содержащего окислитель – гипохлорит натрия, полученный электрохимическим путем [7]. В развитие обозначенной технологии была сконструирована и собрана лабораторная установка очистки газовых выбросов, на которой проведены испытания по удалению из воздуха сероводорода как преобладающего компонента в газовых выбросах КОС и КНС.

Общий вид и принципиальная схема лабораторной установки представлены на рис. 1 и 2.



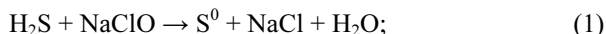
**Рис. 1.** Общий вид лабораторной установки удаления сероводорода из воздуха



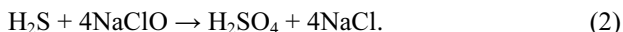
**Рис. 2.** Принципиальная схема лабораторной установки удаления СВ из воздуха:  
 1 – ёмкость сероводородсодержащего раствора; 2 – насос-дозатор сероводородсодержащего раствора; 3 – компрессор; 4 – ротаметр на воздух;  
 5 – генератор газообразного сероводорода – ёмкость с кислотой; 6 – абсорбер; 7 – ёмкость хлоридного поглотительного раствора; 8 – циркуляционный насос хлоридного поглотительного раствора; 9 – электролизер для получения гипохлорита натрия из хлоридного раствора; 10, 11 – склянки для поглощения сероводорода для газового анализа

Процесс химической абсорбции и окисления СВ гипохлоритом натрия описывается следующими основными уравнениями:

– в кислой среде:

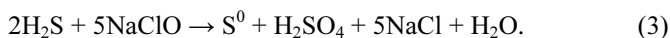


– в щелочной среде:



Это типичная окислительно-восстановительная реакция, протекающая в водном растворе до конца и необратимо. Стехиометрический удельный расход окислителя составляет  $2,19 \div 8,76$  мг/мг  $\text{H}_2\text{S}$ .

В нейтральных средах окисление сероводорода происходит до серы и до сульфатов, т.е. параллельно протекают обе реакции (1) и (2):



Количественное соотношение между  $\text{S}^0$  и  $\text{SO}_4^{2-}$  определяется pH среды, так же как и доза гипохлорита натрия, которую возможно рассчитать по формуле [8]:

$$Д = 0,216 \text{ pH} + 1,707, \text{ мг/мг } \text{H}_2\text{S}.$$

Процесс, описывающий электрохимическое получение гипохлорита натрия, может быть представлен следующей суммарной реакцией:



Закон электролиза Фарадея в общем виде определяет количество  $\text{NaClO}$  в пересчете на эквивалент активного хлора, образующегося при электролизе за все время прохождения электрического тока через электролит:

$$m = k \cdot I \cdot t,$$

где  $k$  – электрохимический эквивалент вещества, для  $\text{Cl}_2$  равен  $1,32$  г/А · ч;  $I$  – электрический ток, А;  $t$  – время электролиза, ч.

На практике вклад побочных и вторичных электродных процессов характеризуется достигаемым коэффициентом использования хлоридов  $\alpha$ , который зависит от условий проведения электролиза – конфигурации электролизной ячейки, концентрации хлоридов в растворе, расхода электролита, плотности тока ( $i$ , А/м<sup>2</sup>), температуры и т.д.

Основной характеристикой электролизного аппарата является площадь анода ( $s$ , м<sup>2</sup>), на котором протекает процесс образования  $\text{Cl}_2$ . Сила тока связана прямо пропорционально с плотностью тока и площадью анода. В ла-

бораторной установке (рис. 1) был применен электролизер с одной электрохимической ячейкой с площадью анодного покрытия  $0,00351 \text{ м}^2$ .

В цикле предварительных экспериментов для используемого электролизера при плотностях тока в диапазоне от 25 до  $100 \text{ А/м}^2$ , расходе электролита  $0,2 \text{ л/ч}$  и концентрации  $\text{NaCl}$   $0,3 \%$  определено среднее значение коэффициента  $\alpha = 0,46$ , используемое в расчётах требуемой силы тока для получения задаваемого количества активного хлора, вырабатываемого электролизером. Напряжение на ячейке  $U = 1,2 \text{ В}$ .

При хемосорбции (абсорбция, сопровождаемая химическими реакциями) сероводород в абсорбере переходит в жидкой фазе по уравнениям (1) и (2) в  $\text{S}^\circ$  и  $\text{SO}_4^{2-}$ . Так как этот процесс необратим равновесное давление СВ над раствором ничтожно мало, что обеспечивает возможность полного его поглощения. Процесс хемосорбции газов подробно представлен в [9].

Для параметров и условий лабораторной установки (рис. 1) расчетный объём абсорбера составляет  $0,000068 \text{ м}^3$ . Исходя из конструктивных условий, объём лабораторного абсорбера составил  $0,000091 \text{ м}^3$ , что в полной мере обеспечивает поглощение сероводорода из газовой смеси водным раствором, содержащим активный хлор, при условии протекания реакции (3) мгновенно.

Основные результаты экспериментальных исследований абсорбции и окисления СВ воздуха электрохимическим активным хлором представлена в табл. 1.

Таблица 1

**Результаты экспериментальных исследований абсорбции и окисления СВ электрохимическим активным хлором**

№ п/п	Расход воздуха, л/мин	Концентрация СВ в воздухе, мг/м <sup>3</sup>	Расход поглотителя, л/мин	Сила тока, А	Массовый расход СВ, мг/ч	Теоретический выход а.х., мг/ч	Доза а.х., мг/мг СВ	Результат: присутствие/отсутствие СВ
1	1	50	0,5	0,011	3,0	6,68	2,23	прис.
2	2	50	0,5	0,080	6,0	48,58	8,10	прис.
3	2	25	1,65	0,080	3,0	48,58	16,19	прис.
4	2	75	1,65	0,400	9,0	54,65	26,99	отс.
5	2	25	1,65	0,110	3,0	66,80	22,26	прис.
6	2	25	1,65	0,140	3,0	85,01	28,34	отс.
7	2	150	1,65	0,850	18,0	516,12	28,67	отс.
8	2	165	1,65	0,850	19,8	516,12	26,07	отс.
9	2	170	1,65	0,850	20,4	516,12	25,30	прис.



## Выводы

В ходе проведенных исследований установлена окислительная способность лабораторной установки 19,8 мг  $\text{H}_2\text{S}$  в час (концентрация СВ 165 мг/м<sup>3</sup>, расход воздуха 2 л/мин), которая была ограничена мощностью электролизера (при  $i = 100 \text{ A/m}^2$ ) и возможной подачей компрессора 3.

Установлена действительная доза гипохлорита натрия на окисление сероводорода в пересчете на активный хлор, которая составила 26,07 мг/мг  $\text{H}_2\text{S}$ .

Определены удельные затраты электроэнергии для окисления 1 кг СВ, содержащегося в воздухе, которые составляют 51,515 кВт·ч/кг  $\text{H}_2\text{S}$ . Затраты на очистку 1 м<sup>3</sup> воздуха при концентрации сероводорода 150 мг/м<sup>3</sup> составят 0,0075 кВт·ч.

## Библиографический список

1. Дмитриева Е.Ю. Микроорганизмы-биодеструкторы подземных канализационных сооружений / Е. Ю. Дмитриева // Вода и экология. Проблемы и решения. – 2013. - №1.– С. 20-44.
2. Линевич, С.Н. Очистка природных и сточных сероводородных вод / С.Н. Линевич. - Новочеркасск, 1979. – 51 с.
3. Васильев В.М. Повышение эффективности работы канализационных коллекторов и сооружений на них при совместном движении сточных вод и газов: дисс. ... д.-ра техн. наук: 05.23.04 / В.М. Васильев; науч. рук. Н.Н. Лапшев; Федеральное агентство по образованию, С.- Петерб. гос. архитектур.-строит. ун-т. – СПб., 1996. – 350 с.
4. Майоров В.А. Запахи и их устранение в промышленных газовоздушных смесях / В.А. Майоров. – Пенза: Изд-во ПГАСА, 2002. – 131 с.
5. Васильев В.М., Малков А.В. Газы в канализационной сети, их вред и пути ликвидации // Техника и технологии мира. 2016. № 3–4 (81–82). С. 48–53.
6. Фесенко Л.Н. [и др.] Промышленные системы вентиляции канализационных сооружений и насосных станций – новые подходы и решения [Текст] // Технология очистки воды «ТЕХНОВОД-2018»: материалы XI Межд. науч.-практ. конф.; Красная Поляна, г. Сочи, 11–14 дек. 2018 г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ) имени М.И. Платова – Новочеркасск: Лик, 2018. С. 289–295.
7. Фесенко Л.Н. Очистка воды от сероводорода с использованием электрохимических процессов. – Ростов-на-Дону: изд-во СКНЦ ВШ, 2001. 150 с.
8. Игнатенко С.И. Рациональные методы очистки сероводородных вод от молекулярной серы: дис. ... канд. тех. наук. Ленинград, 1987. 160 с.
9. Абсорбция газов / В. М. Рамм . – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 1976 . 655 с.

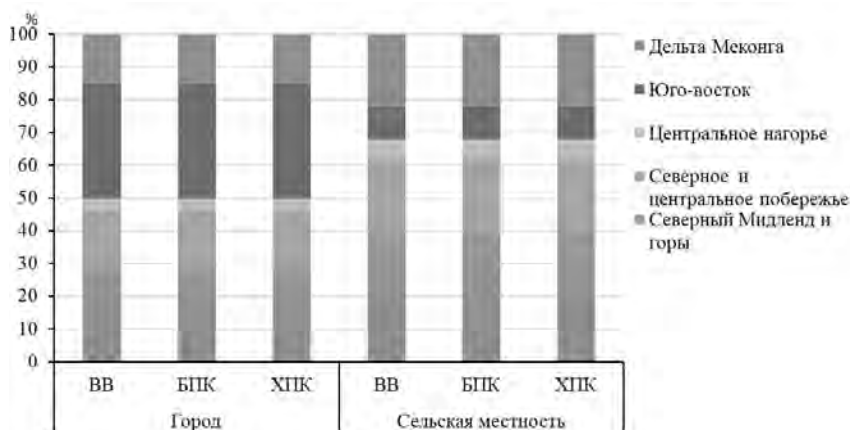
## ПРОБЛЕМЫ ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА РЕСПУБЛИКИ ВЬЕТНАМ

**Л.Н. Фесенко**, проф., д.т.н., ЮРГПУ (НПИ) им. М.И. Платова; **И.В. Пчельников**, доц., к.т.н., ЮРГПУ (НПИ) им. М.И. Платова; **Нгуен Тхи Туан Зьеп**, аспирант, ЮРГПУ (НПИ) им. М.И. Платова, г. Новочеркасск

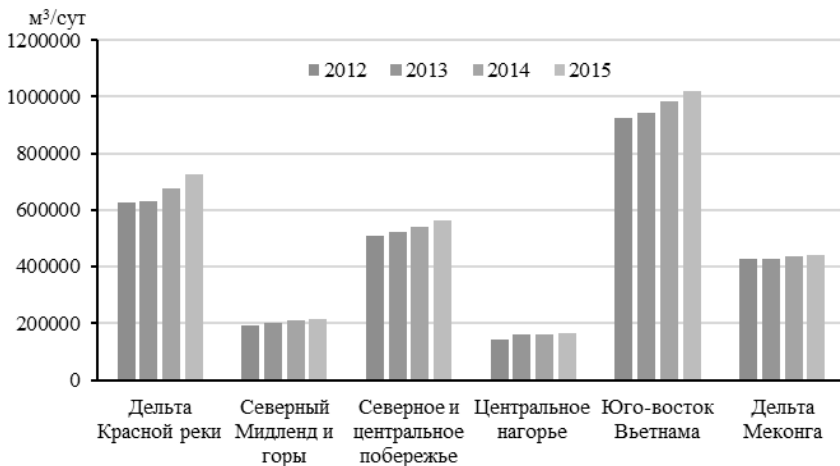
В последние годы с увеличением населения Вьетнама (более 98 млн. человек по состоянию на июль 2019 [1]) продолжает увеличиваться и количество бытовых сточных вод. Во Вьетнаме насчитывается 795 городских центров с уровнем урбанизации 35,2%, в том числе два специальных города (Ханой и Хошимин), 17 городских центров I класса, из которых три централизованных городских центра (Хайфонг, Дананг и Кантхо), 25 городских центров II класса, 41 городской центр III класса, 84 городских центра IV класса и 626 городских центров V класса.

Согласно данным [2] в 2015 году из 787 городских центров только 40 имеют функционирующие очистные сооружения сточных вод. Степень очистки сточных вод составляет 10-11% от общего количества городских стоков [2]. Сооружения находятся в особых городских центрах (2/2), городских центрах I класса (8/15), II класса (10/25), III класса (7/42) и городских центрах V класса (13/628) с общей технологической мощностью около 800 000 м<sup>3</sup>/сут.

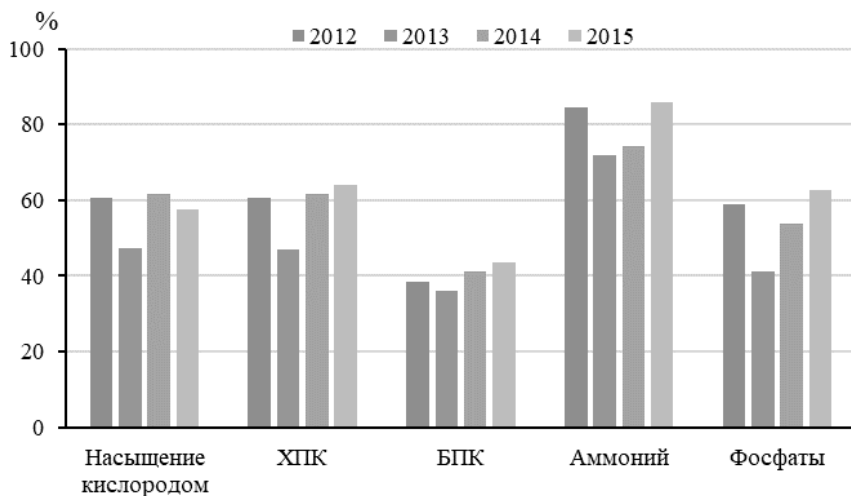
Статистика [3] показывает, что юго-восточный район Вьетнама (рис. 1) является самым густонаселенным регионом с самыми большими объемами бытовых сточных вод (рис. 2). Основными загрязняющими веществами являются взвешенные вещества (ВВ), БПК<sub>5</sub>, азот аммонийных солей (N-NH<sup>+</sup>), фосфаты, хлориды (Cl<sup>-</sup>) и поверхностно-активные вещества, неорганические компоненты, микроорганизмы и патогены (рис. 3 [2]).



**Рис. 1.** Соотношение загрязняющих веществ в бытовых сточных водах по регионам Вьетнама



**Рис. 2.** Количество сточных вод, образующихся в городских районах по всей стране



**Рис. 3.** Превышение вьетнамских национальных стандартов качества поверхностных вод некоторых рек, озер и каналов QCVN 08-MT: 2015 / VTNMT (B1) в черте городов в период 2012-2015 гг.

*Примечание: Результаты превышения вьетнамских национальных стандартов составлены из 49 участков мониторинга в реках, озерах и каналах в черте городов 22 провинций по всей стране.*

Внутренние реки и каналы являются приемниками городских сточных вод, в результате качество воды в них значительно ухудшается. Качество воды в реках, протекающих через крупные города хуже, чем в реках, проходящих через небольшие городские районы. Как правило, в бассейне ряда рек Нуэ – Дай, протекающих через город Ханой имеется более высокий уровень загрязнения, чем в Фу-Ли (Ха-Нам) и Нинь-Бинь.

Помимо бытовых сточных вод в систему канализации сбрасываются стоки из медицинских учреждений: больниц; центров профилактической медицины; фармацевтических, научно-исследовательских и учебных заведений; предприятий по производству лекарств. В медицинских сточных водах помимо обычных загрязняющих веществ, таких как органические вещества, животные жиры и масла растений, имеются также особые минеральные и органические загрязнители, патогенные бактерии, лекарственные препараты, восстановители, химические растворители, антибиотические остатки и радиоактивные изотопы, использующиеся при диагностике и лечении заболеваний.

Количество медицинских сточных вод ежегодно увеличивается. Согласно статистике [3], их общее количество в 2017 году ориентировочно составляло 125 000 м<sup>3</sup>/сут. Большинство систем очистки медицинских стоков были построены давно, из-за отсутствия финансирования, модернизации и должного технического обслуживания качество их работы не соответствует современным требованиям.

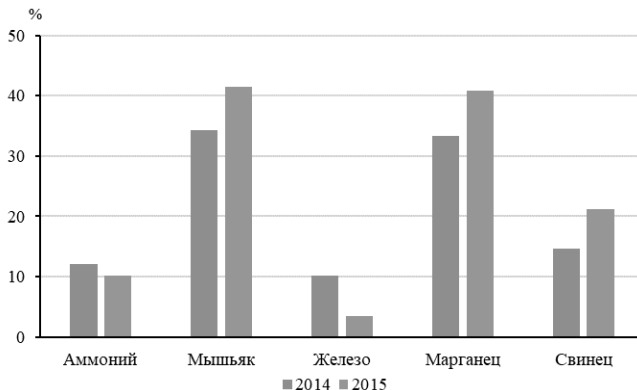
Помимо бытовых и медицинских сточных вод, сточные воды промышленных предприятий также негативно влияют на городскую водную среду. В мегаполисах, таких как Ханой и Хошимин существует ряд промышленных кластеров, расположенных в центре города. Мелкосерийные производственные предприятия в основном являются частными, поэтому в большинство из них не инвестируются бюджетные деньги. В дополнение к отсутствию финансирования малые и средние предприятия испытывают трудности с доступом к новым технологиям и квалифицированному персоналу, поэтому качество очистки сточных вод находится на низком уровне. Сточные воды из промышленных секторов зачастую содержат тяжелые металлы, жиры и взвешенные вещества.

Одним из крупнейших загрязнителей природных вод Вьетнама является сельское хозяйство. В процессе сельскохозяйственной деятельности фермеры используют пестициды, дозы которых как минимум в три раза превышают допустимые. Каждый год в стране используется до девяти миллионов тонн химических веществ пятисот различных типов, большинство из которых являются пестицидами. Более того, используются запрещенные препараты, такие как Aldrin, Thiodol, Monitor [4].

