



АО «МАЙ ПРОЕКТ»

# **НАИЛУЧШИЕ ДОСТУПНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ - ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД**

Сборник статей

## **Уважаемые коллеги!**

Компания «MY PROJECT» (АО «МАЙ ПРОЕКТ») работает в области очистки сточных вод и водоподготовки более 25 лет. При проектировании, запуске и вводе сооружений в эксплуатацию, инженерно-технический персонал компании всегда решает возникающие вопросы и доводит проекты до внедрения и достижения целевых показателей. Данные работы позволяют обогатить опыт компании в решении вопросов очистки воды.

В настоящее время, в составе команды АО «МАЙ ПРОЕКТ», работает более 100 инженеров, опыт и знания которых являются значительным капиталом компании, который нельзя скопировать. Как результат, разработано семейство технологических решений «MY Technologies», которые охватывают весь спектр вопросов очистки воды и обработки осадков на сооружениях.

Мы готовы делиться своим опытом со специалистами, которые занимаются эксплуатацией сооружений по очистке сточных вод. Для этого мы ежегодно публикуем научно-практические статьи в отраслевых журналах. Только за минувшие 5 лет опубликовано более 40 статей по инженерным работам компании «MY PROJECT».

Сборник статей, который вы держите в руках, является альманахом публикаций наших специалистов за последние годы. Мы отобрали, по нашему мнению, наиболее значимые статьи. Вашему вниманию представлены интересные решения в области очистки стоков, реконструкции сооружений очистки сточных вод и водоподготовки.

### **Наши технологии проверены опытом.**

Обратитесь к нам, и Вы убедитесь в этом сами!

Ю.М. Мешенгиссер  
Председатель совета директоров, д.т.н.



## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Современные инжиниринг и опыт реализации НДТ</b> <i>(Журнал ВСТ, №9, 2017 г. стр. 25 - 30)</i>	<b>4</b>
<b>Комплексные решения МУ ВЮ для биологической очистки сточных вод</b> <i>(Журнал НДТ, №3, 2017 г. стр. 7 - 11)</i>	<b>10</b>
<b>Опыт технологического аудита на основе отраслевого справочника по НДТ (на примере реконструированных канализационных очистных сооружений «Заостровье»)</b> <i>(Журнал НДТ, №3, 2017 г. стр. 12 - 25)</i>	<b>15</b>
<b>Комплексные решения МУ МЕТ для механической очистки сточных вод</b> <i>(Журнал НДТ, №4, 2017 г. стр. 42 - 48)</i>	<b>29</b>
<b>Типовые технические решения ЦМОО сточных вод</b> <i>(Журнал ВСТ, №10, 2017 г. стр. 46 - 50)</i>	<b>37</b>
<b>Опыт реализации локальных очистных сооружений предприятий пищевой промышленности по технологии «МУ DAF»</b> <i>(Журнал НДТ, №5, 2017 г. стр. 55 - 54)</i>	<b>44</b>
<b>Отечественный опыт реализации мембранных биореакторов по технологии «МУ MBR» для очистки производственных сточных вод</b> <i>(Журнал НДТ, №6, 2017 г. стр. 24 - 35)</i>	<b>56</b>
<b>Реконструкция водопроводных очистных сооружений г. Северодвинска: экономичное решение</b> <i>(Журнал НДТ, №5, 2017 г. стр. 8 - 19)</i>	<b>68</b>
<b>Пути решения непростой задачи Реализации схем биологического удаления фосфора из сточных вод</b> <i>(Журнал ВодаMagazine, №8, 2014 г.)</i>	<b>80</b>
<b>Ретехнологизация аэротенков для достижения глубокого удаления биогенных элементов: опыт очистных сооружений г. Набережные Челны</b> <i>(Журнал НДТ, №2, 2016 г. стр. 26 - 33)</i>	<b>91</b>
<b>Автоматизация и повышение энергетической эффективности работы ОСК по требованиям НДТ практический опыт</b> <i>(Журнал НДТ, №2, 2018 г. стр. 52 - 64)</i>	<b>100</b>
<b>Олимпийские НДТ – Адлерские ОСК</b> <i>(Журнал ВодаMagazine, №3, 2018 г., стр. 8 - 9)</i>	<b>113</b>

# Современные инжиниринг и опыт реализации НДТ

## Аннотация

А.В. Смирнов<sup>1</sup>



АО «МАЙ ПРОЕКТ»

ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ  
ОЧИСТКИ ВОД

Использование информационно-технического справочника по НДТ «Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов» дает лишь общее представление о перечне технологий, которые необходимо использовать для достижения наилучшего качества очистки. Конкретный выбор и обоснование можно осуществить опираясь на опыт эксплуатации и комплексный инжиниринг проекта. В статье приводятся практические примеры применения **технологий «MY Technologies»**, которые являются готовыми техническими решениями для решения вопросов очистки сточных вод. В статье приведены примеры решений задач механической (**MY MET**) и биологической очистки (**MY BIO**) для очистных сооружений гг. Сочи, Вологда, Коломна.

**Ключевые слова:** НДТ, механическая очистка, биологическая очистка, MY Technologies, грубая очистка, тонкая очистка, MY MET, MY BIO

Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям «Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов» – ИТС 10-2015 описывает лишь общие технологии, которые следует применять на разных этапах очистки сточных вод. Для правильного подбора той или иной технологии для очистных сооружений согласно ИТС следует проводить комплексный инжиниринг. В данной статье приведены практические примеры современных инженерных решений АО «МАЙ ПРОЕКТ» под общим названием «MY Technologies» в области механической очистки – MY MET, биологической очистки – MY BIO, которые соответствуют требованиям НДТ.

## MY MET

При строительстве очистных сооружений в Адлерском районе г. Сочи было применено техническое решение двухступенчатой механической очистки (рис. 1).

<sup>1</sup> Смирнов Алекс ндр Вл димирович, з м. н ч. технологического отдел , АО «МАЙ ПРОЕКТ», 115054, Россия, Москв , Б. Строченовский пер., 7, тел.: (495) 981-98-80 доб. 277, e-mail: smirnovav@myproject.msk.ru



**Рисунок 1. Цех механической очистки с решетками грубой и тонкой очистки г. Сочи**

В ИТС НДТ нет конкретных указаний к типу применения решеток (реечные, ступенчатые, ленточные, барабанные) и поэтому выбор технического решения является полностью инженерной задачей. Производительность ОСК г. Сочи составляет 100 тыс. м<sup>3</sup>/сут. и для механической очистки предусмотрено 6 каналов с установленными реечными решетками грубой очистки и барабанные решетки тонкой очистки компании Huber. Такое инженерное решение было продиктовано необходимостью очистки сточных вод как крупных так мелких отходов для защиты последующего технологического оборудования: стержневые решетки были выбраны как наиболее доступное и недорогое решение грубой механической очистки требующее минимального обслуживания со

стороны персонала (в сравнении со ступенчатыми решетками), а также в виду близости моря и повышенной возможности попадания гальки и камней на граблины, что вызывает остановку ступенчатых решеток (по опыту эксплуатации). Выбор барабанных решеток был продиктован высокой производительностью установки, так как район г. Сочи является горным и в период «большой воды» (ливни, снеготаяние), приток сточных вод может существенно возрастать, что может вызывать сложности в работе ленточных решеток.

На ГКНС очистных сооружениях г. Коломна производительностью 130 тыс. м<sup>3</sup>/сут. были установлены реечные решетки тонкой очистки, шнековый транспортер и пресс-уплотнитель компании ТПП «Экополимер» (рис. 2).

**Рисунок 2. Механическая очистка на ГКНС г. Коломна**



**Рисунок 3.**  
**Шнек выгрузки**  
**на ГКНС**  
**г. Коломна**



Особенностью данного инженерного решения является специальное устройство транспортера выгрузки с пресса-уплотнителя (рис. 3) – так как КНС находится ниже отметки уровня земли была применена увеличенная длина шнека транспортера и дополнительное устройство промывки отбросов для перекачки отбросов в контейнер, который находится на поверхности.

На очистных сооружениях г. Северодвинска морально и технически устаревшие реечные решетки грубой очистки были заменены новыми ленточными решетками тонкой очистки (решетки грубой очистки установлены на КНС) EscaMax компании Huber (рис. 4).

После внедрения ленточной решетки на сооружениях количество отбросов выросло в 3-4 раза, а проблема попадания механического

**Рисунок 4. Ленточные решетки на ОСК г. Северодвинск**



мусора на последующие этапы очистки (песколовки, первичные отстойники, насосные станции) ушла в прошлое. Выбор в пользу данного типа решеток был сделан после предварительной оценки состава отбросов, которые приходят на очистку: большое количество волокнистых включений негативно влияет на работу ступенчатых и реечных решеток, а барабанные (шнековые) решетки требовали расширения каналов.

### МУ ВЮ

На очистных сооружениях г. Вологды в 2012 г. была проведена комплексная рекон-

струкция биологической очистки в рамках проекта ЕБРР (природоохранное партнёрство «Северное измерение»). Действующие сооружения были модернизированы и прошли полную ретехнологизацию – первичные отстойники были реконструированы под аноксидные и анаэробные зоны, в аэротенках установлена современная энергоэффективная система аэрации АК-ВА-ТОР, установлены регулируемые воздухоподогреватели, поставлен комплекс КИПиА для контроля уровня растворенного кислорода в аэротенках, в конце каждого аэротенка установлены погружные насосы внутреннего рецикла (рис. 5).

**Рисунок 5. Первичные отстойники, НВС и аэротенки (до и после модернизации)**



№	Наименование показателя	Ед. изм.	Проектные данные		Фактические данные	
			Поступающие	Очищенные	Поступающие	Очищенные
1	ХПК	мг/дм <sup>3</sup>	260	Не норм.	513,86	35,44
2	БПК <sub>5</sub>	мг/дм <sup>3</sup>	200	15	252,3	11,41
3	Взв. веществ	мг/дм <sup>3</sup>	180	15	258	13,69
4	Аммоний-ион	мг/дм <sup>3</sup>	27	0,5	48,07	0,4
5	Нитриты	мг/дм <sup>3</sup>	0,15	0,08	0,14	0,085
6	Нитраты	мг/дм <sup>3</sup>	3,96	40	0,73	36,52
7	Фосфор фосфатов	мг/дм <sup>3</sup>	4,5	3,98	3,75	0,17

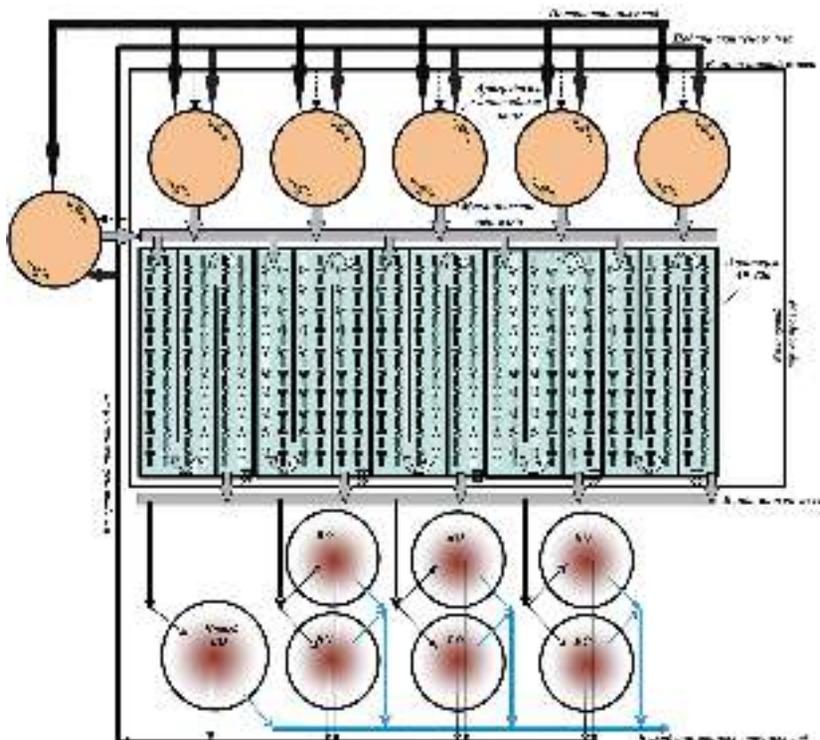
Таблица 1 – Качество сточных вод на ОСК г. Вологда

Производительность сооружений составляет 120 тыс. м<sup>3</sup>/сут., состав сточных вод до и после очистки по модернизированной схеме приведен в табл. 1.

Реализованную на сооружениях технологическую схему (рис. 6) сложно классифицировать исходя из стандартных схем нитри-денитрификации (НДН), так как аноксидная и анаэробная зоны работают параллельно друг другу, что в классическом представлении исключается, однако наиболее приближенной классической схемой можно считать А2/О.

Технологическая схема биологической очистки состоит из аноксидных и анаэробных зон (бывшие первичные отстойники), аэротенков-нитрификаторов и кольцевого трубопровода нитратной иловой смеси. В резервуары бывших первичных отстойников поступают сточные воды, возвратный ил и иловая смесь

Рисунок 6. Технологическая схема ОСК г. Вологды после модернизации



из кольцевого трубопровода. Кольцевой трубопровод является универсальным средством рециркуляции, который позволяет эксплуатировать резервуары первичных отстойников в нескольких режимах:

- в режиме анаэробной зоны при подаче сточной воды и возвратного ила;
- в смешанном режиме при подаче сточной воды, иловой смеси и возвратного ила;
- в режиме аноксидной зоны при подаче сточной воды и иловой смеси из кольцевого трубопровода.

За счет возможности перехода от аноксидной к анаэробной зоне, а также имея б таких резервуаров, у эксплуатации появляется возможность выбора преимущественного технологического режима денитрификации, что весьма важно при сезонном изменении составе сточных вод.

Похожие схемы, в рамках решений МУ ВЮ, были внедрены на сооружениях г. Черноголовка и п. Заостровье (Калининградская обл., РФ).

Приведенные практические примеры применения НДТ механической и биологической очистки на сооружениях доказывает, что правильный подбор и реализация проекта строительства и модернизации является комплексной инженерной задачей, верное решение которой повышает эффективность работы сооружений и качество очистки в целом. ●

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ИТС 10-2015, Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов. М: Бюро НДТ, 2015, 377 с.
2. СП 32.13330.2012, Канализация. Наружные сети и сооружения (актуализированная редакция СНиП 2.04.03-85). Москва, 2012.
3. Перечень рыбохозяйственных нормативов: предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. – М.: Издательство ВНИРО, 1999.
4. Мешенгиссер Ю. М. и др. Модернизация и реконструкция очистных сооружений канализации Научного центра РАН (г. Черноголовка, Московская обл.), Журнал «Водоснабжение и санитарная техника», 2007, №11, с. 43-47.
5. Данилович Д.А. Опыт технологического аудита на основе отраслевого справочника по НДТ (на примере реконструированных канализационных очистных сооружений «Заостровье»). М: «НДТ», 2017, 3, с. 12-25.

# Комплексные решения МУ ВЮ для биологической очистки сточных вод



АО «МАЙ ПРОЕКТ»

ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ  
ОЧИСТКИ ВОД

В 2014 г. исполнилось 100 лет биологической очистке сточных вод и технологии использования активного ила. За прошедший век изобретение стало самой массовой биотехнологией в мире, что позволило сделать окружающую среду намного чище и обеспечило миллиардам людей доступ к чистой воде. Процесс биологической очистки сточных вод является наиболее распространенным по всему миру и основан на способности группы бактерий (активного ила) в аэробных условиях поглощать загрязнения сточных вод в процессе своей жизнедеятельности. За более чем вековую историю, активный ил использовался в различных технологических обстоятельствах, с ростом требований к качеству очистки менялись задачи и направления его применения.

Основываясь на более чем 25-ти летнем опыте проектирования и реализации проектов очистки сточных вод, компания «МАЙ ПРОЕКТ» представляет комплексные технологические решения **МУ ВЮ** (БИО – биологическая инновационная очистка). Универсальный пакет решений для очистки сточных вод биологическими методами включает как технологические аспекты отечественного и зарубежного оборудования, так и оптимизацию по капитальным и эксплуатационным затратам.

Технологические решения **МУ ВЮ** разработаны на основе собственного опыта инженеров «МАЙ ПРОЕКТ», использованы программы математического моделирования работы биологической очистки Экосим [1] и GPS-X [2], а техническое решение соответствует

М.А. Есин<sup>1</sup>, А.В. Смирнов<sup>2</sup>, АО «МАЙ ПРОЕКТ»



ОКОС п. Заостровье



ОСК г. Вологда (аэротенки, вторичные отстойники)

<sup>1</sup> Есин Михаил Анатольевич, к.т.н., начальник технологического отдела, АО «МАЙ ПРОЕКТ», 115054, Россия, Москва, Б. Строченовский пер., 7, тел.: (495) 981-98-80, доб. 273, yesin@myproject.msk.ru.

<sup>2</sup> Смирнов Александр Владимирович, ведущий инженер технологического отдела, АО «МАЙ ПРОЕКТ», 115054, Россия, Москва, Б. Строченовский пер., 7, тел.: (495) 981-98-80, доб. 277, smirnovav@myproject.msk.ru.



**ОСК г. Воронеж (правый берег), вид на аэротенки после реконструкции с крыши воздухоудвнвой**

требованиям Информационно-технического справочника по наилучшим доступным технологиям «Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов» (справочника НДТ) [3].

**MY BIO** – это решения, которые основаны на пяти следующих основных принципах:

- детальная проработанность (технология положена в основу инженеринговых решений, готовых к применению);
- апробированность (подобранный техническое решение включает технологии и оборудование, которое проверено в работе);
- комплексность (решение «под ключ», а также последующий сервис);
- энергоэкономичность (отвечает современным требованиям энергосбережения);
- автоматизация (является ключевой особенностью **MY BIO**, причем системы управления персонифицированы с учетом особенности очистных сооружений, с оптимально подобранным комплектом КИПиА).

В зависимости от задач, стоящих перед биологической очисткой стоков, могут быть применены группы технологий:

- **MY BIOS** – очистка от органических загрязнений (ХПК, БПК).

- **MY SBR** – очистка сточных вод от биогенных и органических загрязнений в реакторах последовательно-периодического действия или SBR (циклических реакторах).

- **MY BION** – очистка от биогенных веществ (азота, фосфора) по схемам нитри-денитрификации (НДН) и биологического удаления фосфора.

### Технология MY BIOS

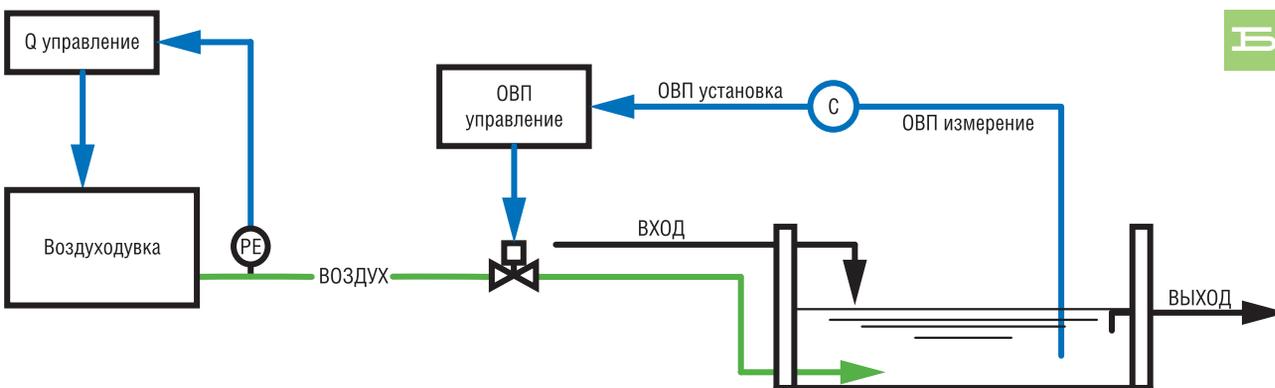
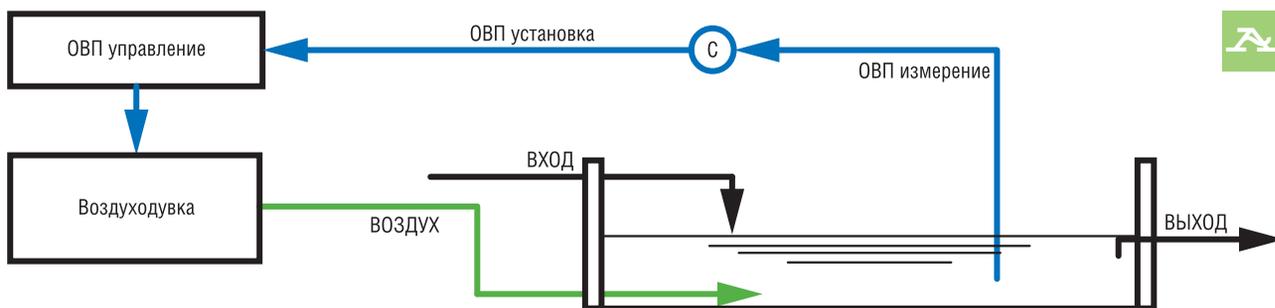
Технология **MY BIOS** актуальна для промышленных сточных вод, основными загрязнителями которых являются органические вещества (стоки бумажных производств, переработка нефти и газа, легкая промышленность и т.д.). При очистке сточных вод с высокими концентрациями органических загрязнений нередки ситуации, когда в аэротенк подается большое количество воздуха, поддерживается необходимая, с точки зрения эксплуатации, концентрация растворенного

кислорода (КРК), но при этом очистка происходит не полностью. Причиной этого является то, что в условиях высокого соотношения концентраций восстановителя (органические соединения) и окислителя (кислорода) окислительно-восстановительный потенциал (ОВП) недостаточен для эффективного окисления. В зоне с аэрацией формируются восстановительные условия. Не имея специальных инструментов, определить это сложно, а иногда и невозможно.

Главной особенностью решений **MY BIOS** является регулирование системы аэрации не по величине КРК, а по ОВП, который в точности показывает характер происходящего процесса (окисление или восстановление). При восстановительных условиях значение ОВП отрицательное, при окислительных – положительное. Система автоматики, имея информацию о значении ОВП, корректирует подачу воздуха.

Система управления также может иметь обратную связь, контролируя качество очистки сточных вод с помощью прибора онлайн измерения ХПК, установленного на выходе из реакторов биологической очистки. В случае отклонения от заданного параметра, автоматизированная система контроля вносит корректировки в работу или предоставляет оператору список необходимых мероприятий.

**СХЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПОДАЧЕЙ ВОЗДУХА В АЭРОТЕНКИ ПО ТЕХНОЛОГИИ MY BIOS.**  
**А) Двухконтурное РЕГУЛИРОВАНИЕ – ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ МЕХАНИЧЕСКИ РЕГУЛИРУЕМЫХ ВОЗДУХОДУВКОВ.**  
**Б) Одноконтурное РЕГУЛИРОВАНИЕ – ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РОТОРНЫХ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫХ ВОЗДУХОДУВКОВ.**



В технологии **MY BIOS** используется эффективная система подачи воздуха, в которую входят:

- аэрационная система с высокими массообменными характеристиками (в соответствии с рекомендациями справочника НДТ), имеющая возможности регулирования производительности в широких пределах;
- воздуходувки, регулируемые также в широких пределах при сохранении КПД и производительности;
- система автоматического управления подачей воздуха (см. рис.), которая обеспечивает как эффективное насыщение и перемешивание иловой смеси, так и энергосбережение.

На объектах большой производительности, где используются центробежные регулируемые воздуходувки, применяется двухконтурная система управления. В первом контуре, индивидуальном для каждой отдельной аэрируемой зоны, подача воздуха регулируется контроллером с помощью электрифицированных задвижек с целью поддержания значения ОВП в установленном диапазоне. Во втором контуре, общем для всего сооружения, второй контроллер, управляя по сигналу датчика давления воздуха расходом регулируемых турбовоздуходувок, обеспечивает поддержание давления сжатого воздуха в общем воздуховоде в заданном диапазоне.

На небольших объектах, где целесообразно использовать частотно-регулируемые роторные воздуходувки, применяется одноконтурное регулирование, когда управление частотой тока происходит непосредственно на основе величины сигнала с прибора, измеряющего ОВП.

### Технология MY BION

Группа технологических решений **MY BION** обеспечивают наиболее глубокую очистку сточных вод, которая достигается путем биологического процесса, обеспечивая технологические показатели НДТ для этих условий не только по органическим веществам, но и по соединениям азота и фосфора.

В основу этих решений положен принцип выделения аэробных, анаэробных и аноксидных зон, их чередование и организацию внутренних рециклов, которые оснащены необходимым для этого оборудованием и системой управления.

Оптимальное решение для реализации биологической очистки выбирается исходя из местных условий и пожеланий эксплуатации. При этом каждая схема подвергается проверке в программе компьютерного моделирования работы биологической очистки согласно рекомендации свода правил по проектированию [4]. Уровень автоматизации при этом может быть как оптимальным, так и рекомендуемым.

Конструктивные решения на основе технологии **MY BION** можно разделить по способу организации зон денитрификации и биологического удаления фосфора:

- сооружения с отдельными перемешиваемыми зонами (аноксидные и/или анаэробные зоны), расположенными в отдельных от аэрируемого сооружения емкостях;
- сооружения с зонами перемешивания внутри аэротенков.

На сегодняшний день **MY BION**, реализованная по первому конструктивному принципу, уже работает на очистных сооружениях г. Вологды, п. Заостровье (Калининградская область) и г. Черноголовки (Московская область). На сооружениях г. Набережных Челнов, г. Воронежа и г. Омска реализованы сооружения второго типа.

На с. 12 можно ознакомиться с детальным анализом результатов внедрения **MY BION** на очистных сооружениях п. Заостровье.

### Технология MY SBR

Циклические реакторы (общепринятая англоязычная аббревиатура – SBR), развившиеся в последние 25 лет, являются одной из наиболее простых и эффективных технологий очистки в мире. Технологический принцип работы заключается в последовательной реализации в одном и том же универсально оборудованном объеме практически любых процессов:

окисления органических веществ, денитрификации, нитрификации, биологического удаления фосфора, анаэробного окисления аммония (АНАММОКС), а также илоразделения.

**MY SBR** идеально подходит для сооружений с постоянным притоком сточных вод и залповыми сбросами загрязняющих веществ, к которым относятся, например, очистные сооружения до 1000 м<sup>3</sup>/сут, производственные предприятия пищевой и подобных отраслей промышленности, в особенности часто меняющие свои производственные программы; очистные сооружения, имеющие пункты приема жидких бытовых отходов.

Компания «МАЙ ПРОЕКТ» разработала универсальный алгоритм работы технологии **MY SBR** (продолжительность и условия периодов перемешивания, аэрации и т.д. в одном цикле), который может изменяться в широких пределах в зависимости от технической задачи, которую надо решить и условий работы.

Особенно интересной разработкой является **MY SBR smart**, алгоритм управления циклами которого является самопрограммируемым. В этой системе используется принцип обратной связи: система управления в результате сопоставления текущего качества очистки с заданным значением регулирует, по установленным алгоритмам, параметры следующего цикла очистки. В результате в условиях изменяющейся нагрузки по расходу и загрязнению обеспечивается стабильно высокое и постоянное качество очистки.

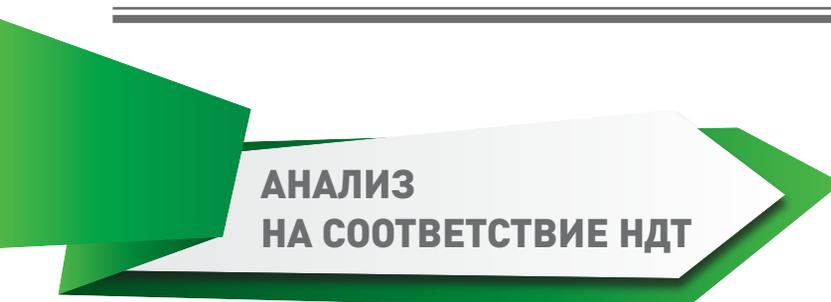
Описанные в статье технологии **MY BIO** входят в семейство технологий **MY Technologies**, которые способны решить весь перечень проблем ОСК:

- **MY MET** – решения по механической очистке сточных вод;
- **MY Filter** – комплексные решения доочистки сточных вод;
- **MY MBR** – биологическая очистка с помощью мембранных биологических реакторов;
- **MY SHLUM** – комплексные решения обезвоживания;
- **MY DAF** – решения физико-химической и флотационной очистки;
- **MY AMI** – анаэробные установки обработки производственных стоков.

Более подробно о данных технологиях читайте в следующих номерах журнала. ●

## ЛИТЕРАТУРА

1. Щетинин А.И., Реготун А.А. **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗМОЖНОГО КАЧЕСТВА ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД АКТИВНЫМ ИЛОМ ПРИ ПОМОЩИ ПРОГРАММЫ «ЭкоСим» // ВОДОСНАБЖЕНИЕ И САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА. 2000. № 12, ч. 2.**
2. **HYDROMANTIS, IN: GPS-X – TECHNICAL REFERENCE, GPS-x VERSION 5.0, ONTARIO, CANADA, 2006.**
3. **Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 10-2015 «Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов. М: Бюро НДТ, 2015, 377 с.**
4. **СП 32.13330.2012, Канализация. Наружные сети и сооружения (актуализированная редакция СНиП 2.04.03-85). Москва, 2012.**



**АНАЛИЗ  
НА СООТВЕТСТВИЕ НДТ**

## Опыт технологического аудита на основе отраслевого справочника по НДТ (на примере реконструированных канализацион- ных очистных сооружений «Заостровье»)

**Д.А. Данилович,  
канд. техн. наук,  
руководитель Центра  
технической политики  
и модернизации в ЖКХ,  
Ассоциация ЖКХ  
«Развитие», эксперт-  
директор журнала НДТ,  
координатор технической  
рабочей группы ТРГ 10  
Бюро НДТ**

Приближается срок начала перехода предприятий отрасли на систему технологического нормирования (2019 г.), что увеличивает практический интерес ко всем аспектам этого процесса и, в частности, к отраслевому информационно-техническому справочнику по наилучшим доступным технологиям ИТС 10-2015 «Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов» [1].

Продолжаем публикацию серии статей по технологическому анализу работы референц-объектов [2], данные которых легли в основу НДТ, вошедших в ИТС 10-2015, и их технологических показателей. Одним из ярких и представительных объектов, работающих по технологиям реагентно-биологического удаления азота и фосфора (ОС №12 в табл. 4.6 ИТС 10-2015), являются объединенные канализационные очистные сооружения (далее – ОКОС), расположенные вблизи поселка Заостровье, принимающие сточные воды трех курортных городов Калининградской области – Зеленоградска, Пионерского и Светлогорска.

Эти сооружения были построены на проектную производительность 40 тыс. м<sup>3</sup>/сут по классической технологии биологической очистки и сданы в эксплуатацию в 1988 г. Особенностью систем водоотведения этого региона является высокая доля общесплавной канализации.

### **ТРЕБОВАНИЯ К КАЧЕСТВУ ОЧИСТКИ**

Расположение ОКОС в Балтийском регионе распространило на них действие Хельсинской конвенции (ХЕЛКОМ) [3] и потребовало достижения очистки от соединений азота

и фосфора до требуемых конвенцией значений. В связи с этим в 2010 г. Европейская комиссия выделила грант для реализации в малых городах Калининградской области экологических проектов, направленных на повышение качества очистки сточных вод и содействие мероприятиям по улучшению экологической ситуации. В рамках этой программы была начата реконструкция системы транспортировки и очистки сточных вод ОАО «ОКОС». Проект финансировался за счет гранта Евросоюза и кредита NEFCO<sup>1</sup>. Конкурс на реконструкцию объединенных очистных сооружений ОКОС выиграл консорциум в составе ООО «Газтрубопроводстрой» и АО «Май Проект» (ранее ЗАО «Экополимер-М»).

Разработку технологических решений, поставку оборудования и пуско-наладочные работы выполняла компания АО «Май Проект».

В 2013 г. был разработан проект и начался процесс строительства и реконструкции.

Важно отметить, что по проекту показатели качества очищенной воды соответствовали не ПДК<sub>рыбхоз</sub>, а требованиям ХЕЛКОМ, предъявляемым для объектов такого масштаба. Сопоставление этих требований приведено в табл. 1. Таким образом, данный объект изначально был избавлен от заведомо невыполнимых требований отечественной системы нормирования качества сбросов. Это создало основу для проведения реконструкции с достижением максимального эколого-экономического эффекта.

Сопоставляя требования ТЗ к уровню очистки и технологические показатели НДТ согласно ИТС 10-2015 (ТП НДТ) для данных условий сброса, можно сделать следующие выводы:

**Таблица 1.**  
**Сопоставление требований к качеству очищенной воды**

Показатель	Максимальные значения по техническому заданию (ТЗ)	Ожидаемое качество очищенной воды по проекту	Технологические показатели НДТ (ТП НДТ)** для ОС с расходом от 10 тыс. м <sup>3</sup> /сут[1]	ПДК <sub>рыбхоз</sub>
Взвешенные вещества	15	10–15 (30*)	10	3
БПК <sub>5</sub>	10	7–10 (20*)	8	2
БПК <sub>полн</sub>	–	10–15 (30*)	–	3
Общий зот	15	9,4–15	–	–
Азот аммонийный	–	0,1–0,5	1	0,4
Азот нитратов	–	7–11	9***	9,1
Азот нитритов	–	–	0,1	0,02
Фосфор общий	0,5	–	–	–
Фосфат-ион	0,5****	0,025–0,5	0,7	0,6

\* Значение, допустимое не чаще 5 дней в году при неблагоприятных условиях (сильные ливни и т.п.).

\*\* При сбросе в водные объекты, подлежащие под действие международных соглашений, требования соглашений применяются в тех случаях, когда они жестче данных технологических показателей, либо предъявляются по иным веществам (показателям).

\*\*\* При соотношении концентрации аммонийного зота и БПК<sub>5</sub> более 0,25 концентрация зота нитратов допускается принять не более 11 мг/л.

\*\*\*\* Единственный показатель ТЗ, установленный на основе НДС.

<sup>1</sup> NEFCO – краткое название Северной экологической финансовой корпорации, созданной в 1990 г. пятью странами Северной Европы: Данией, Исландией, Норвегией, Финляндией и Швецией. Корпорация предоставляет финансовую поддержку экологически важным проектам, главным образом, в странах Центральной и Восточной Европы, включая Россию, Беларусь и Украину.

- требования ТП НДТ по органическим загрязнениям несколько жестче, чем ХЕЛКОМ, и практически соответствуют проектным решениям по ОКОС;

- требования ТП НДТ по удалению азота напрямую несопоставимы с ТЗ. Сделав расчет, можно получить, что они приблизительно соответствуют 12 мг/л общего азота (сумма минеральных форм азота по ТП НДТ составляет 10,1 мг/л и органический азот – не более 2 мг/л). Согласно Рекомендациям ХЕЛКОМ: «Хозяйственно-бытовые сточные воды, которые очищаются на станциях очистки сточных вод, с нагрузкой стоков, эквивалентной от 10 000 до 100 000 жителей, должны очищаться до достижения следующих показателей на сбросе, снижение  $N_{\text{общ}}$ , минимум на 70–80 % или максимальная концентрация – 15 мг/л». По ХЕЛКОМ, общий азот 10 мг/л должен обеспечиваться на ОС с нагрузкой от 100 тыс. жителей. По ИТС 10-2015, соответствующая группа сооружений, «начиная с больших», относится к ОС, обслуживаемым от 50 тыс. жителей, либо принимающим от 10 тыс. м<sup>3</sup>/сут, т.е. ниже, чем по ХЕЛКОМ. Безусловно, наличие в российском законодательстве отдельных требований к каждой из минеральных форм азота значительно усложняет задачу технолога, особенно в части азота нитритов (см. далее);

- требования ТП НДТ по фосфору существенно мягче, чем ХЕЛКОМ: 0,7 мг/л фосфора фосфатов (эквивалент примерно 1 мг/л общего фосфора) против 0,5 мг/л общего фосфора по ХЕЛКОМ для ОС от 10 тыс. эквивалентных жителей. Согласно ИТС 10-2015 (см. примечание 3 к табл. 5.9), в данной ситуации следует руководствоваться требованием ХЕЛКОМ.

Важно отметить, что проектом было предусмотрено, что в течение 5 дней в году допустимы повышенные значения загрязненности очищенных вод по органическим веществам. Это соответствует традиционному европейскому подходу, ориентированному, прежде всего, на общесплавные системы водоотведения. Однако, как показывает практика многих городов России, даже

раздельные системы подвергаются очень сильному влиянию поверхностного стока. Такой весьма разумный подход позволил существенно уменьшить расчетные параметры сооружений по сравнению с ранее применявшимися в РФ требованиями. С 2012 г. с утверждением СП 32.13330.2012 [4] (актуализированный СНиП 2.03.04-85) была введена норма, близкая по смыслу:

«9.1.4. В технологических расчетах реконструкции существующих сооружений очистки городских сточных вод, работающих по самотечной гидравлической схеме, допускается принимать значение суточного расхода с обеспеченностью 97 %. С этой целью в качестве расчетного суточного расхода допускается принимать максимальное за 3 года ежесуточных наблюдений значение расхода поступающих сточных вод, завычетом из рассмотрения первых десяти максимальных за каждый год наблюдений значений (кроме приходящихся на 30–31 декабря и 30–31 августа).»

### ОБЪЕМ ПРОВЕДЕННОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ (РЕТЕХНОЛОГИЗАЦИИ)

В основу проекта реконструкции (ретеchnологизации) станции были положены следующие основные технические решения:

- реконструкция узла механической очистки, с установкой решеток грубой и тонкой очистки, установкой новых горизонтальных песколовков (рис. 1),

- перевод сооружений биологической очистки на технологию удаления азота и фосфора МУ ВІОН<sup>2</sup>, с отказом от первичного отстаивания (рис. 2),

- создание узла хранения и дозирования реагента для дополнительного удаления фосфора,

- создание узла сгущения избыточного ила на шнековых сгустителях и обезвоживания на ленточных фильтр-прессах.

На практике к настоящему времени была проведена реконструкция 2-х аэротенков из 3-х существующих.



**Рис. 1.**  
**Новые песколовки в отделении**  
**механической очистки**

**Рис. 2.**  
**Панорама ОКОС. Справа налево:**  
**анаэробные резервуары, азотенки,**  
**вторичные отстойники**

## **Технология биологической очистки сточных вод**

С учетом очень жестких требований по общему фосфору и довольно мягких требований по взвешенным веществам в проекте оправданно использована технология биологической очистки без применения

<sup>2</sup> МУ ВІОН – Входит в семейство технических решений «МАЙ ПРОЕКТ». См. подробнее н с. 10.



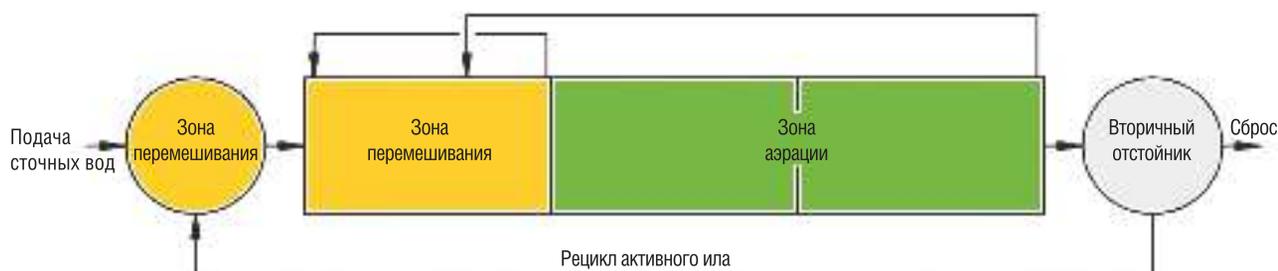


Рис. 3. Технологическая схема биологической очистки

**Ведущую роль в разработке технологии и проекта, пуско-наладке ОКОС сыграли сотрудники АО «Май Проект»: начальник технологического отдела М.А. Есин, ведущий инженер-технолог А.В. Ромашко, ведущий инженер-технолог А.Н. Соколов.**

**Ведущие специалисты, осуществляющие эксплуатацию ОКОС: генеральный директор С.М. Томилов, главный технолог Е.А. Солдатенкова, зав. лабораторией Л.П. Аваргина, главный механик А.П. Молоканов.**



доочистки на основном потоке сточных вод, с реагентно-биологическим удалением фосфора. Согласно проектным расчетам, осаднением должно удаляться около 50 % всего фосфора, подлежащего удалению.