Во Вьетнаме в качестве источников питьевого водоснабжения в первую очередь используют подземные воды, качество которых в городских районах считается достаточно высоким. Однако увеличение населения и ускоренная урбанизация привели к тому, что во многих местах, особенно в крупных городах, источники подземных вод были загрязнены. В мегаполи-

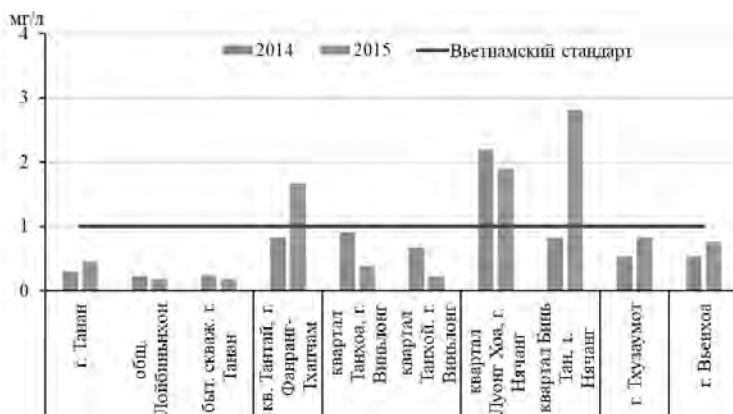
сах наблюдается локальное загрязнение подземных вод: аммонием, тяжелыми металлами (Mn, As, Pb), болезнетворными микроорганизмами в концентрациях, превышающих вьетнамские национальные стандарты (рис. 4, 5, [5]).

Также в нескольких районах страны зафиксировано засоление подземных вод. Это связано с геологическим строением и неконтролируемым водоразбором. Кроме того, неиспользуемые скважины не были законсервированы, что позволило загрязняющим веществам поступать в грунтовые воды.



**Рис. 4.** Процент превышения стандарта 09-МТ: 2015 / ВТНМТ по некоторым параметрам в подземных водах в городских районах 2014 – 2015

*Примечание: По результатам мониторинга подземных вод (колодезной воды, водопроводной воды) на 79 объектах в городских районах в 17 провинциях / городах по всей стране в 2016 году [3].*

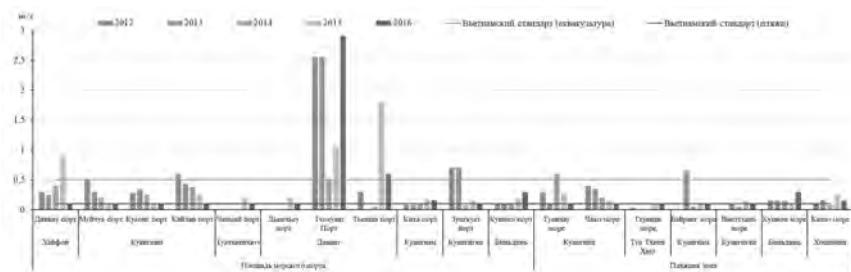


**Рис. 5.** Содержание аммония в грунтовых водах в некоторых городских районах

Большинство тяжелых металлов в подземных водах имеют концентрацию не превышающую нормативную. Однако некоторые городские районы дельты реки Меконг имеют высокое содержание мышьяка, например, в Ханам было зафиксировано превышение вьетнамского стандарта в 4,7 раза.

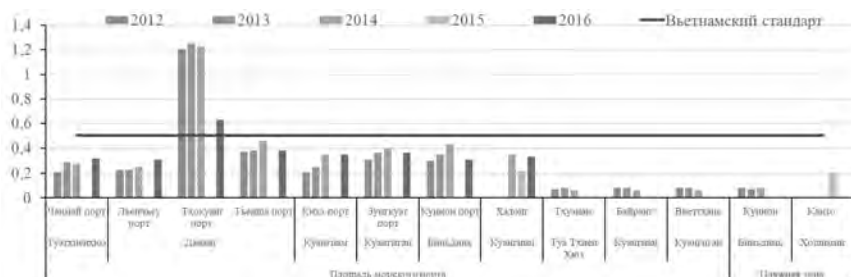
Морская вода имеет огромное социально-экономическое значение для развития прибрежных районов Вьетнама. В прибрежных городах качество морской воды соответствует вьетнамскому стандарту 10-Э: 2015 / МПРиЭ. Однако из-за воздействия эстуариев и сброса отходов некоторые районы имеют превышения по концентрациям взвешенных веществ и БПК.

Мониторинг качества морской воды с 2012 по 2016 год по таким параметрам как ХПК,  $\text{NH}_4^+$  показал превышение стандартов 10-Э: 2015 / МПРиЭ (для аквакультуры и рекреации), особенно в городских районах, где есть морские порты (рис. 6, [5]).



**Рис. 6.** Концентрация  $\text{NH}_4^+$  в морской воде в прибрежных городских районах с 2012 по 2016 год

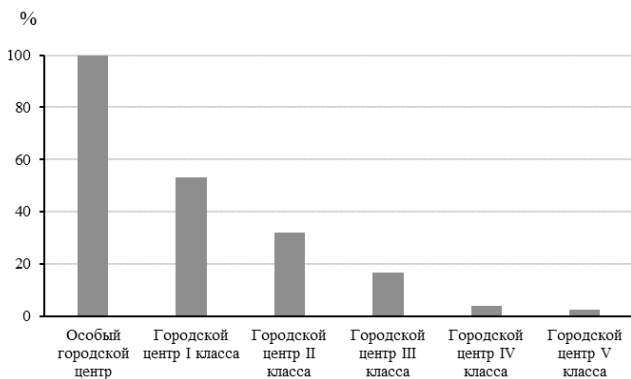
Увеличение содержания нефтепродуктов в морской воде является глобальной проблемой в морских портах, основной причиной которой является утечка нефти и нефтепродуктов из трубопроводов при транспортировке (рис. 7, [5]).



**Рис. 7.** Изменение концентрации минеральных масел в морской воде в прибрежных городских районах в период 2012-2016 год

Также существует проблема загрязнения морской среды токсинами и отходами эксплуатации прибрежных промышленных зон, например, такое загрязнение произошло в четырех центральных провинциях в апреле 2016 года. В ходе строительства завода компании «Formosa» произошел выброс неочищенной сточной воды, содержащей фенол, цианид т.д., которые образовали ядовитую смесь, распространенную течением в направлении от Хатинь до Хуэ и ставшей причиной экологической катастрофы и смерти множества морских обитателей.

В 2015 году в 52 городских районах Министерством Строительства Вьетнама был реализован проект развития систем водоотведения. В общей сложности в проект вошло 77 систем очистки сточных вод с общей производительностью около 2,4 млн. м<sup>3</sup>/сут. Из них 37 канализационных очистных сооружений, построенных в городских центрах III класса и выше, были введены в эксплуатацию. Однако из-за того, что строительство станций очистки было завершено без постройки централизованной канализационной сети, некоторые из них не работают вообще или не работают на полную мощность. Процент городских центров, имеющих очистные сооружения канализации, по-прежнему остается низким (рис. 8, [4]).



**Рис. 8.** Процент городских центров, имеющих очистные сооружения канализации

Благодаря усилиям по улучшению качества воды в некоторых реках крупных городов произошли позитивные изменения. Однако загрязнение поверхностных вод по-прежнему является серьезной проблемой в большинстве провинций и городов. Большинство показателей органического (БПК<sub>5</sub>, ХПК, аммония) и бактериального загрязнения превышают вьетнамские национальные стандарты 08-MT: 2015 / VTNMT (B1).

Во многих странах Юго-Восточной Азии пресная вода не является дефицитом, но её санитарно-гигиеническое состояние затрудняет использование для целей питьевого водоснабжения. Отсутствие инженерных сетей водоотведения и современных очистных сооружений в небольших городах и населённых пунктах делает пресные водоисточники опасными с санитар-

ной точки зрения, как для питьевого водоснабжения, так и для культурно-бытового водопользования. Поэтому решение задач по сохранению источников пресной воды является одной из важнейших.

В 2017 г. во Вьетнаме прошел открытый форум по решению проблем водных ресурсов. В обсуждении участвовали международные специалисты по водоочистке и члены госорганов страны. На заседании обозначили проблемы с доступностью чистой воды, неустойчивостью водоснабжения, растущим уровнем загрязнения водных источников и прочее. Ключевыми проблемами названа очистка и обеззараживание природных вод, бытовых и промышленных сточных вод.

#### Библиографический список

1. Источник: Департамент по экономическим и социальным вопросам ООН: Отдел народонаселения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://countrysimeters.info/ru/Vietnam>, свободный.

2. Национальный экологический отчет за 2016 год. Тема: Городская среда - Министерство природных ресурсов и экологии - Ханой, 2016. (Báo cáo môi trường quốc gia năm 2016. Chủ đề: Môi trường đô thị - Bộ Tài nguyên và Sinh thái - Hà Nội, 2016).

3. Управление общей статистики - Статистический ежегодник, 2012 - 2017. (Tổng cục Thống kê, Niên giám thống kê năm 2012 – 2017).

4. Сводный отчет по охране окружающей среды в период 2011 – 2015 гг. И ориентация на период 2016 - 2020 гг., Министерство природных ресурсов и экологии, 4-я Национальная экологическая конференция, сентябрь 2015 г. (Báo cáo tổng kết công tác bảo vệ môi trường giai đoạn 2011 - 2015 và định hướng giai đoạn 2016 - 2020, Bộ TN&MT, Hội nghị MT toàn quốc lần thứ IV, tháng 9/2015).

5. Центр мониторинга окружающей среды - Управление окружающей среды Вьетнама, 2011 - 2015, Отчет о результатах мониторинга окружающей среды 2016 (Trung tâm Quan trắc môi trường - Tổng cục Môi trường, 2011 - 2015, Báo cáo kết quả quan trắc môi trường, 2016).



## О ТИПОВОМ РЕГЛАМЕНТЕ ОБСЛЕДОВАНИЯ И РАСЧЕТАМ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ СКВАЖИННЫХ ВОДОЗАБОРОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

В.Н. Фисенко, к.т.н., «Ru Well Systems», с. Печерск

В системах водоснабжения на базе подземных вод применяются одиночные, либо группы буровых скважин, оснащенных погружными центробежными многоступенчатыми лопастными электронасосами типа ЭЦВ. Широко распространена двухступенчатая схема водоподдачи потребителю, когда водоподъем из скважин производится в промежуточный сборный резервуар (*WIN-water intake network* – англ.), а из него, после необходимой технологической обработки, насосной станцией 2-го подъема непосредственно подается в разводящую сеть (*WDN-water distribution network* – англ.).

Практика эксплуатации скважинных водозаборов подземных вод свидетельствует о том, что реальные дебиты скважин после начала эксплуатации отличаются от проектных [1, 2]. Это происходит, как в результате допущенных дефектов при строительстве и недоучета при проектировании факторов, влияющих на режим работы водозабора, так и в результате естественных процессов физико-химической коррозии [2] и обрастания фильтровой и обсадной колонн и различного вида кольматаций при фильтровой зоны скважины [1, 3].

В отличие от применения центробежных насосов в промышленности, эксплуатация погружных многоступенчатых центробежных электронасосов в скважинах – это откачка жидкости из природной системы, подверженной влиянию стохастического набора факторов, влияющих на колебания напоров и притока в скважину. Тем не менее, для такой природной системы характерен устойчивый во времени тренд естественного падения напора на входе в насос (вследствие сработки уровней водоносного пласта, деформации притекающего к скважине фильтрационного потока и изменения проницаемости прифильтровой зоны скважины), в результате чего происходит уменьшение притока жидкости в водоприемную полость скважины [3, 4].

В краткосрочном периоде наблюдений в такой системе характерны кратковременные, периодические, знакопеременные колебания напора на входе (вследствие изменения уровня грунтовых вод) и выходе насоса (вследствие изменения противодавления сети), под действием внешних техногенных и природных факторов, режима водопотребления, влияющих на режим подачи насоса.

В долгосрочном периоде наблюдений в такой системе характерным является общий тренд снижения удельного дебита скважины по зависимости близкой к экспоненциальной, приведенной в [3, 5], исчерпание запаса напора в энергоэффективном диапазоне [6, 7] и выход рабочей точки насоса за его пределы, т.е. на нерасчетные режимы [8].

При планировании реконструкции скважинного водозабора необходимо иметь минимальный перечень показателей и характеристик, полученных при проведении периодического энергетического обследования по федеральному закону №261-ФЗ от 23 ноября 2009 г., который регламентировал правовые, экономические и организационные основы для реализации энергосберегающих мероприятий. При проведении обследования и определении параметров скважинных водозаборов подземных вод возможно применение специализированных технических средств [9] и программных продуктов обработки результатов измерений [10].

Основные разделы регламента проверки энергоэффективности скважинного водозабора подземных вод, сформированные на базе общих принципов энергоэффективности сформулированных в ГОСТ 33969-2016 приведены ниже:

### **Типовой регламент обследования и проверки энергоэффективности скважинного водозабора подземных вод по ГОСТ 33969-2016 (ISO/ASME 14414)**

Общая характеристика водозабора из подземных источников

1. Состав и схема скважинного водозабора
  - a. Состав сооружений скважинного водозабора
  - b. Схема (высотная и в плане) скважинного водозабора
2. Основные элементы водозаборных скважин и их параметры
  - a. Конструкции водозаборных скважин и их обвязки
  - b. Фильтры водозаборных скважин и их параметры
  - c. Водоподъемное оборудование и его параметры
  - d. Контрольно-регулирующая аппаратура
  - e. Данные экспресс-опробований скважин
3. Сборный водовод и резервуар чистой воды
  - a. Параметры сборного водовода и узлов подключения скважин
  - b. Характеристики резервуара чистой воды
4. Сведения о режиме водопотребления, типовых суточных, недельных, месячных и годовом циклах
5. Сведения об энергопотреблении, типовом суточном, недельном, месячном и годовом энергопотреблении

Расчетные и фактические типичные суточные, недельные, месячные и годовые циклы водопотребления

Расчетные и фактические индексы энергоэффективной эксплуатации насосного оборудования скважин водозабора

Анализ энергоэффективной эксплуатации водозабора в течении года

Планируемые мероприятия по повышению энергоэффективной работы водозабора

Действующими нормативными документами по водоснабжению предусмотрено, что главной задачей системы водоснабжения является обеспечение надежной подачи требуемого количества и надлежащего качества воды потребителю, при экономичной эксплуатации энергопотребляющего оборудования.

Поэтому к минимальному числу определяемых главных показателей скважинного водозабора следует отнести:

Таблица 1

**Перечень минимального числа определяемых главных показателей скважинного водозабора**

1. Источник водоснабжения подземных вод: <b>длительность</b> (расконсервации подземных вод – для резервных скважин) <b>эксплуатации для действующих скважин</b> (сут/час) с начала ввода в эксплуатацию (восстановления производительности скважины регенерацией), <b>объем забора воды с начала эксплуатации</b> (с последнего восстановления производительности скважины регенерацией) на момент обследования (тыс.м <sup>3</sup> );
2. Расчетный и фактический расходы воды объекта водоснабжения (м <sup>3</sup> /сут) и соответствующие затраты электроэнергии (кВт), режимы подачи воды (характеристики неравномерности и цикличности, н.р. <b>индекс экологичной эксплуатации – EFI</b> [11, 12]);
3. Проектные и фактические: <b>тип, марка насоса</b> ; напор (м); расход(подача) насоса (м <sup>3</sup> /ч) и глубина его установки в скважине (м);
4. Отметка уровня земли на устье скважины (м);
5. Отметка (глубина) статического горизонта воды (м) и сезонный диапазон его колебаний;
6. Отметка (глубина) динамического уровня воды в скважине (м) и наблюдаемый диапазон его колебаний;
7. Тип подземных вод: напорные (безнапорные) и мощность водоносного горизонта (м);
8. Характеристика водоносного горизонта (песок, известняк, гравийно-галечниковые отложения и др.);
9. Тип и характеристики фильтра («Джонсон», каркасно-стержневой, пластмассовый, с сеткой (шаг сетки), с гравийной обсыпкой (коэффициент межслойности), показатель «скин-фактора» при сдаче скважины в эксплуатацию, параметр $\beta=(3C_{0\gamma}$ «старения скважины» и т.д.);
10. Коэффициент фильтрации (м/сут);
11. <b>Удельный дебит (л/с·м) при вводе в эксплуатацию и фактический;</b>
12. Коэффициент пьезопроводности;
13. Система расположения скважин в плане (площадная, линейная, кольцевая и т.д.)

**Реконструкции скважинных водозаборов подземных вод должен предшествовать**, помимо этапа обследования, проводимого в соответствии с Типовым регламентом и уточнения и определения текущих характеристик водозабора, и **этап поверочных расчетов ряда параметров водоза-**

**бора и водоподъемного оборудования, так как этого требует Методика расчета жизненного цикла (LCC)**, широко внедряемая в практику расчетов сооружений [13] и оборудования [5] систем водоснабжения.