На ОКОС использована модификация весьма распространенной в Западной Европе технологии А<sup>2</sup>О (Anaerobic–Anoxic–Oxic), являющаяся наиболее простым решением для биологического удаления фосфора (с основными современными технологиями удаления азота и фосфора можно ознакомиться в Главе 4 ИТС 10-2015).

Она заключается в том, что перед сооружениями нитри-денитрификации (любой технологической конфигурации) добавляются анаэробные зоны, называемые также фосфорными бассейнами (в данном проекте они именуются бассейнами перемешивания), куда подается сточная вода и возвратный активный ил. Преимуществом технологии является очевидная простота исполнения, а также независимость стадии нитри-денитрификации от анаэробной зоны, что позволяет более гибко управлять процессом удаления азота. Однако недостаток технологии А<sup>2</sup>О состоит в высокой зависимости от концентрации органических загрязнений в поступающем стоке и связанной с ней концентрацией летучих жирных кислот (ЛЖК) – единственном субстрате для развития фосфатаккумулялирующих микроорганизмов (ФАО). Это связано с тем, что в анаэробный бассейн с возвратным активным илом поступают нитраты. В результате, пока они не будут использованы в процессе денитрификации, анаэробные процессы не начнутся. А, поскольку денитрификаторы вначале потребляют самую доступную органику, в том числе и ЛЖК, для ФАО их может уже и не остаться. На концентрированных стоках денитрификация проходит глубже, а ЛЖК на притоке выше, и

этот недостаток не заметен. На низкоконтрированном стоке глубина биологической дефосфотации может существенно снизиться.

Использование такой технологии во многом объясняется тем, что реконструкция проходила в соответствии с техническим заданием, разработанным европейской компанией-консультантом на стадии подготовки конкурса на реконструкцию за счет средств ЕБРР. Схема А<sup>2</sup>О весьма популярна, как наиболее простая и эффективная в Западной Европе технология. Однако целый ряд попыток её использования в России не увенчался успехом по причине существенно более низкой концентрации органических загрязнений в сточных водах. Ввиду данного обстоятельства, при реализации проекта компания «Май Проект» выполнила некоторые корректировки исходных конкурсных решений и согласовала их с компанией-консультантом. А именно, было предложено отказаться от первичного отстаивания для повышения концентрации органического субстрата перед биологической очисткой и в освободившихся объёмах реализовать зоны перемешивания (анаэробные зоны), использовать модернизированную технологию А<sup>2</sup>О, а также реализовать более эффективную механическую очистку, чем это предполагалось по первоначальному ТЗ.

Модифицированная схема А<sup>2</sup>О предусматривает наличие 2-х рециклов иловой смеси. Один рецикл подает иловую смесь из конца зоны аэрации в середину аноксидной зоны, где основной нитратсодержащий поток денитрифицируется остаточным содержанием органики после аноксидной зоны. Из конца аноксидной зоны второй рецикл подает иловую смесь в ее начало, что создает внутренний поток, поддерживающий ил.

При реконструкции сооружений биологической очистки были использованы погружные мешалки для неаэрируемых зон, применена высокоэффективная система аэрации, погружные низконапорные насосы внутренней рециркуляции иловой смеси, частотно-регулируемые моторные воздуходувки, система онлайн контроля и АСУ ТП. Данный комплект оборудования является

весьма типичным для современных проектов биологической очистки такого масштаба, как при реконструкции, так и при новом строительстве.

Для достижения требуемой глубины удаления фосфора было предусмотрено осаждение реагентами (на практике используется – полиалюминийхлорид РАХ-18) с добавлением их в поступающую сточную воду. Данное решение следует оценить как не слишком удачное. Данная точка добавления реагента, согласно литературным данным, требует максимального расхода реагента. Кроме того, связывание фосфатов перед анаэробной емкостью очевидным образом уменьшает возможности для развития ФАО в активном иле и, тем самым, снижает потенциал биологического удаления фосфора.

### **КОМПОНОВКА РЕКОНСТРУИРОВАННЫХ АЭРОТЕНКОВ**

Как уже упоминалось, при ретехнологизации сооружений перемешиваемые анаэробные зоны размещены в емкостях первичных отстойников, куда заведен рецикл возвратного ила, один коридор трехкоридорных аэротенков оснащен мешалками и представляет собой зону денитрификации, остальные два – зону аэрации (рис. 4).

Использованные решения являются также весьма типичными и наиболее простыми и дешевыми для реконструкции с точки зрения выполнения строительных работ. Они имеют как свои технологические достоинства (оптимальные условия для денитрификации в отдельной зоне с регулируемым рециклом), так и недостатки по сравнению с также распространенным решением устройством «карусели», в которой нитратный рецикл и перемешивание зоны денитрификации осуществляются путем кольцевого движения потока, создаваемого малым количеством мешалок. Преимуществами такого альтернативного решения является существенно меньше количество мешалок и отсутствие необходимости использования насосов внутреннего рецикла.

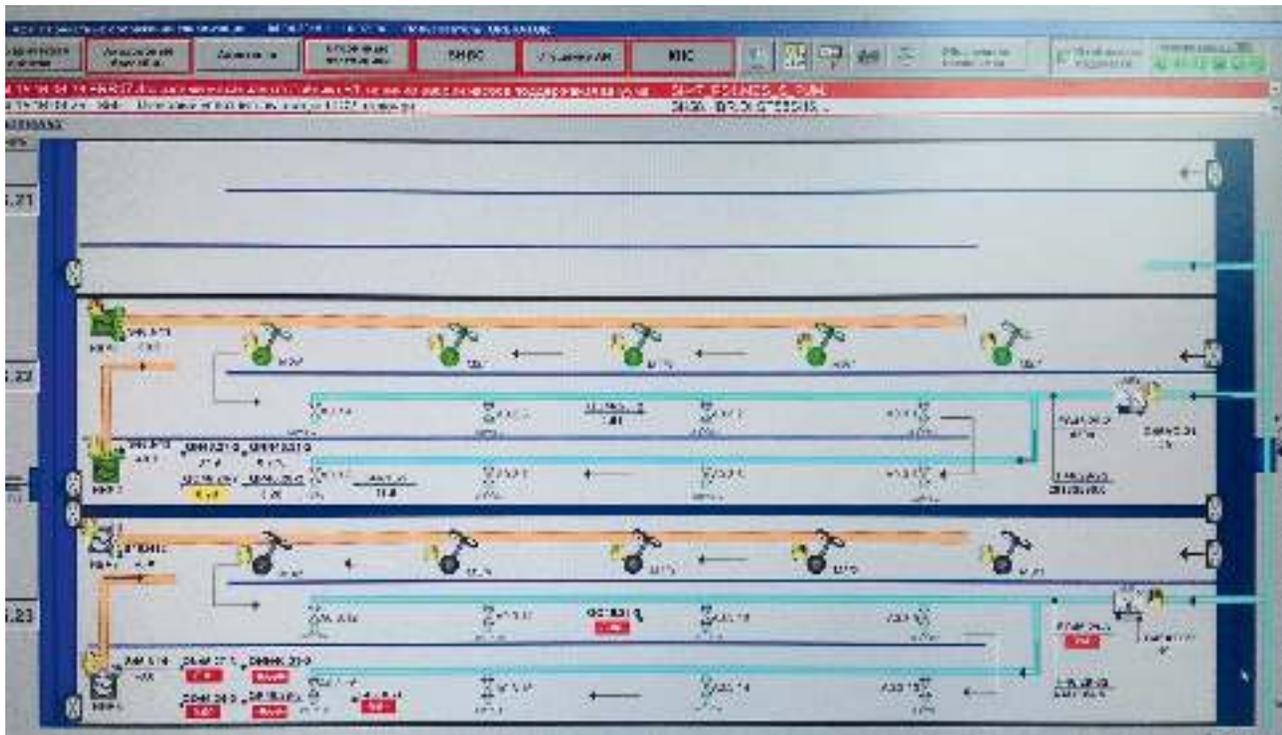


Рис. 4. Компонетка реконструированных аэротенков

### АНАЛИЗ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ

В табл. 2 приведены основные проектные технологические параметры реконструированных сооружений.

Фактические данные по притокам сточных вод приведены в табл. 3.

Таким образом, как видно из табл. 3, ситуация с гидравлической нагрузкой на сооружения не претерпела существенных изменений относительно периода разработки проекта, что ставит сооружения в весьма комфортные для эксплуатации условия. На практике служба эксплуатации в летний период выводит один аэротенк из работы, и вся очистка производится в одном оставшемся.

Проанализировав характеристики реконструированных ОКОС по расходу и параметрам сооружений, нельзя не прийти к выводу, что задание на проектирование содержало весьма типичную ошибку: значительное завышение проектного притока на сооружения, до 4 раз – по соотношению максимального и сред-

него расхода, и до 8 раз – по соотношению максимального и минимального расходов. Это нельзя считать нормальными условиями для проектирования и эксплуатации сооружений. Даже если подобные «прогнозы по развитию» чем-то обоснованы, то, к моменту их реализации построенный запас сооружений уже будет наполовину изношен. И все эти годы они будут висеть мертвым грузом на смете затрат водоканала.

К чести для проектировщиков-технологов, они разумно восприняли требования ТЗ и при реконструкции ограничились объемом существующих аэротенков (а на практике были реконструированы всего 2 из 3-х) и вторичных отстойников. Если бы требования ТЗ были восприняты буквально, то рядом с существующими сооружениями, которые были подвергнуты реконструкции, пришлось бы строить еще новый блок.

Проект реконструкции был успешно реализован в 2013-2014 гг., в первой половине 2015 г. были проведены технологические пуско-наладочные работы.

**Таблица 2.**

**ПРОЕКТНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РЕКОНСТРУИРОВАННЫХ СООРУЖЕНИЙ**

Параметр	Ед. изм.	Значение	Комментарий
<b>Приток сточных вод</b>			
Фактический приток перед разработкой проекта	м <sup>3</sup> /сут	13000	
Расчетный среднесуточный	м <sup>3</sup> /сут	17000	
Среднечасовой	м <sup>3</sup> /ч	708	
Расчетный максимальный суточный (на перспективу)	м <sup>3</sup> /сут	35 000	
Расчетный максимальный часовой	м <sup>3</sup> /ч	2 500	В результате заданных ТЗ высоких значений притоков на перспективу расчетный часовой приток выше среднего почти в 4 раза, что нельзя считать нормальным
<b>Параметры технологических сооружений</b>			
«Бассейны перемешивания» (на эррозной зоне)	м <sup>3</sup>	4 200	
Среднее время пребывания в эррозной зоне	ч	6,0	Очень высокое значение
Объем эррозионных имевшихся реконструированных	м <sup>3</sup>	14250 9500	
Время пребывания (в 2-х эррозионных): при среднем проектном притоке при среднем фактическом (см. ниже) притоке	ч	16 19	Большое время при проектном притоке, избыточное (в летний период) – при фактическом
Общая площадь вторичных отстойников	м <sup>2</sup>	1350	
Нагрузка на поверхность вторичного отстойника: при среднем притоке, при расчетном максимальном притоке	м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> ·ч	0,52 1,85	Весьма комфортная нагрузка при среднем притоке и очень высокая – при максимальном

**Таблица 3.**

**ФАКТИЧЕСКИЙ ПРИТОК СТОЧНЫХ ВОД НА ОКОС В 2015–2016 ГГ.**

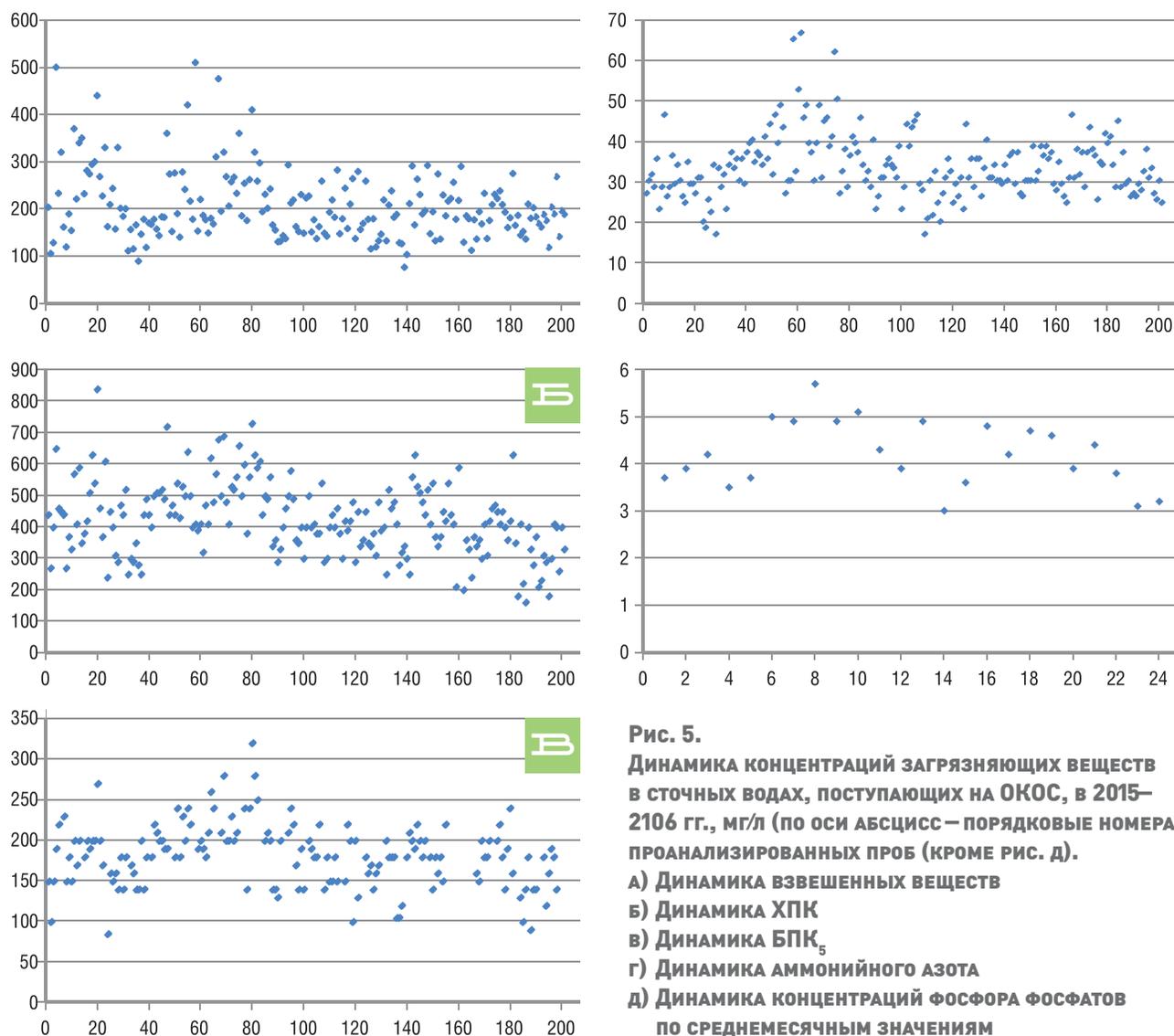
Параметры расхода сточных вод	Ед. изм.	2015 год	2016 год
Максимальный суточный расход	м <sup>3</sup> /сут	16829	22726
Средний за год максимальный расход за каждый из месяцев	м <sup>3</sup> /сут	13550	14670
Среднесуточный расход	м <sup>3</sup> /сут	10190	12050

Служба эксплуатации «ОКОС» и технологическая проектная организация «МАЙ ПРОЕКТ» по запросу журнала «НДТ» любезно предоставили детальную информацию о работе сооружений, что создало возможность для анализа результатов эксплуатации

одного из важнейших референц-объектов ИТС 10-2015. Надо отметить, что возможность обработки столь значительного массива данных (более 200 анализов за 2 года), вызывающих доверие, выпадает не часто.

Динамика загрязненности сточных вод за 2015–2016 гг. приведена на рис. 5, среднегодовые и максимальные значения – в табл. 4. Также важно отметить, что сточные воды, поступающие на ОКОС, характеризуются весьма низкой температурой. Наиболее холодная температура зимой может опускаться до 7–8 °С, а максимальная температура летом не превышает 20 °С.

Таким образом, по классификации ИТС10-2015 (табл. 1.15) сточные воды, принимаемые на ОКОС, следует охарактеризовать как среднеконцентрированные. Важные для процесса очистки соотношения ХПК/БПК<sub>5</sub> и аммонийный азот/БПК<sub>5</sub> находятся в норме. Соотноше-



ния основных загрязняющих веществ близки к данным табл. 19 Свода правил.

Проиллюстрированная на рис. 5 динамика поступления загрязнений позволяет оценить диапазон разброса значений. Видно, что показатели сточных вод (мг/л) равномерно распределены в широком диапазоне:

- взвешенные вещества: 130–300 (при среднем 207);
- ХПК: 280–540 (при среднем 428);
- БПК<sub>5</sub>: 140–230 (при среднем 182);
- аммонийный азот: 25–40 (при среднем 34).

Динамика качества очищенных сточных вод за 2015–2016 гг. приведена на рис. 6, средние и максимальные значения – в табл. 5.

Детальные данные, показанные на рис. 6, позволяют обратить внимание на следующее:

- работа сооружений в целом весьма стабильна;
- вынос взвешенных веществ почти равномерно распределен по весьма широкому диапазону от 3 (!) до 12 мг/л. Следует отметить, что даже верхнее значение этого диапазона является весьма невысоким. Всего 8 проб дали результат выше 15 мг/л. Такая

**Таблица 4.**

**СРЕДНИЕ И МАКСИМАЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ПОСТУПАЮЩИХ СТОЧНЫХ ВОД**

Показатель	Ед. измер.	2015 г.		2016 г.		Среднее за 2 года	Соотношение с аммонийным азотом	
		средне-годовые	максимальные	средне-годовые	максимальные		на ОКос	по СП, табл. 19 [4]
Взвешенные веществ	мг/л	226	510	188	292	207	6,1	6,5
ХПК	мг/л	463	840	392	640	428		
БПК <sub>5</sub>	мг/л	192	320	170	240	182	5,4	5,7
Соотношение ХПК/БПК <sub>5</sub>	–	2,4	–	2,3	–	2,35	–	–
Азот ммонийный	мг/л	35	67	32,5	47	34	1	1
Соотношение ммонийный зот/БПК <sub>5</sub>	–	0,18	–	0,19	–	0,185	–	–
Фосфор фосф тов	мг/л	4,4	5,7*	4,0	4,9*	4,2	0,12	0,14

\* среднемесячные зн чения

работа вторичных отстойников существенно лучше европейской практики и нормативов;

- БПК<sub>5</sub> в основном равномерно распределено в диапазоне 3–7 мг/л, что также является очень хорошим результатом, что не удивительно при достигаемой весьма глубокой нитрификации;

- ХПК (не нормируется в ХЕЛКОМ и проектом) распределена в диапазоне 25–50 мг/л, при этом около 7% проб дали более высокое значение – до 75 мг/л;

- по аммонийному азоту: были два серьезных, но относительно непродолжительных срыва глубокой нитрификации в 2015 г., оба – в период пуско-наладочных работ, и хорошо объяснимые. Один из них вызван низкой температурой сточных вод, второй – весенним паводком (первая половина апреля). В остальные периоды качество очистки демонстрировало очень высокую стабильность: вне периодов срывов насчитывается всего около 10 проб, в которых концентрация была выше 0,5. Это полностью подтверждает проектные расчеты;

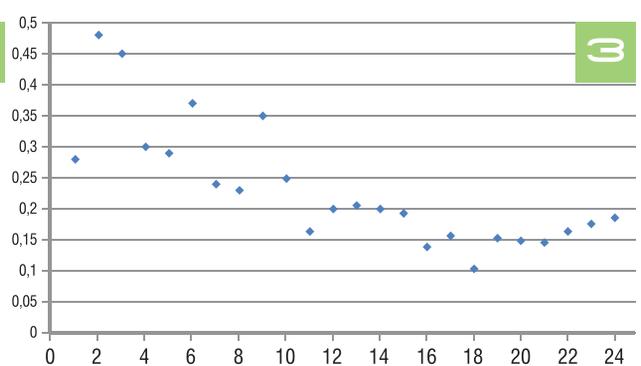
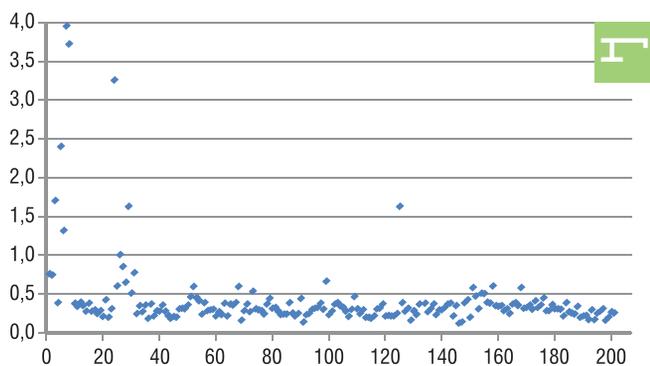
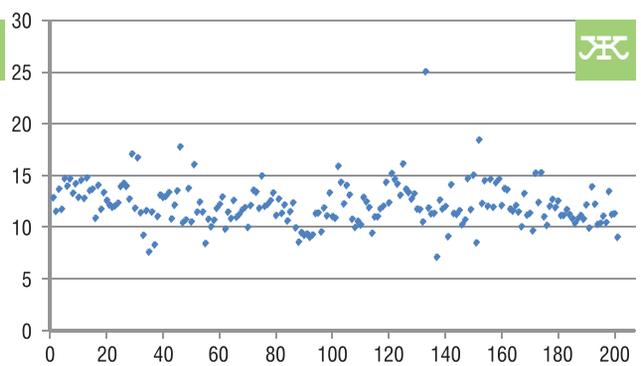
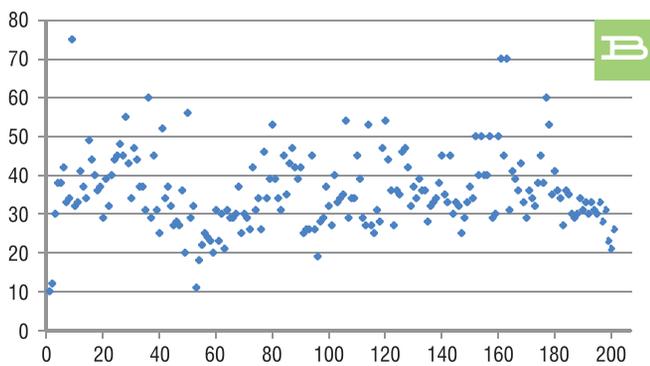
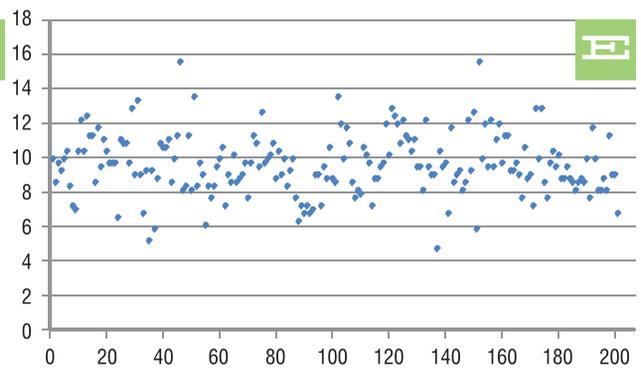
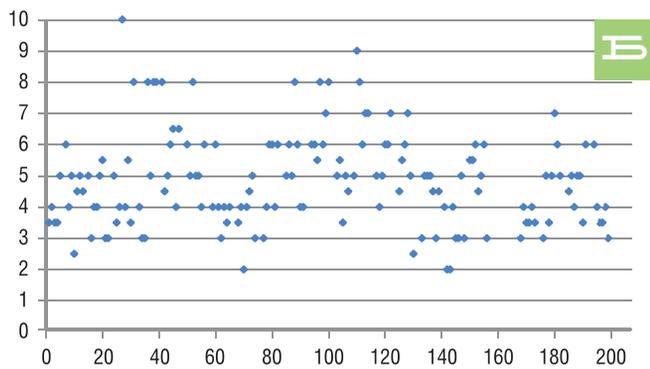
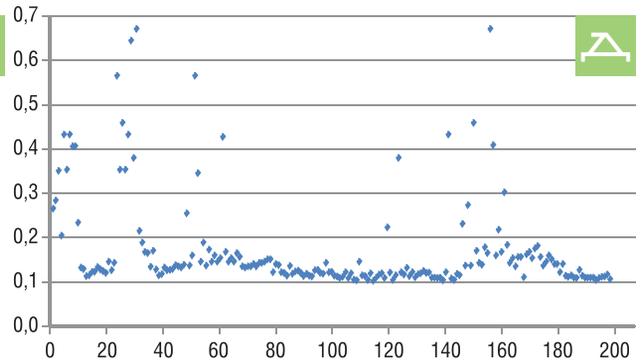
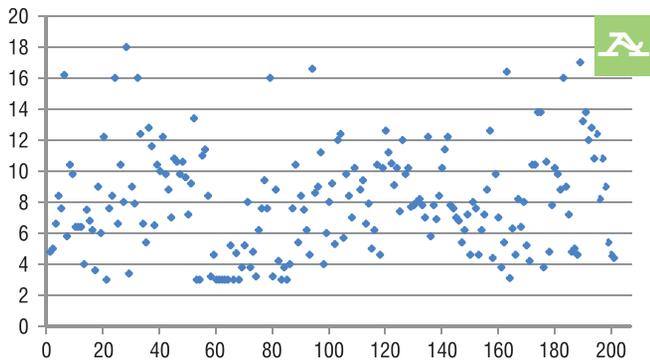
**Таблица 5.**

**СРЕДНИЕ И МАКСИМАЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ОЧИЩЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД, МГ/Л**

Показатель	2015 г.		2016 г.		Среднее за 2 года	Нормативные значения		
	среднегод.	максим.	среднегод.	максим.		по ТЗ	по проекту	по ИТС 10-2015
Взвешенные веществ	8	18	9	17	8	15	10–15	10
ХПК	34	75	37		36	70		
БПК <sub>5</sub>	5	10	5	9	5	10	7–10	8
Азот ммонийный	0,55/ 0,41*	4,9	0,32	1,63	0,49		0,1–0,5	1
Азот нитритов	0,12	0,67	0,07	0,43	0,1			0,1
Азот нитр тов	9,4	15,6	9,8	13,6	9,6		7–11	9
Общий зот (р ссчит но)	12,1	17,9	12,0	18,5	12,2	15	9,4–15	–
Фосфор фосф тов	0,3		0,16		0,23		0,5*	
Общий фосфор							0,5	

\* з вычетом 5 м ксим льных зн чений, полученных во время срыв нитрифик ции в течение двух зимних недель 2015 г.

# Очистка сточных вод



- по азоту нитритов около 80 % проб находились ниже 0,1 мг/л, остальные располагались в основном до 0,45 мг/л. Около половины рассматриваемого 2-летнего периода концентрация нитритов держалась стабильно низкой, на уровне 0,02–0,06 мг/л, в остальной части диапазона были вышеуказанные разбросы. Важно отметить, что эти периоды не имеют четкого климатического основания: один из них пришелся на зиму, второй – на лето. В проекте данные по ожидаемому азоту нитритов отсутствуют;

- по азоту нитратов – данные весьма равномерно расположены в диапазоне 7–13 мг/л, что весьма близко к проектным расчетам. Однако глубина денитрификации была несколько ниже ожидаемой. Это не удивительно, на многих объектах в России достижение глубокой денитрификации представляет наиболее сложную из всех задач процесса удаления азота и фосфора, в связи с весьма высоким соотношением азота к БПК;

- несмотря на несколько менее глубокую денитрификацию, удаление общего азота очень стабильно, его содержание в очищенной воде колеблется в диапазоне 10–15 мг/л и полностью соответствует ТЗ. Из более, чем 200 проб за 2 года всего 5 проб значимо выше требуемой величины 15 мг/л;

- удаление фосфора фосфатов за весь период 2015–16 гг. следует оценить как глубокое, а в 2016 г. – как очень глубокое.

### Рис. 6.

**Динамика концентраций загрязняющих веществ в очищенной воде, 2015–2106 гг., мг/л. По оси абсцисс – порядковые номера проанализированных проб (кроме рис. 3)**

**а) Динамика взвешенных веществ**

**б) Динамика БПК<sub>5</sub>**

**в) Динамика ХПК**

**г) Динамика аммонийного азота**

**д) Динамика азота нитритов**

**е) Динамика азота нитратов**

**ж) Динамика общего азота (расчетная величина)**

**з) Динамика концентраций фосфора фосфатов по среднемесячным значениям**

Служба эксплуатации поддерживает в аэротенках весьма высокую дозу ила – в диапазоне 4–5 г/л. По расчетам автора, значение аэробного возраста ила летом составляет около 5,5 суток, зимой – вдвое больше. Для возможности регулирования процесса удаления азота (в том числе и аэробного возраста) в части аноксидного коридора аэротенка установили дополнительную опциональную систему аэрации, которая может включаться или выключаться.

Важно отметить, что столь низкие температуры зимой (до 7–8 °С) неизбежно оказывают влияние на эффективность работы сооружений, что и видно на рис. 5 на графике с динамикой аммонийного азота на выходе. Это следует учитывать при нормировании качества очищенных сточных вод.

Для удаления фосфора большую часть рассматриваемого периода использовались реагенты. По инициативе службы эксплуатации, с учетом недостатков проектной схемы, точка дозирования реагента с апреля 2016 г. была перенесена после вторичных отстойников. В условиях отсутствия в технологической схеме фильтров доочистки это стало возможным благодаря наличию на станции емкостей контактных резервуаров. В рамках этого усовершенствования они выполняли функцию третичных отстойников. В результате было устранено негативное влияние реагентов, препятствовавших развитию ФАО в иле, и, уже начиная с июня, в течение 5-ти относительно теплых месяцев удаление фосфора достигалось полностью биологическим методом. С декабря 2016 г. перешли на использование реагента в новой точке внесения. В целях минимизации рисков выноса взвешенных веществ после контактных резервуаров точку дозирования реагентов переместили перед вторичными отстойниками.

В 2015 г., по расчетам, доля биоудаления фосфора за счет ФАО была весьма невелика и не превышала 10 % (кроме того, около 40 % удаляется за счет прироста ила). В период отказа от применения реагента доля ФАО в удалении фосфора возросла до 60 %.

Таким образом, несмотря на результативность удаления фосфора за весь период работы станции, эту часть технологии очистки сточных вод нельзя назвать отработанной и по ней пока нельзя делать каких-то окончательных выводов (кроме вывода о нежелательности использования точки ввода реагентов на стадии предварительной механической очистки и без применения первичных отстойников).

Согласно ИТС 10-2015<sup>3</sup>, для ОС такого масштаба (категория «большие») количественные требования по расходованию электроэнергии и реагентов не применяются. Они действуют, начиная со следующей категории ОС – «крупных» (свыше 40 тыс. м<sup>3</sup>/сут поступающих сточных вод).

Однако представляет интерес сопоставить результаты работы ОКОС и требований НДТ-14 по ресурсоэффективности (согласно ИТС- 10-2015), т.к. в части удаления фосфора масштаб сооружений менее значим для количественных результатов, чем в области энергопотребления.

Согласно ИТС 10-2015 (табл. 5.21), удельные затраты реагентов на удаление фосфора из сточных вод не должны превышать 0,7 кг алюминия на кг удаленного фосфора. В 2015 г. на ОКОС эти затраты по расчету составляли около 0,9 кг/кг, т.е. не соответствовали НДТ. Оценочно можно сказать, что данный технологический показатель НДТ требует, чтобы как минимум 25 % фосфора на ОС, начиная с 40 тыс. м<sup>3</sup>/сут, удалялись благодаря ФАО, а реагентами осаждалось не более 1/3 от всего удаления фосфора (включая удаление на прирост).

Однако, уже в 2016 г, благодаря тому, что 5 месяцев реагент не применялся, удельные затраты не превысили установленные 0,7 кг/кг, т.е. соответствовали по году ТП НДТ-14 ИТС 10-2015.

Таким образом, проведенный технологический аудит ОКОС позволяет сделать следующие выводы:

- нормативы ХЕЛКОМ выполняются полностью,
  - примененная технология и ее результаты соответствуют НДТ,
  - проектные значения (ожидаемое качество) в целом подтвердились. Однако следует отметить, что по взвешенным веществам и БПК<sub>5</sub> результат оказался лучше ожиданий, а по аммонийному азоту и нитратам – на верхнем их пределе;
  - объект полностью соответствует технологическим показателям НДТ по ИТС 10-2015. Однако следует обратить внимание на то, что содержание азота нитритов и нитратов сейчас количественно равно ТП. Трактуя это обстоятельство применительно к ОКОС, следует отметить, что для указанных сооружений данные параметры не являются нормируемыми по техническому заданию. Данный вывод, преимущественно, имеет значение для оценки работы не столько работы данной станции, сколько технологии как таковой. При получении подобных данных по другим объектам возникнет необходимость поставить вопрос о повышении значений ТП НДТ в ИТС 10-2015 по данным показателям, как не обеспечиваемых на референц-объектах.
- В целом станция ОКОС (с учетом некоторых отличий по условиям ее работы, прежде всего, более высокого влияния поверхностного стока) служит прекрасным референц-объектом, причем не только в части демонстрации достижения технологических показателей очистки сточных вод. Как известно, ИТС 10-2015 содержит формулировки НДТ, посвященные различным аспектам работы очистных сооружений городских сточных вод (ОС ГСВ).
- С учетом назначения ОКОС и ее масштаба для этого объекта должны выполняться, согласно ИТС 10-2015 [1], следующие НДТ:
- НДТ 1 – в части планирования инвестиций и выдачи заданий на проектирование, на модернизацию и развитие существующих ОС ГСВ является определением перспективных расходов на основании фактических данных

<sup>3</sup> См. т. блице 5.20 – Перечень методов для НДТ 14. Н ОС ГСВ, в чин я с крупных, применение ресурсосберегающих технологий, позволяющих удалять фосфор из сточных вод преимущественно за счет биологических процессов, обеспечивающих расход реагентов, при условии выполнения технологических нормативов, не более установленных в т. блице 5.21.

по динамике удельного водоотведения и численности населения поселения. С оговоркой: это не было учтено при выдаче задания, но де факто учтено технологическим проектировщиком, что позволило не осуществлять ненужных капиталовложений;

- НДТ 3 – в части контроля поступающих на очистные сооружения сточных вод и сброса очищенных сточных вод;

- НДТ 4 – в части применения надлежащих технологий очистки ГСВ;

- НДТ 7 – в части применения надлежащих технологий биологической очистки на объектах ОС ГСВ, начиная с больших;

- НДТ 10 – в части сокращения массы образующегося на ОС осадка;

- НДТ 12 – в части недопущения значительной рециркуляции загрязняющих веществ в возвратных потоках от сооружений обработки осадка на сооружения биологической очистки;

- НДТ 13 – в части управления процессом и качеством очистки.

Как показал проведенный анализ, все эти НДТ на ОКос применены надлежащим образом и обеспечивают необходимый экологический эффект.

Проделанный технологический аудит позволяет сделать вывод, что ОКос полностью обеспечивает все количественные технологические показатели НДТ, а также все требования в части эксплуатационных практик. Комплексное экологическое разрешение данные очистные сооружения должны получить без плана мероприятий, как объект, перешедший на НДТ. Для такого объекта, согласно Федерального закона от 21.07.2014 № 219-ФЗ, должен применяться коэффициент к плате за негативное воздействие на окружающую среду, равный нулю.

Автор выражает благодарность коллегам из АО «МАЙ ПРОЕКТ» и ОАО «ОКОС» за предоставленные материалы и плодотворное взаимодействие в ходе выполнения технологического аудита и написания статьи. ●

## ЛИТЕРАТУРА

- 1. Информационно-технический справочник по НДТ «Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов» ИТС 10-2015**  
[HTTP://WWW.BURONDT.RU/NDT/NDTDocsDetail.php?UrlId=504&etkstructure\\_id=1872](http://www.burondt.ru/NDT/NDTDocsDetail.php?UrlId=504&etkstructure_id=1872).
- 2. Данилович Д.А. Опыт эксплуатации и оценка эффективности современной системы подачи и диспергирования воздуха в аэротенках. «НДТ». 2017. № 2.**
- 3. Конвенция по защите морской среды района Балтийского моря 1992 года. Введена в действие постановлением Правительства Российской Федерации от 15 октября 1998 г. № 1202 «Об одобрении Конвенции по защите морской среды района Балтийского моря 1992 года» (с изменениями на 22 апреля 2009 г.).**
- 4. Свод правил СП 32.13330–2012 «Канализация. Наружные сети и сооружения».**

# Комплексные решения MY MET для механической очистки СТОЧНЫХ ВОД



АО «МАЙ ПРОЕКТ»

**М.А. Есин<sup>1</sup>,  
А. Н. Соколов<sup>2</sup>,  
АО «МАЙ ПРОЕКТ»**

Множество проблем в эксплуатации очистных сооружений в значительной степени вызваны неудовлетворительно работающей механической очисткой сточных вод. Наличие механических включений в сточной жидкости затрудняет работу технологического оборудования (насосного и перемешивающего оборудования, центрифуг и фильтр-прессов) и сооружений (первичных и вторичных отстойников, аэротенков, резервуаров осадков, метантенков и пр.).

Для удаления включений и загрязнений с различными свойствами в технологическом цикле последовательно применяются: решетки, песколовки и первичные отстойники. Выбор метода очистки и тип применяемого оборудования – чрезвычайно важная инженерная задача, в основе решения которой лежит анализ существующей ситуации (для действующих объектов) и проблем, возникающих при эксплуатации таких объектов (для вновь строящихся объектов). Эффективное инженеринговое решение должно основываться на результатах рассмотрения нескольких вариантов, включая учет долгосрочной перспективы развития очистных сооружений.

Технологические решения «MY MET» разработаны инженерами компании «МАЙ ПРОЕКТ» на основе более чем 25-летнего опыта проектирования и реализации проектов. Комплексные технологические решения «MY MET» (MET – MEchanical Treatment) – это универсальный спектр решений механической очистки сточных вод, включающий тонкости применения оборудования в зависимости от производственного процесса, происхождения сточных вод, свойств загрязнений, различных нюансов технологического процесса и требований к работе очистных сооружений в целом.

В основу решений положены следующие принципы:

- детальная проработанность (инжиниринговые решения, готовые к применению);
- апробированность (подобранные технические решения включают технологии и оборудование, которые проверены в работе);

<sup>1</sup> Есин Михаил Антолиевич, к.т.н., начальник технологического отдела, АО «МАЙ ПРОЕКТ», 115054, Россия, Москва, Б. Строченовский пер., 7, тел.: (495) 981-98-80, доб. 273, yesin@myproject.msk.ru.