**Расчет водоподъемного оборудования: подбор насоса, проверка критерия энергоэффективной эксплуатации, оценка длительности полезного использования (LCL) в водозаборных скважинах**

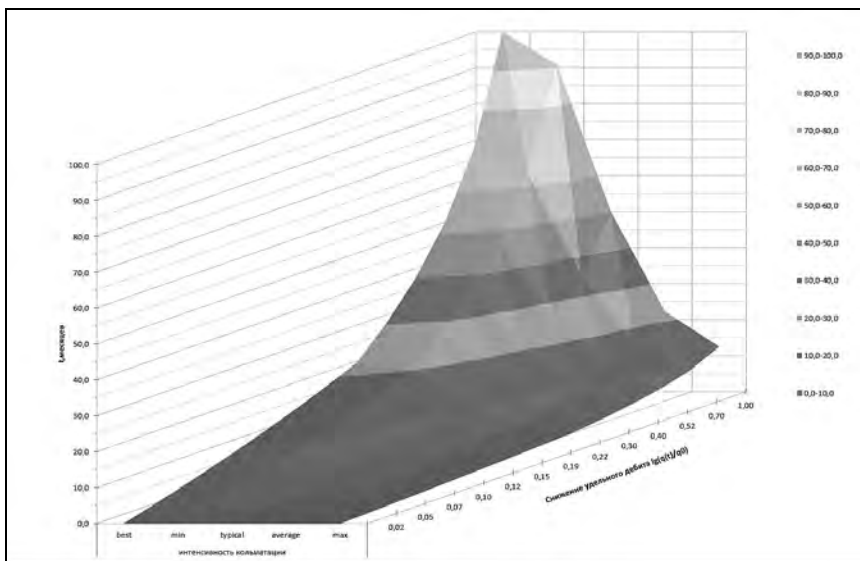
После традиционного гидравлического расчета, завершающегося определением расчетного напора и расхода насоса, подбором типа и марки скважинного насоса и назначением глубины его установки в скважине, **необходимо определять: запас напора в энергоэффективном диапазоне ISO/ASME**, определяемый в соответствии с [7] и **расчетный период энергоэффективной эксплуатации [5] планируемого к установке насоса**, исходя из темпа роста гидравлических сопротивлений в водоприемной части скважины, в результате изменения проницаемости прифильтровой зоны скважины, за счет миграции, при откачке воды, мелкодисперсных частиц и закупоривания порового пространства водовмещающего грунта водоносного горизонта вблизи скважины, протекающего одновременно с процессами бактериального физико-химического окисления растворенных минералов и выпадения осадков солей из подземных вод.

Ключевым показателем здесь является динамика соотношения разновременных удельных дебитов скважины: фактического - на момент обследования и начального – на момент сдачи скважины в эксплуатацию. Для целого ряда случаев (при экспоненциальной зависимости темпа снижения дебита) удастся корректно определить параметр «старения скважины»  $\beta = (3C_0\gamma)$  во времени и соответствующую ему интенсивность протекания различного вида кольматаций прифильтровой зоны скважины во времени.

Так, на основании сопоставления разновременных экспериментальных отчетных данных ВНИИ ВОДГЕО по обследованию ряда водозаборов в различных регионах СССР построена поверхность (рис. 1) отражающая указанную выше зависимость при ограничениях [3, 5].

Для корректного выбора энергоэффективного насоса и обоснования экономических и энергетических показателей реконструируемого водозабора целесообразно [14, 15, 16] проводить сравнительные расчеты:

- удельного энергопотребления насосов в точках ВЕР, как действующего, так и планируемого к замене, и величины индексов экологичной эксплуатации EFI [16, 17], на стандартизованном профиле нагрузки ISO/ASME (110-100-75) % ВЕР с шагом 5 единиц [18, 19];
- графиков подачи как функции времени или таблица весов характерных подач насосов для типового профиля нагрузки, в соответствии с действующим режимом водопотребления.
- величин перерасхода электроэнергии за расчетный период эксплуатации по отношению к номинальному режиму ВЕР и соответствующий ему эквивалент выбросов парниковых газов в атмосферу [19, 20].



**Рис. 1.** Влияние на темп снижения удельного дебита интенсивности кольтационных процессов в прифилтровой зоне скважины

### **Расчет соответствия текущих параметров фильтра проектной производительности реконструируемого водозабора**

Фильтры водяных скважин должны обеспечивать приток расчетного количества воды со скоростями, не превышающими допустимые, задерживать глинистые, пылеватые и песчаные частицы из водоносного горизонта, не коррозировать и не ухудшать качество воды за счет увеличения содержания железа или других компонентов разрушения материала фильтра.

Исследования по распределению скоростей притока по высоте фильтра скважины показывают [21] на неравномерность нагрузки отдельных участков фильтра. Наиболее типичным является распределение скоростей по закону гипертангенсов (гиперсинусов), а не линейное, как традиционно упрощенно рассматривается в ряде проверочных расчетов нагрузки на фильтр скважины.

Поэтому, в случае отсутствия проведения мероприятий по регенерации или замене фильтра скважины при реконструкции водозабора, необходимо обследованием специализированным оборудованием устанавливать: площадь эффективной рабочей поверхности фильтра и размер площади, вышедшей из строя в результате кольтации, либо величину коэффициента сопротивления (показателя скин-фактора) призабойной зоны скважины указывающий на изменение ее проницаемости в процессе эксплуатации скважины.

Это позволит более обоснованно назначать расчетную производительность насоса соответствующую изменившимся возможностям водоотдачи скважины и провести расчеты описанные выше.

### **Расчет эффективности функционирования скважин с насосами в составе группового водозабора подземных вод**

В системах WIN одиночная скважина, как правило, соединяется с промежуточным сборным резервуаром (водонапорной башней) отводящим трубопроводом, а в группе скважин каждая присоединяется отводящим трубопроводом к сборному трубопроводу, транспортирующему откачиваемую воду в сборный резервуар.

При проведении комплексных расчетов групповых водозаборов подземных вод [1, 8, 15, 22] на разных этапах расчетов необходимо систематически проверять соблюдение условий работы насосов в энергоэффективном диапазоне подач и напоров, и вычислять индексы энергоэффективной работы как отдельных скважин [8] так и всего водозабора [15], т.к. суточный режим водопотребления определяет необходимость периодического включения различного числа скважин, и условия совместной работы последних на сборный водовод к резервуару существенно изменяются во времени и могут проходить в энергозатратных режимах функционирования скважинных насосов.

Так, например, в работах [15, 22] разобраны примеры: энергозатратной работы подобранных насосов при эксплуатации скважинного водозабора, где из 8 рассматриваемых скважин группового водозабора, работающих на сборный водовод, 4 работают за пределами как энергоэффективной, так и рабочей зоны используемых скважинных насосов.

К сожалению в действующих нормативных документах (СП) по водоснабжению аспекты эффективной работы групповых водозаборов подземных вод не рассматриваются вообще и это приводит к популяризации «эффективных практик» [23] реконструкции водозаборов, когда более дешевые отечественные насосы ЭЦВ без достаточного обоснования заменяются значительно более дорогими импортными Grundfos, с показателями по водоподаче как в 2 раза ниже заменяемых насосов, так и ниже расчетной проектной производительности водозабора и это выдается как «прогрессивное энергоэффективное решение», хотя очевидно несоблюдение требований федерального законодательства, как коммерческой организацией – насосным дилером Grundfos, так ГУП Московской области «Коммунальные системы Московской области», г. Орехово-Зуево, финансировавшей такой проект.

#### **Библиографический список**

1. Пособие по проектированию сооружений для забора подземных вод (к СНиП 2.04.02-84) //ВНИИ ВОДГЕО Госстроя СССР. – М., Стройиздат, 1989. – 272 с.

2. Гуринович А.Д., Сычева Е.А. Оптимизация параметров и режимов работы скважинных водозаборов подземных вод // Вода Magazine. 2017. № 5. С. 30-35.
3. Плотников Н.А., Алексеев В.С. Проектирование и эксплуатация водозаборов подземных вол. – М.: Стройиздат, 1990. – 256 с.
4. Фисенко В.Н. Энергосбережение при эксплуатации скважинных водозаборов подземных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2016. № 11. С. 22–33.
5. Фисенко В.Н. Жизненный цикл погружных центробежных насосов в водозаборных скважинах // Водоснабжение и санитарная техника. 2017. № 7. С. 54–63.
6. Фисенко В.Н. Оценка технического уровня погружного насоса при проведении инспекции энергоэффективности скважинного водозабора по ГОСТ 33969-2016 (ISO/ASME 14414) // Вода Magazine. 2017. № 5. С. 24–28.
7. Фисенко В.Н. Влияние технического уровня погружного насоса на энергоэффективность скважинного водозабора // В сборнике: Яковлевские чтения. Сборник докладов XII Международной научно-технической конференции, посвященной памяти академика РАН С.В. Яковлева. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. 2017. С. 204-209.
8. Фисенко В.Н. Показатели высокой энергетической эффективности центробежных насосов, работающих с переменным профилем нагрузки // Международная научно-техническая конференция «ECOPUMP-RUS'2017 «Энергоэффективность и инновации в насосостроении. Импортзамещение и локализация производства в России» – 26 октября 2017 г., Москва, Изд. МВЦ «Крокус-Экспо», 2017, С. 84-99.
9. Трусов М.М., Фисенко В.Н. Измерительно-информационная система для экспресс-диагностики скважин // Информационный листок о НТД № 90-8. – Джамбулский ЦНТИ, 1990. [Электронный ресурс]. URL: [http://well-systems.ru/IP/well\\_express\\_diagnostic.pdf](http://well-systems.ru/IP/well_express_diagnostic.pdf) (дата обращения 06.03.2020).
10. Программный комплекс AQTESOLV [Электронный ресурс] URL: [http://www.aqtesolv.com/summary\\_of\\_solutions.htm](http://www.aqtesolv.com/summary_of_solutions.htm) (дата обращения 3.10.2016).
11. Фисенко В.Н., Потенциал энергетической эффективности насосов с равными параметрами В.Е.Р. // Вода Magazine. 2018. № 2. С. 10-17.
12. Фисенко В.Н. О системе показателей энергетической эффективности насосов в системах водоснабжения и водоотведения // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2018. №6. С. 54-60.
13. Фисенко В.Н. О жизненном цикле водозаборных скважин с погружными центробежными насосами // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2017. №4. С. 46-52.
14. Фисенко В.Н. Энергетическая эффективность насосов в системах водоснабжения и водоотведения // Водоснабжение и санитарная техника. 2018. № 6. С. 52-63.

15. Фисенко В.Н. Расчет индексов энергоэффективности при проектировании и эксплуатации групповых скважинных водозаборов // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2017. №10. С. 38-50.

16. Фисенко В.Н. Оценка энергоэффективности насосов в системах водоснабжения // В сборнике: Яковлевские чтения. Сборник докладов XIII Международной научно-технической конференции, посвященной памяти академика РАН С.В. Яковлева. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. 2018. С. 116-123.

17. Фисенко В.Н. Критерии эффективной работы насосов в промышленных и коммунальных системах водоснабжения и водоотведения // В сборнике: Яковлевские чтения Сборник докладов XIV Международной научно-технической конференции, посвященной памяти академика РАН С.В. Яковлева и 90-летию со дня создания факультета «ВиВ». 2019. С. 201-208.

18. Фисенко В.Н. Оценка экологичной энергоэффективности насосов при испытаниях и в реальных системах// Международная научно-техническая конференция «ECOPUMP-RUS'2019 «Энергоэффективность и инновации в насосостроении» - 24 октября 2019 г., Москва, Изд. МВЦ «Крокус-Экспо», 2019. С. 70-79.

19. Фисенко В.Н. Об оценке энергоэффективности насосных систем по ГОСТ 33969-2016 (ISO/ASME 14414) и параметрам жизненного цикла методики LCC // Международная научно-техническая конференция «ECOPUMP-RUS'2018 «Инновации и энергоэффективность в насосостроении» – 25 октября 2018 г., Москва, Изд. МВЦ «Крокус-Экспо», 2018. С. 61-73.

20. Фисенко В.Н. Расширение перечня показателей энергетической эффективности объектов промышленных и коммунальных систем с насосами для оценки потенциала сокращения выбросов парниковых газов//Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2019. №7. С. 42-56.

21. Грикевич Э.А. Гидравлика водозаборных скважин. – М.: Недра, 1986. – 231 с.

22. Щербаков В.И., Пурусова И.Ю. Пути повышения производительности водозаборных сооружений подземных вод // В сборнике: Яковлевские чтения. Сборник докладов XII Международной научно-технической конференции, посвященной памяти академика РАН С.В. Яковлева. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. 2017. С. 248-252.

23. Пономарев А. Восстановление скважин на основе аудита насосных систем // Наилучшие доступные технологии. 2019. №3. С. 20-22.



# ОЦЕНКА И ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ КАТЕН ВОДОСБОРОВ РЕК ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ БАШКОРТОСТАНА

А.Ф. Хазипова, А.Р. Хафизов, ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, г. Уфа

Одним из основных факторов, определяющих изменение экологического состояния водосборов рек, является изменение структуры их ландшафтов в результате антропогенной деятельности. Перевод естественных биоценозов в агроценозы приводит к нарушению природного равновесия и тем самым снижает экологическую устойчивость водосборов.

По мнению И.П. Айдарова, А.И. Голованова, А.Р. Хафизова и др. одним из современных и инновационных подходов в повышении экологической устойчивости водосборов является комплексное обустройство их территорий [1, 2]. Под комплексным обустройством территорий подразумевается проведение систем поэтапных мероприятий и работ по созданию культурных ландшафтов, одним из которых является создание экологически устойчивого каркаса водосборов и оптимизация их структуры, путем повышения экологической устойчивости их земельных угодий.

Цель работы – провести оценку экологической устойчивости катен водосборов рек лесостепной зоны Башкортостана, на основании экологического показателя устойчивости (ЭПУ), и предусмотреть мероприятия по повышению их экологической устойчивости.

Задача работы состоит в определении ЭПУ катен и степени их экологической устойчивости, расчете мелиоративных составляющих и определении оптимальных соотношений земельных угодий, обеспечивающих повышение экологической устойчивости катен водосборов.

Эффективность мероприятий по повышению экологической устойчивости водосборов оценивается коэффициентом экологической устойчивости [3]. В работе этот коэффициент использован, как экологический показатель устойчивости (ЭПУ), приведенный к единице площади водосбора:

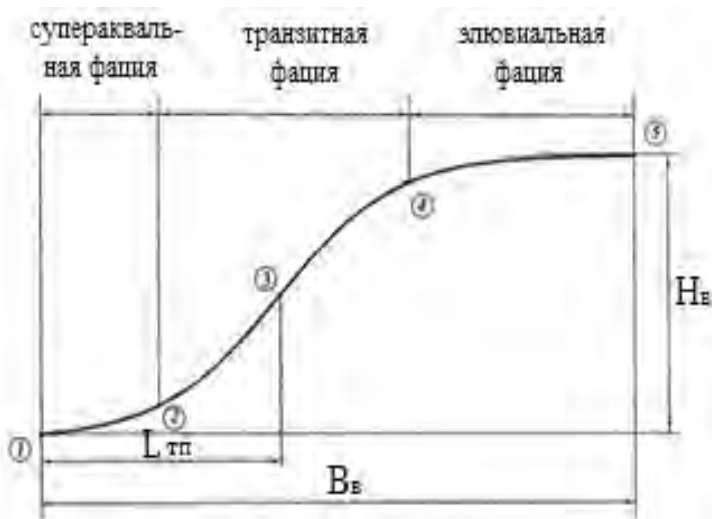
$$\text{ЭПУ} = \frac{\text{ЭПУ}_1}{S}, \quad (1)$$

где:  $\text{ЭПУ}_1$  – экологический показатель устойчивости, определяемый как:

$$\text{ЭПУ}_1 = \sum_{i=1}^n S_i \Pi_{1,i} \Pi_{2,i}, \quad (2)$$

где  $S$  – площадь водосбора, га;  $n$  – количество угодий с различными показателями стабильности;  $S_i$  – площадь  $i$ -го угодья, га;  $\Pi_{1,i}$  – показатель стабильности  $i$ -го угодья;  $\Pi_{2,i}$  – показатель расчлененности  $i$ -го угодья, назначается от 1 до 0,7 в зависимости от расчлененности рельефа.

Так как водосборы занимают большие территории, наиболее целесообразным является определять ЭПУ для более низких таксономических единиц физико-географического районирования. Согласно геосистемному подходу территории водосборов можно представить в виде ландшафтных катен. Катена – это ряд последовательно расположенных от водоразделов до водоемов элементарных природных комплексов – фаций (рис. 1).



**Рис. 1.** Геоморфологическая схематизация катены фаций водосбора:

$V_v, H_v$  – схематизированные, соответственно ширина и высота катены фаций, м;  
 $L_{тп}$  – ширина катены фаций внутри морфоизографа; 1 – начало катены (берег реки);  
 2 – переход от супераквальной фации к транзитной; 3 – точка прохождения линии морфоизографа; 4 – переход от транзитной фации к элювиальной; 5 – конец катены фаций

Различие природно-климатических условий в пределах катен водосборов определяет необходимость разработки классификации катен водосборов по их природно-климатическим показателям. Данная классификация разработана по коэффициенту увлажнения и гидротермическому коэффициенту (ГТК) [4].

Данные для расчета ЭПУ по формуле (1) также необходимо определять исходя из их принадлежности к катене. Площади катен и земель сельскохозяйственных угодий определены при помощи ГИС-технологий в пределах каждой катены.

Степени экологической устойчивости катен определены по той же методике, что и для водосборов [5].

В табл. 1 представлены результаты анализа экологической устойчивости 18 катен водосборов лесостепной зоны Башкортостана.

Степень экологической устойчивости катен

Критерии устойчивости по ЭПУ	Степень устойчивости	Катены	ЭПУ катен
0,51-0,66	средняя	Призиганская	0,65
		Симская	0,56
		Изякская	0,51
0,34-0,50	низкая	Тятерская	0,43
		Чишминская	0,43
		Кармаскалинская	0,43
		Нижненугушская	0,42
		Базинская	0,42
		Кандрыкульская	0,40
		Аксаковская	0,39
		Уршакская	0,39
		Придемская	0,38
		Причермасанская	0,38
		Сюньская	0,34
≤ 0,33	очень низкая	Бураевская	0,32
		Усеньская	0,29
		Удрякская	0,27
		Уфимская	0,18

К средней степени устойчивости относятся только Призиганская, Симская и Изякская катены водосборов. Остальные одиннадцать катен относятся к низкой степени и еще четыре катены к очень низкой степеням экологической устойчивости. Наименьшая степень экологической устойчивости отмечена у Уфимской катены, а наибольшая – у Призиганской.

Экологическую стабильность территорий водосборов возможно улучшить проведением водных мелиораций и путем оптимизации структуры земельных угодий катен водосборов.