<sup>2</sup> Соколов Алексей Николаевич, ведущий инженер-технолог, АО «МАЙ ПРОЕКТ», 115054, Россия, Москва, Б. Строченовский пер., 7, тел.: (495) 981-98-80, доб. 275, sokolov@myproject.msk.ru.

- комплексность (решение «под ключ», а также последующий сервис);
- энергоэкономичность (отвечает современным требованиям энергосбережения);
- автоматизация (является ключевой особенностью MY MET, системы управления персонифицированы с учетом особенности очистных сооружений, с оптимально необходимым комплектом КИПиА).

В зависимости от требуемых задач к очистке сточных вод применяются следующие комплексы решений:

MY SCREEN – выделение из сточных вод грубодисперсных включений;

MY GRIT – выделение из сточных вод песка и обработка пескопульпы;

MY PC – отстаивание с удалением части взвешенных веществ.

Наша компания обобщила свой опыт при разработке семейств этих технических решений, предоставляющих возможность для каждого конкретного объекта выбор оптимальной технологии и комплекта оборудования.

Неотъемлемый компонент этих решений – системы управления, интегрируемые в единую SCADA-систему или реализуемые локально. Системы управления обязательно имеют обратную связь, систему архивирования и анализа данных, что позволяет адаптировать работу оборудования под гидравлические режимы работы очистных сооружений и предприятия в целом.

Выбор оптимального решения для реализации механической очистки определяется исходя из местных условий и пожеланий эксплуатации. В совокупности перечисленные параметры формируют пакет решений, применяемый в зависимости от типа промышленности и технологического процесса. Это является главной особенностью решений MY SCREEN, MY GRIT, MY PC.

## РЕШЕНИЯ MY SCREEN

Обеспечивают удаление грубых примесей на устройствах фильтрации с помощью решеток и сит. По размеру прозоров решетки подразделяются:

- грубой очистки (прозоры более 50 мм),
- средней очистки (прозоры 15–50 мм),
- тонкой очистки (прозоры 3–15 мм).

Также для решения специальных задач (при очистке специфических промстоков, перед мембранными биореакторами и т.п.) используются:

- фильтрующие сита (прозоры 0,2–1,5 мм),
- сита микрофильтрации (прозоры менее 0,2 мм).

Применимость оборудования зависит от многих факторов, прежде всего: места установки, масштаба сооружений, решаемой технологической задачи. Ориентировочные данные о применимости различных типов решеток в зависимости от перечисленных факторов приведены на рис. 1.

**Рис. 1.**  
**Классификация**  
**РЕШЕТОК И ИХ**  
**ПРИМЕНИМОСТИ**

Тип решетки	Назначение	Применение	Масштаб сооружений
Решетки-дробилки (комминуторы)	Дезинтеграторы крупных отбросов	Н входе в насосные станции	Малой производительности
Реечные решетки с возвратом поворотным движением грабли	Грубой очистки	Н входе в насосные станции или перед решетками тонкой очистки	Большой производительности
Реечные ручные решетки	Средней очистки	Н входе в очистные сооружения	Малой производительности
Дуговые решетки	Средней очистки	Н входе в очистные сооружения в неглубоких каналах	Средней производительности
Стержневые цепные решетки	Средней или тонкой очистки	Н входе в очистные сооружения. Каналы любой глубины	Любой производительности
Ступенчатые решетки	Тонкой очистки	Н входе в очистные сооружения. Каналы малой или средней глубины	Любой производительности
Ленточные решетки	Тонкой очистки	Н входе в очистные сооружения. Каналы малой или средней глубины	Любой производительности
Барабанные решетки	Тонкой очистки	Н входе в сооружения	Большой производительности
Комбинированные решетки	Тонкой очистки	Н входе в сооружения. Объединяет барабанную или ступенчатую решетку с уплотнителем и обезвоживателем отбросов	Любой производительности



**Рис. 2. Покрышка, деформировавшая полотно барабанной решетки**

Чем выше эффективность процеживания (за счет меньшей величины прозора), тем больше риски потенциальных проблем с решетками. Самыми распространенными и надежными являются речные решетки.

К основным проблемам речных решеток относятся:

- зарастание полотна волокнистыми включениями;
- истирание придонной части;
- растягивание и порывы цепей;

- деформация полотна и другие поломки из-за попадания особо крупных предметов (см. рис. 2);

- недостаточная пропускная способность (в том числе из-за неполной очистки полотна).

Большие проблемы порождает игнорирование проблем с решетками. Нередки случаи, когда при поломках и других неисправностях решетки поднимают из канала и работают полностью или частично без них. Это приводит к многочисленным поломкам оборудования практически на любой последующей стадии очистки (рис. 3).

**Рис. 3. Результат отсутствия решеток в технологической схеме: проблемы при эксплуатации азротенков**





Рис. 4. Нестандартная выгрузка и дополнительное увлажнение стен раструба

При доступности на российском рынке разнообразного оборудования для процеживания, не должно возникать с этим трудностей, однако на практике мы нередко сталкиваемся с последствиями допущенных серьезных ошибок.

Так, например, для решеток со средними прозорами (16 мм) в главной КНС г. Коломны потребовалась нестандартная высота выгрузки отбросов  $H_r=4,0$  м. от оси винтового пресса, что сделало необходимым нестандартный подход к реализации. Суть проблемы в том, что высота выгрузки отбросов на устройствах прессования от производителя составляет  $H=1050-1750$  мм, это связано с высотой стандартных контейнеров для бытового мусора (ГОСТ 12917-78). Такая высота выгрузки определяет мощность привода спирального наклонного транспортера для подъема отбросов. Перед инженерами была поставлена задача: произвести расчеты и предложить к реализации работающее комплексное решение. Обеспечение нестандартных требований должно быть оформлено без дополнительного оборудования. Специалистами «МАЙ ПРОЕКТА» были приняты два принципиальных изменения в пакет решений MY SCREEN:

- увеличен угол раскрытия выгрузного патрубка (угол раскрытия  $\nu=3^\circ$ ) с целью снижения сопротивления создаваемого отбросами по мере их продвижения к выгрузной воронке,

- интегрирована система дополнительного увлажнения внутренних стен выгрузного патрубка с целью улучшения скольжения осадка при включении винтового пресса.

От многих проблем может уберечь двухступенчатая механическая очистка с предварительной грубой очисткой и последующими ступенями – на решетках средней или тонкой очистки. Данное решение актуально при отсутствии сороудерживающих устройств на крупных канализационных насосных станциях или при самотечных системах канализования региона. Решетки грубой очистки в данном случае выполняют защитные функции для располагаемого далее по технологической линии оборудования более тонкого процеживания.

Примером качественно работающего решения MY SCREEN с применением двухступенчатой механической очистки является очистные сооружения Адлерского района г. Сочи, рассчитанные на 100 тыс. м<sup>3</sup>/сут (рис. 5).

В шести каналах после стрежневых решеток средней очистки установлены барабанные решетки тонкой очистки. Стержневые решетки были выбраны как наиболее доступное и недорогое решение, требующее минимального обслуживания со стороны персонала и максимально устойчивое к попаданию камней (в условиях Сочи вероятность этого повышена). Выбор барабанных решеток был продиктован высокой производительностью установки, так как в гористой местности приток сточных вод может очень резко возрастать, что вызывает сложности в работе, например, ленточных решеток.

На сегодняшний день решения MY SCREEN работают на очистных сооружениях Адлерского р-на г. Сочи, г. Коломны, г. Нижнекамска, п. Заостровье (Калининградской обл.), г. Северодвинска и г. Черноголовки.

### РЕШЕНИЯ MY GRIT

Предназначены для улавливания и обезвоживания песка. Три основных составляющих MY GRIT:

- песколовки;
- пескопромывающие устройства;
- система управления.

По нашему опыту, наиболее эффективными являются аэрируемые песколовки. На небольших сооружениях, где по экономическим соображениям строительство бетонных песколовков не целесообразно, применяются комбинированные установки, совмещающие два технологических решения – MY SCREEN и MY GRIT, выполненных в корпусе на одной раме. Такое решение для малых сооружений менее затратно с точки зрения капиталовложений и сбалансировано по строительно-монтажным работам. Исходя из нашей практики, значительно дешевле применять комбинированные установки при производительности очистных сооружений до 30 тыс. м<sup>3</sup>/сут, но этот критерий следует



**Рис. 5. Цех механической очистки с решетками грубой (на заднем плане) и тонкой очистки (на переднем плане)**

рассматривать индивидуально в каждом конкретном случае (см. пример на рис. 6).

Вторым компонентом системы MY GRIT является промывка и обезвоживание песка. В зависимости от требований к конечной влажности песка и содержанию органического вещества в песке возможны два решения:

- обезвоживание с применением наклонного шнека выгрузки песка из песколовки (см. рис. 6) – для малых сооружений;
- промывка и обезвоживание пескопulpы на сепараторах песка (пескопромывателях) – для средних и больших сооружений (рис. 7).



Рис. 6. Технологические решения: MY SCREEN и MY GRIT на ОКОС п. Заостровье

Современные комплексные решения по улавливанию песка невозможно представить без сепараторов песка и органических веществ. Данные устройства пришли на замену устаревшему решению с гидроциклонами и песковыми бункерами и прочно закрепились в данном сегменте. Сепарация позволяет снизить содержание органического

вещества в обезвоженном песке и вернуть органические компоненты в технологический процесс. Устройства сепарации и обезвоживания песка просты в эксплуатации, не требовательны к неравномерности подачи в пескопульты, обеспечивают постоянное качество обезвоженного песка. Сепараторы пескопульты могут быть выполнены как с подачей дополнительной воды (с промывкой), так и работать без нее.

Рис. 7. Технологические решения: MY SCREEN и MY GRIT в г. Нижнекамске



Третьим основным компонентом технологии MY GRIT является комплексное управление узлом. Система автоматизированного управления разделяется на два блока управления:

- первый блок включает в себя сбор информации о количестве пескопульты в придонном слое и запуск системы сбора пескопульты в приямок песколовки при необходимости (при наличии пескопульты или по времени);
- второй блок включает в себя сбор информации о количестве пескопульты в приямке и последовательный запуск сепараторов песка и песковых насосов.

Двухблочная система управления является оптимальной с точки зрения энергозатрат и требует минимального вмешательства персонала, что, в свою очередь, позволяет свести к минимуму «человеческий» фактор и повысить надежность работы узла.



**Рис. 8.**  
**СКОПЛЕНИЕ**  
**ВСПЛЫВАЮЩИХ**  
**Веществ – РЕЗУЛЬТАТ**  
**НЕПРАВИЛЬНО**  
**ЗАПРОЕКТИРОВАННОГО**  
**ВЫПУСКА**  
**И ОТСУТСТВИЯ**  
**ПОВЕРХНОСТНОГО**  
**СКРЕБКА**

На рис. 8 показан неудачный пример реализации аэрируемых песколовков в бетоне, с ошибочно выбранной конструкцией выпуска обработанных сточных вод (выпуск через отверстие ниже уровня воды) и с неполным комплектом технологического оборудования (отсутствие скребковой системы для удаления всплывающих веществ). Результат – скопление всплывающих веществ и мусора и его аккумуляция на поверхности песколовки.

Как пример удачного применения решений MY SCREEN (грубое процеживание), MY SCREEN (основное процеживание) и MY GRIT (комбинированные установки) можно привести ОКОС п. Заостровье фактической производительностью  $Q=12-17$  тыс.  $m^3/сут.$  На этом объекте установлены три технологические линии предварительной механической очистки сточных вод на комбинированных установках (рис. 6). В качестве оборудования применены: грабельные решетки – для предварительной защиты, а также барабанные решетки с перфорированным барабаном для эффективного задержания отбросов и защиты перемешивающих устройств на сооружениях биологической очистки.

На сегодняшний день решения MY GRIT работают на очистных сооружениях г. Астаны, г. Нижнекамска, п. Заостровье (Калининградской обл.), г. Смоленска, г. Сочи и г. Черногловки.

### Технология MY PC

Компания «Май Проект» разработала универсальный алгоритм управления первичными отстойниками, основанный на математическом описании процессов отстаивания сточной воды и образования осадка. В решениях MY PC также использован принцип комплексного контроля и управления. Система автоматизированного управления в режиме реального времени проводит измерения уровня накопленного осадка и, при необходимости, запускает единый алгоритм последовательного пуска оборудования, открытия запорно-регулируемой арматуры и включения насосов. На сегодняшний день технология MY PC работает на очистных сооружениях г. Смоленска, г. Сочи.

Описанные в статье технологии MY MET входят в семейство решений MY Technologies, которые направлены на комплексное решение всего перечня проблем очистных сооружений.

Подробнее о данных технологиях читайте в цикле публикаций в журнале «НДТ». ●



# Типовые технические решения ЦМОО сточных вод

А.В. Смирнов<sup>1</sup>,  
Д.Б. Зинченко<sup>2</sup>,  
Р.В. Бадулин<sup>3</sup>



АО «МАЙ ПРОЕКТ»

ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ  
ОЧИСТКИ ВОД

## АННОТАЦИЯ

В статье показан пример комплексного типового решения строительства цеха механического обезвоживания осадков на базе фильтр-прессов для сооружений очистки сточных вод. Показаны преимущества нового строительства в сравнении с реконструкцией существующих зданий, сетей, оборудования. Для удобства выбора решения для Заказчика создано 2 типовых решения на основе 2х и 3х фильтр-прессов. Разработанные решения сокращают сроки проектирования и его стоимость. Разработка типового проекта выполнена современными средствами 3D проектирования, что даже на этапе проекта позволяет визуализировать здание, оборудование и коммуникации будущего ЦМОО.

**Ключевые слова:** обезвоживание осадков, проектирование, фильтр-пресс, типовое решение

Отсутствие узла механического обезвоживания осадков или физический и моральный износ существующего оборудования для обработки осадков – одна из самых острых проблем для 85% очистных сооружений России и стран бывшего СНГ. На сегодняшний день в РФ в цехе механического обезвоживания осадков нуждаются около 58% сооружений из которых 69% сооружений с производительностью до 100 000 м<sup>3</sup>/сут., 29% с с производительностью 100 000÷300 000 м<sup>3</sup>/сут. и 20% – с производительностью более 300 000 м<sup>3</sup>/сут.

Широко освоенными в мировой практике методами механического обезвоживания осадков является центрифугирование с использованием осадительных шнековых центрифуг и обезвоживающих центрифуг нового поколения – центрипрессов; фильтр-прессование на камерных, ленточных и шнековых фильтр-прессах. Основные преимущества и недостатки каждого из методов приведены в табл. 1.

<sup>1</sup> Смирнов Александр Владимирович, зам. начальника технологического отдела (ТО), АО «МАЙ ПРОЕКТ», 115054, Россия, Москва, Б. Строченовский пер., 7, тел.: (495) 981-98-80 доб. 277, e-mail: smirnovav@myproject.msk.ru

<sup>2</sup> Зинченко Дарья Борисовна, вед. инженер-технолог ТО, АО «МАЙ ПРОЕКТ», 115054, Россия, Москва, Б. Строченовский пер., 7, тел.: (495) 981-98-80 доб. 270, e-mail: dasha@myproject.msk.ru

<sup>3</sup> Бадулин Роман Владимирович, менеджер проектов, АО «МАЙ ПРОЕКТ», 115054, Россия, Москва, Б. Строченовский пер., 7, тел.: (495) 981-98-80 доб. 232, e-mail: badulin@myproject.msk.ru

Оборудование	Основные преимущества	Основные недостатки
Шнековые фильтр-прессы	Небольшой расход промывной воды, нет необходимости в постоянной промывке. Минимальный шумовой фон и вибрация (нет необходимости в мощных фундаментах). Небольшой расход флокулянта. Отсутствие запахов и испарений.	Сложность обслуживания (постоянная очистка шнека и перфорированного цилиндра). Отсутствие визуального контроля за процессом. Повышенная восприимчивость к изменению и концентрации исходного осадка. Высокая изнашиваемость корзины, необходимость замены подшипников. Низкое качество фильтрации.
Центрифуги	Компактность и герметичность установок. Высокая производительность. Высокая эффективность задержания сухого вещества. Низкая влажность обезвоженного осадка (при применении центрипрессов). Возможность полной автоматизации процесса. Небольшое количество вспомогательного оборудования.	Необходимость извлечения из осадков крупных включений и песка. Необходимость периодической очистки или замены шнеков. Высокое энергопотребление. Низкое качество фильтрации. Более высокий удельный расход флокулянта и электроэнергии (по сравнению с ленточными фильтр-прессами). Шум и вибрация в помещении.
Ленточные фильтр-прессы	Отсутствие быстро изнашиваемых деталей и узлов. Низкий расход электроэнергии. Высокая производительность единицы оборудования. Низкая концентрация взвешенных веществ в фильтрате. Возможность визуального контроля процесса обезвоживания. Широкий диапазон допустимых входных концентраций на входе. Не подвержены быстрому износу при повышенном содержании песка.	Повышенные затраты по сравнению с центрифугами. Возможность распространения запахов. Необходимость периодической замены фильтровальной ткани.
Керновые и рамные фильтр-прессы	Высокая степень обезвоживания. Чистый фильтрат. Высокая производительность фильтр-вальных комплексов.	Ограничения по вязкости осадка. Низкая удельная производительность. Повышенный расход реагентов. Периодичность действия. Необходимость замены фильтр-полотна.

Приведенный анализ показывает, что наиболее приемлемым оборудованием для механического обезвоживания осадков канализационных очистных сооружений являются

ленточные фильтр-прессы и центрифуги. Центрифуги наиболее целесообразно использовать на очистных сооружениях с производительностью свыше 100 000 м<sup>3</sup>/сут.



**Рисунок 1. Цех механического обезвоживания: 3D визуализация и построенный цех**

При этом нужно учитывать необходимость эффективной механической очистки и повышенное потребление ЦМО электроэнергии. На очистных сооружениях производительностью 100 000 м<sup>3</sup>/сут. и ниже наиболее универсальным, надежным и экономичным является применение ленточных фильтр-прессов.

АО «МАЙ ПРОЕКТ» предлагает предприятиям ВКХ, инжиниринговым компаниям и проектным институтам собственный типовый проект ЦМО (рис. 1).

Типовой проект ЦМО компании «МАЙ ПРОЕКТ» позволяет:

- Сократить строительные объемы за счет оптимальных компоновочных решений.
- Сократить энергопотребление за счет

использования энергоэффективного инновационного оборудования и минимизации затрат на вентиляцию, освещение и отопление.

- Свести к минимуму долю ручного труда и сократить численность обслуживающего персонала за счет современного уровня автоматизации.

- Минимизировать сроки строительства и стоимость СМР за счет применения современных строительных конструкций и материалов.

Для удобства и расширения возможности типового решения было разработано 2 проекта с использованием 2-х и 3-х фильтр-прессов. Основное технологическое оборудование типовых проектов приведено в табл. 2.

**Таблица 2 – Основное технологическое оборудование типовых проектов ЦМО**

Оборудование	н 2 ФП	н 3 ФП
Фильтр-пресс	1+1	2+1
Смеситель-флокулятор	1+1	2+1
Компрессор	1+1	2+1
Горизонтальный шнековый конвейер	-	1
Горизонтальный шнековый реверсивный конвейер	1	1
Станция приготовления р-р полимер	1+1	1+1
Система приготовления полимер	1+1	2+1
Шнековый насос подчи ос дк	1+1	2+1
Шнековый насос подчи р-р флокулянт	1+1	2+1
Центробежный насос промывки фильтр-прессов	1+1	2+1
Дренажный насос	1	1

На рис. 2 показано размещение оборудования в типовом проекте на 2 фильтр-пресса.



**Рисунок 2. Размещение оборудования внутри цеха**

За счет современных средств 3D проектирования предварительно разработаны все объемы и площади помещений (рис. 3)

и при необходимости их можно менять по специальным требованиям Заказчика (табл. 3, 4).

**Таблица 3 – Объемы помещений типовых проектов ЦМО**

Помещение	н 2 ФП, м <sup>3</sup>	н 3 ФП, м <sup>3</sup>
Помещение обезвоживания ос. дк	82,9	150,8
Помещение выгрузки обезвоженного ос. дк	46,4	99,6
Помещение приготовления р-р реагент	27,4	55,4
Машинный зал	20,5	-
Вентпомещение	15,2	9,1
Лестницы и коридоры	29,9	20,6
Склад реагент	10,8	9,5
Операторская	8,9	8,8
Помещение теплового ввода	6,4	4,3
Щитовая	5,9	4,4
Подсобные помещения и санузлы	8,2	7,5
Трансформаторная	2	4,2

**Таблица 4 – Габаритные размеры типовых проектов ЦМО**

Показатель	н 2 ФП	н 3 ФП
Габаритные размеры:		
- Длина	15000 мм	21000 мм
- Ширина	9000 мм	9000 мм
- Высота	8000 мм	8000 мм
- Количество этажей:	2	2
- Высота 1-го этажа	4000 мм	4000 мм
- Высота 2-го этажа	4000 мм	4000 мм

При разговоре с водоканалами или инвесторами часто всё сводится к общему бюджетированию проекта. Для оценки сроков, объемов работ и общего бюджета по типовым проектам были рассчитаны технико-экономические показатели (табл. 5).

**Рисунок 3.**  
Общий вид помещения  
и здания ЦМО



**Таблица 5 – Технико-экономические показатели типовых проектов ЦМО**

Показатель	н 2 ФП	н 3 ФП
Общая сметная стоимость	68 млн. руб.	92 млн. руб.
- СМР	24 млн. руб.	27 млн. руб.
- Оборудование	40 млн. руб.	60 млн. руб.
Продолжительность строительства	4 месяц	4,5 месяц
Электрическая мощность:		
- Установленная	103,8 кВт	125,7 кВт
- Расчетная	74,8 кВт	112,7 кВт
- Фактическая	44,88 кВт	67,6 кВт

Выбор метода обработки осадка является сложной инженерной задачей, он требует проведения соответствующих изысканий и опытов на моделирующих или действующих очистных сооружениях. При этом необходимо учитывать и определять водоотдающие свойства осадков, вид обезвоживающего оборудования, его стоимость и технологию последующей обработки с учетом условий утилизации обработанных осадков.

Благодаря многолетнему опыту работы в сфере очистки сточных вод и обработки осадков компания «МАЙ ПРОЕКТ» владеет самыми передовыми технологическими аспектами работы отечественного и зарубежного оборудования, что помогает оптимизировать капитальные и эксплуатационные затраты Заказчика – всё это мы объединили для Вас в нашем Типовом проекте ЦМОО. Мы действуем в интересах Заказчика потому, что заинтересованы в конечном результате так же как и Вы – наши проекты работают, а не лежат на полках! ●

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 № 190-ФЗ (ред. от 29.06.2015). // Российская газета. 2005. № 1.
2. Постановление Правительства РФ от 27 сентября 2011 г. N 791 г. О формировании реестра типовой проектной документации и внесении изменений в некоторые постановления Правительства Российской Федерации (в ред. от 22.03.2014) // Российская газета. 2011. № 38.
3. Постановление Правительства РФ от 5 марта 2007 г. № 145 О порядке организации и проведения государственной экспертизы проектной документации и результатов инженерных изысканий (в ред. от 10 декабря 2014 г. № 1346). // Российская газета. 2007. № 52.
4. ИНСТРУКЦИЯ ПО ТИПОВОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ. СН 227-82. / Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1983.
5. СНиП 11-03-2001 Типовая проектная документация. // Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 2002.
6. ГОСТ Р 21.1101-2013. Национальный стандарт Российской Федерации. СИСТЕМА ПРОЕКТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПРОЕКТНОЙ И РАБОЧЕЙ ДОКУМЕНТАЦИИ. – М.: Стандартинформ, 2013.
7. ГОСТ Р 21.1101-2009. Национальный стандарт Российской Федерации. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПРОЕКТНОЙ И РАБОЧЕЙ ДОКУМЕНТАЦИИ. – М.: Стандартинформ, 2009.
8. ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСТАНОВОК С ФИЛЬТР-ПРЕССАМИ ДЛЯ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД. СПРАВОЧНОЕ ПОСОБИЕ К СНиП. / ВНИИ ВОДГЕО – М.: Стройиздат, 1990.
9. Федеральный закон от 30 декабря 2009 г. N384-ФЗ. ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ О БЕЗОПАСНОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ // Российская газета. 2009. № 255.

# Опыт реализации локальных очистных сооружений предприятий пищевой промышленности по технологии «MY DAF»



АО «МАЙ ПРОЕКТ»

**А.В. Ромашко,**  
ведущий инженер-технолог технологического отдела АО «МАЙ ПРОЕКТ»<sup>1</sup>

С введением в действие постановления Российской Федерации от 29.07.2013 № 644 [1] резко ужесточились финансовые последствия нарушения требований к приему промышленных сточных вод в централизованные системы водоотведения населенных пунктов. Причем, упор сделан на предотвращение негативного воздействия сброса повышенных концентраций органических загрязнений, который во многих случаях приводит к дестабилизации работы городских очистных сооружений. Концентрации этих загрязнений ограничены на уровне 300 мг/л по взвешенным веществам и БПК<sub>5</sub> и 500 мг/л – по ХПК. В настоящее время сброс неочищенных от органических загрязнений сточных вод может обойтись предприятию пищевой промышленности в 200–500 руб./м<sup>3</sup>.

В ноябре 2016 г. в указанное постановление были приняты важные изменения [2], согласно которым абоненты, не соблюдающие требований, должны составить и согласовать с водоканалом план по соблюдению требований к составу и свойствам сточных вод. Пути соблюдения требований в настоящее время весьма расширены, но одним из основных по-прежнему остается реализация (модернизация) локальных очистных сооружений (далее – ЛОС). Чрезвычайно важно, что на период реализации данного плана по соблюдению требований к составу и свойствам сточных вод, абонент и организация, осуществляющая водоотведение, вправе заключить соглашение, предусматривающее вычет из суммы платы абонента за негативное воздействие на работу централизованной системы водоотведения документально подтвержденных затрат на реализацию мероприятий плана по соблюдению требований к составу и свойствам сточных вод, фактически произведенных абонентом на дату внесения платы, но не более 50 % размера начисленной платы.

<sup>1</sup> Ромашко Андрей Вильевич, 115054, Россия, Москва, Б. Строченовский пер., 7, эт. 8, тел.: (495) 989-85-04, e-mail: romashko@myproject.msk.ru

Ряд компаний, не имеющих достаточного опыта работы в отрасли, воспринимают ЛОС, обеспечивающие очистку от органических загрязнений, как нечто простое и однотипное. В реальности разнообразие типов и состава сточных вод, загрязненных органическими соединениями, требует индивидуального подхода к технологии их очистки [3]. Это необходимо не только для того, чтобы качество очищенных сточных вод соответствовало требованиям на сброс, но и с целью уменьшения ручного труда обслуживающего персонала, повышения удобства обслуживания сооружений, уменьшение эксплуатационных затрат на очистку сточных вод и предупреждения возникновения аварийных ситуаций.

В нашей практике неоднократно встречались случаи, когда ЛОС, внешне не отличавшиеся от аналогичных эффективных

сооружений по составу и основным функциям, не обеспечивали надлежащей очистки и требований на сброс. Таким негативным примером являются ЛОС птицефабрики в Челябинской области. Установленная флотационная установка (см. рис. 1) на момент проведения обследования в 2015 г. не обеспечивала проектное качество очистки ввиду неэффективной работы системы сатурации и распределения водо-воздушной смеси.

Также часто встречаются ЛОС с проблемами в работе оборудования по механическому обезвоживанию флотошлама и донного осадка флотационных установок. Причиной проблем является неверный выбор оборудования для данного вида осадка и ошибки при выполнении пусконаладочных работ, как было зафиксировано в 2015 г. на пищевом предприятии в Калининградской области.

**Рис. 1.**  
**ФЛОТАЦИОННАЯ**  
**УСТАНОВКА**  
**ПТИЦЕФАБРИКИ**  
**С ПРОБЛЕМАМИ**  
**В РАБОТЕ СИСТЕМ**  
**САТУРАЦИИ ВОЗДУХА**  
**И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ**  
**ВОДОВОЗДУШНОЙ**  
**СМЕСИ**



Избежать описанных проблем при очистке сточных вод промышленных предприятий позволит разработанная компанией «МАЙ ПРОЕКТ» технология «MY DAF».

Технология «MY DAF» (Dissolved Air Flotation) – это целостное инженерное решение по очистке сточных вод методом напорной реагентной флотации, основанное на многолетнем опыте реализации комплексных проектов – «под ключ», объединяющее оптимальный выбор технологического оборудования, реагентов и средств автоматизации технологического процесса для получения максимального эффекта [4]. Технология «MY DAF» применима для многих отраслей промышленности. В данной статье рассмотрим ее использование для очистки сточных вод предприятий пищевой промышленности, а также убойных цехов птицефабрик, которые часто характеризуются высокими концентрациями ХПК и БПК<sub>5</sub>, жиров, взвешенных веществ, фосфатов.

Стандартная схема локальной очистки этих сточных вод до норм приема в городской коллектор включает следующие основные узлы:

- предварительная механическая очистка от грубых включений;
- усреднение;
- реагентная физико-химическая очистка;
- обработка образующихся осадков.

*Механическая очистка* обычно осуществляется на решетках тонкой очистки: стержневых с прозором 1–2 мм, либо перфорированных с диаметром отверстий 3 мм. В зависимости от характера производственного процесса технологическая схема может быть дополнена решетками грубой очистки (в самом начале сооружений) и песколовками.

*Усреднение* обычно реализовано в буферных емкостях для сглаживания пиковых расходов поступающих сточных вод и концентраций загрязнений в них. Для предупреждения осаждения взвешенных веществ обычно применяются механические мешалки, но в отдельных случаях для предотвращения загнивания оптимальна система перемешивания воздухом.

*Для физико-химической очистки* обычно используется комплект оборудования в соста-

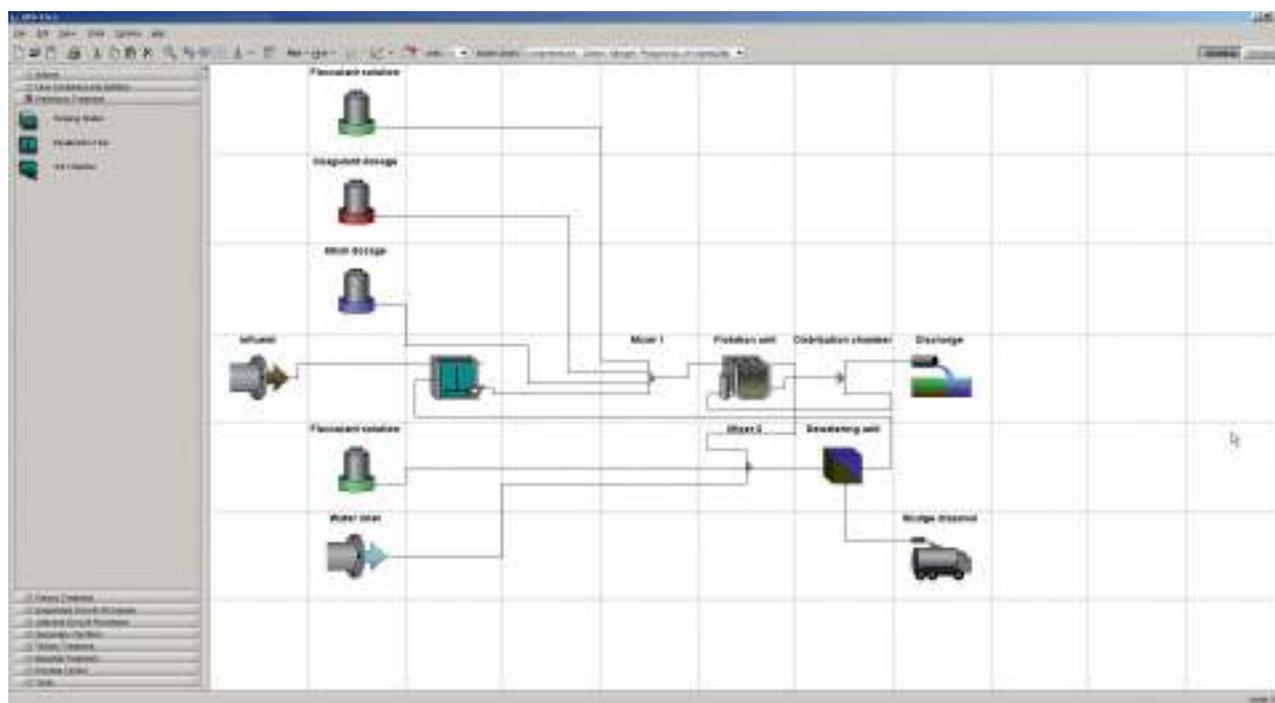
ве: смеситель, флотационная установка, насосы-дозаторы растворов коагулянта, щелочи и флокулянта, а также станция приготовления раствора флокулянта. Коагулянт и щелочь оптимально использовать в виде жидких товарных реагентов. При необходимости, комплект дополняется насосами-дозаторами кислоты в том случае, когда не исключено повышение рН сточных вод более 8,5 ед.

*Обработка образующихся осадков*, флотошлама и донного осадка осуществляется механическим способом, для чего могут быть применены шнековые пресса, центрифуги и другое обезвоживающее оборудование.

Хорошим помощником в решении задач по локальной очистке сточных вод «MY DAF» является программа GPS-X (Hydromantis). При проектировании очистных сооружений на основе флотации с механическим обезвоживанием осадка применение этой программы позволяет учесть влияние качества возвратного потока иловой воды от оборудования по механическому обезвоживанию осадка, спрогнозировать качество очищенных сточных вод, что при необходимости последующей реализации стадии биологической очистки является основополагающим фактором (рис. 2).

Рассмотрим технологические отличия решений, реализованных компанией «МАЙ ПРОЕКТ» на некоторых объектах.

На локальных очистных сооружениях ОАО «Дзержинский мясокомбинат» (г. Дзержинск Нижегородской обл.) при реализации технологии «MY DAF» были использованы реконструированные существующие песколовки, а имеющиеся железобетонные резервуары задействованы в качестве двухсекционного усреднителя. Эффективность и качество очистки сточных вод на описываемом мясокомбинате представлена в табл. 1.

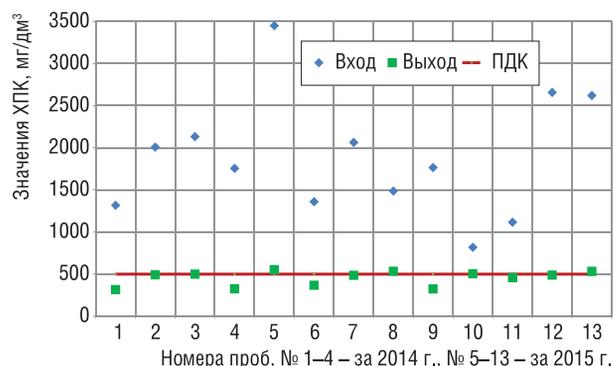


**Рис. 2.**  
**ИНТЕРФЕЙС И РАБОЧИЙ СТОЛ ПРОГРАММЫ GPS-X**

**Таблица 1.**  
**Эффективность очистки на ОАО «Дзержинский мясокомбинат» [3]**

Показатель, мг/л	До очистки, мг/дм <sup>3</sup>	После очистки, мг/дм <sup>3</sup>	Средняя эффективность очистки, %
Жиры	123–293	6,15–23,4	92–95
Взвешенные веществ	556–841	5,56–42,1	95– 99
ХПК	1766–3097	318–681	78–82
БПК <sub>5</sub>	1360–1915	231–421	78–83
Фосфор общий	6,9–11,8	0,14–0,47	96–98
Железо общее	4,68–5,2	0,23–0,52	90–95
Нефтепродукты	4,4–10,0	0,18–0,7	93–96

**Рис. 3.**  
Динамика колебаний загрязненности поступающих и очищенных сточных вод по ХПК за 2014–2015 гг. на ОАО «Дзержинский мяскокомбинат»



Динамика колебаний загрязненности поступающих и очищенных сточных вод за 2014–2015 гг. по ХПК представлена на рис. 3. Следует отметить, что, несмотря на высокую неравномерность поступающих значений ХПК, локальные очистные сооружения позволяют достичь требуемого Правилами холодного водоснабжения и водоотведения качества очищенных сточных вод по величине ХПК – 500 мг/дм³.

Общий вид флотационной установки на ОАО «Дзержинский мяскокомбинат» показан на рис. 4.

Шнековый пресс для обработки образующихся осадков в количестве до 40 м³/сут. позволяет не только снизить их влажность до 78–79 %, но и достичь экономии электроэнергии по сравнению с центрифугами. Так, удельное энергопотребление на обработку 1 м³ смеси осадков (флотошлама и донного осадка) составляет около 1,7 кВт·ч/м³ (см. табл. 2), тогда как при использовании центрифуги потребовалось бы более 6,7 кВт·ч/м³.



**Рис. 4.**  
Общий вид флотационной установки на ОАО «Дзержинский мяскокомбинат»

**Таблица 2.**  
Данные для расчета удельного энергопотребления при обработке осадков на ОАО «Дзержинский мяскокомбинат»

Наименование оборудования	Установленная мощность, кВт	Фактическое потребление электроэнергии, кВт·час	Фактическое время работы оборудования, ч/сут.	Суточное потребление электроэнергии, кВт·час/сут.
Н сос-доз тор ос дк	2,2	1,76	12	21,12
Ст нция приготовления р створ флокулянт	1,0	0,8	12	9,6
Н сос-доз тор р створ флокулянт	1,1	0,88	12	10,56
Шнековый пресс / Центрифуг	1,5 / 23,7	1,2 / 19	12	14,4 / 228
Компрессор к прессу	1,1	0,88	12	10,56 / 0
ИТОГО (Шнековый пресс / Центрифуг ):	6,9 / 28	5,52 / 22,44	–	66,24 / 269,28



**Рис. 5.**  
Общий вид шнекового пресса  
на ОАО «Дзержинский мясокомбинат»

Общий вид шнекового пресса представлен на рис. 5.

Отличительной особенностью предварительной механической очистки ООО «Мираторг Запад» (АПХ «Мираторг»), г. Калининград (прежнее название – ООО «Конкордия») является раздельная очистка хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод с применением комбинированных установок (решеток тонкой очистки и аэрируемых песколовков) для очистки первого потока. Применение комби-установок позволяет повысить эффективность задержания песка и получить песок с минимально возможным содержанием в нем органических соединений. Качество сточных вод после физико-химической очистки представлено в табл. 3.

Общий вид флотационной установки на ЛОС ООО «Мираторг Запад» показан на рис. 6.

**Таблица 3.**  
ФАКТИЧЕСКИ ДОСТИГНУТЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ ЛОКАЛЬНЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ООО «МИРАТОРГ ЗАПАД» [5]

Показатель, мг/л	До очистки, мг/дм <sup>3</sup>	После очистки, мг/дм <sup>3</sup>	Средняя эффективность очистки, %
Взвешенные веществ	1740	65	96,2
Жиры и м сл	1300	34	97,4
Фосфор фосф тов	24	1,5	93,8



**Рис. 6.**  
Общий вид флотационной  
установки на ЛОС  
ООО «МИРАТОРГ ЗАПАД»

**Таблица 4.**

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОЧИСТКИ В ПЕРИОД ПУСКОНАЛАДОЧНЫХ РАБОТ НА ЗАО «АГРОТЕК ХОЛДИНГ» [3]**

Показатель, мг/л	До очистки, мг/дм <sup>3</sup>	После очистки, мг/дм <sup>3</sup>	Эффективность очистки, %
Взвешенные вещества	950	67–95	90–93
ХПК	2300	680–800	65–70,5
БПК <sub>5</sub>	1200	350–420	65–70,5
Фосфор общий	65	7,2–9,8	85–89
Железо общее	3,0	0,54–0,75	75–82
Нефтепродукты	5,0	0,25–2,3	54–95

Высокая сейсмичность района, в котором расположено мясоперерабатывающее предприятие ЗАО «Агротек Холдинг» (п. Нагорный, Елизовский район, Камчатский край), обусловила, для упрощения и удешевления создания ЛОС, размещение оборудования по очистке сточных вод в контейнере, а малое проектное и фактическое количество образующегося осадка позволило отказаться от сооружений его механического обезвоживания. Флотошлам вывозится 1 раз в неделю ассенизационной машиной. Не все типы флотаторов пригодны для их размещения в контейнере, поэтому для этого объекта был подобран специальный флотатор, обладающий компактными размерами и высокой эффективностью очистки, представленной в табл. 4.

Общий вид флотационной установки в контейнерном исполнении ЗАО «Агротек Холдинг» представлен на рис. 7.

**Рис. 7.**  
**Общий вид флотационной установки в контейнере на ЛОС ЗАО «Агротек Холдинг»**



Особенности реализации проекта локальных очистных сооружений на пищевом предприятии в г. Ефремове (Тульская область) ООО «Каргилл» являются:

- 1) усреднитель, выполненный в виде наземной емкости с полезным объемом 100 м<sup>3</sup>;
- 2) низкая гидравлическая нагрузка на поверхность флотатора.

Основным компонентом загрязнения сточных вод является растительное масло, удаление которого из потока позволяет также достичь высокой эффективности очистки сточных вод по такому показателю как ХПК (табл. 5).

В отличие от стандартных схем механической очистки, на мясоперерабатывающем предприятии ООО «Увинский мясокомбинат» (п. Ува, Удмуртская Республика) была установлена решетка грубой очистки ввиду наличие крупных отбросов в поступающих сточных водах. Особенность данного проекта состояла в сжатых сроках реализации ЛОС «под ключ», когда объект был сдан после 7 месяцев интенсивной работы [7; 8]. На данном мясокомбинате были достигнуты высокие эффективности очистки по основным показателям загрязнений (табл. 6).

Примером высокого уровня автоматизации локальной очистки, разработанной по технологии «MY DAF», является работа очистных сооружений птицефабрики ООО «Агро-Плюс» (г. Изобильный, Ставропольский край), представлены на рис. 8.

**Таблица 5.**  
ФАКТИЧЕСКИ ДОСТИГНУТЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ  
ЛОКАЛЬНЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ООО «КАРГИЛЛ» [6]

Показатель, мг/л	До очистки, мг/дм <sup>3</sup>	После очистки, мг/дм <sup>3</sup>	Эффективность очистки, %
Взвешенные вещества	290–2900	20–33	92,7–98,9
Жиры и м сл	1000–1800	27–37	96,5–99,0
ХПК	4100–1060	380–640	84,4–96,4

**Таблица 6.**  
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОЧИСТКИ НА ЛОКАЛЬНЫХ  
СООРУЖЕНИЯХ НА ООО «УВИНСКИЙ МЯСОКОМБИНАТ» [7]

Показатель, мг/л	До очистки, мг/дм <sup>3</sup>	После очистки, мг/дм <sup>3</sup>	Эффективность очистки, %
Взвешенные вещества	730–1070	15–18	97,5–98,5
ХПК	1370–2260	330–710	69–79
Фосфор общий	12,6–14	< 0,1	99,2–99,3
Железо общее	2,3–6,6	0,8–1,3	43–82



**Рис. 8.**  
Общий вид флотационной  
установки на ООО «Агро-Плюс»

Таблица 7.

Влияние величин концентраций поступающих загрязнений на выбор конструкции флотатора и удельную нагрузку

Суммарное количество взвешенных веществ и жиров:			
~1000 мг/л	~3000 мг/л		~4000 мг/л
Удельная гидравлическая нагрузка на площадь поверхности флотатора, м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> ·ч:			
6,1	4,3	4,4	4,0
ОАО «Дзержинский мясокомбинат» [3]	ЗАО «Агротек Холдинг» [3]	ООО «Мир торг 3 п д» [5]	ООО «К ргилл» [6]

В зависимости от концентраций поступающих загрязнений на перечисленных объектах, реализованных по технологии «МУ DAF», компанией «МАЙ ПРОЕКТ» применены различные конструкции флотаторов (табл. 7) с разной гидравлической нагрузкой на площадь поверхности.

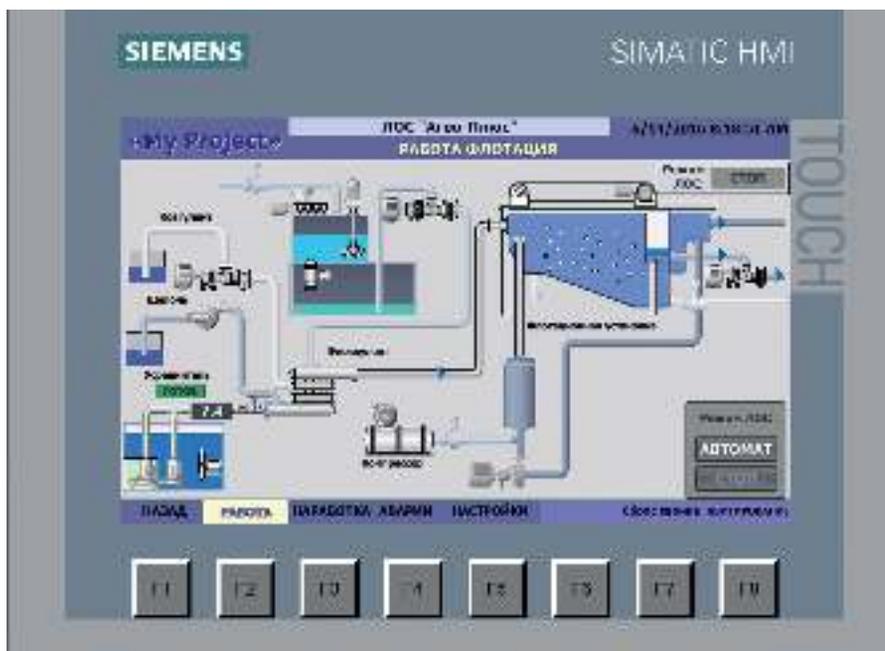
Управление всем технологическим оборудованием ЛОС предусмотрено с сенсорной панели управления шкафа управления флотацией при помощи разработанного компанией АО «МАЙ ПРОЕКТ» программно-технического комплекса (ПТК), который обеспечивает:

- автоматический сбор информации о ходе протекания технологического процесса;

- автоматическое регулирование основных технологических параметров;
- отображение технологических параметров и состояния технологического оборудования на панелях управления;
- дистанционное автоматизированное управление процессом;
- местное управление процессом;
- реализацию системы защит и блокировок;
- реализацию системы оповещения оператора при возникновении аварийных ситуаций.

Общий вид мнемосхемы «Флотация» на панели управления показан на рис. 9.

Рис. 9. Мнемосхема сенсорной панели «Флотация»



Визуализированная информация представляется оператору на панели управления шкафа управления установкой напорной флотации и панели пульта местного управления (при использовании упрощенной АСУ ТП), а также на мониторе при реализации полнофункциональной АСУ ТП.

### Выводы

Современные технические решения «MY DAF» по реагентной физико-химической обработке сточных вод предприятий пищевой промышленности методом напорной флотации позволяют гарантировать соблюдение норм приема в городские системы канализации для предприятий мясопереработки, производства растительного масла, птицефабрик и ряда других, а также обеспечить эффективную предочистку сточных вод многих других отраслей, требующих биологической очистки. Технические решения основаны на подборе оптимальных конструкций оборудования, реагентов, высокой энергоэффективности и степени автоматизации (диспетчеризации). ●

### ЛИТЕРАТУРА

1. Постановление правительства Российской Федерации от 29 июля 2013 г. № 644 «Об утверждении правил холодного водоснабжения и водоотведения и о внесении изменений в некоторые акты правительства Российской Федерации».
2. Постановление Правительства Российской Федерации от 3 ноября 2016 года № 1134 «О вопросах осуществления холодного водоснабжения и водоотведения».
3. Ромашко А.В., Бойко И.Ю., Марькин Е.Р. Опыт реализации локальных очистных сооружений мясоперерабатывающих предприятий // «Мясная сфера» № 5 (108), 2015 г., с. 76–77.
4. Ромашко А.В., Бойко И.Ю., Марькин Е.Р. Опыт реализации технологии «MY DAF» на локальных очистных сооружениях птицефабрики // «Птицепром», № 4 (33), 2016 г., с. 58–59.
5. Щетинин А.И., Агафонкин В.В., Костин Ю.В., Томилов С.М. и др. Очистка сточных вод предприятий мясоперерабатывающей промышленности // Водоснабжение и санитарная техника, № 1, 2012 г., с. 39–48.
6. Ромашко А.В., Котляр А.А. Успешная реализация проектов по очистке сточных вод как основа долгосрочного сотрудничества ООО «Каргилл» и АО «МАЙ ПРОЕКТ» // «Масложировая индустрия», № 1 (2), 2017 г., с. 36–37.
7. Есин М.А., Ромашко А.В., Мазняк З.А. Очистка сточных вод: индивидуальный подход и проекты «под ключ» // «Мясная сфера», № 1 (92), 2013, с. 64–65.
8. Есин М.А., Ромашко А.В. Комплексный подход к очистке городских и производственных сточных вод // «Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение», № 12, 2013 г., с. 32–36.

# Развитие мембранных биореакторов для очистки сточных вод

## РЕДАКЦИОННЫЙ ОБЗОР

В настоящее время мембранные биореакторы (МБР) называют одной из наиболее перспективных и динамически развивающихся технологий по очистке сточных вод. Результаты исследований [1], выполненные независимой аналитической компанией «BCC Research», утверждают, что мировой рынок МБР в 2010 г. составлял \$337 млн, в 2014 г. – \$425,7 млн и по прогнозам в 2019 г. приблизится к \$780 млн, демонстрируя совокупный ежегодный темп роста – 12,8 % (рис. 1). Таким образом, рынок МБР растет интенсивнее, чем отраслевые рынки оборудования в целом и мембранных систем очистки сточных вод, в частности.

По прогнозам Bluefield Research [2] тренд роста сохранится, так как глобальное стремление к получению очищенных сточных вод более высокого качества будет в еще большей мере способствовать распространению технологии МБР на рынке очистки воды.

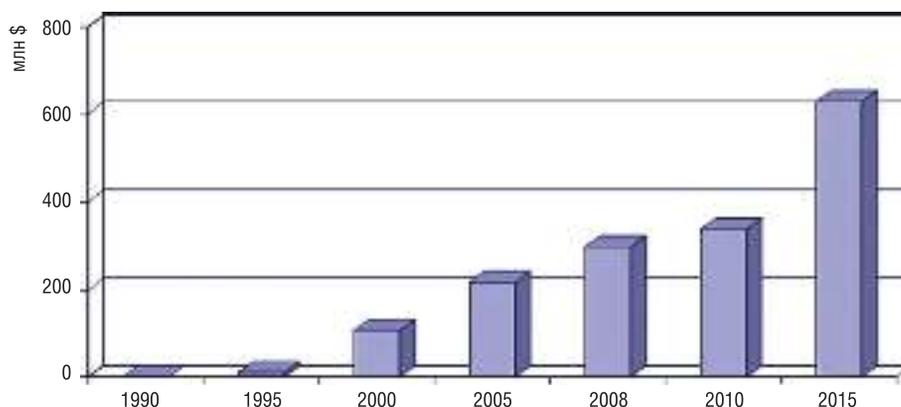
Ежегодно в эксплуатацию вводится более 1000 новых станций на базе МБР. Совокупная производительность МБР установок по всему миру составляет 4,2 млн м<sup>3</sup>/сут

и постоянно увеличивается [3]. В таблице приведены 15 самых крупных очистных сооружений с МБР по состоянию на 2017 г. (включая находящиеся в процессе создания).

Повышению популярности МБР способствует их постоянное совершенствование. По данным [4] удельное потребление электроэнергии на очистку 1 м<sup>3</sup> сточных вод в МБР с 1999 г. по 2013 г. снизилось в 2 раза, что иллюстрирует рис. 2.

Аналогичные тенденции роста внедрений МБР прослеживаются и на отечественном рынке водопроводно-канализационного хозяйства. Еще 10 лет назад развитие технологии МБР в России существенно отставало от общемировых трендов в использовании мембранных технологий. К сегодняшнему дню в Российской Федерации уже реализован ряд крупных проектов на базе технологии МБР. Полученные результаты подтверждают высокую эффективность и экономическую целесообразность применения технологии МБР в очистке производственных сточных вод, как на малых, так и на больших очистных сооружениях.

Рис. 1.  
Рост мирового рынка МБР

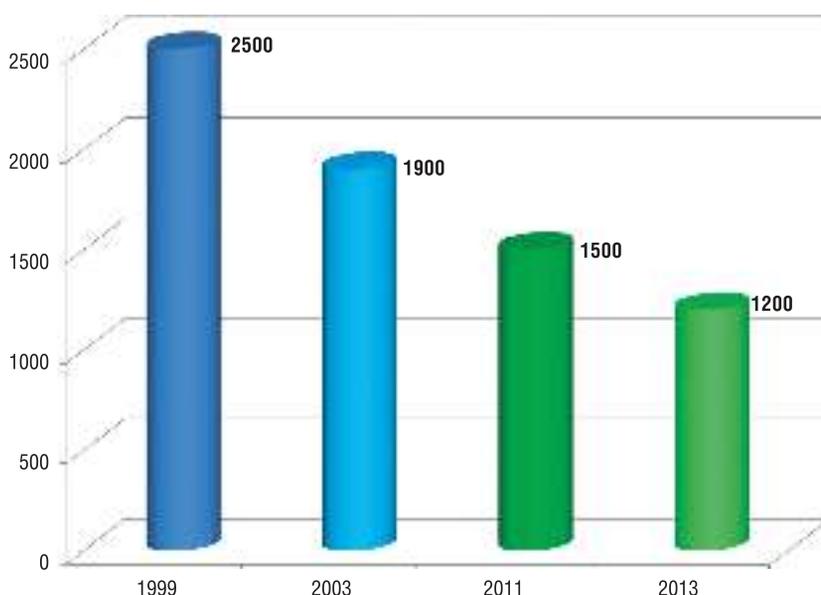


## САМЫЕ КРУПНЫЕ ОЧИСТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ С МЕМБРАННЫМИ БИОРЕАКТОРАМИ

№№	Расположение	Проектировщик технологии	Год запуска в эксплуатацию	Максимальный пиковый расход, м <sup>3</sup> /сут	Средний расход, м <sup>3</sup> /сут
1	Хенриксдаль (Стокгольм), Швеция	GE <sup>1</sup>	2016–2019	864'000	536'000
2	Сингпур	TBC	2016	Нет данных	800'000
3	Ашер (Париж), Франция	GE	2016	357'000	224'000
4	Кэтон, Огайо, США	Ovivo, США	2015–2017	333'000	159'000
5	Ксиньши, Китай	Origin Water	Нет данных	307'000	Нет данных
6	Юклид, Огайо, США	GE	2018	250'000	83'000
7	Куньмин, Китай	Origin Water	2013	250'000	Нет данных
8	Шуньши, Пекин, Китай	GE	2016	234'000	180'000
9	Провинция Хубэй, Китай	Origin Water	2015	200'000	Нет данных
10	Провинция Гирин, Китай	Origin Water	2015	200'000	Нет данных
11	Синьши, Китай	Origin Water	Нет данных	200'000	Нет данных
12	Брюссель, Бельгия	GE	2017	190'000	86'000
13	Риверсайд, Калифорния, США	GE	2014	186'000	124'000
14	Вашингтон, США	GE	2011	175'000	122'000
15	Визалия, Калифорния, США	GE	2014	171'000	85'000

Источник: <http://www.thembrsite.com/about-mbrs/largest-mbr-plants/>

**Рис. 2.**  
**Удельное потребление электроэнергии (Вт·час)**  
**на очистку 1 м<sup>3</sup> сточных вод в мембранном биореакторе [5]**



### ПРИ ПОДГОТОВКЕ РЕДАКЦИОННОГО ОБЗОРА ИСПОЛЬЗОВАНЫ ИСТОЧНИКИ:

1. A BCC Research Membrane & Separation Technology Report. Membrane Bioreactors: Global Markets. USA, 2015.
2. Bluefield Research. Market insight. Global membrane bioreactor market: An emerging competitive landscape. USA, 2014.
3. Faisal I. Hai, Kazuo Yamamoto, Chung-Hak Lee. Membrane biological reactors. Theory, Modelling, Design, Management and Applications to Wastewater Reuse. IWA Publishing, 2014, p.7.
4. F.I. Hai, K. Yamamoto. Membrane Biological Reactors. In P. Wilderer (Eds.), Treatise on Water Science. UK: Elsevier. 2011. p. 571-613.
5. Pierre Côté, David Brink and Ali Adnan. Pretreatment requirements for membrane bioreactors, Water Environment Foundation, 2006, p. 1855.

<sup>1</sup> General Electric. С 2017 г. подразделение компании по водным технологиям вошло в состав французской компании SUEZ. – Примеч. ред.

# Отечественный опыт реализации мембранных биореакторов по технологии «МУ МВР» для очистки производственных сточных вод

М.А. Есин<sup>1</sup>,  
А.В. Ромашко<sup>2</sup>,  
АО «МАЙ ПРОЕКТ»

В последнее десятилетие сложилась тенденция повышения концентраций загрязняющих веществ в производственных сточных водах в связи с ростом цен на воду питьевого качества и внедрением мероприятий по сокращению ее потребления и развитием оборотных систем. Высокие концентрации поступающих загрязнений от производственных процессов диктуют на стадии проектирования выбор более надёжных и современных способов очистки сточных вод, нежели классическая биологическая очистка в аэротенках с вторичными отстойниками.

Руководители промышленных предприятий наиболее часто предъявляют к локальным очистным сооружениям (ЛОС) канализации следующие требования:

- 1) высокая эффективность очистки (часто сточные воды, поступающие на очистные сооружения от предприятия, являются высоко загрязненными, а требования на сброс – для всех одинаковые);
- 2) минимальная необходимая территория, требующаяся для строительства (особенно актуально для предприятий, находящихся в черте города);
- 3) минимальный размер санитарно-защитной зоны;
- 4) минимальная численность обслуживающего персонала, диктующая необходимость высокого уровня автоматизации;
- 5) возможность удаленного контроля состояния объекта.

Этим требованиям наиболее удовлетворяют ЛОС, основанные на применении мембранных биореакторов (МБР). Их основным преимуществом перед системой аэротенк-отстойник является возможность гарантированного поддержания очень высокой дозы активного ила (8–10 г/л), что обеспечивает высокую компактность и надежность процесса.

<sup>1</sup> Есин Михаил Анатольевич, руководитель технологического отдела АО «МАЙ ПРОЕКТ», 115054, РФ, Москва, Б. Строченовский пер., 7, эт. 8, тел.: (495) 989-85-04, e-mail: yesin@myproject.msk.ru.

<sup>2</sup> Ромашко Андрей Вильевич, ведущий инженер-технолог технологического отдела, АО «МАЙ ПРОЕКТ», 115054, РФ, Москва, Б. Строченовский пер., 7, эт. 8, тел.: (495) 989-85-04, e-mail: romashko@myproject.msk.ru.

При использовании технологии МБР необходимо уделить особое внимание механической очистке для предупреждения засорения мембран мелкими отбросами. Некоторые авторы рекомендуют использовать решетки с прозором не более 2 мм [1], однако опыт работы с МБР АО «МАЙ ПРОЕКТ» и литературные данные [2] показывают, что экономически обосновано применять сита с прозорами 0,5–1,0 мм. В практике эксплуатации МБР на европейских очистных сооружениях канализации с решетками с прозором 3 мм зафиксировано забивание мембран мелким мусором. Например, на одной из первых крупных установок МБР в коммунальном секторе в г. Брешия (Brescia), Италия, перед мембранным биореактором установлены грубые решетки с прозором 30 мм, аэрируемые горизонтальные песколовки и тонкие решетки (2,0 мм); на ОСК г. Траверс Сити (Traverse City), США, эксплуатируются решетки 6 мм, первичные отстойники и решетки 2 мм; на объекте г. Шилд (Schilde), Бельгия, эксплуатируются барабанные сита с прозором 1 мм, в г. Варссевельд (Varsseveld), Нидерланды, решетки 6 мм, аэрируемые песколовки, сита 0,8 мм [1]. Наилучшее состояние мембран по засоренности мелким мусором отмечено на последнем объекте, в Нидерландах, и это напрямую связано с прозором сит механической очистки.

Стадию тонкого процеживания рационально располагать после песколовки, рассчитанных на эффективное удаление песка<sup>3</sup>.

По результатам проведенных обследований различных реализованных очистных сооружений с МБР выявлены следующие преимущества решений с особо тонким процеживанием сточных вод на этапе механической очистки:

- 1) более высокая и стабильная фильтрационная способность мембран;
- 2) более продолжительный жизненный цикл мембран;

3) больше интервалы между циклами очистки;

4) защита наиболее дорогостоящего оборудования.

### Технология «MY MBR»

Компания «МАЙ ПРОЕКТ» разработала пакет инженерных решений «MY MBR» – интеллектуальный продукт, созданный командой отраслевых специалистов компании на основании собственного многолетнего опыта проектирования и модернизации биореакторов, с использованием эффективного мембранного оборудования ведущих мировых производителей и адаптированного к условиям работы в Российской Федерации.

Технология «MY MBR» – это оптимальным образом подобранное технологическое оборудование, включающее полный фильтрационный пакет илоразделительных мембран, работа которого предусмотрена в автоматическом режиме благодаря индивидуально разработанной системе управления технологическими процессами.

Отличительной чертой решений с применением «MY MBR» является стабильно высокое качество очищенной воды, малые занимаемые площади, высокий уровень автоматизации технологических процессов и низкие эксплуатационные затраты.

На сегодняшний день технология «MY MBR» успешно апробирована и используется для очистки сточных вод на ряде крупных производственных предприятий. Среди реализованных проектов следует отметить очистные сооружения ООО «Тамбовская индейка», ООО «Пепсико Холдингс», на стадии реализации находится МБР на очистных сооружениях ОАО «ЩекиноАзот» в Тульской области (одни из самых крупных в России промышленных очистных сооружений с проектной производительностью около 24 тыс. м<sup>3</sup>/сут).

<sup>3</sup> Не более чем сто биологическая очистка в МБР производится без предварительного первичного осветления. В этом случае в песколовках не менее 10 мин (подразумевая последующую эффективную отмывку песколовки от органики). Свод правил «Канализационные сети и сооружения» – Примеч. ред.

В 2014 г. выполнено 3 проекта очистных сооружений канализации (ОСК) с использованием технологии МБР для поселков Рогово, Первомайский и Минзаг с максимальной производительностью 1300, 1300 и 650 м<sup>3</sup>/сут, соответственно. В проекте ОСК поселка Минзаг в Новой Москве (АО «Мосводоканал») удалось компактно разместить всё технологическое оборудование на площади 9×26 м в крытом исполнении, что позволило, наряду с отказом от иловых площадок, уменьшить санитарно-защитную зону объекта.

### **ЛОС птицефабрики ООО «ТАМБОВСКАЯ ИНДЕЙКА» (ГРУППА «ЧЕРКИЗОВО»), ПЕРВОМАЙСКИЙ РАЙОН ТАМБОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

В 2015 г. АО «МАЙ ПРОЕКТ» выполнила проектирование, поставку и строительно-монтажные работы технологического оборудования ЛОС этой птицефабрики, рассчитанных на максимальную производительность 1500 м<sup>3</sup>/сут.

Сточные воды этого предприятия образуются от производственных цехов, наиболее загрязненные сточные воды поступают от убойного цеха, где производится потрошение, ощипывание птицы, разделывание мяса для разных производственных целей.

Технологическая схема очистки сточных вод птицефабрики включает в себя механическую очистку, усреднение, физико-химическую очистку, мембранные биореакторы и узел механического обезвреживания осадков.

С целью снижения концентраций взвешенных веществ, жиров, фосфатов, ХПК и БПК предусмотрена напорная реагентная флоатация.

Для удаления органических соединений, азота аммонийного, нитритов, нитратов и других загрязнений предусмотрены мембранные биореакторы с реализацией процессов нитри-денитрификации. Объемные характеристики биореакторов представлены в табл. 1. Снижение нитратов в очищаемых сточных водах достигается рециклом сточ-

ных вод из конца зоны аэрации биореакторов в мембранные резервуары, затем – в резервуары деаэрации и аноксидные зоны биореакторов. Фактическая доза активного ила в биореакторах поддерживается в интервале 7–9 г/л.

**Таблица 1.**  
**Объемы зон биореакторов**  
**на ООО «ТАМБОВСКАЯ ИНДЕЙКА»**

Название зоны биореактора	Общий объем зон, м <sup>3</sup>
Зона деаэрации	94
Аноксидная зона	300
Аэробная зона	614

Узел мембранной ультрафильтрации представлен погружными полволоконными мембранами низкого давления, выполненными из армированного полого волокна. Мембранные волокна размещены в двух модульных кассетах, которые погружаются в мембранные резервуары. Номинальный и действительный размеры пор соответственно составляют 0,04 и 0,1 микрона и обеспечивают практически 100 % разделение очищаемых сточных вод и активного ила.

После биологической очистки сточные воды обеззараживаются и сбрасываются в водоем.

Энергопотребление на технологические нужды составило около 160 кВт·час, среднее удельное энергопотребление – 2,5 кВт·час на 1 м<sup>3</sup> обрабатываемых сточных вод.

В настоящее время завершены пусконаладочные работы, и объект сдан в эксплуатацию. На рис. 1 показан этап установки мембранных кассет в мембранные резервуары и их рабочий вид.

В результате проведения пусконаладочных работ локальных очистных сооружений птицефабрики была достигнута следующая эффективность очистки, представленная в табл. 2.



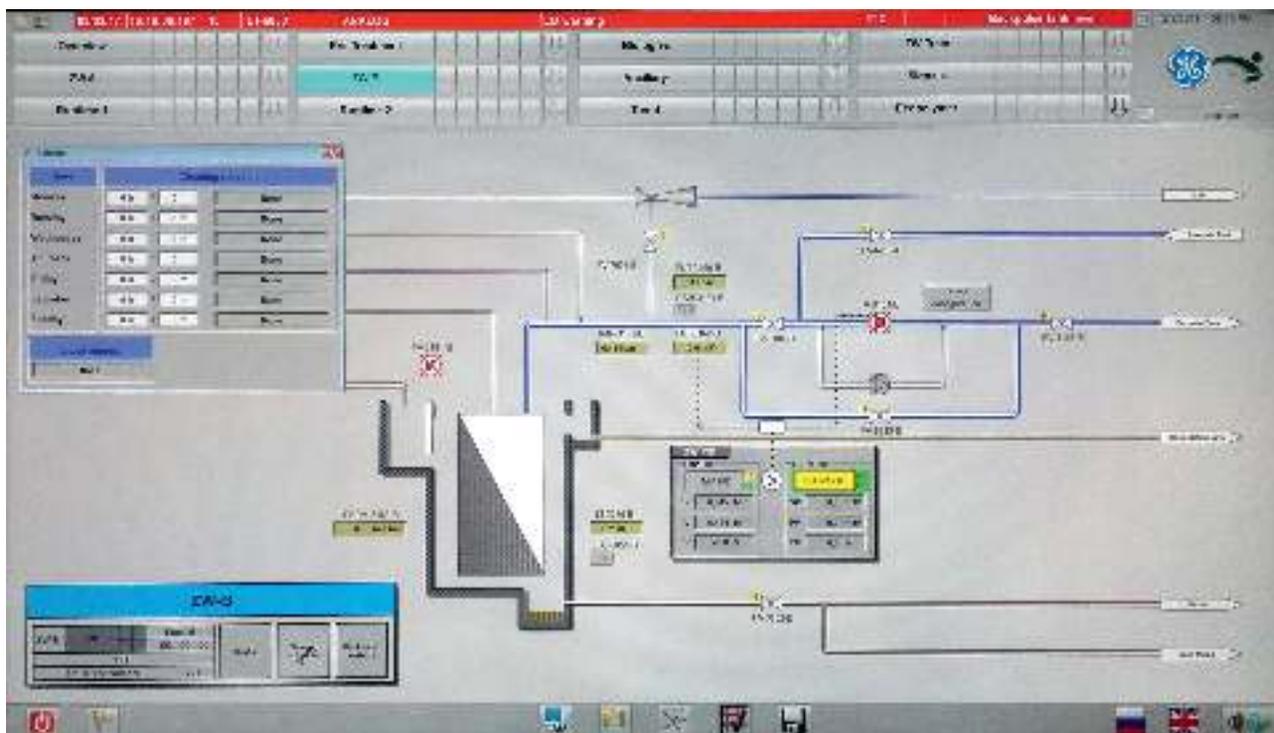
**Рис. 1.**  
**Монтаж мембранных кассет и работающие резервуары на ООО «Тамбовская индейка»**

**Таблица 2.**  
**Эффективность очистки в период пусконаладочных работ ООО «Тамбовская индейка»**

Показатель	До очистки, мг/л	После физико-химической очистки	После очистки, мг/л
Жиры	386–722	120–153	0,1–0,3
Взвешенные веществ	1651–1934	38–97	1,2–3,0
БПК <sub>5</sub>	1908–2533	847–1174	2,2–2,5
ХПК	3752–8160	2016–2980	14,2–35
Азот аммонийный <sup>1</sup>	30–96	26–83	0,08–0,5
Азот нитратов	0,1–0,6	0,1–0,6	3,95–9,7
Фосфор	35–72	0,09–0,44 <sup>2</sup>	0,1–0,3

<sup>4</sup> Сточная вода убойного цеха характеризуется высоким содержанием органического азота и фосфора, что не отражено в данных табл. 2. В процессе биологической очистки в МБР происходит их минерализация, и они также нуждаются в удалении. – Примеч. ред.

<sup>5</sup> За счет содержания в сточной воде органического фосфора целесообразно производить полное оседание фосфорных соединений физико-химической очистки. Потребность процесса биологической очистки в фосфоре обеспечивается за счет органического фосфора. – Примеч. ред.



**Рис. 2.**  
**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС НА ЭКРАНЕ РАБОЧЕГО КОМПЬЮТЕРА АРМ ОПЕРАТОРА**

Работа МБР полностью автоматизирована (рис. 2) и не требует постоянного присутствия обслуживающего персонала, что не только сокращает эксплуатационные затраты, но и позволяет снизить влияние так называемого «человеческого фактора» при его эксплуатации, т.е. исключить ошибки, которые может допустить обслуживающий персонал при работе с системой управления МБР.

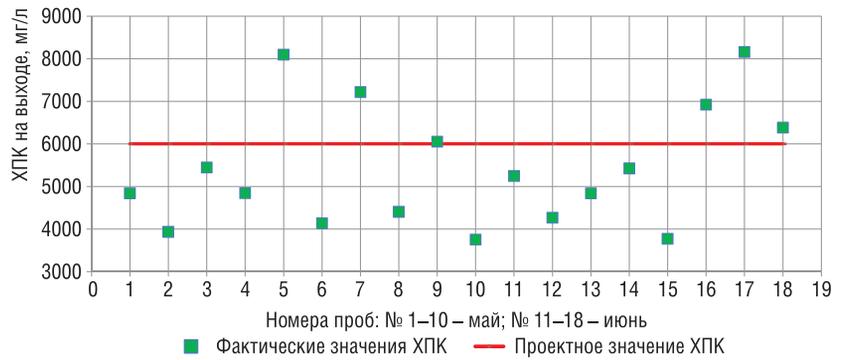
Несмотря на тот факт, что концентрации загрязнений поступающих сточных вод часто превышали проектные значения (например, по ХПК, см. рис. 3), в целом, очистные сооружения успешно справляются с поставленной задачей (рис. 4). В случае применения для данного состава сточных вод классической биологической очистки со вторичными отстойниками, такие высокие значения ХПК привели бы к вспуханию активного ила и к выносу его из сооружений биологической очистки.

### **ЛОС ООО «Пепсико Холдингс»**

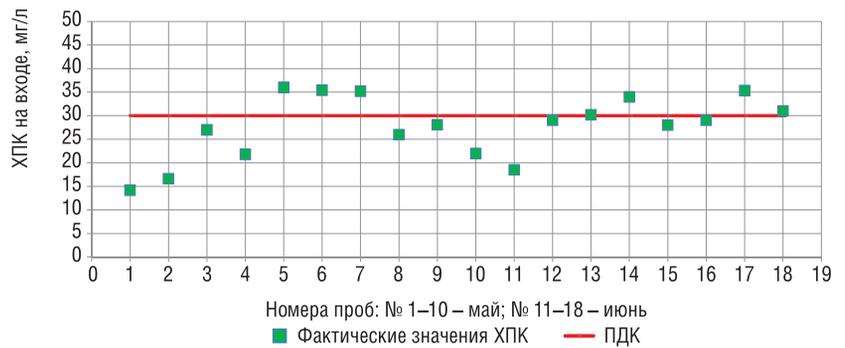
Еще один интересный проект, выполненный по технологии «МУ МБР», – локальные очистные сооружения ООО «Пепсико Холдингс» (г. Домодедово Московской области), производительностью 3,3 тыс. м<sup>3</sup>/сут, которые запущены в эксплуатацию в 2017 г. Проектирование объекта выполнялось не только в рамках законодательства РФ, но и с учетом жёстких стандартов международной компании PepsiCo.

Общий вид локальных очистных сооружений представлен на рис. 5.

**Рис. 3.**  
Значения ХПК поступающих сточных вод за 2017 г.



**Рис. 4.**  
Значения ХПК очищенных сточных вод за 2017 г.



**Рис. 5.**  
ЛОС ООО «Пепсико Холдингс»  
(выделены красной рамкой)  
в г. Домодедово





Рис. 6.

УПРОЩЕННАЯ ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ЛОС ООО «ПЕПСИКО ХОЛДИНГС»

Рис. 7.  
ВЕРХНЯЯ ЧАСТЬ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ШНЕКОВОЙ РЕШЕТКИ



Технологическая схема ЛОС ООО «Пепсико Холдингс» приведена на рис. 6.

На этом объекте использован ряд интересных решений, на которых хотелось бы остановиться подробнее.

*Предварительная механическая очистка* сточных вод предусмотрена при помощи вертикальной шнековой решетки с прозором 6 мм (рис. 7).

*Схема распределения потоков.* По ходу движения очищаемой воды установлен анализатор ХПК, работающий в постоянном режиме (on-line). В случае превышения ХПК установленных значений поток считается высококонцентрированным и перенаправляется в аварийный резервуар для накопления и последующей равномерной в течение суток откачки в усреднитель. При значении ХПК ниже установленного значения сточные воды подаются в усреднитель. Аварийный резервуар и усреднитель по технологической схеме могут быть взаимозаменяемыми. Предусмотрена возможность контроля ХПК в напорных трубопроводах трех групп насосов: подачи не усредненного потока, концентрированного потока и усредненного потока.

*Аварийный и усреднительный резервуары* представляют собой цилиндрические утепленные крытые емкости (рис. 8), выполненные по технологии GFS (Glass-Fused-to-Steel). Листы, изготовленные по технологии GFS, состоят из двух слоев: основного металлического и физически связанного с ним стеклосодержащего покрытия, придающего резервуару коррозионную стойкость.



**Рис. 8.**  
**АВАРИЙНЫЙ И УСРЕДНИТЕЛЬНЫЙ  
РЕЗЕРВУАРЫ**

*Анализ содержания биогенных элементов.* Сточная вода предприятия характеризуется недостаточным для биологической очистки соотношением азота и фосфора к органическим загрязнениям, при этом оно не является постоянным и изменяется в значительных пределах. С учетом этого обстоятельства предусмотрен многопараметровый онлайн-анализатор, выполняющий одновременный анализ четырех параметров: аммонийного азота, нитритного азота, нитратного азота и ортофосфатов. Осуществляется подача на анализатор сточных вод из двух точек: усредненного потока после тонкой механической очистки и пермеата после МБР. Измерение содержания биогенных элементов выполняется попеременно в ка-

ждом из двух потоков. По показаниям данного анализатора осуществляется автоматическое дозирование биогенных элементов в поток обрабатываемых сточных вод.

*Для тонкой фильтрации* в целях защиты мембранных кассет от засорения волокнистыми включениями и мелким мусором применено наклонное барабанное сито, изготовленное из треугольного профиля с прозором 1 мм.

*Биореакторы.* Биологическая очистка сточных вод осуществляется в двух параллельно работающих биореакторах с общим полезным объемом 3050 м<sup>3</sup>, представляющих собой цилиндрические утепленные крытые емкости, выполненные по технологии GFS (рис. 9).

**Рис. 9.**  
**БИОРЕАКТОРЫ (СПРАВА) НА ЛОС  
ООО «Пепсико Холдингс»,  
Домодедово**





**Рис. 10. Мембранные резервуары на ЛОС ООО «Пепсико Холдингс», г. Домодедово**

В придонной части биореакторов размещена мелкопузырчатая аэрационная система на базе дисковых мембранных аэраторов AP-420T. В биореакторах реализован алгоритм обеспечения постоянной концентрации растворенного кислорода в автоматическом режиме. Сжатый воздух в биореакторы подается от двух частотно-регулируемых воздуходувок, установленных в отделении воздуходувной станции технологического корпуса ЛОС. В процессе проведения пусконаладочных работ максимальная доза активного ила в биореакторах составляла 14 г/л, в настоящее время доза поддерживается в пределах 9–11 г/л. Газы и пары, образующиеся в надводном пространстве биореакторов, отводятся на очистку на биофильтрах.

*Блок мембранных резервуаров.* Из биореакторов иловая смесь поступает в верхний канал мембранных резервуаров (рис. 10). Блок мембранных резервуаров – это многосекционная емкость из нержавеющей стали, состоящая из верхнего канала, трех параллельно работающих мембранных резервуаров и нижнего канала, она установлена в отделении ультрафильтрации технологического корпуса ЛОС.

В каждом из мембранных резервуаров установлены четыре ультрафильтрационные мембранные кассеты (всего 12 кассет в трех резервуарах), при этом предусмотрено место для установки резервной пятой кассеты ультрафильтрации на случай повышения расходов поступающих сточных вод при расширении предприятия. Общий вид мембранной кассеты представлен на рис. 11.

Количество мембранных кассет рассчитано для пропуска в форсированном режиме всего объема сточных вод через два параллельно работающих мембранных резервуара. Для предотвращения чрезмерного увеличения концентрации ила в мембранных резервуарах в результате отвода пермеата через мембраны предусмотрена рециркуляция иловой смеси с кратностью рециркуляции 400 % от расхода поступающих сточных вод. Периодичность отвода ила и объем удаляемого из мембранных резервуаров избыточного активного ила определяется автоматически.

*Мембранная фильтрация.* Узел мембранной ультрафильтрации представляет собой единый комплекс мембранного и насосного

оборудования, запорно-регулирующей арматуры и контрольно-измерительных приборов для организации процесса фильтрации через мембранные кассеты, отвода пермеата, осуществления обратной промывки, а также продувки мембранных кассет.

На всасывающем трубопроводе пермеата установлен датчик давления/разрежения, а также сигнализатор – прерыватель высокого давления для предотвращения механического повреждения мембран сверхвысоким давлением.

В зависимости от расхода поступающих сточных вод система управления работой узлов мембранной ультрафильтрации автоматически изменяет уставку расхода вакуум-насосов пермеата с тем, чтобы уровень воды в мембранных резервуарах поддерживался постоянным. Помимо контроля расхода выполняется мониторинг трансмембранного давления. После окончания фильтроцикла следует фаза релаксации мембран: насос пермеата выключается, трансмембранное давление выравнивается, аэрация мембранных модулей остается включенной. В режиме релаксации происходит удаление отложений с поверхности мембранных волокон. После окончания релаксации мембран повторяется фильтроцикл.