В случае проведения водных мелиораций обязательным условием является строгое соблюдение экологически обоснованных мелиоративных режимов [6, 7, 8]. Экологическая устойчивость орошаемых или осушаемых земель катен фаций определяется по формуле [1, 2]:

$$\text{ЭПУ}_{\text{мп}} = \text{ЭПУ}_{\text{п}} \eta \quad (3)$$

$$K_{\text{мп}} = \eta K_{\text{п}}$$

где  $\text{ЭПУ}_{\text{п}}$  – экологический показатель устойчивости водосборов при естественных условиях;  $\eta$  – мелиоративная составляющая экологической устойчивости, определяется по И. П. Айдарову [1], в зависимости от показателей водного баланса фаций водосборов при водных мелиорациях.

Можно найти мелиоративную составляющую устойчивости катен фаций  $\eta$  и ЭПУ мелиорируемых катен фаций водосборов, при которых будет обеспечена их экологическая устойчивость.

Состояние катен фаций считается экологически устойчивым, если ЭПУ более или равно 0,66, при этом природоохранные мероприятия не требуются. Если ЭПУ более 0,51, то для сохранения и повышения экологической устойчивости катен фаций водосборов необходимо предусмотреть мероприятия природоохранного значения по устранению негативных последствий в природных компонентах водосборных территорий.

Для трех катен фаций, расположенных на границе с горным Уралом (Призиганской, Симской, Изьяжской), для достижения экологического устойчивого состояния (ЭПУ<sub>мп</sub>) требуются незначительные повышения мелиоративной составляющей ( $\eta = 1,01 \div 1,29$ ).

Основные группы катен фаций для достижения экологически устойчивого состояния требуют повышения их ЭПУ в среднем в 1,7 раз ( $\eta = 1,53 \div 1,94$ ). Для четырех катен фаций (Бураевская, Усеньская, Удряжская и Уфимская) для достижения устойчивого ЭПУ требуется повышение  $\eta$  в среднем в 2,6 раза ( $\eta = 2,06 \div 3,66$ ).

При определении рациональных соотношений площадей земельных угодий, наиболее приемлемым вариантом повышения КЭУ катен водосборов является перевод пашен в пастбища или сенокосы.

Рекомендуемые структуры земельных угодий были определены для 18 катен водосборов лесостепной зоны Башкортостана, с учетом разработанной классификации по ГТК (табл. 2).

Таблица 2

**Результаты оптимизации структур земельных угодий катен водосборов по ГТК**

Группы катен фаций	Площади земельных угодий, в %		
	лугов	пастбищ/сенокосов	пашен
ГТК 0,85-1,00	0,09	0,43	0,23
ГТК 1,00-1,15	0,08	0,35	0,17
ГТК 1,15-1,30	0,06	0,38	0,15

Таким образом, проведенный анализ экологического состояния катен водосборов лесостепной зоны Башкортостана показал, что четыре катены относятся к очень низкой степени экологической устойчивости, одиннадцать катен – к низкой степени и лишь три катены – к средней степени устойчивости. Достижение экологически устойчивого состояния катен возможно путем проведения водных мелиораций, при этом их ЭПУ в среднем для всех катен увеличится в 2,2 раза. Кроме того, оптимизация структуры земельных угодий катен водосборов обеспечит среднюю степень экологической устойчивости катен при наличии на их территории в среднем 0,39 % пастбищ или сенокосов и 0,18 % пашен от общей площади земельных угодий.

## Библиографический список

1. Айдаров, И.П. Комплексное обустройство земель / И. П. Айдаров. – М.: МГУП, 2007. – 208 с.
2. Голованов, А.И. Природообустройство / А.И. Голованов, Ф.М. Зимин, Д.В. Козлов и др. под ред. А.И. Голованова – М.: КолосС, 2008. – 552 с.
3. Айдаров, И.П. Методология и количественная оценка экологической безопасности функционирования природно-антропогенных систем / И.П. Айдаров, Н.П. Карпенко, Д.А. Манукьян // Доклады РАСХН, 2003. – №2. – С. 32 – 36.
4. Хазипова, А.Ф. Об учете классификации водосборов Западного Башкортостана по природно-климатическим и физико-географическим показателям при геоморфологических исследованиях / А.Ф. Хазипова, А. Р. Хафизов // Особенности развития агропромышленного комплекса на современном этапе / Матер. всеросс. науч.-прак. конф. Часть 1. – Уфа: Башкирский ГАУ, 2011. – С. 280 – 282.
5. Хазипова, А.Ф. Использование геоморфологических параметров катен в модели устойчивого функционирования водосборов западного Башкортостана / А.Ф. Хазипова, А.Р. Хафизов, А.В. Шакиров // Экологические системы и приборы. – 2013. № 5. – С. 28 – 31.
6. Айдаров, И.П. Оптимизация мелиоративных режимов орошаемых и осушаемых сельскохозяйственных земель / И.П. Айдаров, А.И. Голованов, Ю.Н. Никольский. – М.: Агропромиздат, 1990. – 304 с.
7. Голованов, А.И. Оросительные мелиорации / А.И. Голованов, И. П. Айдаров, М. Г. Мамаев // 2 – е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1982. – 176 с.
8. Голованов, А.И. Мелиорация ландшафтов / А.И. Голованов // Мелиорация и водное хозяйство. – 1993. – №3. – С. 6 – 8.

## ДОСТИЖЕНИЕ СТАБИЛЬНОГО КАЧЕСТВА ОЧИЩЕННОЙ ВОДЫ НА УРОВНЕ ПДК ДЛЯ ВОДОЕМОВ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

**О.В. Харькина**, к.т.н., ведущий инженер-технолог, SUEZ Water Technologies & Solutions; **Р.Р. Закиев**, коммерческий директор по России и СНГ, SUEZ Water Technologies & Solutions, г. Москва

В связи с тем, что переход к требованиям к качеству очищенной воды в соответствии с НДТ переносится на неопределенный период, в ближайшем будущем, требования на сброс очищенной воды будут определяться исходя из ПДК для водоемов рыбо-хозяйственного назначения. При этом, все разговоры, что достижение качества очищенной воды на уровне ПДК для водоемов рыбо-хозяйственного назначения, и в первую очередь, по соединениям азота и фосфора, невозможно, являются абсолютно беспочвенными.

Стабильное достижение качества очищенных вод на уровне ПДК для водоемов рыбо-хозяйственного назначения показывают достаточное количество канализационных очистных сооружений в нашей стране. Компания SUEZ также подтверждает эту возможность результатами эксплуатации своих очистных сооружений на нефтеперерабатывающих, химических и пищевых предприятиях в РФ.

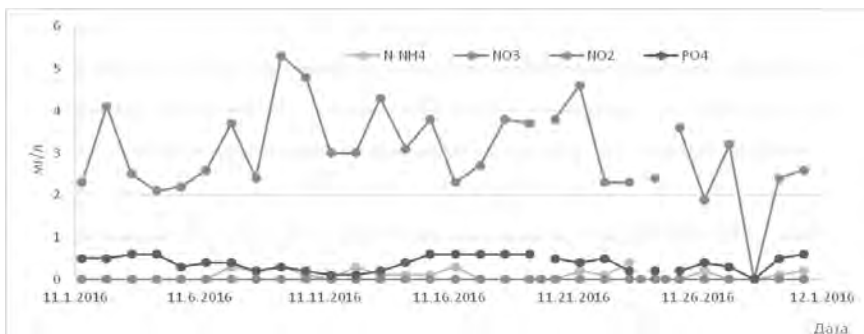
Мембранный биореактор (МБР) компании SUEZ на Нижне-Камском нефтехимическом заводе (г. Нижнекамск) ТАНЕКО был введен в эксплуатацию в 2011 году. Качество очищенной воды данных сооружений представлено в табл. 1.

*Таблица 1*

**Качественные параметры очищенного стока**

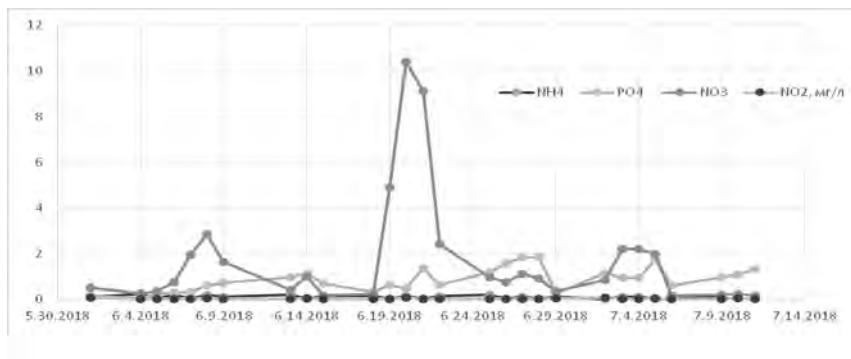
Параметры		Проектные значения	Достигнутые значения после стабилизации процесса (с 15.12.2011) средние/% данных удовлетворяющих требованиям
рН	-	6,5-8,5	7,2
Взвешенные вещества	мг/л	<5	3/99%
БПК <sub>полн</sub>	мг/л	<5-10	БПК <sub>5</sub> -1,8 (БПК <sub>полн</sub> -3,6)*/100%
ХПК	мг/л	<50	14/98%
Аммоний (как N)	мг/л	<1	0,25/98%
Азот нитратный, N-NO <sub>3</sub>	мг/л	<9,1	5/98%
Азот нитритный, N-NO <sub>2</sub>	мг/л	0,02	0,02/98%
P-PO <sub>4</sub>	мг/л	0,9	0,17/98%

В 2015 году на нефтеперерабатывающем заводе Приволжского Федерального округа (Завод №2) компанией SUEZ были введены в эксплуатацию МБР, реализующие технологии нитрификации, денитрификации, химического удаления фосфора и удаления органических соединений. Реальное качество очищенной воды после мембранного биореактора (качество пермеата) рассматриваемых очистных сооружений представлено на рис. 1.



**Рис. 1.** Динамика качественных показателей очищенной воды МБР SUEZ завода №2

На рис. 2 представлено качество очищенных вод в МБР компании SUEZ завода №3. В сооружениях биологической очистки реализована схема с предвключенной и пост денитрификацией, нитрификацией, химическим удалением фосфора и удаления органических соединений. Для обеспечения очень жесткого требуемого качества очищенных вод по нитратам, в зону пост денитрификации подается внешний источник углерода. Текущее качество очищенных в МБР сточных вод приведено на рис. 2.



**Рис. 2.** Динамика качественных показателей очищенной воды МБР SUEZ завода №3

«Пиковое» значение нитратов в очищенной воде на выходе их МБР связано с экспериментальной остановкой в течение 3-х дней дозирования внешнего источника углерода. В штатном режиме, все показатели стабильно укладываются в требуемое проектное качество очищенной воды. При этом, следует обратить внимание, что при требуемом значении аммония 6,4 мг/л и нитритов 0,25 мг/л, концентрация аммония в очищенной воде в ходе реальной эксплуатации очистных сооружений составляет 0,08-0,22 мг/л, а нитритов – 0,000-0,008 мг/л.

Таким образом, стабильное качество очищенной воды на уровне самых жестких требований возможно, но для этого необходимо корректно разработать технологическую схему и грамотно рассчитать эти сооружения.

### Выводы

1. Результаты работы МБР компании SUEZ, реализующих технологии нитри-денитрификации, химического удаления фосфора и удаления органических соединений показывают возможность стабильного обеспечения качества очищенных вод на уровне ПДК для водоемов рыбо-хозяйственного назначения.

2. Для стабильного обеспечения заданных требований к качеству очищенной воды, в том числе и до требований сброса очищенной воды в водоемы рыбо-хозяйственного назначения, необходимо разработать корректную схему сооружений и провести грамотный расчет.

3. Применение «табличных» методик, в том числе и Методика ATV (Standard ATV-DVWK-A131 E. Dimension of Single-Stage Activated Sludge Plants 2000») не позволяет достичь стабильного качества очищенной воды на уровне ПДК для водоемов рыбо-хозяйственного назначения из-за их эмпирического подхода к расчетам.



## РЕКОНСТРУКЦИЯ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

**Л.Р. Хисамеева**, ст. препод., КазГАСА; **Т.В. Кедрова**, аспирант, КазГАСА, г. Алматы, Казахстан

Проблема реконструкции канализационных систем, построенных в 60-е, 70-е годы XX века, становится все более актуальной и требует практически незамедлительного решения. По данным статистики, городские очистные сооружения имеют степень изношенности не менее 60%, представляют морально устаревшие и экологически небезопасные системы.

За прошедшие десятилетия были выделены основные приоритеты в развитии коммунального хозяйства, но строительство очистных сооружений нового поколения остается во многих регионах, по сути, неразрешимой проблемой. Дело в том, что замена устаревшего оборудования, не соответствующего нормативам охраны окружающей среды - достаточно затратно, однако в подобных ситуациях существует возможность модернизации системы без её глобального демонтажа. Подобный подход предполагает строительство очистных сооружений нестандартных габаритов с последующей установкой их в старые железобетонные ёмкости. Разумеется, реконструкция очистных сооружений - это не только возможность экономного расходования бюджета, но и определенные технологические проблемы, которые необходимо решать, прибегая к инновационным методам. В конечном итоге, восстановленные городские очистные сооружения способны функционировать, не нанося вред окружающей среде и работая в оптимальном режиме.

Город Нефтекамск расположен на северо-западе Республики Башкортостан, имеет централизованную систему канализации. Бытовые и производственные сточные воды от промышленных предприятий расположенных на территории промзоны, а также бытовые сточные воды от канализованных жилых и общественных зданий по системе самотечных коллекторов поступают в канализационные насосные станции. В процентном выражении соотношение хозяйственных сточных вод (от населения и предприятий) к производственным сточным водам составляет соответственно: 85 % и 15 %.

Комплекс очистных сооружений канализации производительностью 40 тыс. м<sup>3</sup>/суток построен в 1977 г. по проекту, разработанному институтом «СоюзводоканалНИИпроект» [1].

Технологический процесс биологической очистки сточных вод имеет следующие стадии: механическое отстаивание сточных вод в первичных отстойниках; биологическая очистка в аэротенках; отстаивание очищенных стоков; хлорирование очищенных сточных вод в резервуарах-усреднителях и транспортировка их в р. Кама. Состав очистных сооружений: приемная камера; аэрируемые песколовки; первичные горизонтальные отстойники; аэротенки-смесители с регенераторами, с пневматической системой аэра-

ции; вторичные горизонтальные отстойники; усреднители (контактные резервуары). Для обезвоживания осадка первичных отстойников и избыточного ила предусмотрены иловые карты с поверхностным отводом воды [1]. Сточная вода по всем основным сооружениям очистки проходит самотеком. Осветленная и обеззараженная активным хлором вода насосами по напорному коллектору, протяженностью 18 км, подается на сброс в р. Кама. Выпуск в реку – рассеивающий с 18-ти кратным разбавлением.

При разработке проекта реконструкции существующих биологических очистных сооружений канализации г. Нефтекамска на основании технического задания и данных генерального плана приняты сроки строительства и расчетная численность населения: расчетный срок – 160 тыс. человек, перспективный срок (2027 г.) – 200 тыс. человек. Расчетные расходы сточных вод: суточный – 43351 м<sup>3</sup>/сут; средний – 37883 м<sup>3</sup>/сут; часовой максимальный – 2603 м<sup>3</sup>/час; средний – 1578 м<sup>3</sup>/час; секундный максимальный – 0,723 м<sup>3</sup>/сек [1].

Выбор метода и схемы очистки сточных вод принят исходя из необходимости требуемой степени очистки с учетом существующих технологий очистки, рекомендаций научно-исследовательских организаций, опыта эксплуатации действующих аналогичных сооружений, а также с учетом местных условий. Определение необходимой степени очистки сточных вод и расчет канализационных очистных сооружений произведено по основным показателям, характеризующим содержание загрязняющих веществ: взвешенным веществам; суммарному содержанию в воде органических загрязняющих веществ, оцениваемому по БПК<sub>5</sub> и ХПК; наличию биогенных элементов (азота и фосфора).

Проведение технических мероприятий по расширению и реконструкции действующих очистных сооружений канализации (БОС) обусловлено необходимостью изменения следующих основных технологических показателей: увеличение производительности БОС; увеличение окислительной мощности, обеспечивающей более глубокое снижение БПК очищенной воды; увеличение степени удаления соединений азота; увеличение эффективности изъятия соединений фосфора; замена системы обеззараживания хлорированием на обработку УФ облучением; уменьшение объемов осадков путем применения системы механического обезвоживания. Изменения указанных параметров можно достичь двумя путями: проведением мероприятий по интенсификации работы действующих сооружений; строительством дополнительных технологических сооружений.

Методом интенсификации можно решить поставленную задачу при меньших капитальных затратах, но при этом увеличиваются эксплуатационные затраты в большей степени, чем при варианте строительства дополнительных технологических сооружений. При этом приведенные затраты (основной показатель экономической эффективности) меняются в зависимости от производительности БОС. Так, например, для станций малой и средней производительности ~ до 10 000 м<sup>3</sup>/сут приведенные затраты по варианту интенсификации работы действующих сооружений заметно

меньше, чем при простом расширении сооружений; при производительности от 10 000 до 30 000 м<sup>3</sup>/сут они приблизительно равны, а при более 30 000 м<sup>3</sup>/сут практически все известные приёмы интенсификации увеличивают приведенные затраты.

Это обусловлено тем, что при простом увеличении объемов емкостных технологических сооружений стоимость единицы строительного объема уменьшается, а при использовании любых методов интенсификации стоимость капиталовложений растет прямо пропорционально увеличению мощности ОСК. В связи с этим при данной мощности очистных сооружений следует идти по пути увеличения объемов технологических сооружений, используя при этом современные технологические решения, позволяющие увеличить эффективность процессов наиболее экономичным способом.

Возможны как минимум два варианта принципиальных решений [1]:

– первый вариант рассчитывается на прямое увеличение объемов сооружений путем дополнительного строительства отдельных секций, блоков и систем перекачек (одноступенчатая схема);

– второй вариант рассматривает возможность работы сооружений по двухступенчатой схеме с предварительной неполной биологической очисткой.

Принципиальная технологическая схема по первому варианту, идентична классической. Исходная вода подается в приемный резервуар для гашения избыточной энергии потока и проходит систему мелкопрозрачных решеток, на которых извлекаются крупные частицы загрязнений, мусор и отбросы. Далее вода поступает в аэрируемые песколовки, в которых происходит отделение наиболее тяжелых частиц, преимущественно песка. После песколовок вода самотеком подается на первичные отстойники, где происходит осаждение минеральных и органических частиц взвеси, обеспечивающих эффект очистки по взвешенным веществам на 50 % и по показателю БПК<sub>пол</sub> на 30 % [2].