В процессе обратной промывки пермеат поступает внутрь волокон и фильтруется наружу. Забор воды для обратной промывки осуществляется из резервуара чистой воды. Промывка, как и фильтрация, осуществляется насосом пермеата.

От каждой из трех напорных линий отвода пермеата предусмотрена подача воды к проточному датчику мутности и температуры. Вода из трех линий фильтрации пропускается через мутномер по очереди. Измерение мутности пермеата необходимо для контроля механической целостности мембранных волокон.

После очистки сточные воды сбрасываются в централизованную систему водоотведения МУП «Домодедовский Водоканал». Для обеспечения потребностей предприятия в технической воде предусмотрен узел подачи воды на повторное использование.



**Рис. 11.**  
**МОНТАЖ МЕМБРАНЫХ КАССЕТ НА ЛОС**  
**ООО «Пепсико Холдингс», г. Домодедово**

*Дозирование реагентов на этапе мембранной фильтрации.* При достижении критического трансмембранного давления выполняется химическая промывка мембранных кассет гипохлоритом натрия или лимонной кислотой. Гипохлорит натрия используется для удаления отложений органической природы, лимонная кислота – для удаления минеральных отложений. Гипохлорит натрия также служит в качестве обеззараживающего агента для части пермеата, возвращаемого на повторное использование. Дозирование гипохлорита натрия и лимонной кислоты происходит в автоматическом режиме.

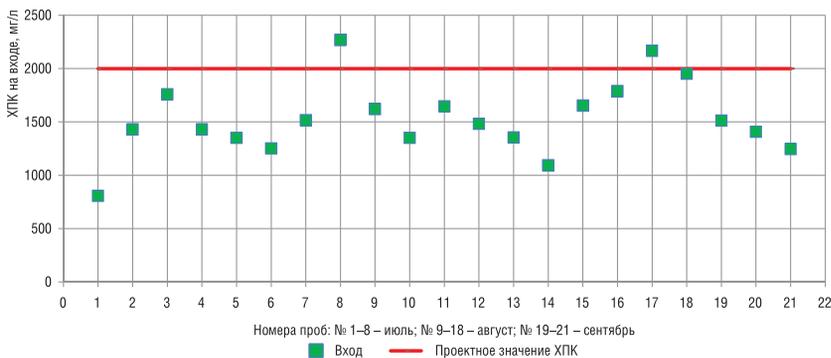
Эффективность работы локальных очистных сооружений в Домодедово в период проведения пусконаладочных работ можно оценить по табл. 3.

**Таблица 3.**  
**Качество поступающих и очищенных сточных вод на ЛОС ООО «Пепсико Холдингс» в период пусконаладочных работ**

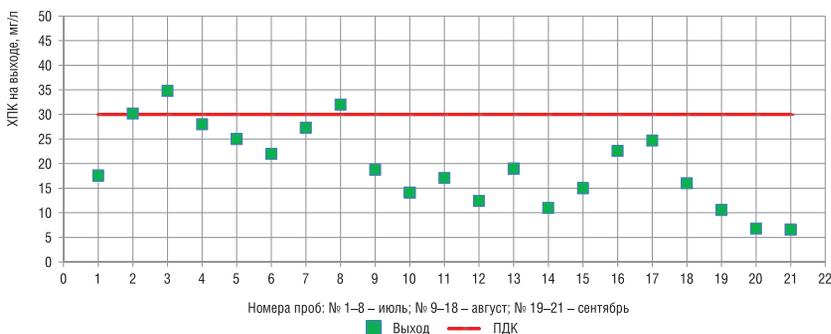
Показатель	До очистки, мг/л	После очистки, мг/л
ХПК	806–2267	25,6–35,8
Азот ммонийный	0,60–1,75	0,08–0,23*
Фосф ты	0,8–2,7	0,3–0,4*

\* Примеч ние: биогенные элементы доб вляются дополнительно для осуществления биологической очистки.

Качество поступающих сточных вод на ООО «Пепсико Холдингс» по ХПК приведено на рис. 12. По большинству основных показателей качество поступающей воды соответствует проектным значениям.



**Рис. 12.**  
**Значения ХПК поступающих сточных вод за 2017 г.**



**Рис. 13.**  
**Значения ХПК очищенных сточных вод за 2017 г.**

## ПРЕИМУЩЕСТВА ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ «МУ MBR»

На описанных объектах компанией «МАЙ ПРО-ЕКТ» реализованы современные комплексы ЛОС, основанные на технических решениях «МУ MBR» с высоким уровнем автоматизации технологических процессов, обеспечивающих необходимое качество очистки сточных вод и выполнение современных требований к обработке осадков.

К основным преимуществам технических решений «МУ MBR», подтвержденных на отечественных объектах, следует отнести следующее:

- значительно меньшая занимаемая площадь по сравнению со схемами с вторичными отстойниками или реакторами периодического действия;
- постоянное надежное обеспечение очищенных сточных вод высокого качества; содержание взвешенных веществ в пределах 1–2 мг/л, ХПК – 35 мг/л, что недостижимо при использовании других технологий биологической очистки без использования третичной очистки;
- капитальные затраты на МБР соизмеримы затратам при классической очистке благодаря отсутствию вторичных отстойников, доочистки на фильтрах, уменьшению количества избыточного активного ила;
- высокий уровень автоматизации МБР, что позволяет уменьшить количество высококвалифицированного персонала;
- гибкость в компоновках сооружений и оборудования, выборе поставщиков технологического оборудования благодаря многолетним наработкам и собственным решениям по системам автоматизации всего комплекса сооружений.

## Выводы

Применение мембранных биореакторов экономически оправдано при проектировании сооружений очистки высококонцентрированных сточных вод промышленных предприятий, для которых использование традиционных аэротенков с вторичными отстойниками не гарантирует достижения требуемого качества на сбросе. Применение технологии «МУ MBR» в высокой степени целесообразно при создании ЛОС в условиях ограниченной территории при расположении предприятий в черте города. ●

## ЛИТЕРАТУРА

**PIERRE CÔTÉ, DAVID BRINK AND ALI ADNAN. PRETREATMENT REQUIREMENTS FOR MEMBRANE BIOREACTORS, WATER ENVIRONMENT FOUNDATION, 2006, P. 1855.**

**DELGADO S., VILLARROEL R., GONZALEZ E., MORALES M. AEROBIC MEMBRANE BIOREACTOR FOR WASTEWATER TREATMENT – PERFORMANCE UNDER SUBSTRATE-LIMITED CONDITIONS. BIOMASS – DETECTION, PRODUCTION AND USAGE. 2011. P. 270.**

# Реконструкция водопроводных очистных сооружений г. Северодвинска: экономичное решение



АО «МАЙ ПРОЕКТ»

**ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ  
ОЧИСТКИ ВОД**

**В.М. Ульченко<sup>1</sup>,  
начальник Отдела  
Водоподготовки**

**Н.О. Татьянко<sup>2</sup>,  
ИНЖЕНЕР-ТЕХНОЛОГ**

**АО «Май Проект»<sup>3</sup>**

Выполненный компанией АО «Май Проект» комплексный проект по реконструкции очистных сооружений ВОС-2 г. Северодвинска включал обследование и лабораторные исследования, опытно-промышленные испытания в несколько периодов, проектные работы, прохождение государственной экспертизы, строительство очистных сооружений в качестве генподрядной организации, пусконаладочные работы и ввод сооружений в эксплуатацию.

На примере водопроводных очистных сооружений г. Северодвинска рассмотрены особенности модернизации и частичной ретехнологизации технологического процесса существующих сооружений очистки высокоцветных и маломутных вод, направленной на стабильную очистку воды до установленных нормативами требований и минимизацию себестоимости очищенной воды. Такие технологические приемы как использование рециркуляции осадка в комплексе с применением флокулянта, модернизация смесителей и камер хлопьеобразования с механическими перемешивающими устройствами, а также автоматизация работы дозирующих устройств с постоянным приборным контролем позволяют добиться стабильной эффективности работы водопроводных очистных сооружений.

## **ХАРАКТЕРИСТИКА ВОДОИСТОЧНИКА И КАЧЕСТВА ПОСТУПАЮЩЕЙ РЕЧНОЙ ВОДЫ**

Источником водоснабжения г. Северодвинска является река Солза, вытекающая из Солозера. Река имеет 7 значительных притоков и много ручьев. Почти вся территория бассейна реки покрыта болотами, кроме того, в нем насчитывается 30 озер разной величины. Вода водоисточника, как и большинство рек Архангельской области, обладает

<sup>1</sup> +7 (495) 989-85-04 (доб.209), uly@myproject.msk.ru

<sup>2</sup> +7 (495) 989-85-04 (доб.211), tatyanko@myproject.msk.ru

<sup>3</sup> 115054, г. Москва, Б. Строченовский пер., д. 7, эт. 8, www.myproject.msk.ru, +7 (495) 981-98-80

повышенной цветностью (100–220 град.), малой мутностью (0,4–2,5 мг/л), низким содержанием и малой щелочностью (0,3–1,2 мг-экв/л). Температура воды в течение года колеблется от 1 °С зимой до 18 °С летом. Наличие в воде большого количества органических веществ (гумусовые соединения: фульво- и гуминовые кислоты, преимущественно в виде солей) обуславливают высокую величину окисляемости воды, в среднем 26 мгО /л.

Очевидно, что это очень сложный водосточник для очистки по классической технологии, однако лучших в этом регионе на требуемую производительность не существует. Надо отметить, что достоинством р. Солзы является то, что весь ее бассейн находится выше водозабора, расположен в лесной необитаемой зоне, где отсутствуют какие-либо источники антропогенного загрязнения.

### ХАРАКТЕРИСТИКА СООРУЖЕНИЙ И ИХ ПРОБЛЕМЫ ДО РЕКОНСТРУКЦИИ

В состав основных сооружений ВОС-2 г. Северодвинска входят:

- блок фильтров и отстойников;
- блок реагентного хозяйства;
- отдельно стоящая хлораторная со складом хлора;
- насосная станция сгустителей шлама и усреднители;
- резервуары чистой воды;
- насосная станция второго подъема.

Очистные сооружения водопровода были запроектированы на производительность 110 тыс. м<sup>3</sup>/сут, с классической двухступенчатой схемой очистки воды на горизонтальных отстойниках и скорых фильтрах. Реальная производительность после введения всех мощностей сооружений и проведения работ по технологической режимной наладке в 1985 году составила 67 тыс. м<sup>3</sup>/сут.

На сооружениях предусмотрена реагентная обработка воды: первичное и вторичное хлорирование, коагулирование сульфатом алюминия (Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>), подщелачивание и стабилизация кальцинированной содой (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>).

Поступающая на сооружения вода через камеру переключения распределяется на гидравлические перегородчатые смесители. Перед смесителями в подающий водовод дозируется хлор и сульфат алюминия. Сода для подщелачивания подается непосредственно в смеситель. Из смесителя вода поступает в камеры реакции (камеры хлопьеобразования), совмещенные с отстойниками. Далее в отстойниках происходит осаждение хлопьев, после чего вода собирается в сборный канал и поступает на фильтры. После фильтрации производится вторичное хлорирование и вторичное подщелачивание.

Сооружения ВОС-2, работающие по описанной классической технологии не справлялись с очисткой маломутной речной воды с высоким содержанием гумуса и низкой температурой. Кроме того, качество воды в водосточнике существенно изменилось с момента ввода ВОС-2 в эксплуатацию.

Качество очищенной воды было крайне нестабильным и не отвечало требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01. Величина перманганатной окисляемости и концентрация остаточного алюминия часто превышали ПДК. Среднемесячные показатели окисляемости очищенной воды доходили до 11,6 мгО/л (2,12 ПДК), что обуславливало и сверхнормативную цветность воды, а содержание остаточного алюминия до 2,2 мг/л (4,4 ПДК).

### ОПИСАНИЕ И ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ. ОБЪЕМ ПРОИЗВЕДЕННОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ

В сложившейся ситуации рассматривался вариант строительства новых сооружений, основанных на мембранных технологиях, с использованием коагуляции, озонирования и фильтрования. Это позволило бы обеспечить высокое качество воды, но требовало значительных капитальных и затрат. Что немаловажно, реализация этих решений привела бы к значительному увеличению себестоимости очистки, что связано как с ростом затрат, так и амортизационных отчислений на восстановление многократно увеличившихся основных средств.

Компания «Май Проект» предложила и реализовала на ВОС-2 существенно более экономичное решение. В процессе разработки проектных решений было проведено обследование каждого узла и всех ступеней очистки с целью выявления недостатков и подготовки схемы модернизации. В результате предпроектных изысканий определено, что для достижения требуемых показателей очистки нет необходимости в изменении всего технологического процесса, а достаточно модернизации с элементами ретехнологизации по отдельным узлам. Это позволило обеспечить надлежащее качество очищенной воды при меньших капитальных затратах и, следовательно, с меньшей себестоимостью.

В состав технических решений, разработанных компанией, вошли, во-первых, мероприятия, позволившие значительно интенсифицировать процессы коагуляции и повысить их эффективность: применение рециркуляции осадка из отстойни-

ков, использование механических мешалок на стадии смешения реагентов с водой и дополнительного реагента – флокулянта. Если флокулянт делает возможным образование устойчивых хлопьев, то рециркуляция осадка создает в очищаемой воде такую концентрацию центров хлопьеобразования, которая обеспечивает высокую скорость и полноту процесса очистки воды при низких температурах.

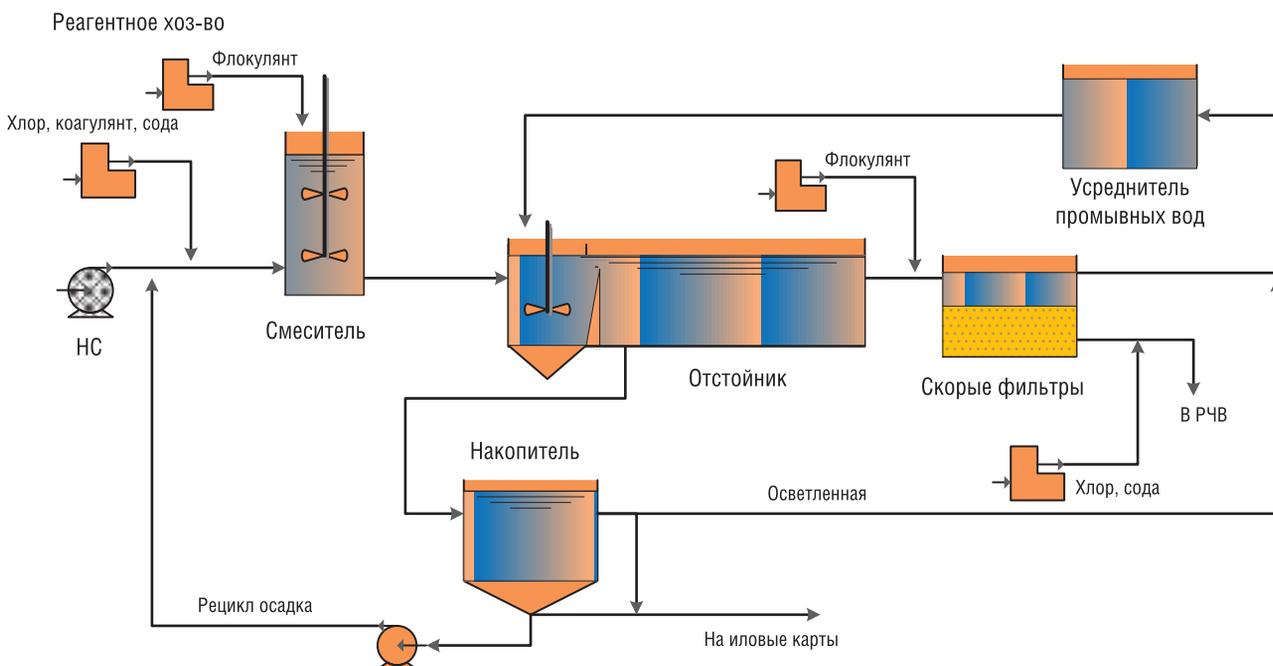
Кроме того, для постподщелачивания было предложено простое и экономичное решение по использованию дополнительной доломитовой загрузки в скорых фильтрах.

Также технические решения включали в себя создание системы аналитического контроля процесса очистки.

В результате новое строительство потребовалось только для обеспечения рециркуляции осадка отстойников в речную воду – строительство камеры на водоводах речной воды.

Принятая в проекте реконструкции технологическая схема представлена на рис. 1.

Рис. 1. Принципиальная схема ВОС-2 г. Северодвинска после реконструкции



По проведенной технико-экономической оценке, реализация предложенных решений примерно в 8 раз дешевле внедрения технологии, основанной на ультрафильтрационных мембранах. Однако, было необходимо доказать их практическую эффективность. Для этого в течение одного года было проведено несколько серий лабораторных и промышленных испытаний, которые подтвердили возможность обеспечения предложенным образом требуемого качества воды.

### РЕКОНСТРУКЦИЯ СМЕСИТЕЛЕЙ И КАМЕР ХЛОПЬЕОБРАЗОВАНИЯ

Для смешения речной воды с реагентами на ВОС-2 использовался двухсекционный гидравлический смеситель. Очевидно, что эффективность действия коагулянта зависит от скорости диспергирования его раствора в объеме и полноты диффузии. Гидравлический смеситель (точнее, его входная камера) недостаточно хорошо справлялась с задачей быстрого диспергирования коагулянта, что, в частности, было вызвано недогруженностью сооружений. Смеситель был модернизирован с установкой двух трехлопастных механических мешалок. На рис. 2 представлена схема левой секции смесителя после выполнения работ.

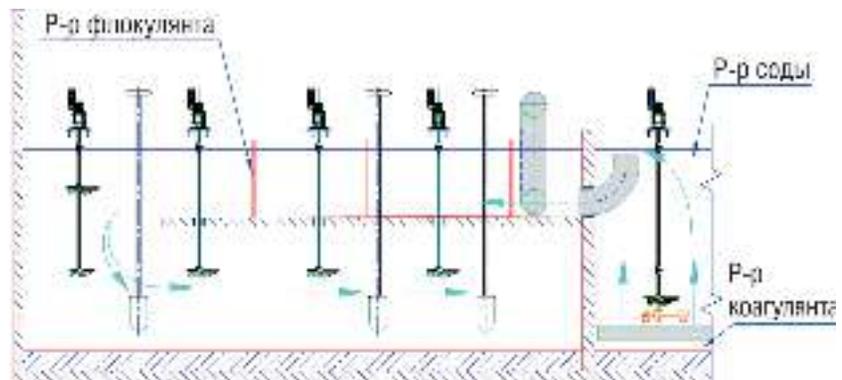
Смеситель и распределительная камера горизонтальных отстойников являются двухуровневым сооружением: коридорный перегородчатый смеситель расположен над распределительной камерой.

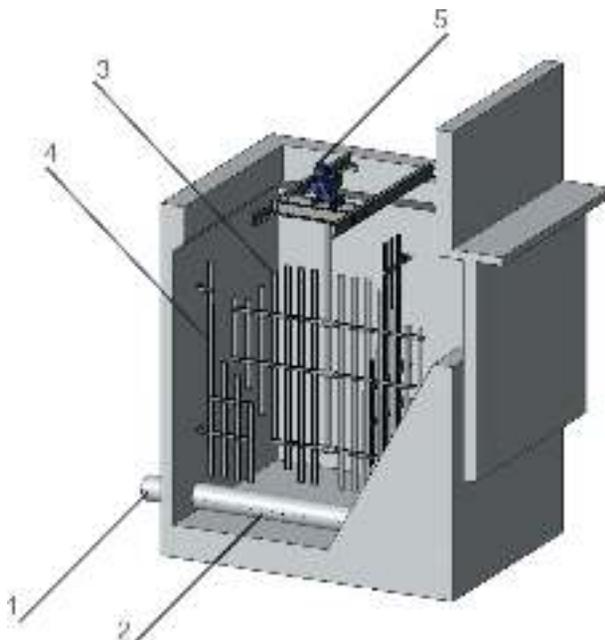
Время пребывания воды в смесителе составляет 14–20 мин, в зависимости от нагрузки на сооружения. Начальный участок зоны смешения, в котором установлены три перегородки-турбулизатора, остался без изменений, на последней из них закреплено распределительное устройство для ввода флокулянта. В связи с вводом флокулянта зона смешения удлинилась, но так как конструкция смесителя не рассчитана на такую технологическую задачу, то для обеспечения необходимой эффективности смешения флокулянта с водой на участке ее прохода из смесителя в распределительную камеру отстойников была предусмотрена дополнительная вертикальная механическая мешалка (на рис. 2 – крайняя слева). Эта мешалка на валу имеет два ряда лопастей в верхней и нижней части, обладающих разными гидравлическими характеристиками, что связано с различными функциональными задачами. В верхней части – это смешение флокулянта с водой, в нижней – создание оптимальных условий для прохождения процессов коагуляции и флокуляции, а также совместная работа с другими мешалками (см. далее).

В целях предотвращения осаждения сфлокулированной взвеси в распределительной камере отстойников ниже уровня входных отверстий в них (донных клапанов) в ней установлены еще три пропеллерные мешалки.

Все механические мешалки, кроме расположенной во входной камере, имеют возможность изменения частоты вращения

Рис. 2.  
СХЕМА МОДЕРНИЗАЦИИ  
СМЕСИТЕЛЯ ВОС-2  
(ЛЕВАЯ СЕКЦИЯ  
СМЕСИТЕЛЯ)





**Рис. 3.**  
**Реконструкция гидравлических камер**  
**хлопьеобразования в механические:**  
**1 – вход воды в КХО;**  
**2 – распределительная перфорированная труба;**  
**3 – рамная мешалка ЭМТ-1-304;**  
**4 – пристенный турбулизатор;**  
**5 – электропривод мешалки**

**Рис. 4.**  
**Мостик для установки мешалок камер**  
**хлопьеобразования**



за счет использования регулируемого привода. В периоды низкой цветности воды и достаточной температуры возможна работа секции смесителя только с двумя мешалками, но с максимальной скоростью их вращения. В периоды высокой цветности воды и низкой температуры необходимо запускать в работу все четыре мешалки, на самых низких оборотах, чтобы исключить разрушение образующихся хлопьев. В эти периоды мешалки поддерживают равномерную концентрацию взвеси во всем объеме распределительной камеры отстойников, что способствует более полной коагуляции при низкой температуре.

После смесителя вода поступает в камеру хлопьеобразования (КХО) горизонтального отстойника, где продолжают процессы коагуляции и ортокинетической флокуляции. Необходимая для агрегации частиц энергия привносится за счет установленной механической рамной мешалки (рис. 3). Размещение обычной вертикальной мешалки недостаточно эффективно вследствие конструктивных особенностей камеры, поэтому специалистами компании «Май Проект» была разработана специальная мешалка, работающая совместно со стационарными пристенными турбулизаторами, конструкция которой защищена патентом [1].

Мешалка подвешена на верхнюю балку без использования нижней опоры, что позволяет устанавливать ее в любые камеры хлопьеобразования независимо от конфигурации днища сооружения. Регулируемый привод мешалки позволяет настраивать скорость ее вращения в зависимости от свойств обрабатываемой воды и образующегося осадка с целью обеспечения максимально благоприятных условий для прохождения процесса флокуляции. Для монтажа и обслуживания мешалок вдоль камер хлопьеобразования проектом был предусмотрен мостик (рис. 4).

В сравнительном исследовании гидравлической и механической КХО показано технологическое преимущество последней в условиях низких температур обрабатываемой воды. Определено, что оптимальная радиальная скорость вращения мешалки камеры хлопьеобразования ВОС-2 г. Северодвинска

при низкой температуре воды должна быть около 0,36 м/с [2].

Использование перемешивающих устройств в камерах хлопьеобразования позволило до 50 % снизить грязевую нагрузку на фильтровальные сооружения, а, следовательно, и существенно уменьшить энергозатраты и расход очищенной воды на промывку скорых фильтров.

При использовании механических перемешивающих устройств снижается концентрация «контактной среды» в камеры хлопьеобразования, но результаты работы КХО показывают, что этот фактор не имеет решающего значения за счет того, что в камеру вносится дополнительная энергия, способствующая агрегации частиц.

Мешалки в КХО обеспечивают лучшее выделение растворенных в воде газов, в данном случае – углекислоты, что уменьшает последующую флотацию примесей в отстойниках.

Сброс осадка из отстойников происходит по повышению мутности отстоянной воды. Мутность воды контролируется с помощью автоматического многопоточного анализатора КИМ «Коагулянт-Осветлитель».

### РЕТЕХНОЛОГИЗАЦИЯ СКОРЫХ ФИЛЬТРОВ

После отстойников вода поступает на скорые фильтры, которые также были модернизированы. Ретехнологизация скорых фильтров заключалась в следующем. Вместо песчаной загрузки перешли на песчано-доломитовую, которая не только осветляет воду, но и подщелачивает ее, обеспечивая постепенное изменение величины рН от точки коагулирования органических примесей к точке минимальной растворимости соединений алюминия. Для загрузки фильтров применялся доломит, имеющий гидравлическую крупность, сопоставимую с гидравлической крупностью используемого песка, чтобы не происходило расслоения фильтрующих материалов.

Подщелачивание воды должно начинаться после удаления скоагулированных органи-

ческих частиц, но и не в последний момент (перед дренажной системой), поэтому для быстрого запуска фильтров в стабильную работу слой доломита высотой 400 мм укладывался в среднюю часть фильтрующей загрузки под слой песка в 300 мм. В процессе эксплуатации в течение двух месяцев произошло смешение фильтрующих материалов и равномерное распределение доломита в песчаной загрузке.

Кроме того, на входе в скорые фильтры были установлены индукционные расходомеры, которые позволяют равномерно нагружать фильтровальные сооружения, что также немаловажно для их эффективной эксплуатации.

Промывка скорых фильтров осуществляется при увеличении мутности фильтрата, значение которого контролируется с помощью многопоточного прибора КИМ «Коагулянт-Осветлитель». Прибор позволяет отслеживать в автоматическом режиме изменение мутности и рН фильтрованной воды и тем самым максимально увеличить продолжительность фильтроцикла скорых фильтров, следовательно, снизить потребление очищенной воды на выполнение промывок.

Измерение показателя рН отфильтрованной воды позволяет контролировать состояние фильтра и оценивать необходимость досыпки в него доломита. После первых лет эксплуатации необходима дозагрузка доломита в количестве 0,1–0,15 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>2</sup> площади фильтрующей загрузки, т.е.  $\frac{1}{4}$ – $\frac{1}{3}$  от изначально добавленного количества.

### Блок рециркуляции осадка

Еще одним элементом ретехнологизации сооружений очистки речной воды стало применение рециркуляции осадка. В связи с невозможностью достаточно стабильно забирать с этой целью осадок из горизонтальных отстойников было принято решение о создании внешнего контура рециркуляции. Контур рециркуляции состоит из двух накопителей осадка с линией отвода осветленной воды и линии подготовленного концентрированного осадка.



**Рис. 5.**  
**РАДИАЛЬНЫЕ НАКОПИТЕЛИ ОСАДКА ДЛЯ РЕЦИРКУЛЯЦИИ**

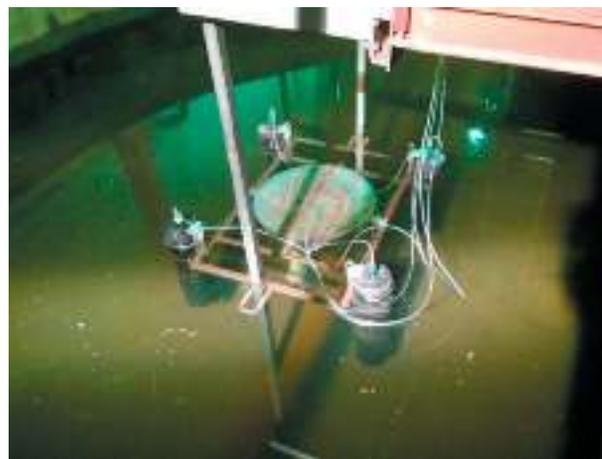
Накопители осадка представляют собой цилиндрические емкости диаметром 12 м (рис. 5), в которых размещено перемешивающее оборудование и устройство для отвода осветленной воды (рис. 6).

Концентрированный осадок подается в речную воду до ввода реагентов с помощью насосов, производительность которых зависит от расхода речной воды.

### **ПРИБОРЫ КОНТРОЛЯ И ДОЗИРУЮЩЕЕ ОБОРУДОВАНИЕ**

Модернизация коренным образом коснулась реагентного хозяйства и приборов контроля технологического процесса. Устаревшая схема подачи реагентов через насадки из баков с постоянным уровнем заменена на подачу с помощью дозирующих станций.

Доза коагулянта, определяемая по результатам пробной коагуляции (см. рис. 7), задается насосам-дозаторам дистанционно, через контроллер и панель управления, установленную в операторской, а дозирующие станции поддерживают необходимый расход в зависимости от расхода поступающей на очистку воды.



**Рис. 6.**  
**ДЕКАНТЕР ДЛЯ СБОРА ОСВЕЩЕННОЙ ВОДЫ  
В НАКОПИТЕЛЕ ОСАДКА**

Очищаемая на водопроводных очистных сооружениях г. Северодвинска вода имеет очень небольшой щелочной резерв (щелочность 0,3–1,2 мг-экв/л) и дрейфующую по реакции рН точку коагулирования (от 5,2 до 6,6), что значительно ограничивает возможность управления работой сооружений в ручном режиме. Для поддержания оптимальной величины рН предусмотрена установка автоматических дозирующих станций, управляемых контроллерным оборудованием в зависимости от показаний датчиков рН (рис. 8).

Положительное влияние автоматического дозирования реагентов на работу сооружений также связано с возможными скачками расхода воды, так как на одних водоводах расположены две гидравлически связанных водоочистных станции – две технологических линии на ВОС-2 и шесть линий на ВОС-1 г. Северодвинск.

Опробованное введение флокулянта на стадии хлопьеобразования дозой 0,1–0,2 мг/л и перед скорыми фильтрами дозой 0,05 мг/л оказало положительное влияние на содержание остаточного алюминия. В результате применения флокулянта перед отстойниками значительно увеличивается гидравлическая крупность образующегося осадка, и его можно более эффективно ис-



**Рис. 7.**  
**РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОБНОЙ КОАГУЛЯЦИИ. Слева направо: №№ 1-3 – БЕЗ ВВЕДЕНИЯ ОСАДКА, №№ 4-6 – С ВВЕДЕНИЕМ ОСАДКА**

пользовать в контуре рециркуляции, также снижается нагрузка на скорые фильтры. Применение флокулянта перед скорыми фильтрами позволяет получить надежные показатели по цветности, перманганатной окисляемости и содержанию остаточного алюминия. Необходимое количество раствора флокулянта дозируется в обрабатываемую воду в зависимости от расхода воды, поступающей на сооружения посредством автоматических дозирующих станций.

**Рис. 8.**  
**Дозирующие станции флокулянта**



Впоследствии обнаружилось наличие побочного эффекта для работы скорых фильтров от ввода флокулянта. Он заключался в более быстром росте гидравлического сопротивления фильтрующего материала и сокращении продолжительности фильтроцикла. Было принято решение использовать флокулянт на стадии фильтрования только в случае недостаточного осветления воды в отстойниках, в качестве экстренного временного мероприятия до стабилизации их работы.

### **РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ ВОДОПРОВОДНЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

Сооружения реконструировались и вводились в эксплуатацию поэтапно, в зависимости от готовности.

Согласно графику реконструкции водочистных сооружений, в I квартале 2015 г. была проведена перегрузка девяти скорых фильтров. В каждую секцию фильтров засыпано по 24 м<sup>3</sup> (400 мм) доломита, а также вводилось в эксплуатацию контрольно-измерительное оборудование непрерывного контроля pH и мутности после смесителей. Этот этап работы сооружений на рис. 8–11 показан красной линией.

С декабря 2015 г. запущено в эксплуатацию оборудование механического перемешивания смесителей и камер хлопьеобразования, оборудование приготовления и дозирования раствора флокулянта, дозирующие станции раствора соды и коагулянта, а также блок рециркуляции осадка. Этот этап реконструкции на сравнительных графиках показан зеленой линией.

Средние показатели качества воды на входе и после очистки за отдельные периоды представлены в табл. 1.

Качество речной воды по показателям цветность, остаточный алюминий и мутность в период с 2010 по 2017 гг. представлено на рис. 9–11. Как видно, в 2015–2017 гг. качество воды в водоисточнике несколько ухудшилось почти на всем протяжении года по сравнению с более ранним периодом. Среднегодовое увеличение цветности составило около 30 %. Если до реконструкции среднемесячная цветность воды была самой высокой в октябре – 191 град по платинокобальтовой шкале (ПКШ), то в 2015 г. этот показатель в августе составлял 242° ПКШ и 246° ПКШ в 2016–2017 гг. В октябре 2016 г. он также превышал 200° ПКШ.

Согласно представленным в табл. 1 и на рис. 9–11 данным, добавление доломита в загрузку скорых фильтров (красная линия – данные за 2015 г.) уже оказало существенное положительное влияние на все показатели очищенной воды, и особенно на концентрацию остаточного алюминия, растворимость которого при более высоком значении pH (в данном диапазоне) ниже. На

пример, в период осеннего паводка среднемесячное значение остаточного алюминия снизилось с 1,28 мг/л до 0,7 мг/л. Однако этот показатель превышал ПДК (0,5 мг/л).

После введения всего оборудования в эксплуатацию, то есть с января 2016 г., концентрация остаточного алюминия в очищенной воде еще снизились и уже стабильно удерживалась ниже нормативных требований. Повышение содержания алюминия выше 0,5 мг/л наблюдалось только в августе и октябре, когда проводились работы по техническому обслуживанию дозирующего оборудования растворов коагулянта и соды, и на некоторое время оно отключалось.

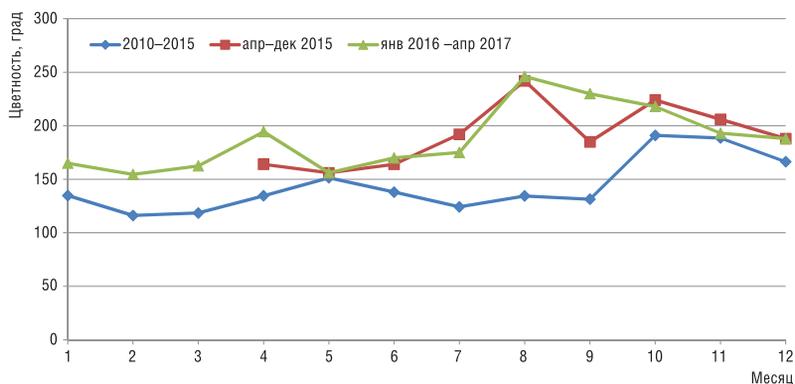
Ожидаемо, перегрузка скорых фильтров с добавлением доломита не повлияла на мутность очищаемой воды. После введения в эксплуатацию всего оборудования мутность очищенной воды снизилась значительно: с 1,2 мг/л (за период 2010–2015) до 0,6 мг/л (2016–2017), т.е. в 2 раза. Конечно, снижение мутности, прежде всего, связано с введением в воду флокулянта.

На рис. 12 представлена динамика изменения показателя перманганатная окисляемость за рассматриваемые периоды эксплуатации. Здесь также следует отметить снижение этого показателя, причем в среднем за период 2010–2015 годы он составлял 5,3 мгО/л, с превышением в летне-осенний период, а в 2016–2017 годы перманганатная окисляемость уже не превышала порога в 5 мгО/л, кроме указанного периода технического обслуживания нового оборудования, и в среднем за период составила 4,3 мгО/л.

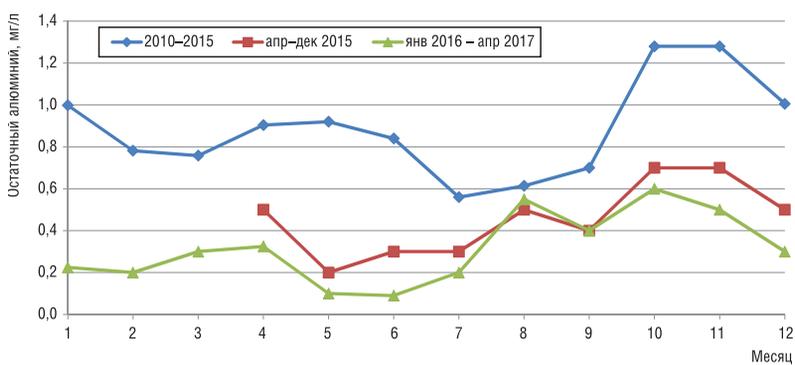
**Таблица 1.**  
**Качество речной воды и воды после очистки за характерные эксплуатационные периоды**

Период, годы	Показатели исходной воды					Показатели очищенной воды		
	цветность, град	мутность, мг/л	щелочность, мг-экв./л	pH	t, °C	мутность, мг/л	остаточный алюминий, мг/л	окисляемость перманганатная, мгО/л
2010–2015	144	2,00	0,49	7,0	6,2	1,2	0,89	5,3
2015	191	2,7	0,29	6,9	7,6	0,96	0,46	5,0
2016–2017	188	1,7	0,49	7,0	7,2	0,61	0,32	4,2

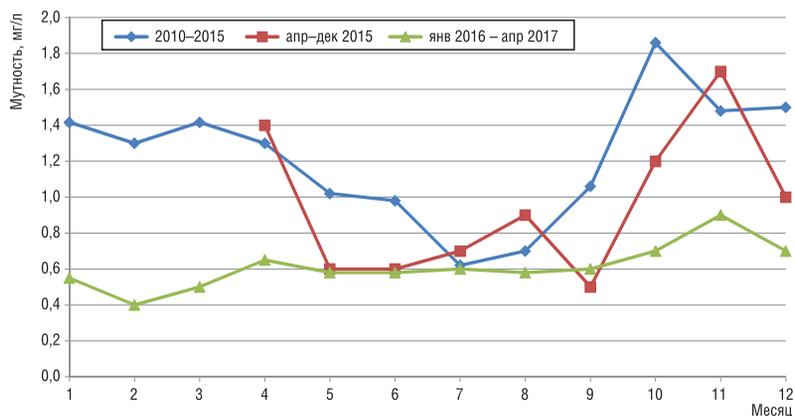
**Рис. 9.**  
СРЕДНЕМЕСЯЧНАЯ ЦВЕТНОСТЬ  
РЕЧНОЙ ВОДЫ, ПОСТУПАЮЩЕЙ  
НА СООРУЖЕНИЯ ВОС-2 Г.  
СЕВЕРОВДИНСКА С 2010 Г. ПО 2017 Г.



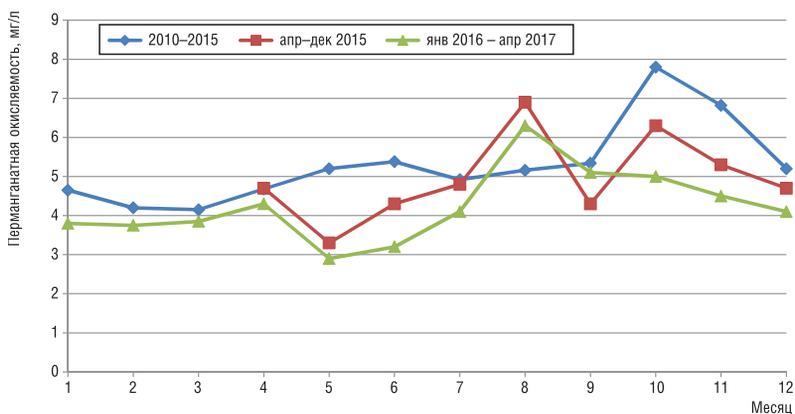
**Рис. 10.**  
СРЕДНЯЯ КОНЦЕНТРАЦИЯ  
ОСТАТОЧНОГО АЛЮМИНИЯ  
ПО МЕСЯЦАМ ГОДА И ТРЕМ  
ПЕРИОДАМ  
ЭКСПЛУАТАЦИИ СООРУЖЕНИЙ



**Рис. 11.**  
СРЕДНЯЯ МУТНОСТЬ ОЧИЩЕННОЙ  
ВОДЫ ПО МЕСЯЦАМ ГОДА И ТРЕМ  
ПЕРИОДАМ ЭКСПЛУАТАЦИИ  
СООРУЖЕНИЙ



**Рис. 12.**  
СРЕДНЯЯ ПЕРМАНГАНТНАЯ  
ОКИСЛЯЕМОСТЬ ОЧИЩЕННОЙ ВОДЫ  
ПО МЕСЯЦАМ ГОДА И ТРЕМ  
ПЕРИОДАМ  
ЭКСПЛУАТАЦИИ СООРУЖЕНИЙ



В наиболее сложный период работы сооружений – зимой, когда температура воды ниже 4 °С, и процесс коагуляции и хлопьеобразования идет вяло, а цветность поступающей воды еще повышенная, предусмотрена возможность подачи в «голову» сооружений предварительно накопленного осадка из отстойников. На рис. 7 представлены результаты пробной коагуляции, где в первых трех стаканах слева находится вода с добавлением растворов коагулянта, соды и флокулянта, а с 4-го по 6-й – с добавлением осадка после накопителей.

Отдельно была проведена сравнительная оценка влияния рециркуляции осадка на качество воды на действующих сооружениях. Одна половина сооружений работала, без рециркуляции осадка, а вторая – с рециркуляцией. Цветность воды в этот период составляла 185–195° ПКШ, температура воды –1,5 °С, щелочность – 0,38 мг-экв/л. Дозирование коагулянта в виде 7 % раствора сульфата алюминия выполнялось в зависимости от расхода поступающей на очистку воды в автоматическом режиме, доза коагулянта составляла 16 мг/л по  $Al_2O_3$ .

Дозирование раствора соды также происходило в автоматическом режиме по датчикам рН. При предварительно проведенной пробной коагуляции была определена оптимальная реакция рН для процесса очистки – 5,8 ед.

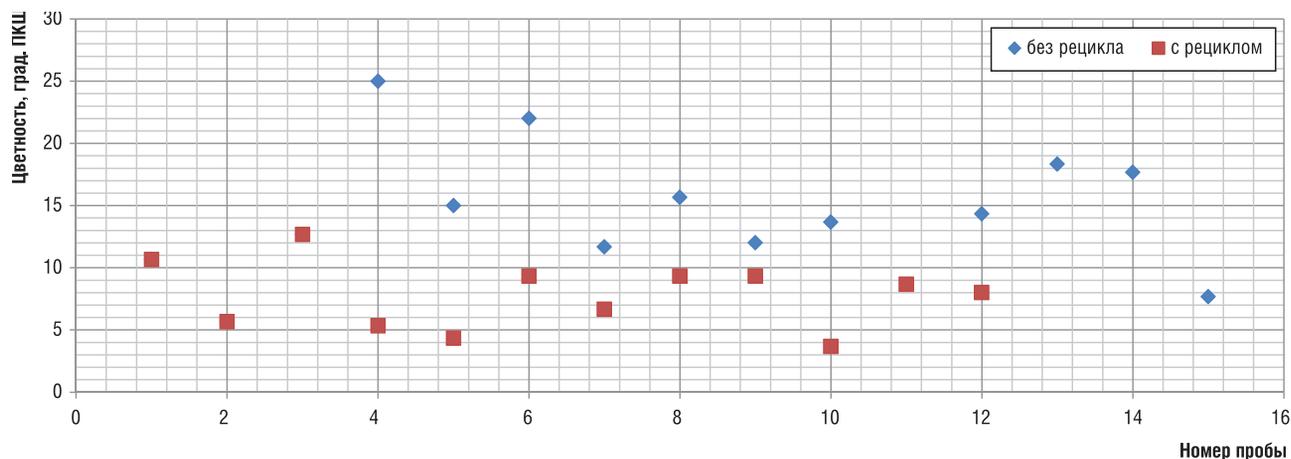
Осадок для рециркуляции вводится перед смесителем. Расход рециркулирующего осадка подбирался таким образом, чтобы мутность воды после смесителей повышалась с исходных 20–35 FNU до 100–130 FNU. Мутность воды смесителей в непрерывном режиме контролируется по приборам Ultraturb Nach.

На рис. 13 представлена динамика цветности обработанной воды с рециркуляцией осадка и без нее.

Среднее значение цветности воды за сравниваемый период после сооружений, работавших без рециркуляции осадка, составило 14° ПКШ, а после сооружений, работавших с рециркуляцией осадка – 7,8° ПКШ.

Содержание остаточного алюминия в воде после очистки с введением осадка в рецикл и без представлено на рис. 14.

**Рис. 13.**  
**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ СООРУЖЕНИЙ С РЕЦИРКУЛЯЦИЕЙ И БЕЗ РЕЦИРКУЛЯЦИИ ОСАДКА ПО ПОКАЗАТЕЛЮ «ЦВЕТНОСТЬ»**



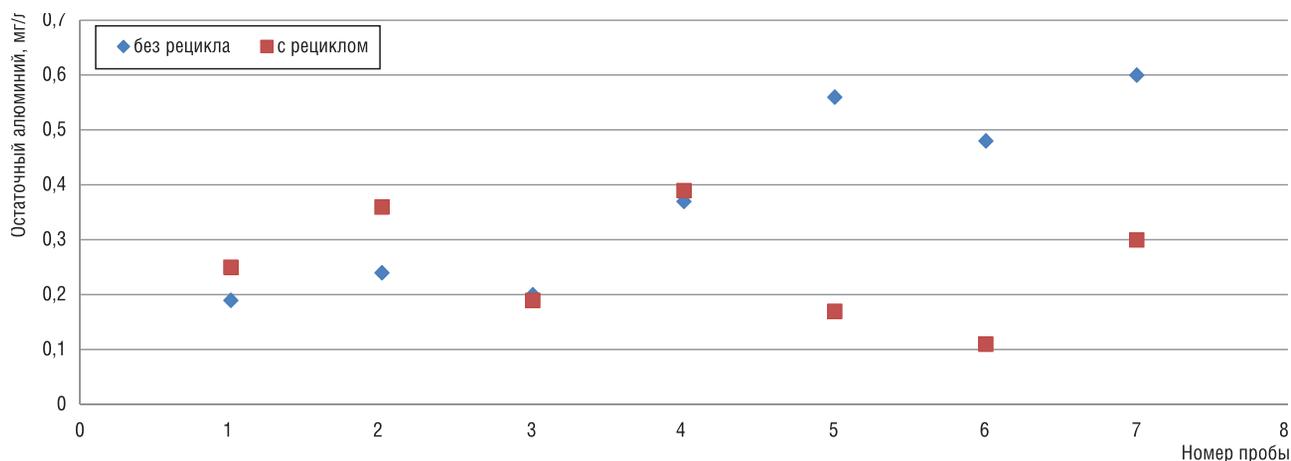


Рис. 14.

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ СООРУЖЕНИЙ С РЕЦИРКУЛЯЦИЕЙ И БЕЗ РЕЦИРКУЛЯЦИИ ОСАДКА ПО ОСТАТОЧНОМУ СОДЕРЖАНИЮ АЛЮМИНИЯ В ОЧИЩЕННОЙ ВОДЕ**

Остаточный алюминий также был выше на той части сооружений, которая работала без рецикла осадка, и составил в среднем 0,41 мг/л за серию, против линии с рециклом – 0,25 мг/л.

Рецикл осадка способствует интенсивной коагуляции коллоидных веществ природной воды и хлопьеобразованию, а осадок, формируемый после камер хлопьеобразования, имеет большую гидравлическую крупность.

## Выводы

В результате реконструкции водопроводных сооружений ВОС-2 г. Северодвинска была достигнута необходимая степень очистки по основным, наиболее критичным показателям – остаточному алюминию, окисляемости пермангантной и цветности.

Реконструкция сооружений выполнена с частичной ретехнологизацией технологического процесса работы отдельных сооружений, что позволило получить результат с минимальными капитальными вложениями и минимальным ростом эксплуатационных затрат.

Выполнена реконструкция реагентного хозяйства водопроводных сооружений, которая позволяет вести автоматическое

дозирование реагентов в зависимости от технологической необходимости.

Рециркуляция предварительно сконцентрированного осадка водопроводных сооружений дает возможность в периоды недостаточно эффективной коагуляции успешно справляться с очисткой цветной маломутной воды.

С завершающим этапом очистки воды успешно справляются скорые фильтры с песчано-доломитовой загрузкой, обеспечивая необходимую эффективность очистки воды по основным показателям.

Аппаратный контроль мутности воды после отстойников и фильтров, с проведением промывок или сброса осадка по этому показателю, способствует снижению потребления воды сооружениями на собственные нужды.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мешенгиссер Ю.М., Журба М.С., Пелых С.Н., Ульченко В.М. КАМЕРА ХЛОПЬЕОБРАЗОВАНИЯ // ПАТЕНТ RU 146147 U1, 4.03.2014
2. В.М. Ульченко, И.Ю. Бойко СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕХОДА ОТ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ КАМЕР ХЛОПЬЕОБРАЗОВАНИЯ К МЕХАНИЧЕСКИМ НА ВОС г. Северодвинска // НДТ № 5, 2016 г.

# Пути решения непростой задачи Реализации схем биологического удаления фосфора из сточных вод



АО «МАЙ ПРОЕКТ»

**ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ  
ОЧИСТКИ ВОД**

В отличие от процессов нитрификации и денитрификации технология биологического удаления фосфора мало изучена и пока не нашла широкого практического применения в мире. В статье рассмотрены теории механизмов биологического удаления фосфора, описаны условия протекания этого процесса, а также перечислены факторы воздействия. Также приведен практический опыт реализации биологического удаления фосфора из сточных вод на действующих очистных сооружениях канализации.

Основной причиной эвтрофикации водных объектов, является повышенное содержание биогенных элементов (в основном соединений азота и фосфора) в недостаточно очищенных сточных водах, направляемых в водный объект. Фосфор является более активным агентом (возбудителем) эвтрофикации, чем азот. К качеству очистки сточных вод от фосфора и его соединений следует предъявлять повышенные требования. Концентрация фосфора в водоеме более 0,001 мг/л уже вызывает эвтрофикацию. Величина допустимой концентрации фосфора в сточных водах зависит от фоновой концентрации фосфора и степени разбавления сточных вод в водоеме.

Основным источником фосфора в хозяйственно-бытовых сточных водах являются синтетические ПАВ (продукты бытовой химии). Концентрация фосфора в таких сточных водах может быть различной в зависимости от крупности населенного пункта. Большая часть фосфора находится в сточной воде в растворенном состоянии. Характерная концентрация общего фосфора в городских сточных водах – примерно 3-10 мг/л, в том числе доля ортофосфатов в их составе доходит до 60-70% общего фосфора.

Согласно современным российским нормативам, на очистных сооружениях канализации требуется обеспечить концентрацию фосфатов в очищенной сточной воде на уровне 0,05-0,2 мг/л в зависимости от категории водоприемника [Приказ агентства по рыболовству №16326 от 02.2010 г.]. Для стран Европы, согласно Директиве стран ЕЭС [Directive 91/271/ЕЕС. 1991], в очищенных сточных водах допускается содержание общего фосфора 1 и 2 мг/л, более высокие требования предъявляются к сооружениям большей производительности.

Среди различных методов очистки сточных вод биологическая очистка сточных вод в аэротенках является наиболее эффективной и экономически выгодной для

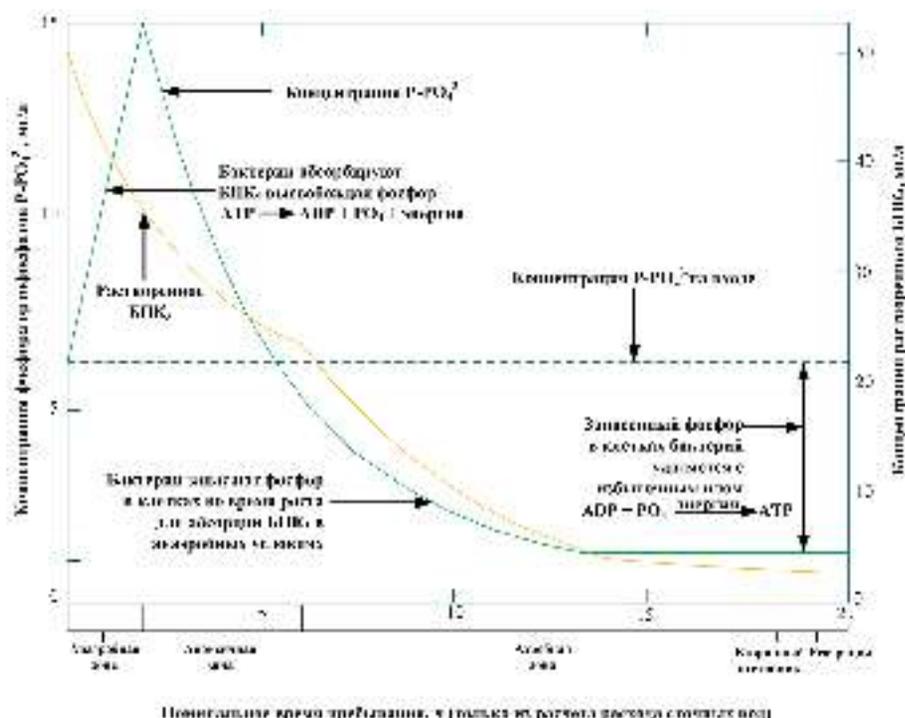


Рис. 1. Профиль изменения фосфатов при биологической очистке от фосфора

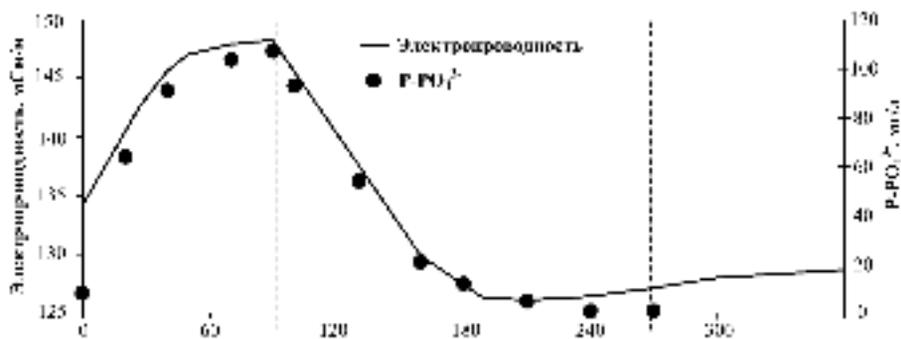
снижения содержания как органических соединений, так и соединений фосфора. Остаточное количество фосфора после обработки в аэротенках и вторичных отстойниках может быть удалено на скорых фильтрах с обработкой сточных вод химическими реагентами – солями алюминия и железа [Залетова, 2011; ATV-202, 2004]. Расходы реагентов лучше всего определять опытным путем.

Для проведения биологической очистки от соединений фосфора в сооружениях требуется организация зоны перемешивания с поддержкой в ней анаэробных условий (практически полное отсутствие растворенного или связанного кислорода). Процесс удаления фосфора

протекает в 2 ступени: увеличение ортофосфатов – фосфотация и поглощение органического вещества при анаэробных условиях, и последующее снижение ортофосфатов при аэробных условиях – дефосфотация (рис. 1) [Ruston, 2012].

Отсутствие растворенного кислорода в анаэробных условиях приводит к гидролизу запасенных ранее полифосфатов в клетке активного ила, в связи с чем наблюдается увеличение количества ортофосфатов и щелочноземельных металлов ( $Mg^{+2}$ ,  $Ca^{+2}$ ), что приводит к росту электропроводности [Plaza, 2010], понижению pH (рис. 2) [van Groenestijn, 1988; Schuler, 2002; Serafim, 2002].

Рис. 2. Изменение электропроводности при биологической очистке от фосфора



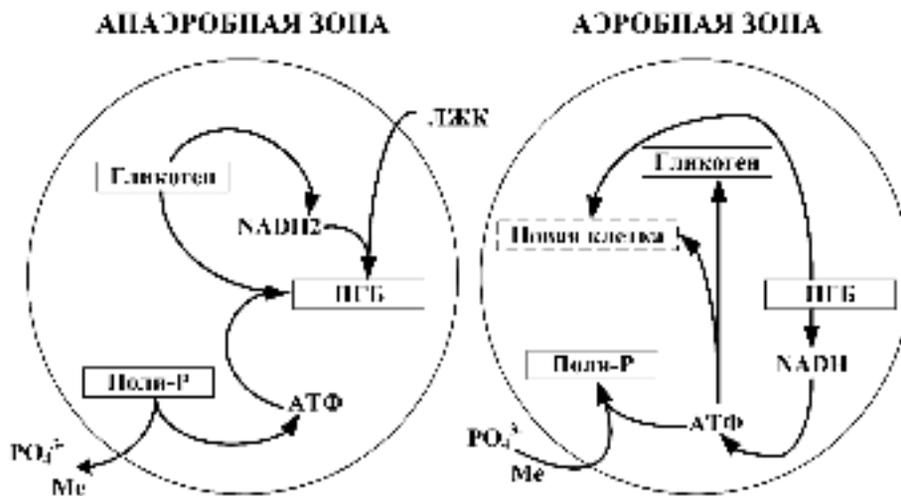


Рис. 3. СХЕМА МЕТАБОЛИЗМА ФОСФАТНАККУМУЛИРУЮЩИХ ОРГАНИЗМОВ (РАО)

При гидролизации полифосфатов выделяется энергия, которая накапливается в виде макроэнергетических связей в аденозинтрифосфатах (АТФ). При этом за счет этой же энергии идет активное поглощение органического вещества, и образование поли-бета-гидроксисубутирата (PHB) с помощью гликогена и летучих жирных кислот (ЛЖК) органического вещества [Kortstee, 1999]. После этого иловая смесь, поступая в аэробные условия, поглощает растворенные ортофосфаты с образованием полифосфатов, гликогена и новых клеток. PHB распадается до АТФ, а АТФ при этом расщепляется до аденозиндифосфат (ADP) с расщеплением одной макроэнергетической связи, за счет энергии которой происходит процесс поглощения ортофосфатов (запасание в полифосфаты), образование гликогена и размножение бактерий [Keasling, 2000]. Схематический вид обмена веществ при биологической очистке сточных вод от соединений фосфора представлен на рис. 3.

Следует заметить, что разница между аэробным и анаэробным метаболизмом состоит в соотношении образования АТФ к NADH2: это отношение на 40 % ниже при анаэробных условиях. Это объясняет низкую скорость роста гетеротрофных микроорганизмов при анаэробных условиях [van Haandel, 2012].

При попадании иловой смеси в зону аэрации происходит окисление оставшихся органических загрязнений, а также осущест-

вляется процесс нитрификации. Очищенные сточные воды попадают во вторичный отстойник с содержанием ортофосфатов, стремящихся к нулю, но условия вторичных отстойников могут вызвать повторное высвобождение соединений фосфора [Barnard, 2006].

Для более стабильного удаления соединений фосфора при биологической очистке в мировой практике используются разнообразные технологические схемы. К таковым относятся схема Лудзака-Эттингера (А/О) и Форедекс (Phoredox), схема Лудзака-Эттингера (модифицированная) (А2/О), Барденфо (Bardenpho), схемы Кейптаунского и Йоханнесбургского университетов (УСТ, JNB). Схемы приведены на рис. 4.

**Схемы Phoredox и А/О.** Схема Phoredox известна с 1976 года и состоит из двух зон – анаэробной и аэробной. В анаэробную зону подается приходящая сточная вода и возвратный ил из вторичного отстойника. Схема Phoredox используется в случаях, когда очистка от соединений азота не требуется, так как для этого необходим малый возраст ила. Схема Phoredox широко распространена в странах Европы и США с холодным климатом. В странах с умеренным и теплым климатом применение Phoredox'a ограничено, так как нитрификация не проходит до конца даже при малом возрасте ила. Присутствие нитратов в анаэробной зоне будет негативно

сказываться на первой ступени удаления фосфора (фосфотации) и снижать эффективность работы второй ступени процесса. Было доказано, что невозможно провести частичную нитрификацию по схеме Phoredox с возрастом ила равным 3 суток и при температуре 20°C.

Схема А/О имеет такую же конфигурацию зон, однако рассчитана на проведение нитрификации, денитрификации и удаление фосфора при большем возрасте ила, что достигается путем увеличения органического субстрата в приходящих сточных водах (хватает на удаление азота и фосфора). [van Haandel, 2012]. Обе схемы подвержены изменению нацеленности очистки в сторону

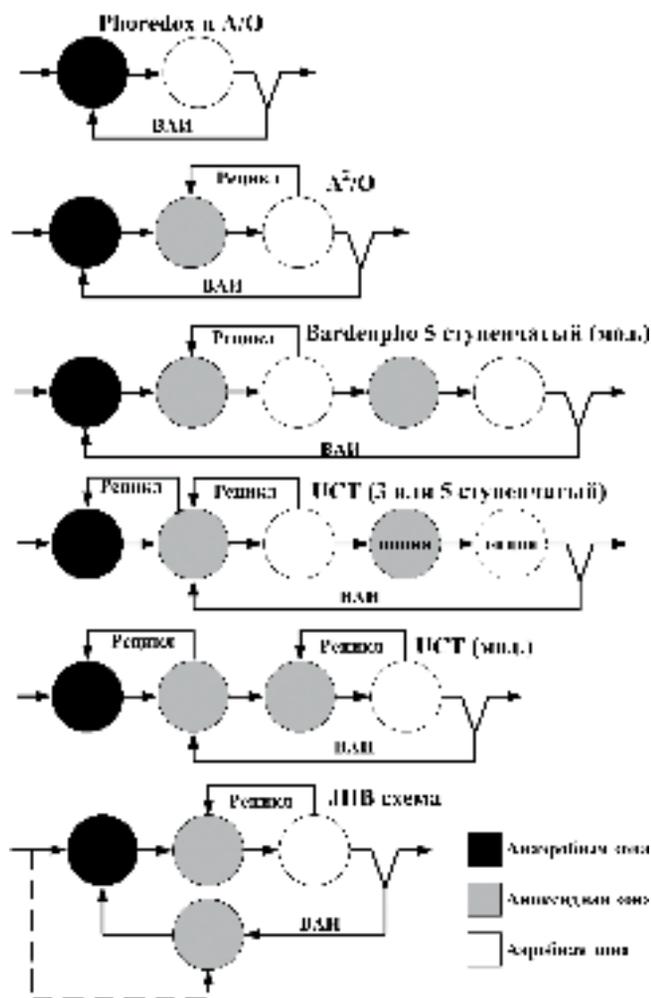
денитрификации при высоких нагрузках по азоту: когда возвратный ил содержит большое количество нитратов, а органического вещества недостаточно для процесса удаления азота и фосфора одновременно.

**Схемы А2/О и Bardenpho.** Bardenpho и А2/О являются модернизированными схемами Phoredox и А/О, и в отличие от них содержат выделенную аноксидную и анаэробную зоны, а также рецикл иловой смеси из конца аэробной зоны в аноксидную для организации процесса денитрификации. Аноксидная зона устраняет проблему поступления нитратов в анаэробную зону. В анаэробную зону поступают сточные воды и возвратный ил из вторичного отстойника. Схема А2/О рассчитана на низкую и среднюю нагрузку по аммонийному азоту. При высоких нагрузках по аммонийному азоту используется схема Bardenpho, которая по сути является схемой А2/О дополненной еще одной аноксидной и аэробной зонами.

**Схема Кейптаунского университета (УСТ)** известна с 1980 года, отличается от предыдущих схем тем, что негативное воздействие нитратов на фосфотацию исключено путем организации рецикла из аноксидной зоны в анаэробную (позволяет исключить негативное влияние нитратов, содержащихся в возвратном иле). Также особенностью данной технологии является организация двух рециклов – из аэробной зоны в аноксидную и из аноксидной в анаэробную зону, а также подача возвратного ила в первую анаэробную зону. Схема рассчитана на низкую и среднюю нагрузку по аммонийному азоту. При высоких нагрузках по аммонийному азоту схема доукомплектовывается еще одной аноксидной и аэробной зонами по аналогии со схемой Bardenpho.

Модифицированная УСТ схема была разработана для сточных вод с высокими нагрузками по аммонийному азоту и недостаточным органическим субстратом: после анаэробной зоны иловая смесь попадает в аноксидную зону, куда подается возвратный ил, содержащий нитраты; из конца аноксидной зоны организовывается рецикл в анаэробную зону; после этого иловая смесь продолжает пребывать в аноксидной зоне, куда подается рецикл

Рис. 4. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТЫ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ



из конца аэробной зоны (богатый нитратами); в конечном счете, иловая смесь поступает в аэробную зону, где протекает процесс нитрификации. Следует учесть, что эта схема разработана для глубокого удаления соединений фосфора, органических загрязнений и аммонийного азота.

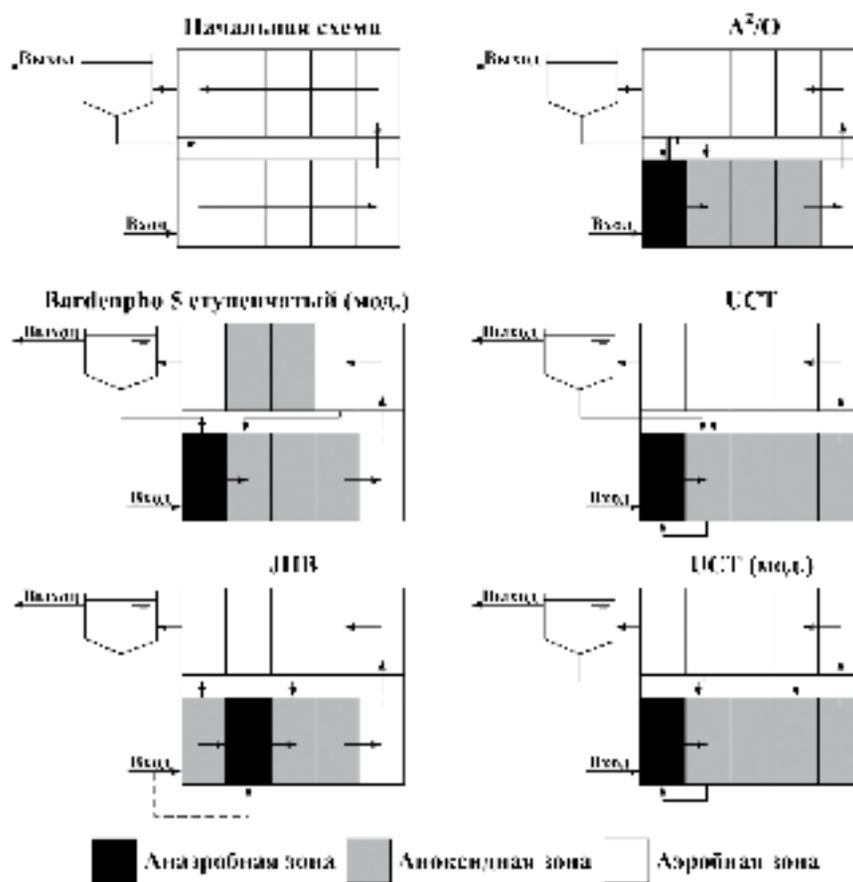
Недостатком данной схемы является то, что вторая аноксидная зона в целом перегружена по нитратам, вследствие чего требуется больший ее объем. Если объем аноксидной зоны не будет увеличен, то возрастет концентрация нитратов в иловой смеси на выходе из аэротенков [Стрельцов, 2012].

**Схема Йоханнесбургского университета (JNB)** представляет собой модификацию A2/O: отличие в том, что перед анаэробной зоной добавлена аноксидная зона, куда подается возвратный ил с целью снижения нитратов путем денитрификации. Также в эту аноксидную зону может частично подаваться поступающая сточная вода (при нехватке органического вещества). Эта технологическая схема обычно применяется при низких и средних нагрузках по аммонийному азоту, когда требования к очистке сточных вод от нитратов не строгие.

При высоких нагрузках по азоту, когда в возвратном иле много нитратов, проходит

**Таблица 1. Сравнение различных схем биологического удаления соединений фосфора**

№ п/п	Схемы	Преимущества	Недостатки
1	Phoredox и A/O	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Простая в работе и органическая низкая стоимость схем;</li> <li>• Небольшое время пребывания;</li> <li>• Возможно одновременное удаление азота и фосфора.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Органическая схема для удаления соединений азота до определенных концентраций;</li> <li>• Эффективнее работает при холодном климате.</li> </ul>
2	A2/O	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Эффективная денитрификация;</li> <li>• Малый возраст ил;</li> <li>• Возможно одновременное удаление азота и фосфора.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Может непроизвольно работать (при рециркуляции нитратов);</li> <li>• Неполная денитрификация;</li> <li>• Простая в работе и органическая стоимость схем;</li> <li>• Есть тенденция к возникновению «вспухания» и/или повышению илового индекса при несоблюдении возраст ил;</li> <li>• Излишнее пенообразование при высоких дозах ил (более 3,5 г/л) и возраст ил.</li> </ul>
3	Bardenpho (мод.)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Эффективная схема для удаления соединений азота.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• При рециркуляции нитратов, эффективность фосфотации падает.</li> </ul>
4	UCT	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Предотвращена рециркуляция нитратов.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Неэффективное использование зоны денитрификации.</li> </ul>
5	UCT (мод.)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Обеспечивает отсутствие нитратов в аэробной зоне.</li> <li>• Возможно одновременное удаление азота и фосфора.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Неэффективное использование зоны денитрификации (более чем при UCT).</li> </ul>
6	ЛНВ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Эффективное использование зоны денитрификации.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Неполная денитрификация при недостатке органики.</li> </ul>



**Рис. 5.**  
**ВАРИАНТЫ ГИБКОГО**  
**ИЗМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИ-**  
**ЧЕСКОЙ СХЕМЫ РАБОТЫ**  
**АЭРОТЕНКА**

недостаточная работа денитрификации в аноксидной зоне, что влечет превращение следующей за ней анаэробную зону в аноксидную и как следствие превращение JHB в A/O с дополнительным внутренним рециклом. С целью соблюдения технологического режима работы схемы предусмотрена дополнительная подача сточной воды в аноксидную зону для подпитки денитрификации органическим веществом.

В таблице 1 приведены достоинства и недостатки каждой из перечисленных схем.

Анализ представленных технологических схем удаления соединений фосфора показал их схожесть: по сути, базисная схема A/O может быть модернизирована до любой из рассматриваемых схем. На рис. 6 представлены варианты гибкого изменения технологической схемы работы 2х коридорного аэротенка со средним каналом. Для удобства представления

каждый коридор аэротенка разбит на 5 ячеек, что дает возможность организации в каждой из ячеек необходимых условий (анаэробная, аноксидная, аэробная зона).

Специалисты компании «Экополимер» одни из первых на рынке ВКХ стран СНГ начали внедрять схемы нитриденитрификации (НДН) и биологического удаления фосфора (БУФ). Для решения задачи выбора необходимой технологической схемы НДН при минимальных капитальных затратах была разработана компьютерная программа «ЭкоСим» (на базе известных международных математических моделей ASM), в основе которой лежит принцип разбиения аэротенка на ячейки. Аэротенк представляется в виде отдельных реакторов, в каждый из которых можно подать и отобрать любое количество потоков сточных вод, иловой смеси или сгущенного активного ила после вторичного

отстойника. Реакторы в гидравлической модели описываются как аппараты идеального перемешивания. Количество реакторов и их объем выбираются такими же, как и количество и объем участков аэротенка, имеющих самостоятельные подводы воздуха, расход которого можно регулировать [Щетинин, 2001].

Для описания биохимических процессов в каждом реакторе проанализированы различные варианты моделей ASM применительно к наиболее полной и объективной оценке жизнедеятельности активного ила в различных ситуациях. Были рассмотрены модели: ASM1, ASM2, ASM2d, ASM3, ASM3+БИО-Р и другие. По результатам расчетов и проверке их на реальных объектах наилучшую сходимость на сегодняшний день показала модель ASM3+БИО-Р. В то же время в конкретной ситуации более адекватной может оказаться другая модель, поэтому программа «ЭкоСим» позволяет работать с любыми известными моделями активного ила [Щетинин, 2010].

Руководствуясь опытом компании «Экополимер», можно сказать, что наиболее эффективной схемой НДН и в большей степени БУФ являются схемы № 1, 2, 4, 5 (таблица 1). Из перечисленных схем наиболее просто реализуемыми являются схемы А/О, А2/О.

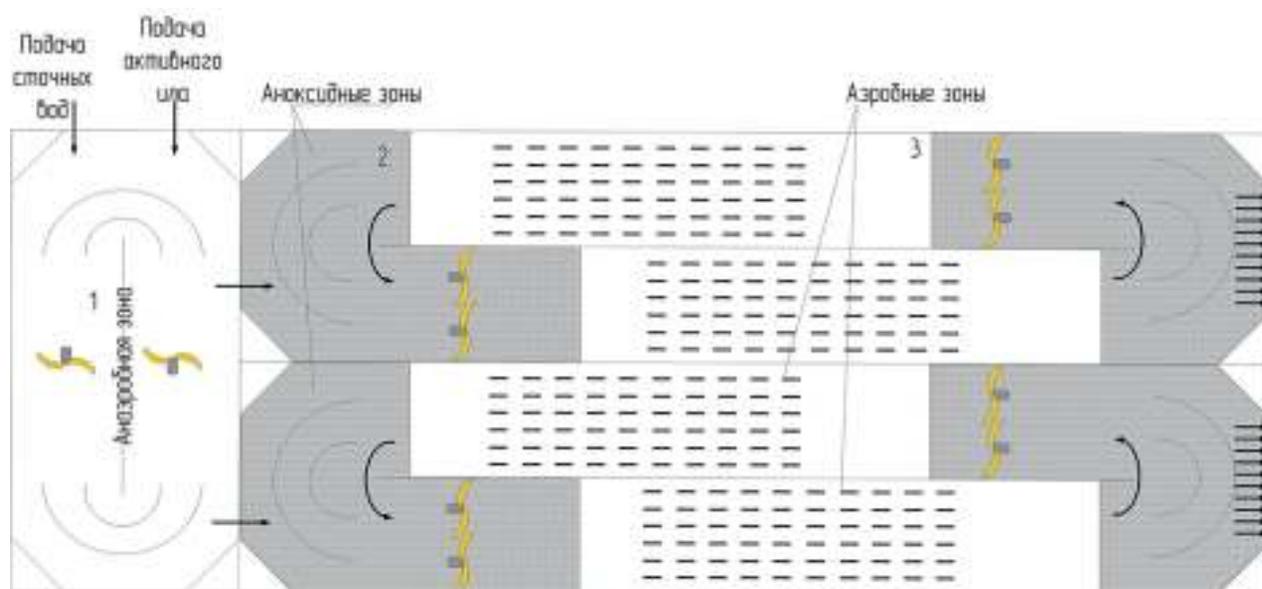
Для рассмотрения эффективности биологического удаления фосфора приведены практические примеры результатов пусконаладочных работ после реконструкции биологической очистки (аэротенков) на сооружениях г. Киева и г. Вологды.

На ОСК г. Киева (Бортническая станция аэрации) в 2010-2011 гг. была проведена реконструкция сооружений биологической очистки третьей очереди. Типовые четырехкоридорные аэротенки были реконструированы в аэротенки карусельного типа. Комплекс инженерных работ и поставка оборудования проводились за счет гранта датского правительства и реализовывались датской фирмой, строительно-монтажные работы выполнялись местной подрядной организацией.

Специалистами компании «Экополимер» выполнялись пусконаладочные работы сооружений биологической очистки с удалением биогенных элементов в период апреля-июля 2011 года. В ходе пусконаладочных работ аэротенков №17-18 были достигнуты стабильные показатели качества очистки сточных вод от соединений фосфора по схеме, представленные на рис. 6.

Технологически аэротенк разделен на 3 части и представляет схему А2/О:

**Рис. 6. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА АЭРОТЕНКОВ №17-18**



1. Анаэробный селектор «карусельного типа».
2. Аноксидные зоны аэротенков.
3. Аэробные зоны аэротенков.

Технологическая схема работы аэротенка, разработанная датской инжиниринговой компанией, должна работать в автоматизированном режиме. Сточная вода совместно с возвратным активным илом подается в анаэробный селектор, где проходит процесс фосфотации (первая ступень БУФ). После этого иловая смесь поступает в двухкоридорные аэротенки «карусельного типа», где чередуются аноксидные и аэробные зоны.

На начальном этапе пусконаладочных работ данные химико-аналитического контроля на протяжении четырех месяцев наблюдений свидетельствовали о стабильно возрастающей нитрификации при практически отсутствующей денитрификации и БУФ. В период начала пусконаладочных работ (март-апрель 2011 г.) содержание растворенного кислорода в зоне аэрации (аэробная зона) находилось в диапазоне 4-6 мг/л, уровень органики был относительно постоянным (ХПК=400-500 мг/л, БПК5=300-350 мг/л), при этом наблюдалась глубокая нитрификация и малоэффективное удаление фосфора и нитратов. После корректировки и перераспределения кислородного режима в аэротенках концентрация растворенного кислорода в отдельных зонах была снижена до 1,5-2,0 мг/л. В результате такого воздействия отмечена динамика в сторону незначительного уменьшения процесса нитрификации, эффективность удаления соединений фосфора и нитратов значительно повысилась (таблица 2).

**Таблица 2. Фактические показатели на выходе из аэротенков №17, 18**

Показатели	Концентрация веществ в аэротенке №17, мг/л		Концентрация веществ в аэротенке №18, мг/л	
	Вход	Выход	Вход	Выход
NH4	18,5	0,5	19,4	0,95
NO2	0	0,24	0	0,2
NO3	0	9,52	0	16,87
БПК5	320	17	320	24
PO4 (P)	26,8 (8,74)	1,48 (0,96)	33,8 (11,02)	0,66 (0,22)

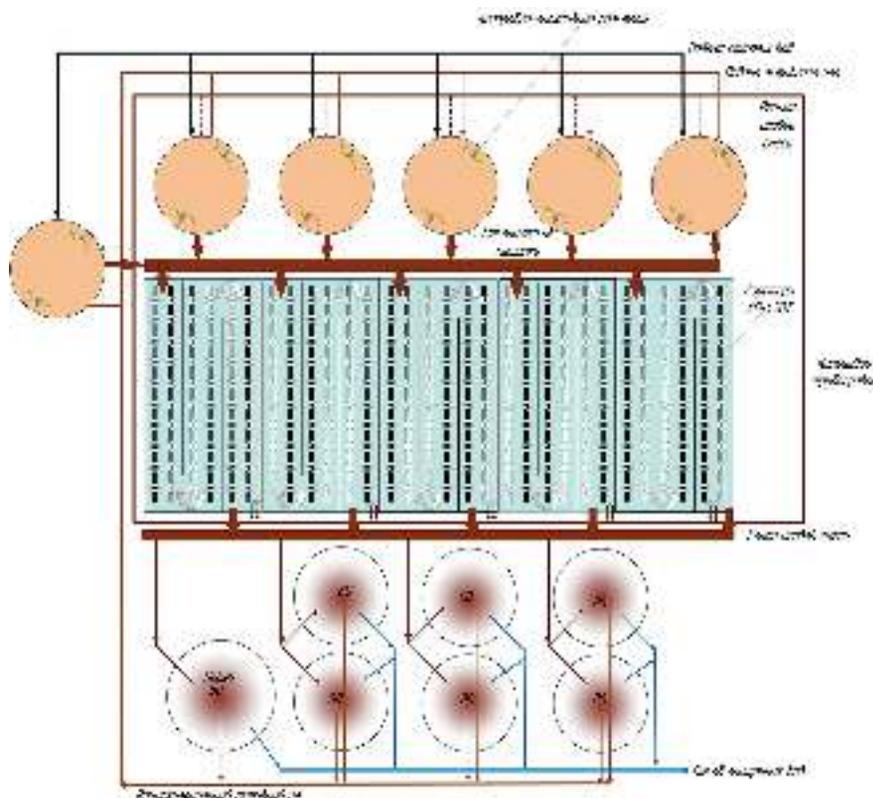
На протяжении пусконаладочных работ возникали проблемы, которые были вызваны незавершенными строительно-монтажными работами, что усложняло проведение работ и получение стабильного процесса очистки сточных вод. С 30 июня по 20 июля был установлен проектный технологический режим, результаты работы которого удовлетворяли требованиям очистки (таблица 3).