По первому варианту рассмотрена технология совместного удаления органических загрязнений с процессами нитрификации, денитрификации и дефосфации, сооружения биологической очистки (аэротенки) имеют по ходу движения воды аноксидную, анаэробную и аэробную зоны [1, 3-5]. Вначале исходная вода попадает в аноксидную зону, в которую подается из вторичного отстойника рециркулирующий поток возвратного ила, содержащий высокие концентрации нитратов. В отсутствии растворенного кислорода и при избытке органического субстрата в исходной воде происходит окисление последнего кислородом нитратов и нитритов, которые восстанавливаются до молекулярного азота, осуществляя тем самым процесс денитрификации. В анаэробной зоне при отсутствии растворенного кислорода и нитратов происходят преимущественно анаэробные процессы, целью которых является создание благоприятных условий для культивирования биоценоза, способного ассимилировать соединения фосфора в значительно большей степени, чем биоценоз обычных сооружений биологиче-

ской очистки. При этом достигается увеличение степени изъятия фосфора из стока до 80 % только биологическим методом [4-5]. Поддержание активного ила во взвешенном состоянии в этих зонах осуществляется тихоходными мешалками. Затем иловая смесь поступает в зону аэротенка-нитрификатора, где при пониженных нагрузках на ил осуществляется процесс полного окисления (продленной аэрации) органических загрязнений и глубокая нитрификация – окисление азота аммонийного до нитритов и далее до нитратов, часть которых в количестве, равном соответствующей степени рециркуляции возвратного ила, удаляется из системы в зоне денитрификации. Осветленная во вторичных отстойниках вода насосной станцией подается на сооружения доочистки с каркасно-засыпными фильтрами. Конструктивно такие фильтры аналогичны обычным скорым, но имеют комбинированную загрузку из гравия (каркаса) и обычного песка нормальной фракции [1, 4-5]. Такая конструкция позволяет помимо основного процесса фильтрации проводить дополнительно биологическую доочистку от органики благодаря способности частиц активного ила, выносимых из вторичных отстойников, формировать на развитой поверхности гравийного каркаса биопленку, аналогичную биопленке биофильтров. Работая как затопленный анаэробный биофильтр, такое сооружение окисляет остаточную органику за счет кислорода нитратов и одновременно отфильтровывает взвесь из воды, обеспечивая качество фильтрата по взвешенным веществам на 80 % и по БПК<sub>пол</sub> на 70 %, что значительно эффективнее, чем при использовании обычных скорых фильтров [4]. Для улучшения технологических показателей работы фильтров предусмотрено исходную воду предварительно очищать на современных напорных самопромывающихся микрофильтрах, оборудованных микросетками с прозорами 40 мкм. Это обеспечивает предварительное снижение загрязнений по взвешенным веществам на 50 % и БПК<sub>полн.</sub> на 30 %, увеличивая продолжительность фильтроцикла основных сооружений и расход промывной воды. После фильтров очищенная вода насосной станцией подается на установку обеззараживания ультрафиолетовым излучением и далее на выпуск [4]. Удаление избыточного активного ила предусмотрено из аэротенка с подачей иловой смеси насосной станцией на механический сгуститель. Сгущенный до влажности 95 %, активный ил насосной станцией совместно с осадком, из первичных отстойников подается на мехобезвоживание. Применение такой схемы, по сравнению с типовой, предусматривающей сгущение избыточного ила из вторичного отстойника на гравитационных уплотнителях, имеет ряд преимуществ: иловая вода с механического сгустителя возвращается непосредственно в аэротенк, не вызывая перегрузки остальных сооружений, как это бывает в случае применения гравитационных уплотнителей с возвратом иловой воды в голову сооружений; сгущение ила на механических сгустителях в аэробных условиях позволяет одновременно реализовать схему дополнительного удаления фосфора по технологии Phostrip с максимально возможным эффектом.

Такая технология основывается на способности активного ила накапливать высокие концентрации фосфатов в аэробных условиях и отдавать их в воду в анаэробных. Забирая активный ил на сгущение непосредственно из зоны аэрации, концентрация накопленных илом фосфатов будет максимально возможной и в дальнейшем, при механическом обезвоживании смеси сырого осадка и ила, в фугате образуется высокая концентрация соединений фосфора (до 200 мг/л и более), что позволит эффективно провести обработку фугата реагентом для перевода фосфора в нерастворимые соединения и направить обработанный фугат в голову сооружений для отделения образовавшейся взвеси в первичных отстойниках.

В качестве реагента-осадителя в такой схеме можно применить наиболее эффективный и дешевый – известь [2, 5]. Особенностью применения извести для удаления фосфора является то, что процесс производится при  $pH = 11...12$  и в случае известкования всего потока воды после этого требуется нейтрализация. При этом доза извести не зависит от концентрации фосфатов в воде, а определяется лишь необходимостью поддержания заданного значения  $pH$ . Обработывая известью лишь небольшой высококонцентрированный поток - фугат после обезвоживания, реакция проходит быстро и достаточно полно, а после смешения с исходной водой  $pH$  снижается, вызывая повышение активной реакции в допустимых пределах. При этом образовавшиеся нерастворимые соединения фосфора обратно в воду не переходят, а осаждаются совместно с взвесью исходного стока. Дополнительное подщелачивание всего потока увеличивает эффективность процесса нитрификации, имеющего оптимальную область значения  $pH = 8,5...9,0$ .

Обезвоживание смеси сырого осадка и избыточного активного ила производится на ленточных фильтрпрессах [2].

Для интенсификации проведения технологических процессов предусмотрено использование реагентов – катионно-активного флокулянта, извести и коагулянта, приготовление и дозирование которых производится реагентным хозяйством [12,5].

Система утилизации образующихся осадков и отходов – вывозная. Отбросы с решеток обезвоживаются и собираются в накопителе с последующим вывозом совместно с обезвоженным осадком на рекультивацию закрытой свалки.

По второму варианту рассмотрен технологический процесс с использованием в качестве основного сооружения неполной очистки биофильтра с пластмассовой плоскостной загрузкой. Выбор типа сооружения обоснован тем, что он может работать без предварительного первичного отстаивания с подачей воды на него сразу после песколовок и при неполной очистке нет ограничений по  $BPK_{полн}$  исходной воды, т.е. не требуется рециркуляция и в качестве вторичных отстойников используются первичные отстойники перед аэротенками второй ступени. В состав сооружений биологической очистки II ступени входят аэротенки-нитрификаторы с аноксид-

но-анаэробными зонами для проведения процессов нитрификации-денитрификации с процессами биологической дефосфации [1].

Оба варианта имеют общие полностью идентичные сооружения: предварительной очистки (решетки, песколовки), первичные и вторичные отстойники, сооружения доочистки на фильтрах и обеззараживание УФ-излучением, систему удаления и обезвоживания осадков, реагентное хозяйство и т.п. Поэтому расчет второго варианта выполняется по основному блоку биологической очистки, позволяющему провести технико-экономическое сравнение вариантов. По первому варианту рассчитанные объемы сооружений позволяют разместить на имеющихся площадях только дополнительный блок биологической очистки с отстойниками. На сооружения доочистки на фильтрах и дополнительных насосных станций свободных площадей нет. По второму варианту на имеющихся площадях размещаются все дополнительные сооружения

Сравнение вариантов в нашем случае производится по ожидаемым дополнительным капитальным затратам и основному эксплуатационному показателю – увеличению потребляемой мощности насосно-компрессорного оборудования. Экономические показатели одинаковых сооружений, входящих в обе технологические схемы при сравнении не учитываются. Трудоемкость обслуживания и численность дополнительного эксплуатационного персонала принята одинаковой [6].

Данные по стоимости вариантов и требуемой дополнительной мощности, приведены в табл. 1.

Таблица 1

### Стоимость вариантов

№	Наименование сооружения, затрат	I вариант			II вариант		
		расчетный объем, м <sup>3</sup>	стоимость, тыс. руб.	N, кВт	расчетный объем, м <sup>3</sup>	стоимость, тыс. руб.	N, кВт
1	Дополнительные секции первичных отстойников	3 200	13 530		-	-	
2	Дополнительный блок емкостей с активным илом	13 300	25 190		-	-	
3	Биофильтры	-	-		1 073	21 000	
4	Дополнительная мощность			550			100
	ИТОГО:		38 720	550		21 000	100

Дополнительная мощность по первому варианту требуется на увеличение производительности воздуходувок; по второму варианту на дополнительную подкачку воды и вентиляцию биофильтров. Мощность механических мешалок для перемешивания активного ила в обоих вариантах одинакова и в сравнении не учитывается.

### Вывод

По дополнительным капитальным затратам и потребляемой электрической мощности вариант с двухступенчатой очисткой является предпочтительным.

### Библиографический список

1. Галеева С.Н., Хисамеева Л., Аитов Р.Н. К вопросу реконструкции канализационных очистных сооружений //Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции « актуальные вопросы науки и техники». Часть 3. – Самара , 2016.- С.113-115.
2. Справочник проектировщика. Канализация населенных мест и промышленных предприятий./ Под ред. В.Н.Самохина – М.: Стройиздат, 1981. – 639 с.
3. СП 32.13330.2012. Канализация. Наружные сети и сооружения. – Введ. 2013-01-01 - М.: Минрегион России, 2012. – 91 с.
4. Гудков А.Г. Биологическая очистка городских сточных вод: Учебное пособие.– Вологда: ВоГТУ, 2002. – 127 с.
5. Воронов Ю. В. Водоотведение и очистка сточных вод. Учебник для вузов / Ю. В. Воронов, С. В. Яковлев. - М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. – 704 с.
6. МДС 81-35-2004. Методика определения стоимости строительной продукции на территории РФ.

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ЗАТРАТЫ НА ПОДЪЕМ ВОДЫ ИЗ ПОДЗЕМНЫХ ИСТОЧНИКОВ

**К.И. Чижик**, доц., к.т.н., каф. водоснабжения и водоотведения, НИУ МГСУ, г. Москва; **В.И. Щербаков**, проф., д.т.н., ВГТУ; **И.Ю. Пурусова**, ассистент, ВГТУ, г. Воронеж

Исследования работы водозаборных сооружений из подземных источников показали, что значительная часть скважин функционирует с высокими энергетическими затратами на подъем воды, потребляемая электроэнергия расходуется нерационально. Повышение энергопотребления, обусловлено неправильно подобранной маркой насоса, с завышенными характеристиками; износом оборудования; потерями напора в напорных трубопроводах и сборном водоводе. В процессе эксплуатации водозаборных сооружений не производятся технико-экономические расчеты совместной работы их элементов.

Вопросы оптимизации функционирования водозаборных сооружений из подземных источников давно изучаются учеными разных стран. В работах [1-6, 15-16] обобщен опыт использования энергосберегающих технологий в водопроводном хозяйстве.

Водозаборные сооружения из подземных источников (рис. 1) представляют собой сложный комплекс инженерных сооружений [2, 7-8, 12-14] состоящий: из водозаборных скважин, погружных насосов, резервуара чистой воды, запорно-регулирующей арматуры и сборного водовода.

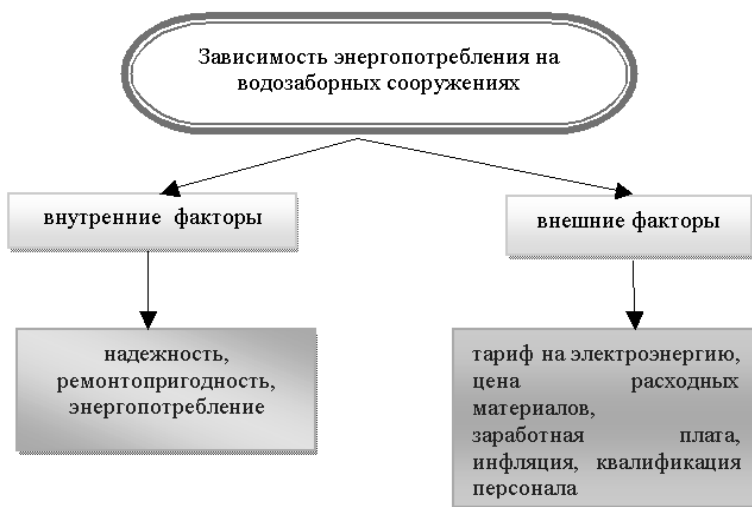


**Рис. 1.** Водозаборные скважины

Сокращение энергопотребления на водозаборных сооружениях зависит от внутренних и внешних факторов. Внутренние факторы - это соблю-



дение регламента их работы, а внешние факторы это факторы, на которые предприятие не может повлиять, рис. 2.



**Рис. 2.** Факторы, влияющие на сокращение энергопотребления на водозаборных сооружениях из подземных источников

Возможное снижение затрат непосредственно на энергоснабжение на водозаборных сооружениях оценивается аудиторами систем водоснабжения довольно высоко [3-6, 9-11, 14, 16].

Анализ энергопотребления показывает, что на стоимость электроэнергии приходится до 50% всех затрат за год работы водозаборных сооружений. За весь срок эксплуатации насосного оборудования стоимость электроэнергии может достигать 85 % от всех затрат [2, 4-10].

Потребление электроэнергии погружными насосным агрегатом [1] рассчитывается по формуле 1:

$$E = \frac{9810QH}{1000\eta_{ном}} T \times k = \frac{9,8QH}{\eta_{ном}} T \times k, \text{ кВт}\times\text{ч} \quad (1)$$

где Q – подача погружного насосного агрегата, м<sup>3</sup>/ч; H – напор погружного насосного агрегата, м; η – КПД погружного насосного агрегата, η = 0,85; T – время работы насоса в год, 8760 час; k – средний коэффициент загрузки, k = 0,9-1.

Стоимость потребляемой электроэнергии на водозаборных сооружениях [12] определяется по формуле 2:

$$\mathcal{E}_{\text{эл.эн.}} = A \times E, \text{ руб.} \quad (2)$$

где  $A$  – тариф на электроэнергию, руб/кВт×ч.

Экономическая выгода от мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности, определяется как разница между результатом реализации подачи воды и величиной финансовых потребностей на эту реализацию.

Ожидаемый эффект от мероприятий по энергосбережению на водозаборных сооружениях показан в формуле 3:

$$\mathcal{E}_{\text{ожид.}} = C_{\text{м}} - C_{\text{и}}, \text{ руб.} \quad (3)$$

где  $C_{\text{м}}$  – стоимость проведения мероприятия по энергосбережению в расчете на год, руб;  $C_{\text{и}}$  – издержки, в случае невыполнения мероприятия в установленный срок, руб.

Значительное снижение энергопотребления может достигаться за счет верного выбора насоса в соответствии с реальными характеристиками системы, поэтому проведение энергоаудитов насосных систем, замер действительных параметров скважины, сети в целом и последующий подбор оборудования в соответствии с полученными результатами позволит значительно сократить энергопотребление насосных агрегатов. В качестве исходных данных в расчете учитываются затраты на приобретение оборудования, в том числе и вспомогательного, стоимость монтажа насоса в скважине и затраты на электроэнергию.

Водозаборные сооружения являются ресурсоемкими предприятиями, рациональное использование которых существенно улучшает экономические показатели работы системы подачи и распределения воды. В виду постоянного роста тарифов на электроэнергию мероприятия по энергосбережению на водозаборных сооружениях необходимо проводить в рамках концепции федеральных программ по водоснабжению.

#### Библиографический список

1. Лезнов Б.С. Энергосбережение и регулируемый электропривод в насосных и воздуходувных установках. Москва: Энергопромиздат, 2006. 360 с.
2. Фисенко В.Н. Энергосбережение при эксплуатации скважинных водозаборов подземных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2016. № 11. С. 22–33.
3. Алексеев В. С., Мартинцов С. М. К оценке жизненного цикла скважин на действующих водозаборах // Водоснабжение и санитарная техника. 2016. № 2. С. 16–24.
4. Фисенко В. Н. Оценка энергоэффективности насосов в системах водоснабжения. 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. 116-123.

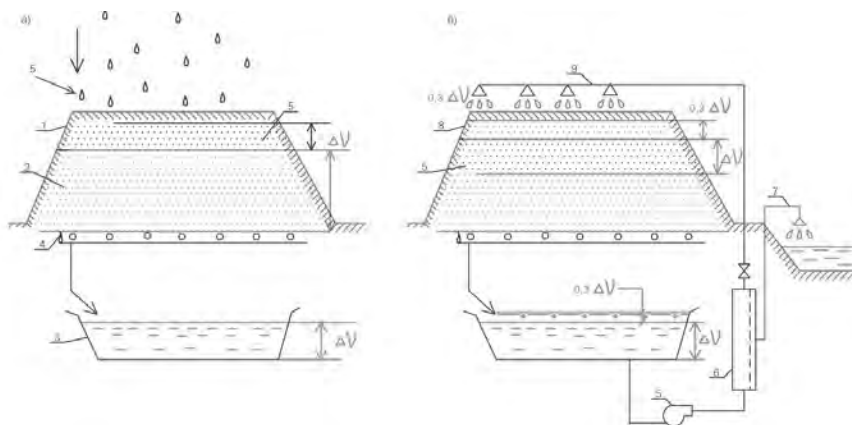
5. Фисенко В.Н. Энергетическая эффективность насосов в системах водоснабжения и водоотведения. Водоснабжение и санитарная техника. 2018. № 6. С. 52-63.
6. Фисенко В.Н. Инвестиционная доходность и риск проектов в сфере водоснабжения и водоотведения. В сборнике: Сборник докладов Международной научно-технической конференции, посвященной 90-летию со дня образования факультета водоснабжения и водоотведения МИСИ - МГСУ Сборник докладов. 2019. С. 145-151.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. Пурусова И. Ю. Фактическая производительность погружных насосов. Энергосбережение и водоподготовка. 2019. № 4 (120). С. 26-28.
11. Симашев А.О., Чижик К.И. Устройство для снижения электрозатрат при работе асинхронных двигателей. Наука и мир. 2016. Т.1. №1(29).С 77-78.
12. Щербаков В. И., Пурусова И. Ю. Водозаборные сооружения и погружные насосы - единая энергетически зависимая система. В сборнике: Яковлевские чтения Сборник докладов XIV Международной научно-технической конференции, посвященной памяти академика РАН С.В. Яковлева и 90-летию со дня создания факультета "ВиВ". 2019. С. 236-240.
13. Щербаков В. И., Пурусова И. Ю. Исследование работы системы водозаборная скважина - сборный водовод. Энергосбережение и водоподготовка. 2017. № 2 (106). С. 27-32.
14. 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. 7 p.
15. Shcherbakov V., Akulshin A., Chizhik K., Tolstoy M. Design of interacting wells for optimization of investments and operating costs while constructing water-diverting structures. MATEC Web of Conferences 2018. 7 p.
16. 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.

# НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ФИЛЬТРАТОВ ПОЛИГОНОВ ХРАНЕНИЯ ТВЁРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕМБРАН НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ

Т.Н. Ширкова, аспирант, каф. водоснабжения и водоотведения, НИУ МГСУ,  
г. Москва

## Введение

Создание полигонов хранения твёрдых бытовых отходов (ТБО) создало проблему загрязнения подземных и поверхностных вод токсичными продуктами разложения органических веществ. Полигон ТБО (см. рис. 1) представляет собой «губку», пропитанную водой, содержащей токсичные органические и неорганические загрязнения в высоких концентрациях.



**Рис. 1.** Загрязнение подземных и поверхностных вод токсичными продуктами разложения органических веществ полигонов ТБО:

а) образование фильтрата ТБО во время дождя; б) очистка фильтрата ТБО методом обратного осмоса и возврат концентрата в «тело» полигона

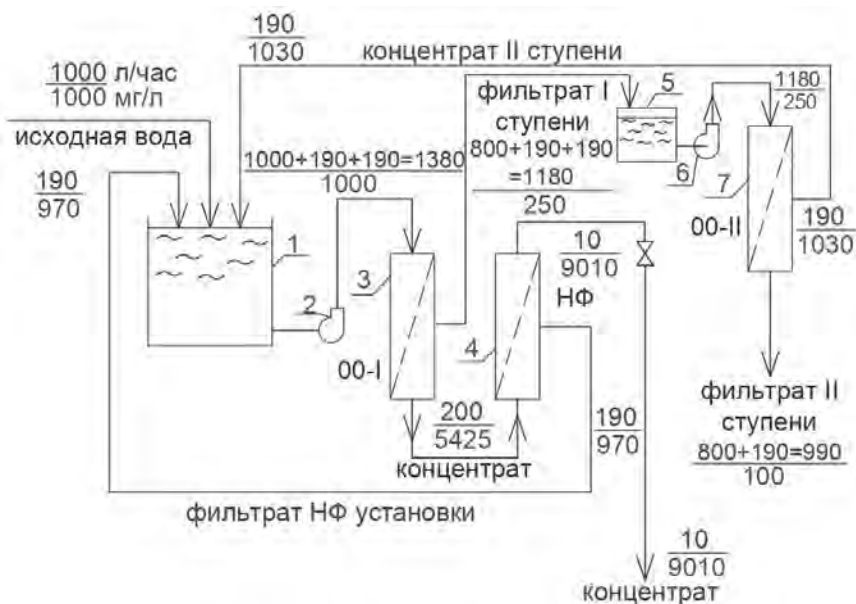
Возраст полигона оказывает влияние на содержание в воде загрязнений, которые накапливаются по мере гниения и разложения бытовых отходов. Так, в воде «старого» полигона в Ногинске «Тимохово» значение ХПК достигает 4000 мг/л. При этом в воде также в больших количествах содержатся ионы кальция, хлориды и сульфаты. А концентрация ионов аммония достигает значения 2200 мг/л. При этом наблюдается постоянное увеличение этих показателей. Осадки вызывают попадание в «тело» полигона воды, которая «вытесняет» содержащуюся в «теле» загрязнённую воду (так называемый «фильтрат» ТБО) [1]. Попадание фильтрата ТБО в подземные и поверхностные водоисточники создаёт серьёзную экологическую проблему [1, 2].

Возможность очистки фильтрата ТБО до уровня современных требований, предъявляемых к очищенной воде, поступающей в водоемы рыбохозяйственного назначения, представляет сложную техническую задачу [3-5]. Так, содержание ионов аммония следует снизить (в случае полигона «Тимохово») в 5-6 тысяч раз. Удаление из воды органических загрязнений при таких высоких показателях ХПК (от 2000 до 4000 и выше) также требует серьезных затрат [6, 7]. Рядом исследователей проводилось изучение возможности химического осаждения органических загрязнений, определяемых показателем ХПК, из фильтрата ТБО [7, 8]. Как показали результаты этих работ, добавление реагентов (сернистого железа, извести, флокулянтов и др.) в стехиометрический количествах (2-3 грамма на 1 литр фильтрата) и длительное отстаивание требуют чрезвычайно высоких капитальных и эксплуатационных затрат [8, 10]. Серьезную проблему также создаёт большое количество образующегося осадка, который тоже следует утилизировать на специальных полигонах, что требует дополнительных затрат. Поэтому в практике очистки фильтратов ТБО методом обратного осмоса часто на стадии предварительной очистки фильтратов ТБО удаляются только взвешенные вещества, после чего раствор фильтрата ТБО с высоким содержанием органических веществ «напрямую» обрабатывается с помощью мембран.

Наиболее эффективной технологией очистки фильтратов ТБО в настоящее время признана технология обратного осмоса, позволяющая эффективно удалять из воды не только загрязнения в ионной форме (аммоний), но и растворенные органические соединения, определяемые показателем ХПК [4, 5]. Это снижает величину удельной производительности мембран. Современные обратноосмотические мембраны при очистке снижают концентрацию аммония в воде в 20-30 раз [6, 7]. Поэтому, чтобы снизить содержание аммония в 2000-5000 раз, потребуются не менее 3 ступеней обработки воды, когда очищенная мембранами вода проходит обработку на следующей ступени (рис. 2) [11].

Серьезную проблему при использовании технологии обратного осмоса представляет образование концентратов и их утилизация. Расходы концентратов при обработке фильтратов ТБО методом обратного осмоса составляют от 20 до 30 процентов от всей поступающей на обработку воды. В практике эксплуатации систем обратного осмоса на полигонах ТБО получаемый концентрат возвращается в «тело» полигона путём его равномерно «разбрызгивания» над поверхностью (рис. 1). Поскольку дождевые воды «вытесняют» часть концентрированного раствора из тела полигона (рис. 1), поступление с концентратом всех удаленных из фильтрата ТБО загрязнений и смешение с дождевой водой сохраняет баланс загрязнений: после смешивания дождевой воды и концентрата получается вода, соответствующая по составу фильтрату ТБО. А образующийся фильтрат ТБО поступает на очистку, где разделяется на очищенную воду и концентрат (рис. 1). Очищенная вода сбрасывается в водоём, а концентрат возвращается в «тело» полигона. Такой подход имеет два основных недостатка:

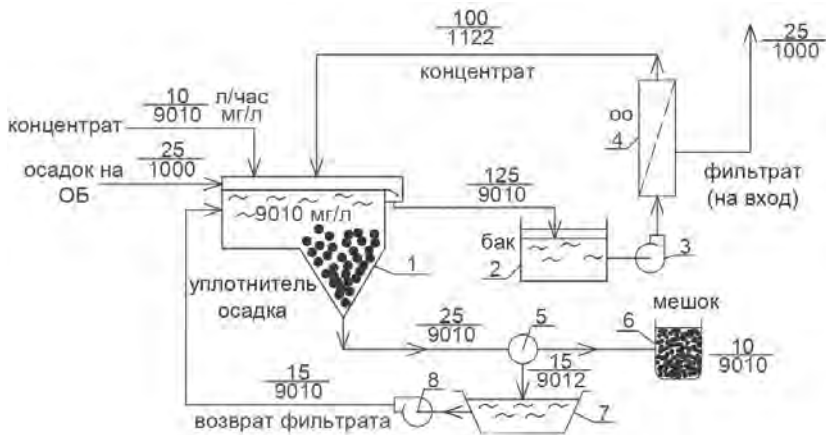
1. Сброс 30-ти процентов концентрата дополнительно увеличивает количество обрабатываемой воды на 45% с учетом вытеснения фильтрата.
2. Как известно, в теле полигона постоянно генерируются новые загрязнения, и с течением времени концентрации органических загрязнений и солей аммония в фильтрате ТБО неуклонно увеличивается [12]. Поэтому за несколько лет концентрации загрязнений в фильтрате ТБО увеличиваются, что может привести к существенному увеличению затрат на его очистку. Пути решения этой проблемы могут быть: «радикальное» снижение расхода концентрата до величины 1-5 % от расхода исходной воды и возможный вывоз и утилизация концентрата вместе с обезвоженным осадком.



**Рис. 2.** Балансовая схема обработки фильтрата ТБО с применением метода обратного осмоса в две ступени и утилизация концентрата:

- 1 – приемный бак; 2 – насос мембранной установки I ступени; 3 – мембраны I ступени; 4 – мембраны III ступени; 5 – бак фильтрата I ступени; 6 – насос мембранной установки II ступени; 7 – мембраны II ступени

Концентрат установки обратного осмоса с величиной общего солевого содержания 80 г/л смешивается с осадком, поступающим на обезвоживание (рис. 3). После смешения иловая вода проходит обработку на установке обратного осмоса для разделения ее на очищенную воду (поступающую на вход в установку биологической очистки) и концентрат (с величиной общего солевого содержания 80 г/л). Концентрат установки обратного осмоса выводится вместе с осадком, влажность которого составляет 80% [13].



**Рис. 3.** Принципы утилизации концентрата:

1 – осадкоуплотнитель; 2 – бак отстоянной воды; 3 – насос установки обработки концентрата III ступени; 4 – мембраны, обработка осадка III ступени; 5 – система обезвоживания; 6 – мешок; 7 – бак сброса иловой воды; 8 – насос возврата иловой воды

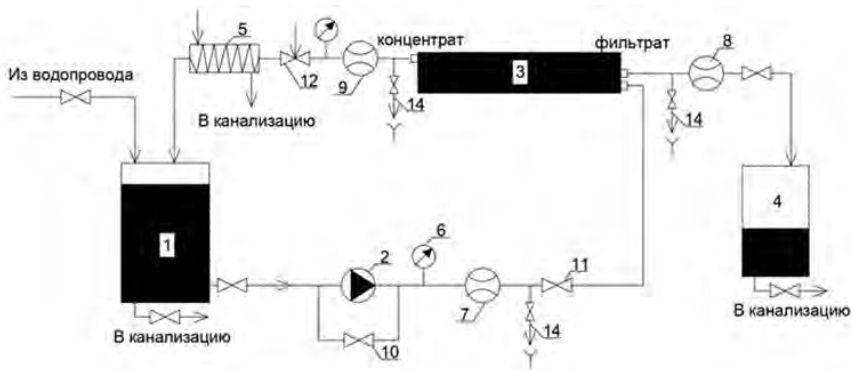
Настоящая работа имеет следующие цели:

- для разных составов фильтрата определить типы мембран и параметры установки, обеспечивающей требуемое качество очищенной воды;
- для разных составов фильтратов ТБО обосновать выбор мембран и определить максимально достижимое значение величины выхода фильтрата установки (кратность снижения объема исходной воды) и затраты на достижение этой величины;
- обосновать принципы и экономическую целесообразность вывоза и утилизации концентрата.

### Результаты экспериментов и их обсуждение

Параметры для расчета установок определены экспериментально в лабораторных условиях на экспериментальном стенде, показанном на рис. 4. Исследования проводились на фильтратах ТБО Московской области «Царёво» и «Тимохово» (табл. 1, 2).

На рис. 5 показаны полученные зависимости концентраций загрязнений при обработке фильтрата ТБО на первой ступени и пермеатов мембран, полученных на второй и третьей ступенях в зависимости от величины К (кратность снижения объема исходной воды после обработки, т.е. отношение объема исходной воды к объёму концентрата). Полученные результаты обработаны таким образом, чтобы получить расчетные уравнения зависимостей селективности мембран от выхода фильтрата для разных типов мембран и составов исходной воды (рис. 6).



**Рис. 4.** Экспериментальная установка для определения параметров работы мембран при разделении фильтрата ТБО:

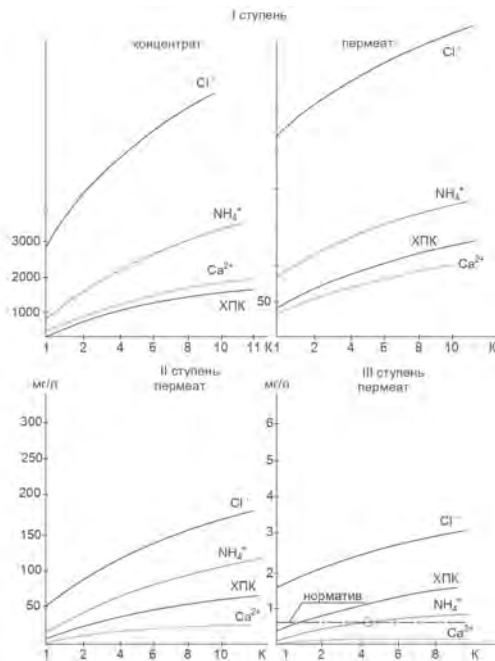
1 – бак исходной воды; 2 – насос; 3 - мембранный элемент в напорном корпусе; 4 – бак фильтрата; 5 – теплообменник; 6 – манометр; 7, 8, 9 – расходмеры; 10 – кран байпаса; 11 – вентиль регулировки давления; 12, 13 – краны промывки.

Таблица 1

Показатель	ТБО «Тимохово»			
	исходный сток	фильтрат после III ступени	концентрат 1 (ХПК)	концентрат 2 (аммоний)
Взвешенные в-ва, мг/л	220	-	-	-
ХПК, мг/л	3200	2,1	9500	20700
БПК, мг/л	925	-	-	-
Аммоний ( $\text{NH}_4^+$ ), мг/л	2400	0,5	3600	20400
Нитраты ( $\text{NO}_3^-$ ), мг/л	59	-	-	-
Щёлочность, мг/л	13546	-	-	-
Cl <sup>-</sup> , мг/л	2700	3	7100	8000
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/л	1200	-	8400	16600
jН, мг-экв/л	20	-	-	-
pH	8,9	-	-	-
Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> , мг/л	1000	-	-	-
Фенолы, мг/л	0,2	-	-	-
Общее солесодержание, мг/л	9000	2	80	80
Расход, м <sup>3</sup> /сут	1000	900	60	40

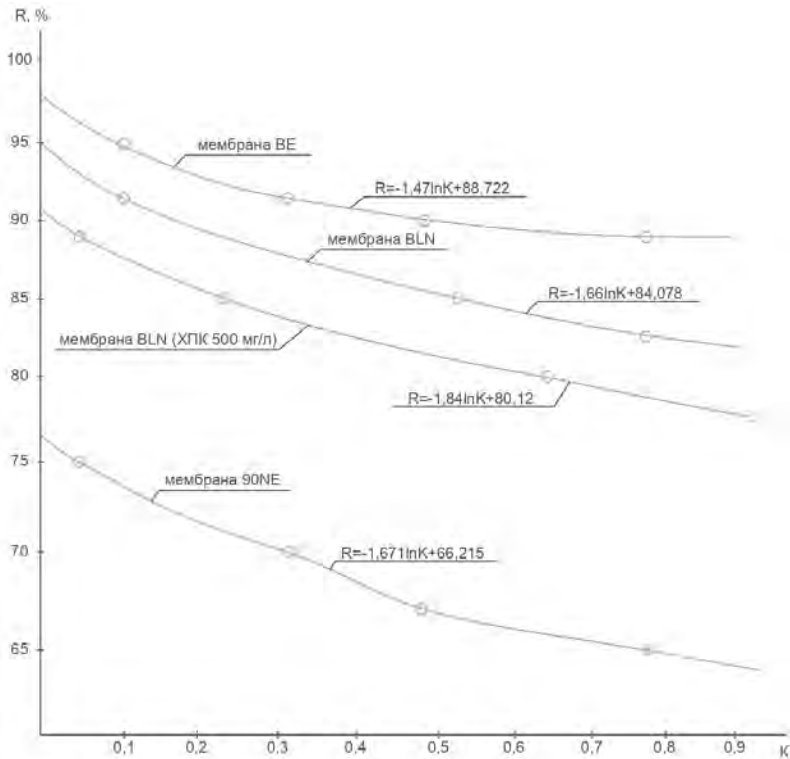


Показатель	ТБО «Царево»		
	исходный сток	концентрат 1 (ХПК)	концентрат 2 (аммоний)
Взвешенные в-ва, мг/л	-	-	-
ХПК, мг/л	1728	5400	10100
БПК, мг/л	800	-	-
Аммоний ( $\text{NH}_4^+$ ), мг/л	425	5800	11300
Нитраты ( $\text{NO}_3^-$ ), мг/л	65,5	-	-
Щёлочность, мг/л	5600	-	-
$\text{Cl}^-$ , мг/л	728	710	800
$\text{SO}_4^-$ , мг/л	210	1600	3000
$\text{jH}$ , мг-экв/л	15,5	41	90
pH	480	-	-
$\text{Na}^+ + \text{K}^+$ , мг/л	-	-	-
Фенолы, мг/л	-	-	-
Общее солесодержание, мг/л	36000	80	80
Расход, м <sup>3</sup> /сут	1000	30	20



**Рис. 5.** Зависимости концентраций содержащихся в воде растворенных загрязнений от величины K при использовании на всех ступенях мембран BLN:

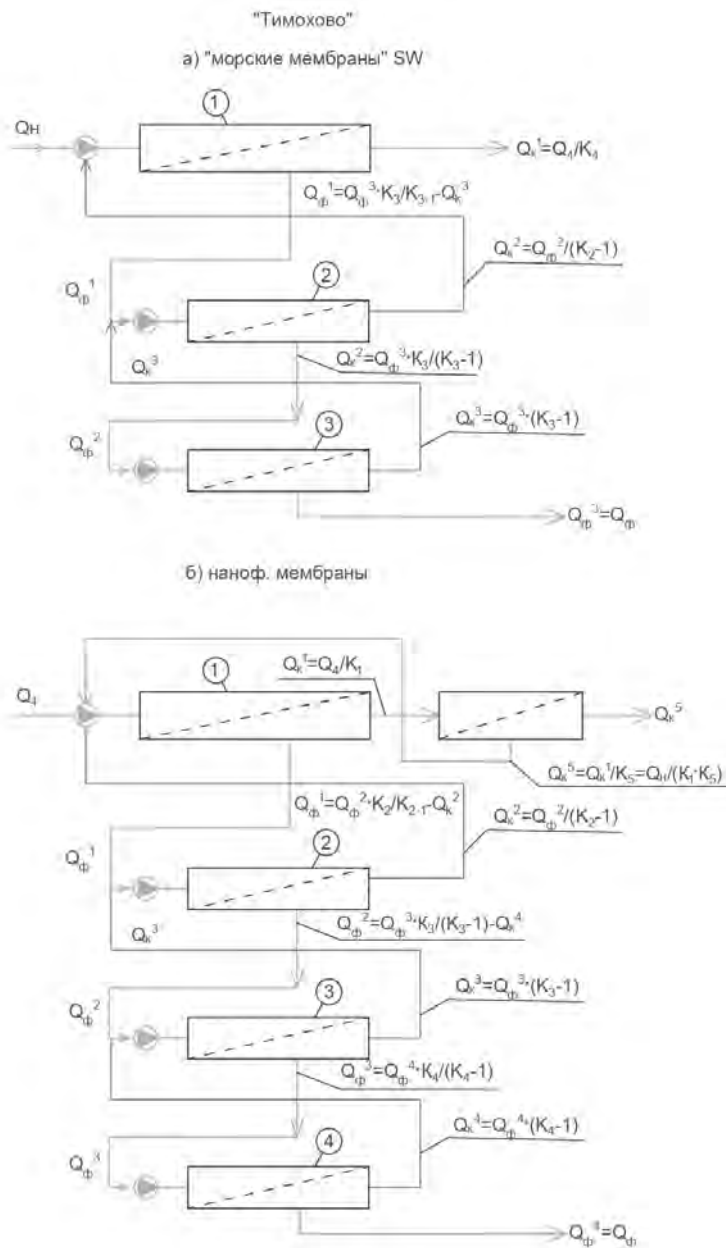
- а) в концентрате установки первой ступени, б) в фильтрате установки первой ступени; в) в фильтрате установки второй ступени; г) в фильтрате установки третьей ступени.