**Таблица 3. Работа аэротенков в сравнении с нормами**

Показатель, мг/л	ПДК, мг/л	Аэротенк №17	Аэротенк №18
Общий N	8,0	2,6	4,6
NH4	1,0	0,5	0,95
PO4	3,0	1,48	0,66
NO2	3,0	0,24	0,2
NO3	25,0	9,52	16,87

Полученные данные свидетельствуют о возможности одновременного удаления соединений азота и фосфора в ходе биологической очистки. Однако осуществление данных процессов требует тщательного анализа исходных данных и технологического контроля за работой системы биологической очистки. На Бортнической станции аэрации за период ПНР наблюдались технико-технологические неполадки в работе сооружений биологической очистки (неравномерная подача воздуха, проблемы с гидравлической нагрузкой на систему, отсутствие возможности поддержания необходимой массовой дозы ила в системе), а также незавершенные работы по реализации АСУ ТП сооружений биологической очистки. Поэтому аэротенки №17,18 в период ПНР управлялись в ручном режиме. Проблемы, возникшие в ходе наладки, выявили слабые стороны процесса биологического удаления фосфора: необходимость соблюдения четкого технологического режима работы сооружений, а также постоянный мониторинг состояния очистки.

На ОСК г. Вологда в 2011-2012 гг. была проведена реконструкция сооружений биологической очистки. Генеральным подрядчиком выполнения всего комплекса работ выступила



**Рис. 7. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ОСК г. Вологды**

компания «Экополимер». Работы проводились за счет гранта Европейского банка реконструкции и развития (ЕБРР). В соответствии с проектом реконструкции первичные отстойники были переоборудованы под резервуары перемешивания. Для реализации нитратного рецикла иловой смеси из конца аэротенков в резервуары перемешивания был применен кольцевой трубопровод с погружными насосами в каждом аэротенке.

Технологическая схема биологической очистки состоит из резервуаров перемешивания (РП), аэротенков-нитритаторов (А) и кольцевого трубопровода нитратного рецикла иловой смеси (КТ) (рис. 7).

В РП поступают сточные воды, возвратный ил и иловая смесь по КТ из конца А. Кольцевой трубопровод является универсальным средством рециркуляции, который позволяет эксплуатировать РП в нескольких режимах с превалирующим процессом очистки:

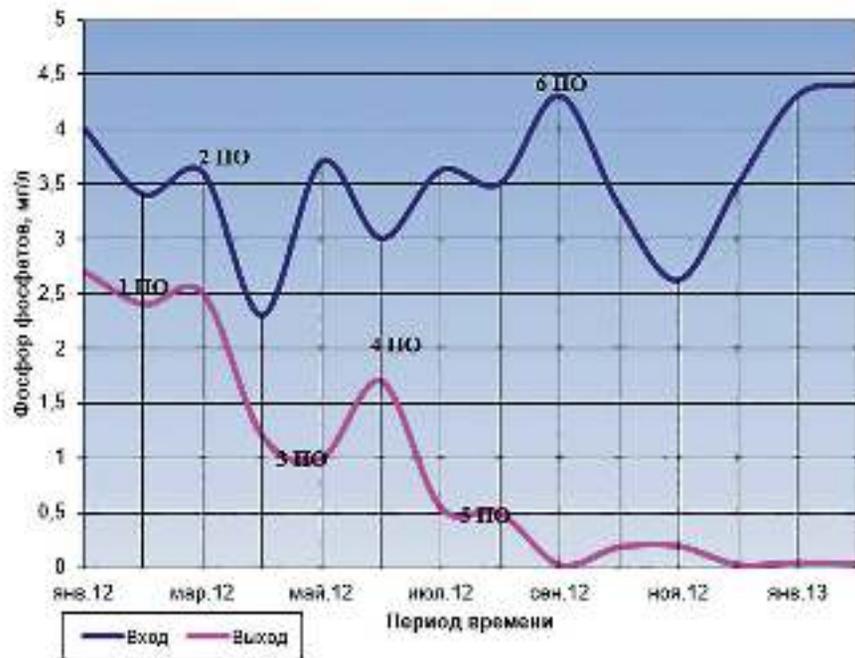
- в режиме анаэробно-аноксидного реактора: подача сточной воды, иловой смеси, возвратного ила – процесс денитрификации и БУФ;

- в режиме анаэробного селектора: подача сточной воды и возвратного ила – БУФ;
- в режиме денитрификатора: подача сточной воды, иловой смеси – процесс денитрификации.

По сути, РП являются универсальным резервуаром, который в зависимости от необходимости может работать как аноксидная и/или анаэробная зона.

В отличие от Бортнической станции аэрации, на ОСК г. Вологды после проведенной реконструкции сооружений технико-технологические неполадки были сведены к минимуму. При пусконаладочных работах биологической очистки были достигнуты проектные показатели по соединениям азота, а также были получены стабильные показатели качества очистки сточных вод от соединений фосфора (контрольный период – 6 мес.).

В течение 2012 года проводилась поэтапная реконструкция ОСК г. Вологды с реконструкцией существующих первичных отстойников в анаэробно-аноксидные реакторы: реконструкция каждого отстойника



**Рис. 8. Среднемесячные показатели очистки сточных вод от фосфора**

способствовала увеличению эффективности очистки сточных вод от фосфора и нитратов (рис. 8).

В середине июня 2012 года было реконструировано 3 из 6 отстойников, что, как видно из рис. 8, привело к коренным изменениям качества очистки по фосфору.

В реализованной технологии биологической очистки поглощенный внутриклеточный фосфор выводится вместе с избыточным активным илом в илоуплотнители, а затем

обезвоживается на фильтр-прессах. При обезвоживании ила в бескислородных условиях концентрация фосфора в надилловой воде частично увеличивается. Увеличение числа фосфатов за счет возвратных потоков было предусмотрено при составлении материального баланса сооружений. С 1.10.2012 г. по 1.02.2013 г. были выполнены пусконаладочные работы, что позволило повысить качество очистки сточных вод до требований проекта (таблица 4).

**Таблица 4. Средние показатели работы аэротенков в сравнении с нормами**

№	Наименование показателя, мг/л	ПДК, мг/л	Фактические данные		
			Проектные данные	Фактические данные	
			Поступающие стоки	Поступающие стоки	Очищенные стоки
1	ХПК	Не норм.	260	513,86	35,44
2	БПК5	15	200	252,3	11,41
3	Взвешенные вещества	15	180	258	13,69
4	Аммоний-ион	0,5	27	48,07	0,4
5	Нитриты	0,12	0,15	0,14	0,085
6	Нитраты	40,0	3,96	0,73	36,52
7	Фосфаты	3,41	4,5	3,75	0,17

### Выводы

Современные нормы качества очистки сточных вод ставят перед отечественными сооружениями непростую задачу глубокого удаления фосфора. Опыт компании «Экополимер» доказывает, что на ОСК возможна реализация БУФ с эффективностью до 99%. Данные процессы могут носить как длительный, так и периодический характер на различных со-

оружениях. Для организации эффективного процесса удаления фосфора принципиально важным является правильный выбор технологической схемы обработки сточных вод, а также режим эксплуатации сооружений.

**Александр Смирнов, инженер технологического отдела; Михаил Есин, начальник технологического отдела. ГК «Экополимер».**

### ЛИТЕРАТУРА

1. Приказ агентства по рыболовству №16326 от 02.2010 г. «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения», Москва.
2. DIRECTIVE 91/271/EEC от 21 мая 1991 г.
3. Залётова Н. А. Особенности химического удаления фосфора при биологической очистке сточных вод. Жур. «Водоснабжение и санитарная техника» №11, 2011. с. 40-46.
4. STANDART ATV-DVWK-A 202E "CHEMICAL-PHYSICAL METHODS FOR THE REMOVAL OF PHOSPHORUS FROM WASTEWATER", APRIL 2004.
5. G. RUSTON, C. FORT. ENGINEERING CONSIDERATIONS FOR PHOSPHORUS REMOVAL: IWEA O&M SEMINAR, JUNE 6, 2012.
6. E. PLAZA, E. LEVLIN. CONDUCTIVITY MEASUREMENTS FOR CONTROLLING MUNICIPAL WASTEWATER TREATMENT: RESEARCH AND APPLICATION OF NEW TECHNOLOGIES IN WASTEWATER TREATMENT AND MUNICIPAL SOLID WASTE DISPOSAL IN UKRAINE, SWEDEN AND POLAND: PROCEEDINGS OF A POLISH-SWEDISH-UKRAINIAN SEMINAR, NOVEMBER 23-24, 2007. PUBL. YEAR 2010, JOINT POLISH - SWEDISH REPORTS, PP. 51-62
7. J. W. VAN GROENESTIJN, G. J. F. M. VLEKKE AND OTHER. ROLE OF CATIONS IN ACCUMULATION AND RELEASE OF PHOSPHATE BY ACINOTOBACTER STRAIN 210A. APPLIED AND ENVIRONMENTAL MICROBIOLOGY VOL. 54 № 12, PP. 2894-2901, 1988.
8. A. J. SCHULER, D. JENKINS. EFFECTS OF pH ON ENHANCED BIOLOGICAL PHOSPHORUS REMOVAL METABOLISMS. WATER SCIENCE AND TECHNOLOGY VOL. 46 № 4-5, PP. 171-178: IWA PUBLISHING, 2002.
9. L. S. SERAFIM, P. C. LEMOS, M. A. M. REIS. EFFECTS OF pH ON EBPR STABILITY AND EFFICIENCY. WATER SCIENCE AND TECHNOLOGY VOL. 46 № 4-5, PP. 179-184: IWA PUBLISHING, 2002.
10. G. J. J. KORTSTEE, K. J. APPELDOORN AND OTHER. RECENT DEVELOPMENTS IN THE BIOCHEMISTRY AND ECOLOGY OF ENHANCED BIOLOGICAL PHOSPHORUS REMOVAL (REVIEW): BIOPROT NETWORK, DECEMBER 27, 1999.
11. J. D. KEASLING, APPLICATION OF POLYPHOSPHATE METABOLISM TO ENVIRONMENTAL AND BIOTECHNOLOGICAL PROBLEMS. BIOCHEMISTRY VOL. 65 № 3, 2000, PP. 324-331
12. A.C. VAN HAANDEL, J. G. M. VAN DER LUBBE. HANDBOOK OF BIOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT: DESIGN AND OPTIMIZATION OF ACTIVATED SLUDGE SYSTEMS. 2012, P. 770
13. J.L. BARNARD. BIOLOGICAL NUTRIENT REMOVAL: WHERE WE HAVE BEEN, WHERE WE ARE GOING? WEFTEC, 2006, PP. 1-22.
14. Стрельцов С.А. Внедрение модернизированных технологий удаления биогенных элементов на очистных сооружениях г. Москвы. Жур. «Водоснабжение и санитарная техника» №10, 2012. с. 34-42.
15. Щетинин А. И. Особенности моделирования процессов биологической очистки при помощи имитационной программы «ЭкоСим» // Сб. докладов «ЭТЭВК-2001». Ялта, 2001.
16. Щетинин А. И., Есин М. А., Реготун А.А. Моделирование биохимических процессов очистки сточных вод как основа ретехнологизации сооружений. Жур. «Водоснабжение и санитарная техника» №11, 2010. с. 60-69.

# Ретехнологизация аэротенков для достижения глубокого удаления биогенных элементов: опыт очистных сооружений г. Набережные Челны



АО «МАЙ ПРОЕКТ»

**ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ  
ОЧИСТКИ ВОД**

**А.А. Родионов<sup>1</sup>,  
Л.П. Озерова<sup>2</sup>,  
М.А. Есин<sup>3</sup>,  
А.В. Смирнов<sup>4</sup>,  
А. Н. Соколов<sup>5</sup>**

Производство районных очистных сооружений (ПРОС) ЗАО «ЧЕЛНЫВОДОКАНАЛ» предназначено для полной биологической очистки бытовых и производственных сточных вод на аэротенках с последующим обеззараживанием ультрафиолетовым облучением и механическим обезвоживанием осадков сточных вод (рис. 1, 2). Очищенная сточная вода сбрасывается в Куйбышевское водохранилище (реку Каму). Проектная производительность сооружений составляет 380 тыс. м<sup>3</sup>/сут., фактическая – 165 тыс. м<sup>3</sup>/сут.

Производственные сточные воды КАМАЗа и других крупных машиностроительных предприятий направляются на ПРОС после очистки от тяжелых металлов на внутривоздушных локальных очистных сооружениях и после обработки на сооружениях механической очистки от нефтепродуктов и взвешенных веществ.



**Рис. 1.  
Общий вид  
очистных сооружений  
г. НАБЕРЕЖНЫЕ ЧЕЛНЫ**

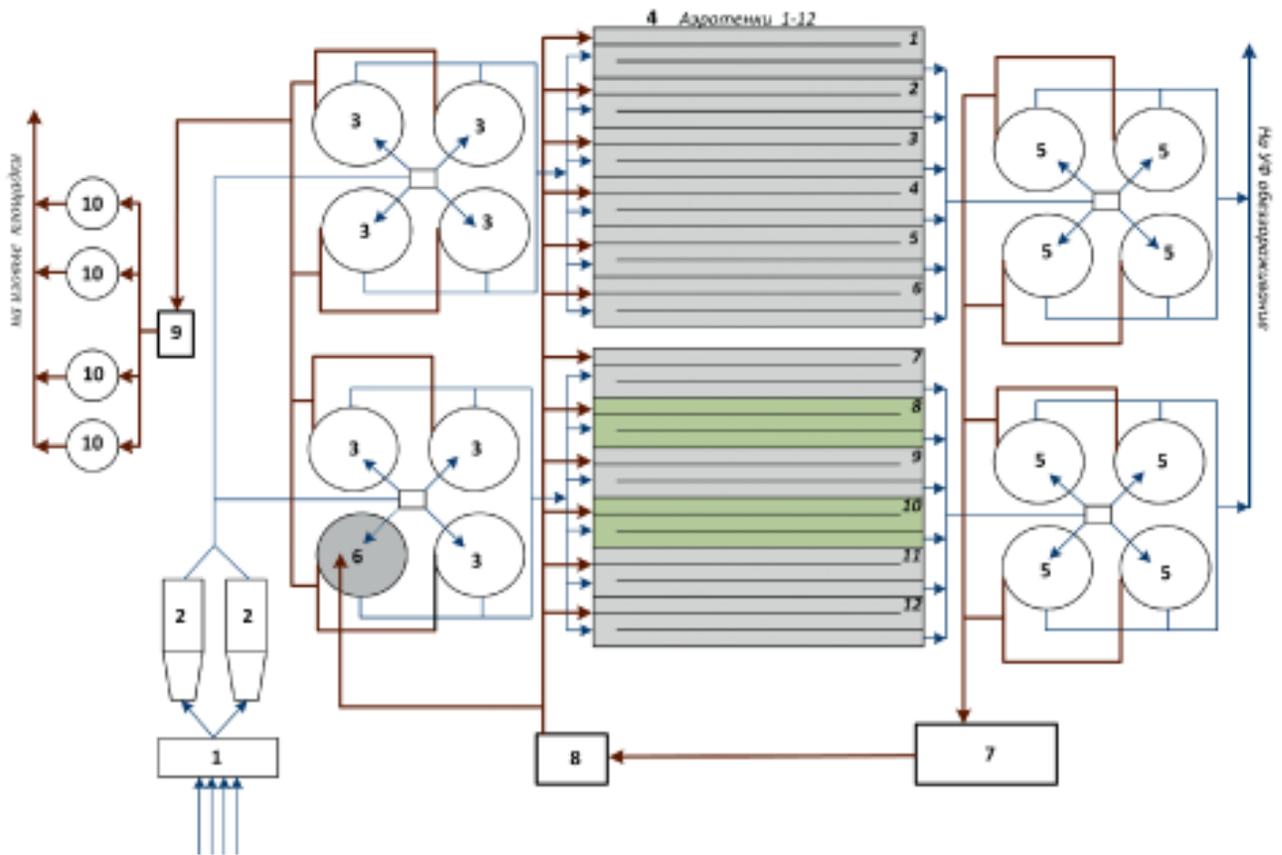
<sup>1</sup> Родионов Алекс ндр Ан тольевич, н ч льник ПРОС, 423810, Россия, Республик Т т рст н, г. Н бережные Челны, Хлебный проезд, 27, тел.: (855) 270-77-68, e-mail: RodionovAA@chvk.kamaz.net

<sup>2</sup> Озеров Л рис Петровн , гл вный технолог ПРОС, 423810, Россия, Республик Т т рст н, г. Н бережные Челны, Хлебный проезд, 27, тел.: (855) 253-46-29, e-mail: OzerovaLP@chvk.kamaz.net

<sup>3</sup> Есин Мих ил Ан толиевич, к.т.н., н ч льник технологического отдел , «МАЙ ПРОЕКТ», 115054, Россия, Москв , Б. Строченовский пер., 7, тел.: (495) 981-98-80, e-mail: yesin@ecopolymer.com

<sup>4</sup> Смирнов Алекс ндр Вл димирович, инженер технологического отдел , «МАЙ ПРОЕКТ», 115054, Россия, Москв , Б. Строченовский пер., 7, тел.: (495) 981-98-80, e-mail: smirnovav@ecopolymer.com

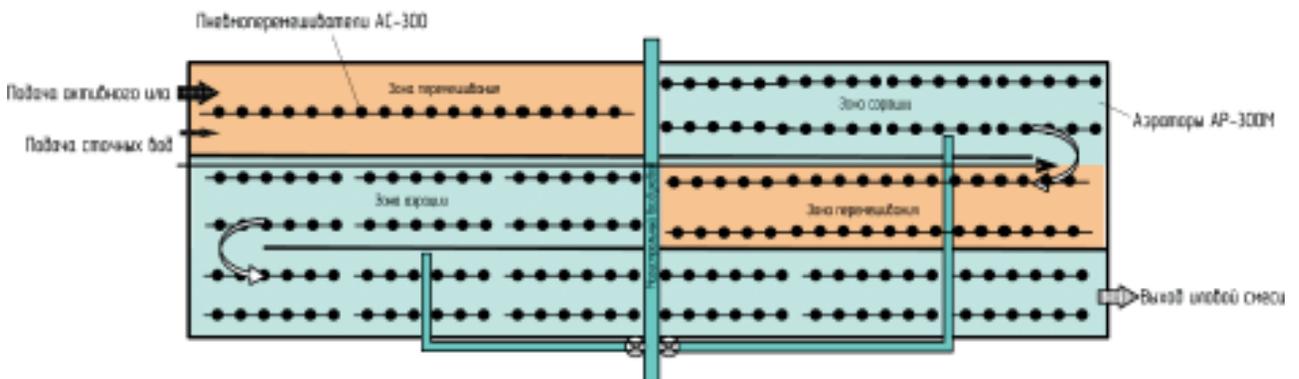
<sup>5</sup> Соколов Алексей Никол евич, инженер технологического отдел , «МАЙ ПРОЕКТ», 115054, Россия, Москв , Б. Строченовский пер., 7, тел.: (495) 981-98-80, e-mail: sokolov@ecopolymer.com



**Рис. 2. Принципиальная схема ПРОС и состав сооружений**

1 – здание решеток; 2 – песколовки; 3 – первичные отстойники; 4 – аэротенки; 5 – вторичные отстойники; 6 – илоуплотнитель; 7 – иловая насосная станция; 8 – камера переключения ила; 9 – насосная станция метантенков; 10 - метантенки

**Рис. 3. СХЕМА РАБОТЫ АЭРОТЕНКОВ (СТУПЕНЧАТАЯ ДЕНИТРИФИКАЦИЯ)**



Качественный состав, мг/л	Поступающая сточная вода	Очищенная вода (фильтрат иловой смеси в конце аэротенка до смешения со всеми потоками аэротенков очереди)
Взвешенные вещества	369	5,8-9,9
ХПК (взб.)	596	15,6-33,6
БПКп (взб.)	344	3,2-9,8
Аммонийный азот	21	0,3-0,6
Нитраты	0,3	38,0-56,9
Нитриты	0,01	0,02-0,4
Фосфор фосфатов	2,3	0,2-2,5

**Таблица 1**  
**Качество поступающих и очищенных сточных вод при работе ступенчатой денитрификации с пневмоперемешивателями**

Служба эксплуатации уже около 15 лет реализует мероприятия по внедрению технологий очистки от биогенных элементов путем ретехнологизации классической схемы полной биологической очистки. В 2000-м году была выполнена реконструкция аэротенков с переводом на технологию применением технологии нитри-денитрификации. Проект предусматривал использование ступенчатой схемы денитрификации и пневмоперемешивателей в зонах перемешивания (рис. 3) Особенностью технологии является отсутствие внутренней рециркуляции, что стало возможным благодаря использованию двух зон денитрификации.

Надо отметить, что, несмотря на стабильную работу аэротенков, в очищенной воде периодически наблюдались превышения загрязнений по нитритам, нитратам и фосфатам (табл. 1).

С целью стабильного достижения нормативов по указанным показателям, в 2013 году началась реконструкция станции с переводом на технологию биологического удаления азота и фосфора с механическим перемешиванием и внутренней рециркуляцией. На первом этапе работы были выполнены на аэротенках №8 и 10.

Проект реконструкции аэротенков был разработан специалистами инженерной компании «Экополимер-М» (МАЙ ПРОЕКТ) согласно техническому заданию ПРОС. Проектная гидравлическая нагрузка на 1 аэротенк составляет 15 200 м<sup>3</sup>/сут., что соответствует времени пребывания по среднему притоку 16,5 часа.

**Таблица 2**  
**ПРОЕКТНЫЕ ДАННЫЕ**

Вход аэротенки, мг/л	ХПК	P-PO4	N-NH4	Взвешенные вещества
Среднее значение	414	2,29	24,9	210
Максимальное значение	571	2,53	33,1	300
Требования сброс	-	0,26	0,33	11,3

В качестве основной технологической схемы очистки сточных вод с глубоким удалением биогенных элементов была определена модифицированная схема A2O (рис. 4), т.к. поступающие сточные воды на тот период характеризовались низкими нагрузками по биогенным элементам.

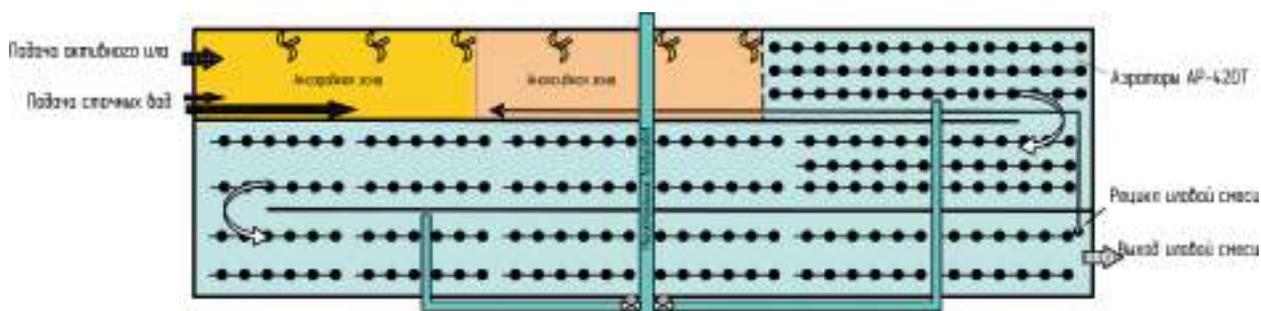


Рис. 4. СХЕМА РАБОТЫ АЭРОТЕНКОВ ПОСЛЕ РЕКОНСТРУКЦИИ

Схема А2О согласно проекту была модернизирована путем разделения подачи сточной воды между анаэробной и аноксидной зонами, а также за счет организации нитратного рецикла из конца аэротенка в зону денитрификации.

Осветленные в первичных отстойниках сточные воды из верхнего канала аэротенков поступают в распределительный лоток и далее в начало зоны перемешивания – анаэробная

зона (около 20 % от проектного расхода). Оставшийся расход сточных вод направлен во вторую половину анаэробной зоны (около 80 % от проектного расхода). Возвратный активный ил подается насосами, установленными в здании насосной станции, в начало первого коридора.

Такое изменение технологии было призвано обеспечить предварительную де-

Таблица 3  
СОСТАВ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБОРУДОВАНИЯ АЭРОТЕНКОВ

Наименование оборудования	Количество, шт	Технические характеристики
Аэротенк № 8		
Механический мешалка (Xylem, компания Flygt), модель sr 4640	6	3,3 кВт, 705 об/мин, d=370 мм
Насос нитратного рецикла (Xylem, компания Flygt), модель pr 4650	1	5,5 кВт, 485 об/мин, d=580 мм
Звездочный с электрическим приводом (AUMA), модель SG	2	380 В, с БУ АУМАТИК
Аэраторы АКВА-ТОР, модель AP-420Т	816	Суммарная площадь: 97,92 м <sup>2</sup>
Аэротенк № 10		
Механический мешалка (GSD), модель MA 2.5	6	2,5 кВт, 740 об/мин, d=400мм
Насос нитратного рецикла (GSD), модель SRP2,5	1	2,5 кВт, 740 об/мин, d=400мм
Звездочный с электрическим приводом (AUMA), модель SG	2	380 В, с БУ АУМАТИК
Аэраторы АКВА-ТОР, модель AP-420Т	816	Суммарная площадь: 97,92 м <sup>2</sup>

нитрификацию возвратного ила до его попадания в основную часть анаэробной зоны. Практически, реализованная схема представляет собой некую пока не имеющую названия технологию, представляющую собой гибрид схемы A2O и технологий Йоханнесбургского и Ганноверского университетов [1].

В аноксидную зону подается иловая смесь из конца 3го коридора (нитратный рецикл). Зона перемешивания отделена от последующей зоны аэрации легкой перегородкой. В конце первого коридора, а также во 2ом и 3ем коридоре организована зона аэрации.

В процессе проектирования было проведено математическое моделирование работы биологической очистки и протестирован ряд технологических схем совместного удаления азота и фосфора по программе «ЭкоСимЗР» [2, 3].

В проекте было использовано современное эффективное насосное, переме-

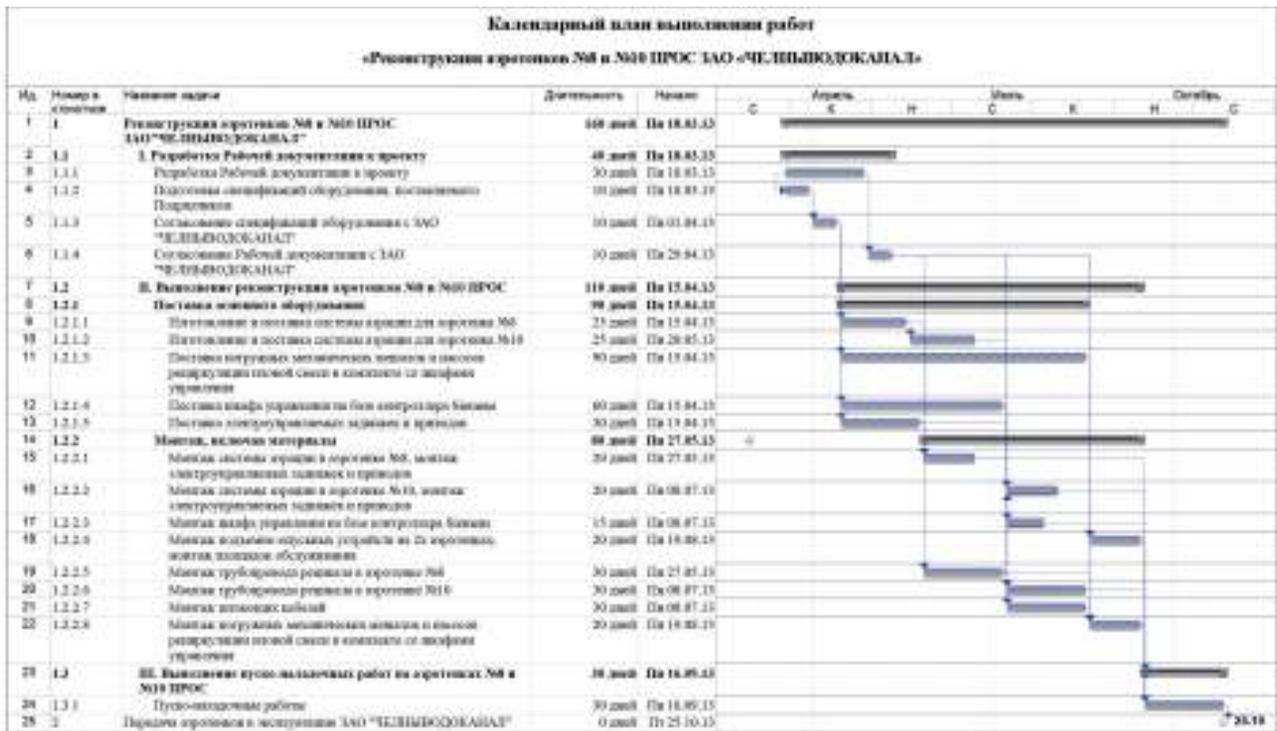
шивающее и аэрационное оборудование. Для сравнения в условиях эксплуатации, в аэротенках было использовано насосное и перемешивающее оборудование известного и нового тогда для российского рынка производителей.

После очистки иловая смесь подается во вторичные отстойники, которые являются общими для второй очереди. Возвратный ил является общим для всей станции, т.к. подается через единую насосную станцию.

Реконструкция была проведена в сжатые сроки – всего за 7 месяцев от начала разработки рабочей документации до сдачи объекта (вместо 12 по обычной системе планирования), что стало возможным благодаря использованию принципов проектного управления.

Работы включали монтаж оборудования, бетонные работы, организацию инженерных коммуникаций и возведение переходных мостиков для обслуживания мешалок.

Рис. 5. План-ГРАФИК РАБОТ ПО РЕКОНСТРУКЦИИ





**Рис. 6. Аэротенки после реконструкции перед заполнением**

После окончания СМР компания «МАЙ ПРОЕКТ» приступила к пусконаладочным работам (ПНР) В ходе подготовительного этапа проведен визуальный осмотр и анализ выполненных работ, а именно: соблюдение проектных решений при выполнении СМР, качества установки технологического оборудования, готовность емкостных сооружений и оборудования к пусконаладочным работам.

Согласно техническому заданию к проекту концентрации загрязнений в сточных водах можно было охарактеризовать как

средние, фактические же эти концентрации при начале ПНР оказались выше принятых проектных значений (о выявленной причине см. далее). Благодаря тому, что при технологических расчетах сооружений учитывалась возможность увеличения концентрации загрязняющих веществ на входе в аэротенк, благодаря чему качество очистки по аммонийному, нитритному и нитратному азоту осталось в пределах проектных значений.

Количество сточных вод поступающих на биологическую очистку в каждый аэротенк

**Рис. 7. Работаящие аэротенки после реконструкции.**

**Слева – зона перемешивания с переходными мостиками для обслуживания погружных мешалок, справа – зона аэрации (2-ой и 3-ий коридоры)**



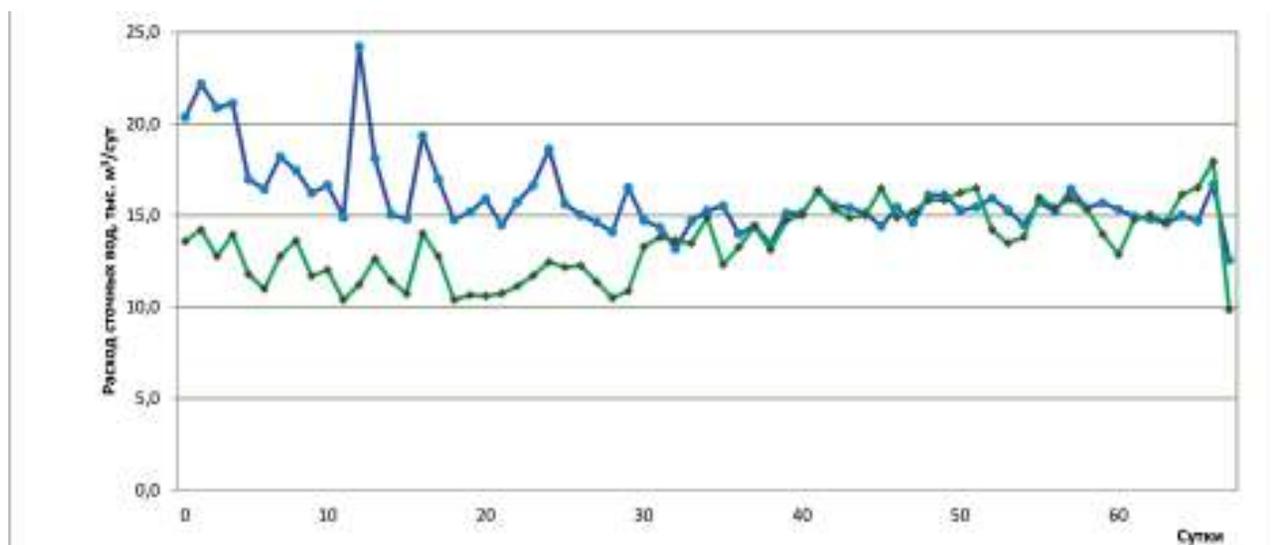


Рис. 8. Выравнивание расхода сточных вод, поступающих на аэротенки № 8 и 10

измеряется ультразвуковым расходомером лоткового типа. Первый пуск аэротенков на фактический расход сточной воды и распределение этого расхода между аэротенками очереди показало сложность ручного распределения сточной воды между впусками. Поэтому первым этапом ПНР по показаниям расходомеров была скорректирована гидравлическая нагрузка на аэротенки и количество возвратного ила в соответствии проектными значениями.

После выравнивания расходов наладчиками была проведена оптимизация условий процессов нитрификации и денитрификации (установление кислородного режима зон аэрации, настройка и подбор режимов работы насоса нитратного рецикла, настройка системы автоматического управления расходом воздуха, регулирование возраста ила и др.), а также процесса биологического удаления фосфора.

Процесс настройки кислородного режима работы аэротенков базировался на проектных расчетах и моделировании работы биологической очистки. Каждый аэротенк условно поделен на участки и определена реальная потребность в воздухе, необходимая концентрация кислорода и число аэрационных элементов для каждой зоне. ПНР кислородного режима при таком расчете сводится к приве-

дению соответствия модели и фактического состояния работы.

Т.к. для запуска аэротенков был использован нитрифицирующий активный ил из других аэротенков комплекса очистных сооружений, процесс нитрификации уже с начала ПНР была на необходимом уровне.

Дальнейшее выполнение пусконаладочных работ стало сложной задачей для наладчиков и персонала ПРОС, так как концентрация фосфатов в осветленной воде на входе в аэротенк стала превышать проектные показатели в несколько раз (см. табл.). Повышенные концентрации фосфора фосфатов в поступающей воде оказались связаны с технологией обработки избыточного ила (уплотнением избыточного активного ила в одном из первичных отстойников).

Таблица 4  
СРАВНЕНИЕ ПРОЕКТНОЙ И ФАКТИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ ПО ФОСФОРУ ФОСФАТОВ

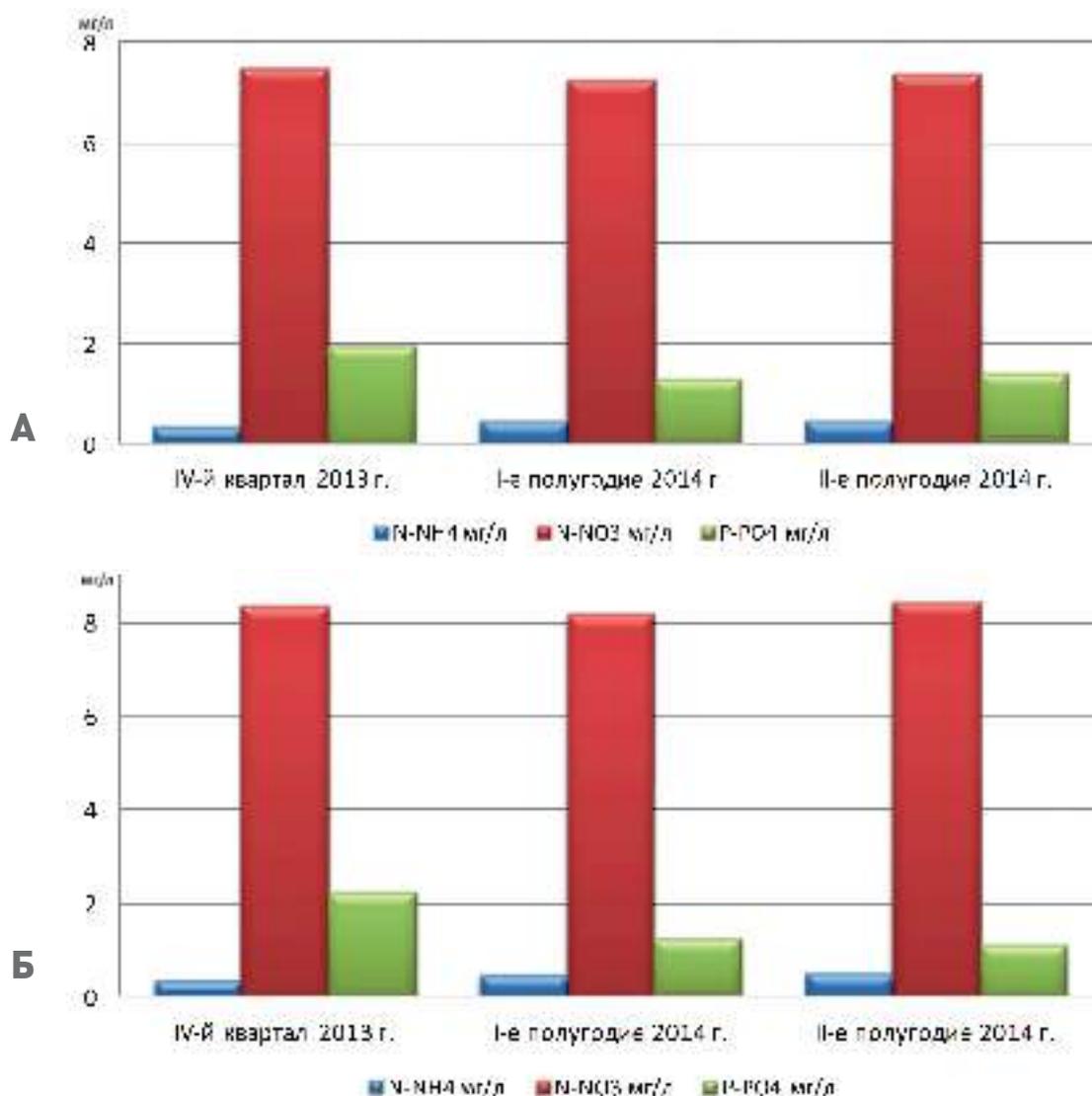
Пок з тели	Проект	Ф кт
Концентр ция, мг/л	2,53	12,46
Н грузк , кг/сут. н эротенк	38,5	198,4

Нарушения в работе илоуплотнителя и несвоевременная откачка уплотненного ила привели к возникновению возвратных потоков с высокими концентрациями органических и биогенных загрязнителей, продуктов разложения в анаэробных условиях, прежде всего сероводорода.