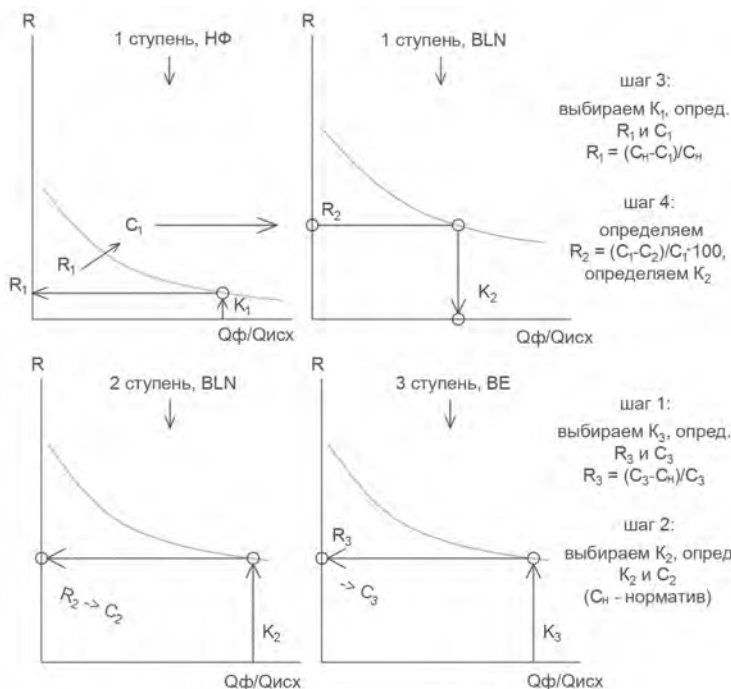
**Рис. 6.** Логарифмические зависимости значений селективностей мембран от величины «выхода фильтрата» (отношения объема полученного фильтрата к объёму исходной воды)

Алгоритм определения требуемых значений  $K$  и концентраций аммония на каждой ступени для четырехступенчатой схемы установки очистки фильтрата «Тимохово» (рис. 7) представлен на рис. 8.

На рис. 9 представлены примеры определения требуемой площади поверхности мембран на первой и на второй ступени очистки. Результаты экспериментального определения производительностей мембран в зависимости от величины  $K$  для разных составов исходного фильтрата ТБО на первой ступени очистки показаны на рис. 9 (а). Зная величину удельной производительности мембран, для каждого диапазона изменения величины  $K$  можно определить объём полученного фильтрата и площадь поверхности мембран, необходимую для получения этого объема фильтратами первой ступени очистки (рис. 9, б). На рис. 9 (в, г) показаны соответственно зависимости снижения удельной производительности мембран от  $K$  и требуемой поверхности мембран от  $K$  на второй ступени очистки. Расчеты выполнены для установки производительностью 1000 литров в час.



**Рис. 7.** Схемы очистки фильтрата ТБО с применением мембран обратного осмоса на первой ступени (а) и с применением нанопермембран с сокращением расхода концентрата (б)

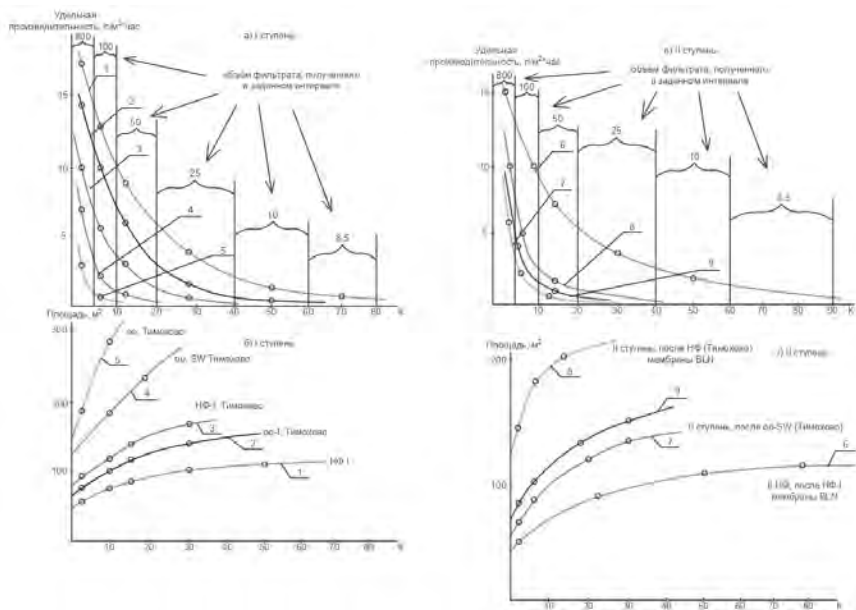


**Рис. 8.** Алгоритм определения требуемых значений  $K$  и концентраций аммония на каждой ступени для четырехступенчатой схемы установки очистки фильтрата «Тимохово»:

а) зависимость селективности Мембраны 70 NE по тону аммония от величины «выхода фильтрата» на первой ступени; б) зависимость селективности Мембраны BLN от «выхода фильтрата» на второй ступени; в) зависимость селективности от выхода фильтрата на третьей ступени (Мембраны BLN); г) зависимость селективности Мембраны среднего давления BE на четвёртой ступени от величины «выхода фильтрата»

Зная площади мембран, можно рассчитать требуемое количество мембранных элементов стандартных размеров и определить величину годовых затрат на замену мембран. Максимально достижимое значение величины  $K$  определяется, исходя из минимальных значений производительности мембран (рис. 9) на первой ступени очистки. Для нанофильтрационных мембран модели 70 NE такая величина общего солесодержания концентрата составляет порядка 80 граммов на литр. Исходя из составов фильтратов ТБО (таблица 1), для фильтрата «Царево» общее количество концентрата составляет 5% от общего количества обрабатываемой воды, а для фильтрата «Тимохово» – 10%.

На рис. 10 показана методика определения площади мембран, необходимой для обработки иловой воды при обезвоживании осадка.

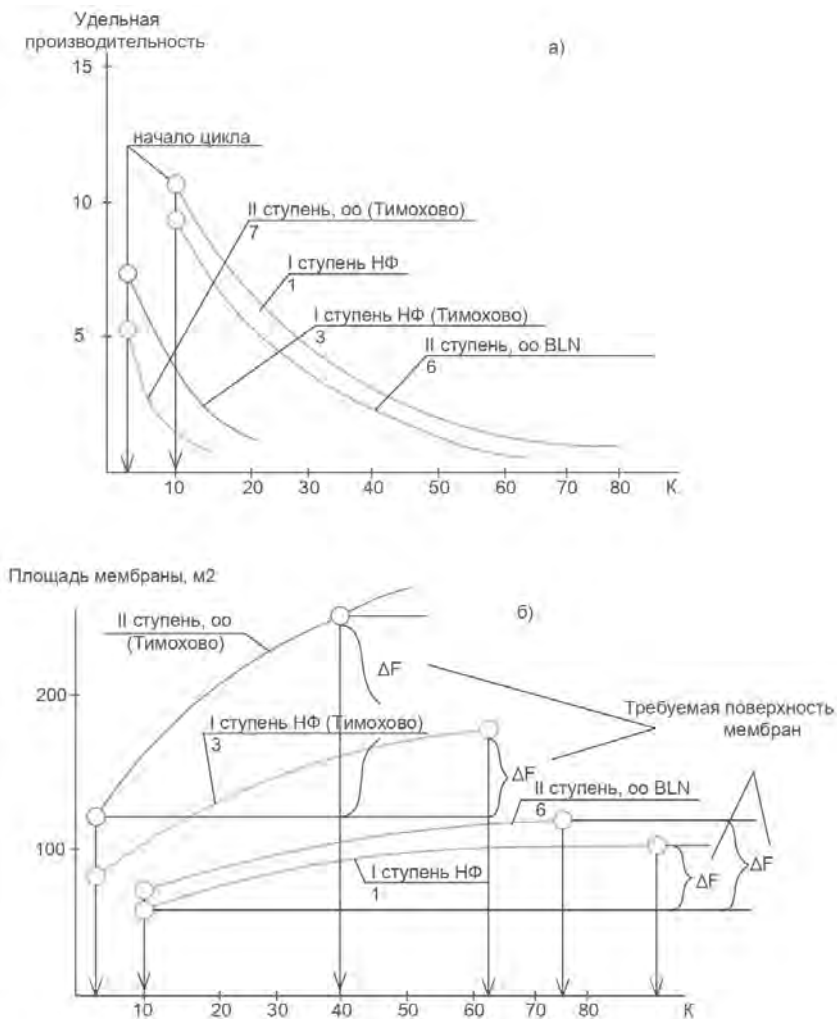


**Рис. 9.** Изменение величины удельной производительности мембран и значения требуемой поверхности мембран с ростом величины  $K$  при обработке и сокращении объема иловой воды во время обезвоживания осадков бытовых сточных вод (для расхода концентрата 1000 л/ч)

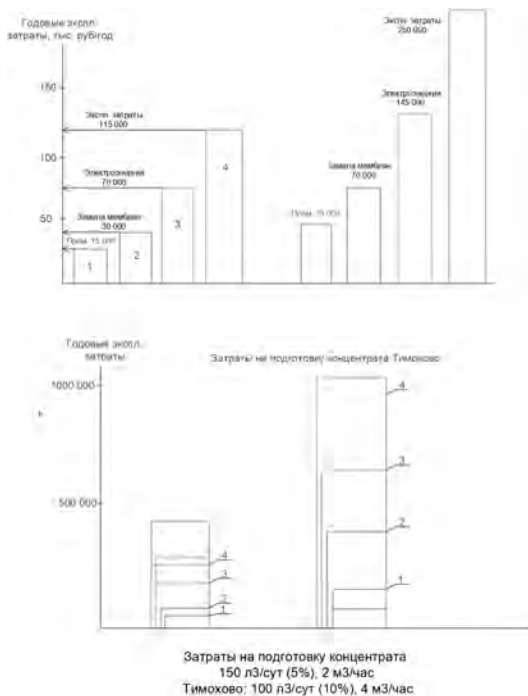
Растворы концентратов можно утилизировать, смешивая их с осадками, поступающими на обезвоживание и дальнейшее сжигание или остекловывание.

Для утилизации осадков городских сточных вод в промышленных масштабах работают системы остекловывания осадка. На обработку поступают осадки с влажностью 80 процентов. Это значит, в 10 тоннах обезвоженного осадка содержится 8 тонн воды и 2 тонны приходятся на твёрдые вещества. На обезвоживание из отстойников поступает обычно осадок с влажностью 98 %, это значит, что на 2 тонны сухих веществ приходится 98 тонн воды. Разработанная утилизация концентрата установок ТБО состоит в следующем: концентрат в количестве 8 куб.м добавляется в 100 тонн поступающего на обезвоживание осадка. В процессе проведения обезвоживания профильтровавшаяся через ткань установки обезвоживания иловая вода и вода после отстаивания в илоуплотнителе обрабатываются на установке обратного осмоса с разделением на фильтрат и концентрат. Балансовая схема процесса показана на рис. 3. В процессе обработки из содержащейся во влажном осадке воды получают 8 куб.м концентрата, который выводится вместе с осадком, и 98 куб. м очищенной воды, которая направляется на вход в установку биологической очистки. Осадок направляется на остекловывание. Расчёт затрат на дополнительную обработку в соответствии с рис. 3

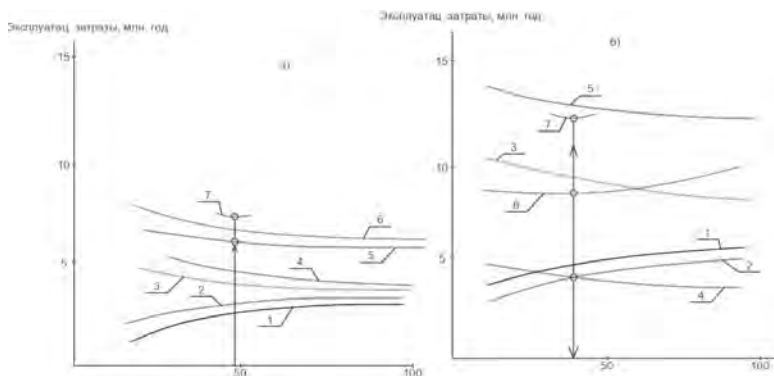
показан на рис. 11. На рис. 12 представлены результаты определения эксплуатационных затрат на обработку фильтрата ТБО с учётом затрат на утилизацию концентрата (рис. 10, 11) в зависимости от величины  $K$ . Целесообразно разделить концентрат установки очистки фильтрата ТБО на 2 потока: концентрат установки первой ступени нанофильтрации (содержит органические вещества, определяемые значением ХПК, двухвалентные ионы кальция, сульфаты) и концентрат установки второй ступени (содержит ионы аммония, хлориды, натрий, бикарбонаты) [8-10].



**Рис. 10.** Методика определения площади мембран, необходимой для обработки иловой воды при обезвоживании осадка



**Рис. 11.** Расчет затрат на дополнительную обработку методом обратного осмоса иловой воды: а) затраты на подготовку и обработку концентрата с расходом 1000 л/час; б) затраты на утилизацию концентрата фильтрата полигонов «Царево» и «Тимохово» при обработке фильтрата ТБО с расходом 1000 куб.м в сутки



**Рис. 12.** Зависимость эксплуатационных затрат от К (для установки 1000 м<sup>3</sup>/сутки): 1 – затраты на мембраны, ОО на 1 ступени; 2 – затраты на мембраны, НФ на 1 ступени; 3 – затраты на электроэнергию, ОО на 1 ступени; 4 – затраты на электроэнергию, НФ на 1 ступени; 5 – эксплуатационные затраты по 1 варианту (ОО на 1 ступени); 6 – эксплуатационные затраты по 2 варианту (НФ на 1 ступени); 7 – с учетом затрат на обработку осадка

Концентрат, содержащий органические вещества, целесообразно утилизировать на установках сжигания осадка, а концентрат, содержащий соли, можно более эффективно использовать в системах остеклования осадка (табл. 1, 2).

### Выводы

1. При обработке фильтрата ТБО с высокими значениями ХПК и общего соледержания целесообразно использовать на первой ступени очистки нанофильтрационные мембраны, что позволяет сократить расход концентрата установки обратного осмоса.

2. Применение нанофильтрационных мембран существенно снижает величину эксплуатационных затрат при очистке фильтратов ТБО.

3. Для упрощения утилизации концентрата установки обратного осмоса целесообразно разделить концентрат на два потока: поток с содержанием органических веществ и поток с содержанием минеральных солей.

### Библиографический список

1. Hussein L., Abdel-Shafy, Mona S., Mansour M. Solid waste issue: Sources, composition, disposal, recycling and valorization // *Egyptian Journal of Petroleum*. 2018. V. 27, Iss. 4. P. 1275-1290.

2. Wiszniewski J., Robert D., Summer-Gorska J., Miksh K., Weber J.V. Landfill leachate treatment methods: a review // *Environ. Chem. Lett.* 2006. V. 4. P. 51-61.

3. Sun W.Y., Kang M.S., Yim S.K., Choi K.H. Advances Landfill Leachate treatment Using an integrated membrane processes // *Desalination*. 2002. V. 149. P. 109-114.

4. Weber B., Holz F. Landfill Leachate Treatment by Reverse Osmosis. Elsevier Science Publishers Ltd, England. *Effective Industrial Membrane Processes – Benefits and opportunities*, 1991. P. 143-154.

5. Chianese A., Ranauro R., Verdone N. Treatment of landfill leachate by reverse osmosis // *Water Research*. 1999. V. 33, Iss. 3. P. 64-652.

6. Ushikovskii K., Kobayashi T., Uematsu K., Toji A., Kojima D., Matsumoto K. Leachate treatment by the reverse osmosis system // *Desalination*, 2002. V. 150, Iss. 2. P. 121-129.

7. Amokrane A., Comel C., Veron J. Landfill leachate pretreatment by coagulation-flocculation // *Water Resources*. 1997. V. 31. P. 2775-2782.

8. Скворцов Л.С., Варшавский В.Я., Камруков А.С., Селиверстов А.С., Николадзе Г.Я. Способ глубокой очистки высокотоксичным сточных вод и устройство для его осуществления. Патент 2099294 от 20.12.1997.

9. Потапов А.Д., Коныгин А.А. Новые возможности осветления интенсивно окрашенных полигонов ТБО при их обезвреживании с использованием известкового молока в присутствии солей кальция // *Вестник МГСУ*. 2013. Т.8. С. 116-122.



10. Кофман В.Л. Очистка фильтрата полигонов хранения твёрдых бытовых отходов // Водоснабжение и санитарная техника. 2010. №1-2. С. 124-127.
11. Wilf M. The guidebook to membrane for wastewater reclamation. Balaban Desalination Publishing, 2010. V.788.
12. Ширкова Т.Н., Спицов Д.В., Первов А.Г., Кирюшина М.С. Применение обратного осмоса для обработки фильтрата полигонов ТБО: удаление аммония // Инновации и инвестиции. 2020. Т. 2. С. 123-129.
13. Ширкова Т.Н., Первов А.Г. Технология обработки фильтратов полигонов ТБО с применением метода обратного осмоса // Строительство и техногенная безопасность. 2019. №17(69). С. 185-194

## АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ДВУХСТУПЕНЧАТОЙ НИТРИФИКАЦИИ

**А.Н. Эпов**, гл. специалист, ООО «Домкопстрой»; **М.А. Канунникова**, к.т.н., директор направления «Водоснабжение и водоотведение» TWW Treatment Waste Water, ООО «Домкопстрой», г. Москва

Известно, что кинетические коэффициенты процесса двухступенчатой нитрификации имеют существенный разброс, что затрудняет их выбор при расчёте процесса [1, 2, 3].

Действительно для наиболее изученного в отечественной практике процесса окисления аммонийного азота (1-ой стадии процесса) нитрификация начинала проходить в высоконагружаемой ступени очистки городских стоков при нагрузках 1000 мгБПК<sub>5</sub>/г на 1 г беззольного вещества (БЗВ) ила, возрасте ила 2,5-3 суток и температуре 18-24 °С. В то же время прохождения нитрификации в аэротенках Курьяновской станции аэрации (КСА) было недостаточно при нагрузках 250-300 мгБПК<sub>5</sub>/г БЗВ и возрасте ила 4-5 суток, а нитрификация до требуемых концентраций 0,4 мг/л по азоту аммония требовала нагрузок менее 150 мг БПК<sub>5</sub>/г СВ и возраста ила более 8 суток (везде имеется ввиду аэробный возраст). Эти две ситуации при моделировании не описывались одним набором кинетических коэффициентов. При этом использование моделей при их настройке требовало существенного снижения величин кинетических коэффициентов [4, 5] что подтверждалось респирометрическими исследованиями [5].

Какие же причины могут лежать в таком разбросе коэффициентов применяемых для расчёта? Здесь надо отметить два фактора:

### *Микробиологические особенности данных микроорганизмов*

Во-первых, мы, как правило, полагаем, что данные микроорганизмы являются только автотрофами. Действительно основным источником углерода для них является CO<sub>2</sub>, но микроорганизмы, окисляющие аммонийный азот, могут окислять и ассимилировать, но не могут расти на ряде органических субстратов, включая ацетат, формиат, пируват, метанол, этилен, пропилен, и даже циклогексан, бензол и фенол – такой механизм использования субстратов называется миксотрофным. Эти вещества могут существенно увеличить коэффициент прироста биомассы, но их высокие концентрации становятся токсичны. Бактерии нитрит-окислители также используют в качестве источника углерода CO<sub>2</sub>, но многие из них способны к миксотрофному и гетеротрофному росту с использованием простых субстратов. Рост в гетеротрофных условиях медленный, но существенно повышается коэффициент прироста [6]. Таким образом, наличие ряда веществ может существенно влиять на коэффициент прироста и скорость роста нитрификаторов 1-й и 2-й фазы. В подтверждение этого отмечается что состав стока оказывает влияние на коэффициенты реакций нитрификации – коэффициенты полученные с использованием искусственных сред и стоков вы-

ше чем для городских и промышленных сточных вод [7]. Так же возможность миксотрофного роста подтверждена в [19].

С другой стороны известно, что снижение скоростей роста может быть вызвано токсичностью стока. При этом концентрации большинства токсичных веществ в городских сточных водах присутствуют в концентрациях недостаточных для проявления эффекта токсичности [1]. Также показано, что моделирование процесса нитрификации достаточно редко требовало снижения скорости нитрификации в связи с поступлением промстоков [8]. Поэтому кинетическое описание процесса рекомендуется с использованием ингибирования только по концентрациям аммонийного азота и нитритов [2, 9]. При этом для очистки городских сточных вод данное ингибирование, как правило, не учитывается [2, 10, 11].

Во-вторых, истинными субстратами для процессов являются не аммонийный азот и азот нитритов, а азот аммиака и азотистая кислота, так как прохождение через мембрану клетки соединений с зарядом ( $\text{NH}_4^+$ ;  $\text{NO}_2^-$ ) требует затрат энергии. То же самое относится и к ингибированию [2, 6]. Концентрации этих элементов связаны с концентрациями азота аммонийного и азота нитритов как зависимости от температуры и pH среды. Это частично объясняет совместное влияние pH и температуры на скорость процессов, описанное в [12], однако не может полностью объяснить большой разброс кинетических коэффициентов в условиях очистки городских стоков.

*Видовое разнообразие микроорганизмов, осуществляющих процесс двух-  
ступенчатой нитри-денитрификации*

Появление и относительная коммерческая доступность техники высокопроизводительного секвенирования нового поколения (техника определения нуклеотидной последовательности ДНК и РНК) позволила более полно и точно описывать состав биоценоза активного ила. В результате было показано, что при нитрификации формируются сложные биоценозы, содержащие несколько видов нитрификаторов, как 1-й и так 2-й ступени процесса [13, 14].

Однако учитывая, что совокупность микроорганизмов как первой, так и 2-й фазы нитрификации развивается на единственном субстрате, сама возможность их существования и смена видов должна описываться методами популяционной экологии смешанных биоценозов и подчиняться принципу конкурентного исключения [15]. В этом случае смена видов в биоценозе должна подчиняться принципу Гаузе – принципу конкурентного исключения. Если для реактора, находящегося в состоянии хемостата, этот принцип записывается как: в биоценозе может быть столько видов сколько есть субстратов, то для реактора с неравномерностью условий принцип конкурентного исключения звучит как: в биоценозе может быть столько видов сколько создается преимуществ. При этом должны реализоваться такие преимущества отдельных видов как:

- оптимальная концентрация субстрата в реакторе для R- и K-стратегизирующих видов;
- различная чувствительность к ингибированию;
- различная чувствительность к концентрациям кислорода;
- различная чувствительность к температуре.

Неравномерность, приводящая к использованию этих преимуществ, может быть как в пространстве (изменение условий по длине реактора) или времени (в SBR реакторах и в результате колебаний концентраций на входе в биореактор), так и в результате использования загрузки, условия на которой отличаются от условий в потоке.

Существенное влияние смены R- и K-стратегизирующих видов как основное объяснение изменение кинетических коэффициентов дано в [14], применение отбора по стратегии роста микроорганизмов нитрификации для осуществления процесса нитри-денитрификации через нитриты подробно обсуждается в [16, 17]. В [18, 19] показано, что изменение режима реактора со смесителя на вытеснитель (SBR реактор) дает существенное преимущество R-стратегизирующим видам и приводит к изменению кинетики реакции как первой, так и второй фазы с возрастанием  $\mu_{max}$ ,  $K_N$  и  $b$ .

В целом наличие среди микроорганизмов нитрификации R- и K-стратегизирующих видов и влияние отбора по стратегии роста на кинетику процессов сейчас можно считать доказанным. К типичным представителям R-стратегизирующих видов относят АОВ *Nitrosomonas* (1-я ступень процесса) и NOB *Nitrobacter spp* (2-я ступень процесса), для K-стратегизирующих видов типичным представителем АОВ считается *Nitrospira* а для NOB – *Nitrospira*.

Показано, что другие свойства микроорганизмов нитрификации связаны со стратегией роста. Так R-стратегизирующие виды значительно более устойчивы к повышенным концентрациям субстрата ( $NH_3$  и  $HNO_2$ ), но более чувствительны к температуре. Для исследованных культур разница концентраций, при которых наблюдалось влияние токсикации субстратом, достигает 5 раз для концентрации азотистой кислоты и 10 раз для аммиака [20]. Здесь можно отметить, что при очистке производственных стоков спиртзавода концентрации азота нитритов могли достигать 80-100 мг/л, что не препятствовало окислению азота аммония с эффективностью 95-98% при его исходных концентрациях до 900 мг/л [24].

Относительно концентрации кислорода в сформировавшимся хлопке ила R-стратегизирующие виды требуют больших концентраций кислорода и имеют более высокий коэффициент полунасыщения по кислороду и преобладают при наличии предвключенной денитрификации, которая снижает скорости потребления кислорода в аэробных условиях [21]. В то же время при снятии диффузионных ограничений путем разрушения хлопка ультразвуком существенной разницы в коэффициентах полунасыщения по кислороду не обнаружено, но скорости потребления субстрата и кислорода были существенно выше для R-стратегизирующих видов [20]. Такая ситуация вполне логична, в [22] теоретически показано что диффузионные ограни-

чения существенно влияют на коэффициент насыщения по кислороду, в результате чего он становится функцией скорости потребления кислорода активным илом, а в [23] экспериментально доказано, что коэффициент полунасыщения по кислороду зависит от скорости потребления кислорода и состояния хлопка ила, описываемого через иловый индекс. Таким образом, даже если коэффициенты полунасыщения по кислороду для R- и K-стратегизирующих видов близки, то разница в скорости реакции и потребления кислорода делает R-стратегизирующие виды микроорганизмов более чувствительным к концентрациям растворенного кислорода. При этом большинство авторов показывает, что микроорганизмы 2-й стадии нитрификации более чувствительны к низким концентрациям кислорода, таким образом, не только замедляется их рост и может падать доля этих микроорганизмов в биоценозе, но и снижается скорость окисления нитритов и повышается их концентрация в очищенной воде.

Существование нескольких видов микроорганизмов нитрификаторов на каждой ступени процесса приводит к значительному влиянию отбора по скорости роста на все кинетические коэффициенты, применяемые для расчёта процесса. В [25] показано, что при изучении 12 видов микроорганизмов второй ступени нитрификации коэффициент полунасыщения по азоту нитритов изменялся на 2 порядка, практически равномерно покрывая весь диапазон изменения. Так же значительно изменялись и максимальные скорости роста. Поскольку коэффициент полунасыщения, максимальная скорость роста и скорость отмирания по теории R-K отбора взаимосвязаны, это говорит о том, что кинетические коэффициенты обеих ступеней реакции нитрификации зависят от принятых значений концентрации аммонийного и нитритного азота в очищенной воде и возраста ила.

Действительно, в [7] на основе анализа собственных данных и большого литературного обзора показано, что скорость роста микроорганизмов, коэффициент полунасыщения по субстрату и скорость отмирания зависят от возраста ила в широком диапазоне его изменения (от 1 до 60 суток), но более зависят от других параметров процесса при узком диапазоне изменения возраста (от 2 до 5 суток), что хорошо объясняется последовательной сменой преобладающих в популяции нитрификаторов доминирующих видов со сменой возраста ила – при малом диапазоне изменении возраста проявляется влияние других факторов на один или одну группу видов по стратегии роста, а на большом диапазоне изменения возраста ила происходит смена доминирующих видов.

В условиях технологий удаления азота и фосфора способность микроорганизмов нитрификации к миксотрофному и гетеротрофному росту нивелируется, так как легко усваиваемые растворенные вещества, которые могут использоваться микроорганизмами нитрификаторам, потребляются в анаэробных и аноксидных зонах. Малый диапазон изменения температуры и pH делает связь между истинными субстратами нитрификации и аммонийным и нитритным азотом практически однозначной, а возможное влия-

ние токсичности субстратов максимально снижается благодаря значительным внутренним рециклам в процессах удаления азота и фосфора.

Таким образом проведенная работа показывает, что в основе выбора кинетических коэффициентов лежит их зависимость от требуемого качества очистки стока и взаимосвязанного с ним возраста ила, т.е. выбор кинетических коэффициентов взаимосвязан с нормированием концентрации азота аммонийного и азота нитритов в очищенной воде.

#### Библиографический список

1. Хенце М. Очистка сточных вод. Биологические и химические процессы – М.: Мир, 2004.
2. Wiesmann U., Choi In Su, Dombrowski E-M. Fundamentals of Biological Wastewater Treatment. – WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2007.
3. Cébron1 A., Garnier1 J., Billen G. Nitrous oxide production and nitrification kinetics by natural bacterial communities of the lower Seine River (France) // *Aquat. Microb. Ecol.* 2005. V.41.
4. Загорский В.А., Данилович Д.А., Дайнеко Ф.А., Белов Н.А., Березин С.Е., Баженов В.И., Эпов А.Н. Реконструкция аэротенков Люберецкой станции // *ЖКХ.* 2000. №4. С. 1-3.
5. Эпов А.Н. Канунникова М.А. Респирометрическое определение кинетических коэффициентов уравнения скорости нитрификации // *Водоснабжение и канализация.* 2009. №4.
6. Prosser J.I. Nitrification. University of Aberdeen. – Elsevier Ltd., 2005.
7. Munz G., Lubello C., Oleszkiewicz J.A. Factors affecting the growth rates of ammonium and nitrite oxidizing bacteria // *Chemosphere.* 2011. V. 83.
8. Эпов А.Н., Канунникова М.А. Сравнение методик расчета сооружений с биологическим удалением азота и фосфора и применение математического моделирования // *Вода и экология.* 2016. №1,2.
9. Iacopozzi I., Innocenti V., Marsili-Libelli S., Giusti E. A modified Activated Sludge Model No. 3 (ASM3) with two-step nitrification denitrification // *Environmental Modelling & Software.* 2007. V.22
10. Wastewater Engineering Treatment and Reuse Fourth Edition. Revised by George Tchobanoglous, Franklin L. Burton, H. David Stensel. – Tata McGraw-Hill Edition, Publishing Company Limited, New Delhi, 2003
11. Henze M., van Loosdrecht M.C.M., Ekama G.A., Brdjanovic D. Biological Waste Water Treatment. Principles, Modeling and Design. – IWA Publishing, 2008.
12. Wang L.K., Shamas N.K., Hung Y.-T. Advanced Biological Treatment Process. Handbook of Environmental Engineering V9 – Humana Press, 2009.
13. Leyva-Díaz J. C., González-Martínez A., Muñío M.M., Poyatos J. M. Two-step nitrification in a pure moving bed biofilm reactor-membrane bioreactor for wastewater treatment: nitrifying and denitrifying microbial populations and kinetic modeling // *Appl Microbiol Biotechnol.* 2015. V. 99. Pp. 10333-10343.

14. Leyva-Diaz J.C., Gonzalez-Martinez A., Gonzalez-Lopez J., Munio M.M., Poyatos J.M. Kinetic modeling and microbiological study of two-step nitrification in a membrane bioreactor and hybrid moving bed biofilm reactor–membrane bioreactor for wastewater treatment // Chem. Eng. Journal. 2015. V. 259.
15. Эпов А.Н., Николаев В.Н. Интенсификация глубокой очистки сточных вод в аэротенках путем оптимизации возраста ила // Обзорная информация. ИЭЖКХ. 1989.
16. Peng Y., Zhu G. Biological nitrogen removal with nitrification and denitrification via nitrite pathway // Appl. Microbiol Biotechnol. 2006. V. 73. Pp. 15-26.
17. Liua W., Chen W., Yang D., Shen Y. Functional and compositional characteristics of nitrifiers reveal the failure of achieving mainstream nitrification under limited oxygen or ammonia conditions // Bioresource Technology. 2019. V. 275. Pp. 272-279.
18. Terada A., Sugawara S., Yamamoto T., Zhoua S., Koba K., Hosomi M. Physiological characteristics of predominant ammonia-oxidizing bacteria enriched from bioreactors with different influent supply regimes // Biochemical Engineering Journal. 2013. V. 79. Pp. 153-161.
19. Kim D.-J., Kim S.-H. Effect of nitrite concentration on the distribution and competition of nitrite-oxidizing bacteria in nitrification reactor systems and their kinetic characteristics // Water Research. 2006. V. 40. Pp. 887-894.
20. Blackburne R., Vadivelu V.M., Yuan Z., Keller J. Kinetic characterisation of an enriched *Nitrospira* culture with comparison to *Nitrobacter* // Water Research. 2007. V. 41. Pp. 3033-3042.
21. Dytczak M.A., Londry K.L., Oleszkiewicz J.A. Activated sludge operational regime has significant impact on the type of nitrifying community and its nitrification rates // Water Research. 2008. V. 42. Pp. 2320-2328.
22. Вавилин В.А. Математическое моделирование процессов биологической очистки сточных вод активным илом – М.: Наука, 1979.
23. Кануникова М.А. Эпов А.Н. Исследования влияния диффузии и адаптации ила на коэффициент полунасыщения по кислороду // Конференция Международной водной ассоциации (IWA) «Водоподготовка и очистка сточных вод населенных мест в XXI веке: Технологии, Проектные решения, Эксплуатация станций» Экватек. 2010.
24. Эпов А.Н. Разработка технологии, реконструкция и пуско-наладка очистных сооружений спиртзавода // Конференция Экватек. 2019.
25. Nowka B., Daims H., Spieck E. Comparison of Oxidation Kinetics of Nitrite-Oxidizing Bacteria: Nitrite Availability as a Key Factor in Niche Differentiation // Applied and Environmental Microbiology. 2015. V. 81. No 2.