По рекомендации специалистов-наладчиков сотрудниками службы эксплуатации была налажена регламентная работа илоуплотнителя с регулированием нагрузки на него, количества

выгружаемого ила и времени уплотнения. После внедрения этих рекомендаций концентрация фосфора фосфатов в поступающей на очистку воде нормализовалась. Предпринятых мер оказалось достаточно для снижения удельной нагрузки по фосфору на аэротенки, что, в свою очередь, положительно повлияло на качество очищенной воды (см. рис.). При соблюдении проектных показателей расхода и загрязненности сточных вод, их очистка в аэротенках производится до нормативных требований сброса.

**Рис. 9. А) Качество очищенных сточных вод (выход из аэротенка № 8)  
Б) Качество очищенных сточных вод (выход из аэротенка № 10)**



Полученные результаты показали хорошую сходимость моделирования, проведенного на стадии проектирования по соединениям азота.

**Таблица 5** Прогнозируемая и фактическая эффективность очистки

Выход из аэротенков, мг/л	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub>
Концентрация по результатам моделирования, мг/л	0,3	34,1
Факт после реконструкции	0,33	33,7

## Выводы

Опыт реконструкции и пуско-наладки опытных аэротенков ПРОС показывает высокие возможности процесса одновременного биологического удаления азота и фосфора и позволяет подтвердить сделанные ранее выводы по результатам аналогичных работ компании [4]:

1. При использовании крупнопузырчатой аэрации в зоне перемешивания невозможно достигнуть стабильной денитрификации в условиях низких концентраций органических веществ. Использование этого метода в зонах дефосфотации в принципе недопустимо.

2. Поддержание необходимого возраста активного ила путем регулирования его вывода имеет ключевое значение.

3. Возвратные потоки от сооружений обработки осадка оказывают существенное влияние на нагрузку по биогенным элементам и на процесс биологического удаления фосфора.

4. Стабильное удаление фосфора ниже 1 мг/л, без превышений в отдельные дни и период, требует использования реагентов.

5. При проектировании следует учитывать вероятное увеличение загрязненности сточных вод в ходе строительства и эксплуатации в пределах до 30-50% от существующего уровня.

6. В существующих емкостях аэротенков могут быть реализованы современные технологии удаления азота и фосфора.

Технологическая схема для последующей реконструкции аэротенков была скорректирована в сторону повышения надежности одновременного удаления соединений азота и фосфора. О ходе дальнейшей реконструкции на ПРОС читатели будут проинформированы в одном из следующих номеров журнала.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. P. M. J. JANSSEN, K. MEINEMA, H. F. VAN DER ROEST. BIOLOGICAL PHOSPHORUS REMOVAL: MANUAL FOR DESIGN AND OPERATION. STOWA, 2002, – 217 p.
2. Щетинин А. И. Особенности моделирования процессов биологической очистки при помощи имитационной программы «ЭкоСим» // Сб. докладов «ЭТЭК-2001». Ялта, 2001 г.
3. Щетинин А.И., Есин М.А., Реготун А.А., Малбиев Б.Ю. Моделирование биохимических процессов очистки сточных вод как основа ретехнологизации сооружений // Водоснабжение и санитарная техника. 2010. № 11.
4. Мешенгиссер Ю. М. Ретехнологизация сооружений очистки сточных вод. – М.: ООО «Издательский дом «Вокруг цвета», 2012, – 211 с.

# Автоматизация и повышение энергетической эффективности работы ОСК по требованиям НДТ практический опыт



АО «МАЙ ПРОЕКТ»

ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ  
ОЧИСТКИ ВОД

А.В. Смирнов<sup>1</sup>,  
М.А. Есин<sup>2</sup>

Энергоемкость предоставления коммунальных услуг в России, к сожалению, существенно превосходит аналогичный средний показатель в странах со сходным климатом. Поэтому снижение энергозатрат в настоящее время является приоритетной задачей. С этой целью в России законодательно были ужесточены требования к энергоэффективности. В ноябре 2009 г. вступил в силу Федеральный закон № 261-ФЗ «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности», который обозначил не только первоочередные направления повышения энергоэффективности, но и сроки внедрения соответствующих мероприятий [1].

На городских очистных сооружениях канализации (ОСК) основное количество энергии расходуется на подачу воздуха в аэротенки биологической очистки для обеспечения растворения в иловой смеси необходимого количества кислорода, потребляемого бактериями в процессе разложения загрязнений. В идеальном случае подача воздуха и, соответственно, расход электроэнергии должны быть пропорциональны поступлению со сточными водами загрязнений, на окисление которых расходуется кислород [2]. Поскольку загрязненность сточных вод изменяется в очень широком диапазоне, то данные по энергопотреблению корректно относить к объему сточной воды, а к так называемым кислородокисляемым веществам (кислородному эквиваленту, КЭ)<sup>3</sup>.

Согласно ИТС10-2015 идеальное (с минимальными неэффективными потерями) потребление электроэнергии на подачу воздуха в зависимости от технологического процесса составляет 0,25–0,40 кВт·ч/кг КЭ (минимум – при оптимизированной технологии удаления

<sup>1</sup> Смирнов Александр Владимирович, заместитель начальника технологического отдела, АО «МАЙ ПРОЕКТ», тел.: (495) 981-98-80, доб. 277, smirnovav@myproject.msk.ru

<sup>2</sup> Есин Михаил Анатольевич, технический директор, АО «МАЙ ПРОЕКТ», тел.: (495) 981-98-80, доб. 273, yesin@myproject.msk.ru

<sup>3</sup> согласно ИТС 10-2015 Величина КЭ рассчитывается по формуле  $KЭ = 4,6 CN - NH_4 + СБПК_5$ , где CN – NH<sub>4</sub> – концентрация азот аммонийного, СБПК<sub>5</sub> – концентрация БПК<sub>5</sub>

азота с денитрификацией, максимум – для развитой нитрификации без удаления азота денитрификацией, подробнее – см. разделы 2 и 4). Согласно НДТ14, затраты электроэнергии на процесс очистки сточных вод не должны превышать 0,7 кВт·ч/кг КЭ [2].

Фактическое потребление электроэнергии на ОСК в РФ, согласно результатам обработки анкет, собранных в ходе разработки ИТС10-2015, находится в очень широком диапазоне [2]:

- 0,23÷0,9 кВт\*ч/кг КЭ для сооружений с производительностью выше 300 тыс. м<sup>3</sup>/сут.
- 0,44÷2,1 кВт\*ч/кг КЭ – с производительностью 100÷300 тыс. м<sup>3</sup>/сут.
- 0,38÷14 кВт\*ч/кг КЭ – с производительностью ниже 100 тыс. м<sup>3</sup>/сут.

Таким образом, для большинства существующих сооружений характерно высокое потребление энергии, причем значения могут на порядок и более отличаться от оптимальных. Обращает на себя внимание, что, чем ниже производительность ОСК, тем выше верхняя граница диапазона энергопотребления. Основная причина этого – техническая невозможность уменьшить расход воздуха в условиях недогрузки станции.

На современном уровне развития технологий очистка сточных вод располагает

значительным резервом сокращения энергопотребления. Суммарное снижение энергопотребления на подачу воздуха в аэротенки может достигать 40÷50 %. Так, например, при установке нового оборудования и внедрение комплексной системы автоматического управления позволяет экономить до 15÷20% электроэнергии, внедрение технологии нитри-денитрификации – 10÷15 %, установка современных аэрационных систем – 20÷25% [3, 4].

Инженеры АО «МАЙ ПРОЕКТ» разработали комплекс мероприятий, направленных на оптимизацию энергопотребления, который можно условно разделить на 3 основные группы:

1. **Технические решения:** замена энергоемкого оборудования, а также замена аэрационной системы с установкой аэраторов с высокими массообменными характеристиками, которые соответствуют нормам НДТ 14.

2. **Технологический этап:** внедрение современных технологий очистки и проведение ретехнологизации сооружений [5]

3. **Оптимизационный этап:** построение системы управления процессом очистки сточных вод и подачи воздуха на основе КИП из ЦДП (или МДП).

Рисунок 1 – Очистных сооружений г. Набережные Челны



Начиная с 2012 г. АО «МАЙ ПРОЕКТ» совместно с ООО «ЧЕЛНЫВОДОКАНАЛ» проводит планомерную работу по повышению энергоэффективности сооружений.

Очистные сооружения г. Набережные Челны запроектированы и построены на полную биологическую очистку хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод. Проектная производительность очистных сооружений составляет 380 тыс. м<sup>3</sup>/сут. Фактическое поступление сточных вод только в период 2012÷2018 гг. снизилось с 290 тыс. м<sup>3</sup>/сут. до 168 тыс. м<sup>3</sup>/сут.

Весь комплекс очистки сточных вод делится на две технологических линии: I-й и II-й очереди. В состав каждой очереди входят:

- дуговые решетки и аэрируемые песколовки;
- первичные отстойники, 4 шт.;
- аэротенки, 6 шт.;

- вторичные отстойники, 4 шт.;

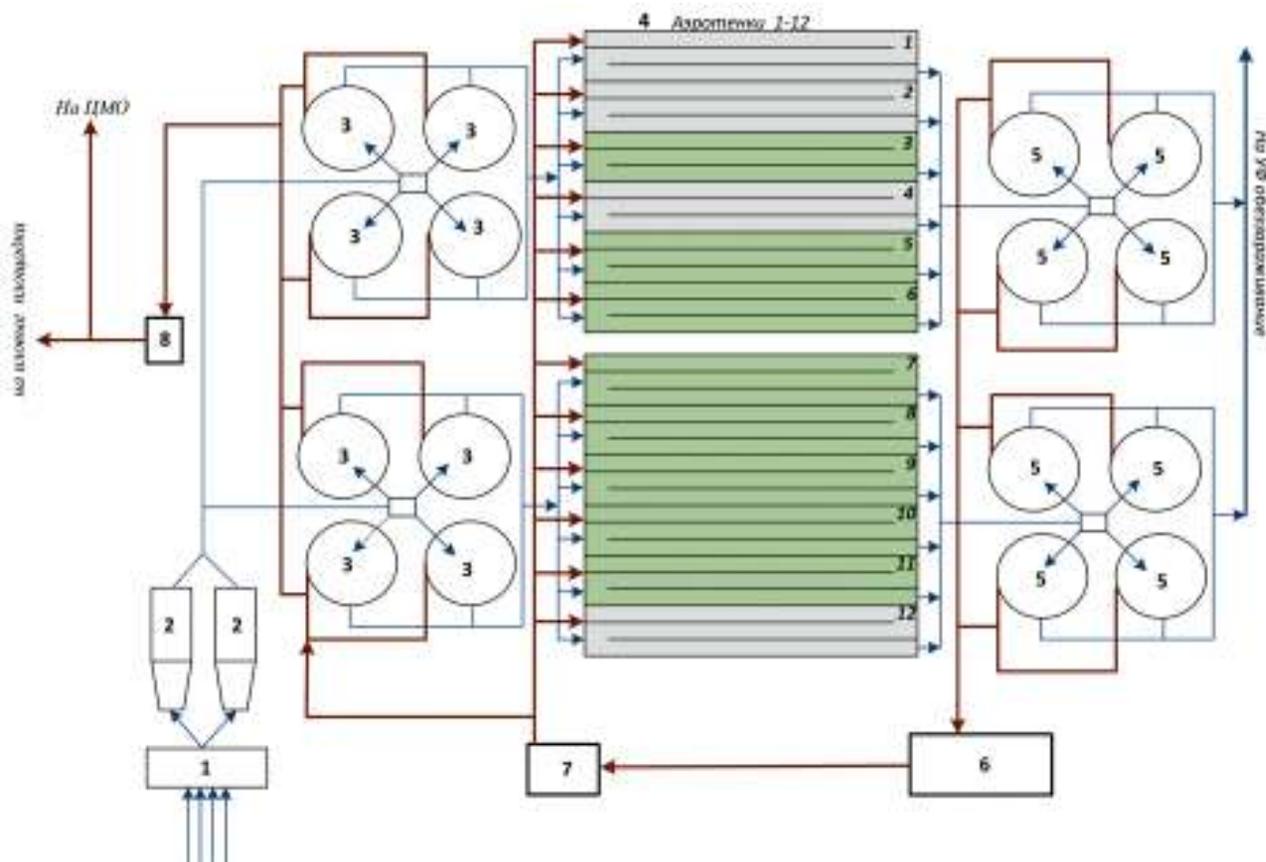
Обеззараживание сточных вод производится на блоке УФ ламп после вторичных отстойников, обезвоживание и сгущение осадков сточных вод – с помощью ленточных сгустителей и центрифуг. Принципиальная технологическая схема очистки сточных вод представлена на рис. 2.

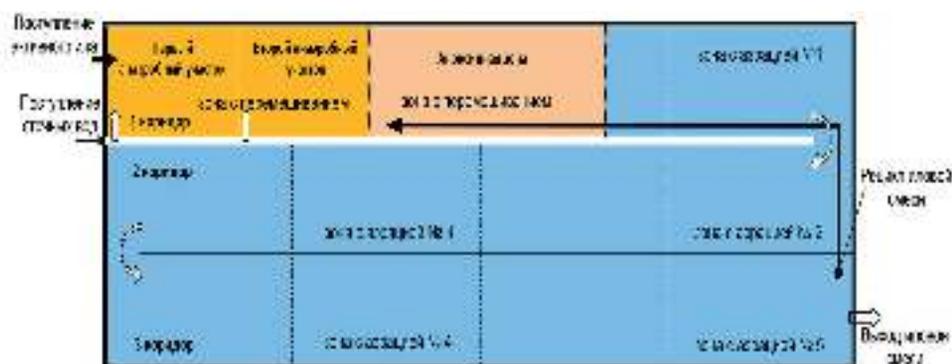
Аэротенки очистных сооружений (145x18x4 м) имеют три коридора шириной 6 м. каждый. Имеется возможность подачи осветленных сточных вод в 1-й или второй коридоры. На этих сооружениях, на одних из первых крупных объектов в России, была внедрена (на ряде аэротенков) технология нитри-денитрификации, с использованием в зонах денитрификации крупнопузырчатого перемешивания.

Для обеспечения аэротенков воздухом установлены воздуходувки Н-750 и ТВ-300.

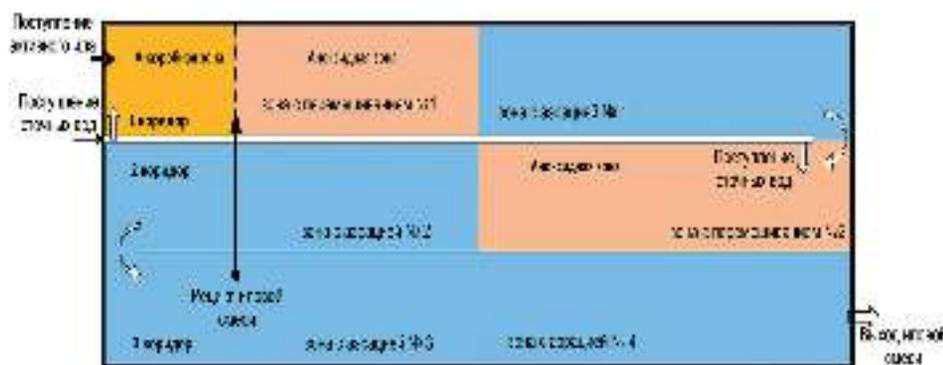
**Рисунок 2 – Принципиальная схема и состав очистных сооружений**

**1 – здание решеток; 2 – песколовки; 3 – первичные отстойники; 4 – аэротенки; 5 – вторичные отстойники; 6 – НС циркуляционного активного ила; 7 – камера переключения ила; 8 – иловая НС**





**А.**  
**Аэротенки № 8 и 10**  
**(далее Аэротенки А)**



**Б.**  
**Аэротенки № 3,**  
**5, 6, 7, 9, 11 (далее**  
**Аэротенки Б)**

**Рисунок 3. Схемы**  
**Аэротенков после**  
**ретехнологизации**

До выполнения мероприятий по повышению энергоэффективности сооружений в летнее время в эксплуатации находились 2 шт. Н-750, в зимнее время – 1 шт. Н-750 и 1 шт. ТВ-300, при этом энергопотребление очистных сооружений составляло  $1,04 \pm 1,65$  кВт\*ч/кг КЭ.

Техническими решениями были определены следующие направления снижения потребления электроэнергии:

- поэтапное внедрение современных технологий биологического удаления азота и фосфора на большинстве аэротенков (2013-2018 гг.);
- совместно с модернизацией технологии очистки сточных вод внедрение современных систем аэрации, которые соответствуют нормам НДТ [6];
- проведение параллельных работ по внедрению локальных автоматизированных контуров управления подачей воздуха в модернизированные аэротенки с установкой КИПиА (измерение расхода сточных вод и количества растворенного кислорода в иловой смеси) и выводом сигналов от оборудования в центральную диспетчерскую.

- проектирование и установка новых воздухоподводящих агрегатов (2018-2020 гг.).

Серым цветом выделены нереконструированные аэротенки, зеленым – реконструированные по технологиям удаления азота и фосфора.

С точки зрения энергосбережения в усовершенствованной технологии очистки воды особенно важна стадия денитрификации. Использование нитрат-иона как окислителя загрязнений поступающей сточной воды позволяет не только снизить концентрации нитратов до ПДК (а это по действующей системе оплаты за сброс загрязняющих веществ, к сожалению, не так уж и существенно с экономической точки зрения), но и вернуть 2/3 кислорода (т. е. электроэнергии!), потраченного на нитрификацию [1].

На сегодняшний день на сооружениях аэротенки работают как по классической схеме, с единой аэробной зоной (№№ 1, 2, 4, 12) так и по схеме нитри-денитрификации с биологическим удалением фосфора, с выделением анаэробных, аноксидных и аэробных зон (№№ 3, 5, 6-11) – см. рис. 3.

Первыми аэротенками, в которых была реализована технологическая схема нитри-денитрификации в 2013 г., были аэротенки типа А. Эта технологическая схема известна как А2/О и содержит выделенную аноксидную и анаэробную зоны, а также рецикл иловой смеси из конца аэробной зоны в аноксидную для проведения денитрификации. В анаэробную зону поступают сточные воды и возвратный ил из вторичного отстойника. Схема рассчитана на низкую и среднюю нагрузку по аммонийному азоту, фосфор при этом удаляется не полностью [7].

В течение года аэротенки А показали хорошие, но не оптимальные результаты по качеству очистки. АО «МАЙ ПРОЕКТ» провело полупромышленные испытания и предоставила Заказчику расчеты (протоколы математического моделирования работы биологической очистки) обосновывающие использование аэротенков по схеме Б, которая помимо более низких энергозатрат позволяет очистить сточные воды с более высоким качеством. Последующая модернизация аэротенков проводилась по схеме Б.

Принципиальная технологическая схема аэротенков Б известна как ступенчатая или процесс Гентского университета. Реализованная в Набережных Челнах схема запатентована АО «МАЙ ПРОЕКТ» [8]. В каждую аноксидную зону подается сточная вода в качестве источника органики для денитрификации и биологического удаления фосфора. Из аэробной зоны организован нитратный рецикл для обеспечения необходимой глу-

бины денитрификации. Схема рассчитана на средние и высокие концентрации азота и фосфора – регулирование эффективности того или иного процесса достигается балансом подачи сточных вод в анаэробную или аноксидную зону.

В аэротенках обоих типов в аноксидных и анаэробных зонах аэротенков были установлены погружные механические мешалки.

Использованные технологические решения обеспечили глубокую очистку сточных вод (табл. 1). За счет внедрения погружных мешалок в зонах денитрификации удалось снизить потребление воздуха в среднем на 25%.

Наиболее существенный вклад в снижение энергозатрат может внести использование эффективных аэрационных систем. Для низкоконцентрированных сточных вод общеизвестно преимущество мелкопузырчатых аэраторов: чем мельче пузырьки газа и чем дольше путь этого пузырька до поверхности, тем выше растворение в иловой смеси кислорода воздуха. При этом следует отметить, что наличие такого физического явления, как коалесценция (слипание) пузырьков воздуха, ограничивает глубину целесообразного диспергирования и вообще существенно усложняет процессы, происходящие в этих системах [9].

Для эффективного диспергирования воздуха в зонах аэрации была установлена современная система аэрации на базе широко применяемых на российских очистных сооружениях тороидальных аэраторов

**Таблица 1 – Качество очистки сточных вод до и после мероприятий, мг/дм<sup>3</sup>**

Наименование показателей	Концентрация поступающих сточных вод	Концентрация очищенных сточных вод	
		До реконструкции	После реконструкции
Азот аммонийный (N-NH <sub>4</sub> ), мг/л	29,3-35,4	0,5-1,5	0,28-0,4
Азот нитратный (N-NO <sub>3</sub> ), мг/л	-	10,8-12,4	3,0-8,9
Фосфор фосфатный (P-PO <sub>4</sub> ), мг/л	8,39-18,37	0,5-2,6	0,2-0,38



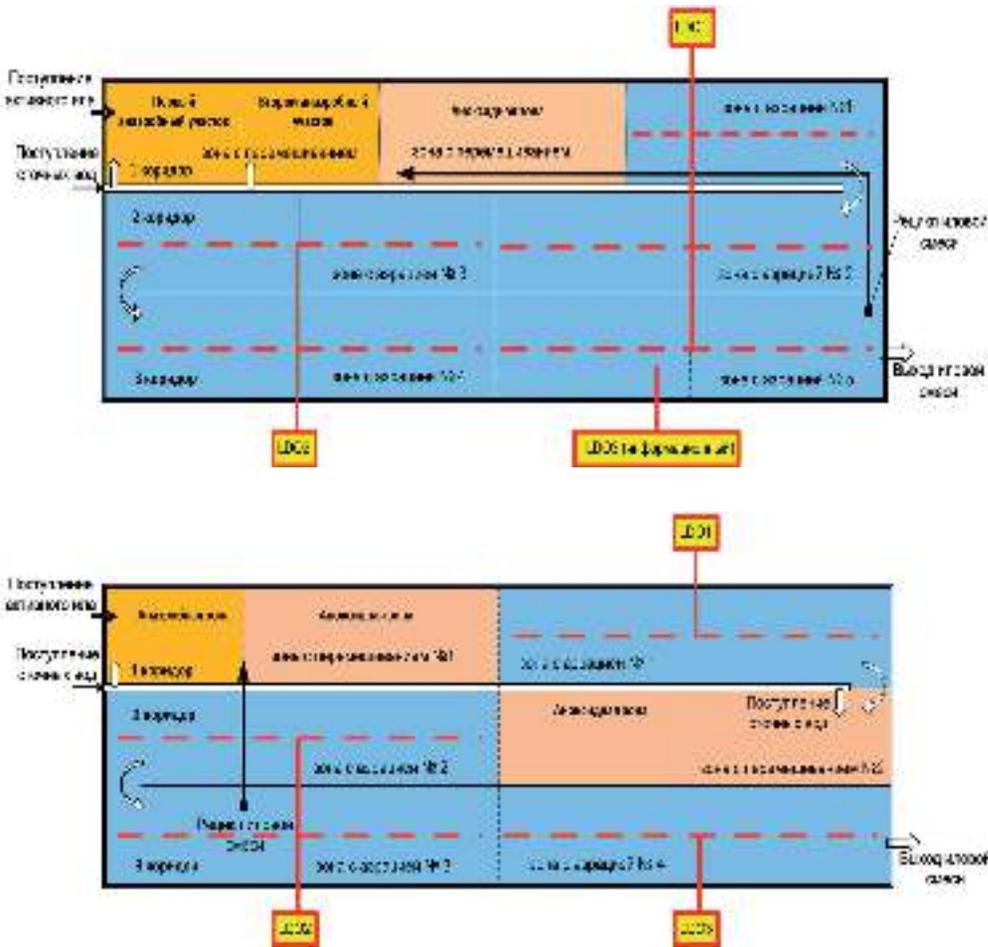
**Рисунок 4 – Система аэрации, уложенная на дне аэротенка и в работе**

(рис. 4), которые за счет формы диффузора (мембраны) с отверстием внутри в результате эрлифтного эффекта «раздвигают» поток пузырьков воздуха и за счет этого снижают влияние эффекта коалесценции.

Для контроля и управления подачи воздуха в аэротенки были применены автоматизированные локальные контуры управления, которые состоят из погружных кислородомеров, вторичного преобразователя с программируемым логическим контроллером (ПЛК) и управляемой задвижкой на воздуховоде. Контроль расхода воздуха на аэрацию иловой смеси и концентрации растворенного кислорода (КРК) в аэротенках, позволяет не только экономить воздух

на аэрацию, но и поддерживать технологический режим. Многолетний опыт эксплуатации очистных сооружений показывает, что концентрация растворенного кислорода в зоне аэрации должна быть в диапазоне 1,8-2,5 мг/л.

Для задач измерения КРК были выбраны люминесцентные оптические датчики КРК типа **LDO**, а также вторичные преобразователи серии SC1000. При реализации проекта реконструкции на очистных сооружениях г. Набережные Челны применено измерение КРК в трех точках каждого аэротенка. Точки контроля представлены на рис. 5, а пояснения к обозначениям в табл. 2.



**А. В АЭРОТЕНКАХ № 8 и 10 (ДАЛЕЕ АЭРОТЕНКИ А)**

**Б. В АЭРОТЕНКАХ № 3, 5, 6, 7, 9, 11 (ДАЛЕЕ АЭРОТЕНКИ Б)**

**РИСУНОК 5 – МЕСТА УСТАНОВКИ ДАТЧИКОВ КРК В АЭРОТЕНКАХ**

Точки установки датчиков определялись из соображений информативности получаемых сведений, удобства монтажа и обслуживания. Места установки датчиков КРК по длине аэрационной зоны были определены заранее в проекте, а в ходе его реализации была обеспечена возможность перестановки датчиков в случае изменения нагрузки или выбора оптимальной точки измерения.

Обеспечение изменений в подаче воздуха при колебаниях КРК осуществляется быстродействующими регулируемыми дисковыми затворами, оснащенными неполноповоротными электроприводами. Места установки дисковых затворов на воздуховодах были определены с учетом трассировки существующей воздухопроизводящей напорной сети.

В существующей воздухораспределительной системе выделены 2 стороны подачи воздуха от центрального воздуховода – левая по расположению на рис. 6 (сюда входит первая половина 1го и 3го коридоров, а также вторая половина 2го коридора) и правая по расположению (сюда входит вторая половина 1го и 3го коридоров, а также первая половина 2го коридора). Для аэротенков А расход на правую сторону будет выше за счет большего количества зон аэрации, а в аэротенках Б – за счет большого потребления воздуха в первой зоне аэрации (вторая половина 1го коридора) и зоны аэрации во второй половине 3го коридора (расход воздуха в основном идет на перемешивание иловой смеси). Для измерения расхода воздуха по каждой стороне установлены расходомеры.

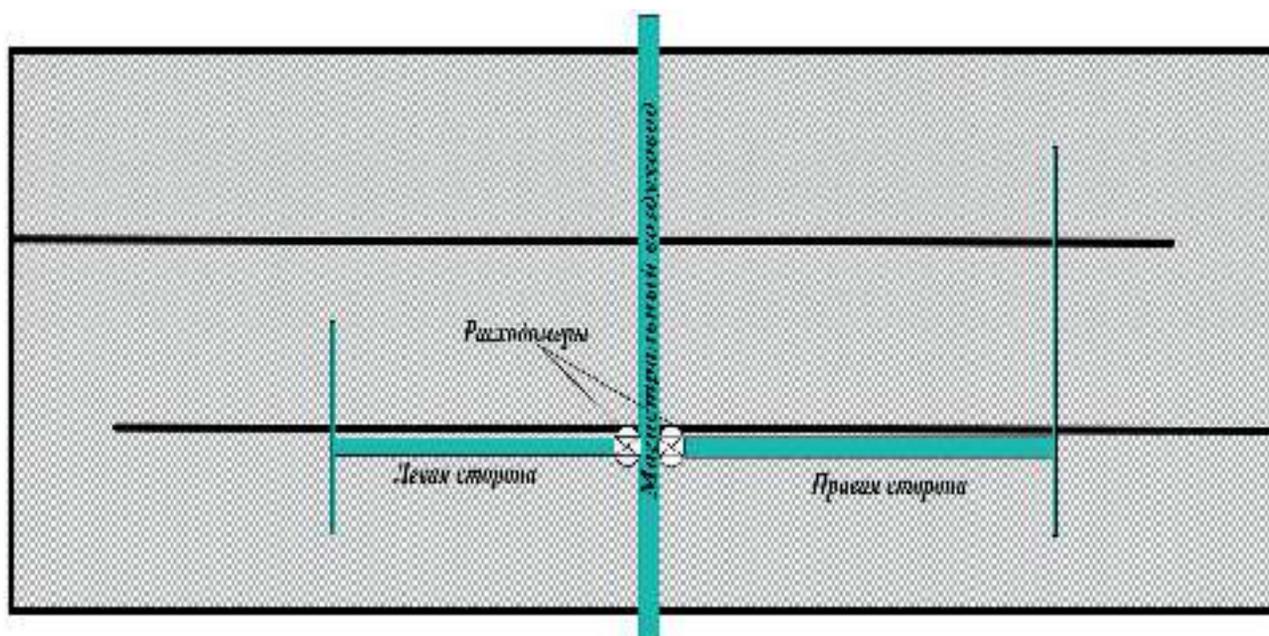


Рисунок 6 – Система распределения воздуха в аэротенках А и Б

Важным фактором регулировки и поддержания КРК является выбор алгоритма и устройства управления. Функции устройства управления должен выполнять ПЛК. Однако в рамках реконструкции всего двух аэротенков, произведенной на первом этапе работ (за один календарный год) установка ПЛК была нецеле-

сообразна по причине его высокой стоимости. В настоящее время на рынке появились и хорошо себя зарекомендовали более простые и совершенные системы обработки цифровых данных (компактный контроллер). Коммуникационные возможности компактных контроллеров позволяют с минимальными затратами

Таблица 2 – Точки стационарного измерения КРК

Прибор (назначение)	Место установки
Аэротенки А	
LDO 1 (управляющий)	Вторая половина зоны эрции первого коридор (с возможностью изменения мест установки по всему участку)
LDO 2 (управляющий)	Конец зоны эрции второго коридор (с возможностью изменения мест установки по всей длине участка)
LDO 3 (информационный)	3/4 зоны эрции третьего коридор
Аэротенки Б	
LDO 1 (управляющий)	Вторая половина зоны эрции первого коридор (с возможностью изменения мест установки по всему участку)
LDO 2 (управляющий)	Конец зоны эрции второго коридор (с возможностью изменения мест установки по всей длине участка)
LDO 3 (управляющий)	Вторая половина зоны эрции третьего коридор

объединить цифровые сигналы от различных датчиков, произвести передачу данных, отображающих ход технологического процесса, на SCADA и создать управляющий сигнал на запорно-регулируемую арматуру [10].

Опыт эксплуатации подобных объектов определил выбор в пользу стандартного универсального контроллера sc1000 (рис. 7). Стандартная комплектация поставки универсального контроллера состоит из модуля



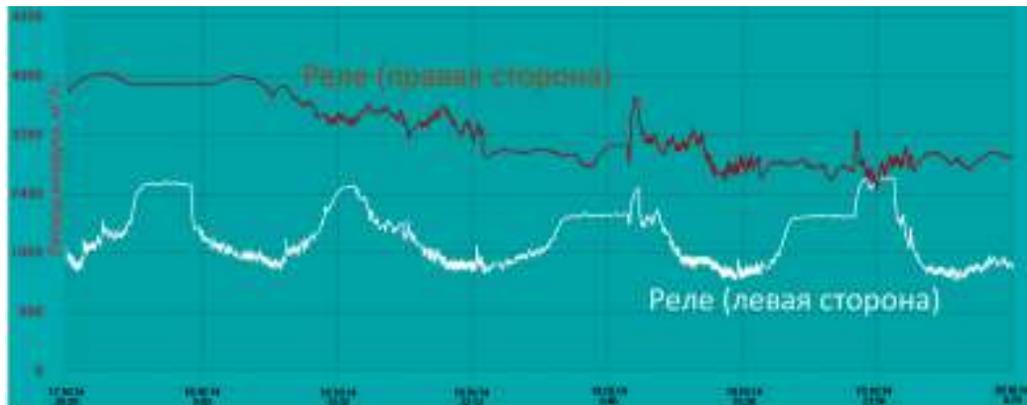
датчиков и съемного компактного модуля дисплея. К контроллеру [11] может подключаться до восьми цифровых датчиков одновременно, а для реализации функций управления дополнительно подключены модули платы аналоговых выходов.

Функции управления в контроллере осуществляются на основе цифровых сигналов подключенных датчиков, пройденных математическую обработку для создания дополнительных переменных сигналов (аналогично функциям ПЛК, но более удобно и без знания азов специализированного программирования). Контроллер регистрирует сигналы от датчиков, проводит последующий прогнозный расчет целевого параметра и, при необходимости, выдает управляющий сигнал на привод задвижки через аналоговые выходы. Расчеты прогнозируемых значений параметров производятся на основании общепринятых способов вычисления, которые настраиваются по месту [12]. Для формирования управляющего сигнала переходного процесса используется алгоритм Proportional-Integral-Derivative Control (PID-регулирование).

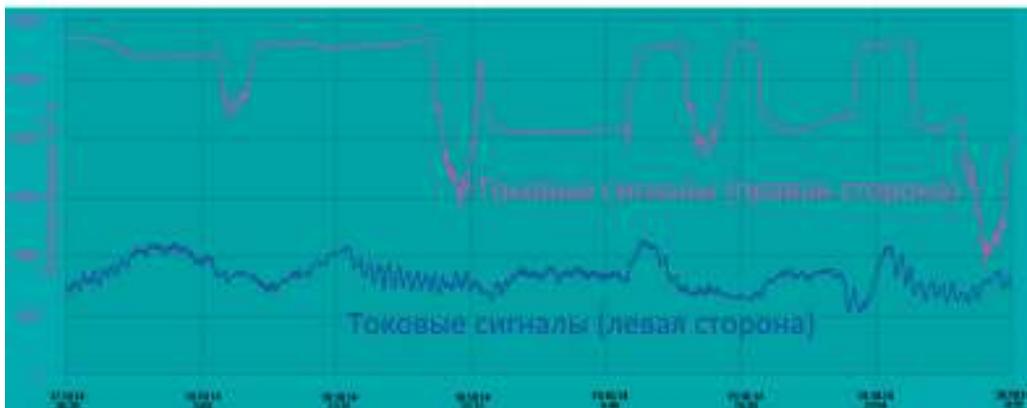
Алгоритм PID-регулирования оперирует суммой трёх слагаемых, первое из которых пропорционально разности входного сигнала и сигнала обратной связи (сигнал рассогласования), второе – интеграл сигнала рассогласования, третье – производная сигнала рассогласования. Таким образом, данный алгоритм учитывает как текущую величину рассогласования, так и динамику ее формирования (интеграл по времени) и тенденцию изменения (производную по времени), чтобы определить требуемое значение устанавливаемого регулируемого параметра, при этом величина рассогласования стремится к нулю [12].

При проведении пусконаладочных работ были опробованы два способа управление потоком воздуха на азрацию: релейный (полное открытие/закрытие задвижки по сигналу без PID) и управление по токовым сигналам 0...4-20 мА (4-20 мА – интервал регулирования сигнала, где 4 – полное закрытие задвижки,

**Рисунок 7 – Вторичный преобразователь с модуль-дисплеем и датчик КРК**



А. РЕГУЛИРОВАНИЕ ПОДАЧИ ВОЗДУХА С ПОМОЩЬЮ РЕЛЕ



Б. РЕГУЛИРОВАНИЕ ПОДАЧИ ВОЗДУХА С ПОМОЩЬЮ ТОКОВЫХ ВЫХОДОВ С PID

РИСУНОК 8 – СРАВНЕНИЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПОДАЧИ ВОЗДУХА В АЭРОТЕНКАХ А

а 20 – полное открытие). «Нулевой» сигнал используется как защита от повреждений преобразователя или кабельного шнура и если происходит отказ преобразователя или обрыв шнура или же в линии связи возникает короткое замыкание, то ток через балластный резистор будет равен нулю, что соответствует «отрицательному» сигналу на приемной стороне. Это может быть очень легко обнаружено и использовано как аварийный сигнал «неисправность преобразователя».

**Релейное регулирование** дало возможность управлять задвижкой при постоянном изменении величины растворённого кислорода в аэротенках. Но изменение положения задвижки производилось постоянно, даже при незначительных изменениях в показаниях датчиков концентрации растворенного кислорода, находящихся в диапазоне допу-

стимого значения, что привело к постоянному срабатыванию электрических приводов запорно-регулируемой арматуры.

**Регулирование токовыми сигналами** позволило управлять задвижкой только при отклонении величины растворённого кислорода в аэротенках с относительно уставки контроллера более 5 %. Допустимый диапазон изменений существенно снизил количество срабатываний запорно-регулируемой арматуры, что увеличивает срок службы последней без снижения технологического эффекта очистки.

На рис 8 показано изменение объема воздуха, подаваемого в аэротенки А, при релейном и токовым (токовыми сигналами) управлении.

На рис. 8 видно, что с помощью реле происходит менее глубокое регулирование расхода воздуха, его подача относительно стабильна, что не соответствует поступлению

загрязнению по часам суток. Это поступление меняется весьма существенно, а, значит, должен меняться расход воздуха и, в результате чего, должна поддерживаться КРК.

Стоит отметить, что объемы воздуха, подаваемые при разных методах регулирования, близки:

- при помощи реле расход воздуха на аэротенк составил  $\sim 120\,000\text{ м}^3/\text{сут.}$ ;
- при помощи токовых выходов –  $113\,000\text{ м}^3/\text{сут.}$ , что на 6% меньше.

Однако, подаваемый при токовом регулировании расход воздуха более соответствует потребности аэротенка. Как показано на рис. 9, концентрация кислорода при управлении с помощью реле непостоянное и как следствие страдает качество очистки сточных вод.

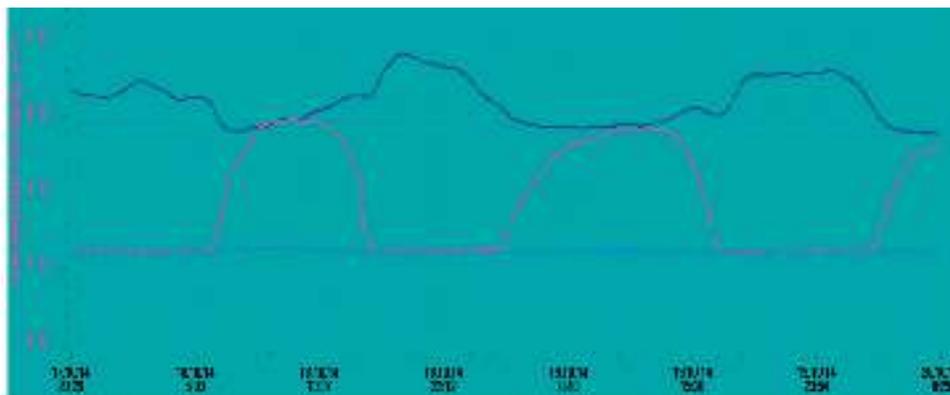
Регулирование с помощью токовых выходов более чувствительно к изменениям концентрации растворенного кислорода (отражающей изменение количества поступающих загрязнений) и, как следствие, для

поддержания установленной концентрации кислорода требовалось затратить меньше воздуха. При этом реле, имея замедленный отклик от установленного значения, расходует больше воздуха.

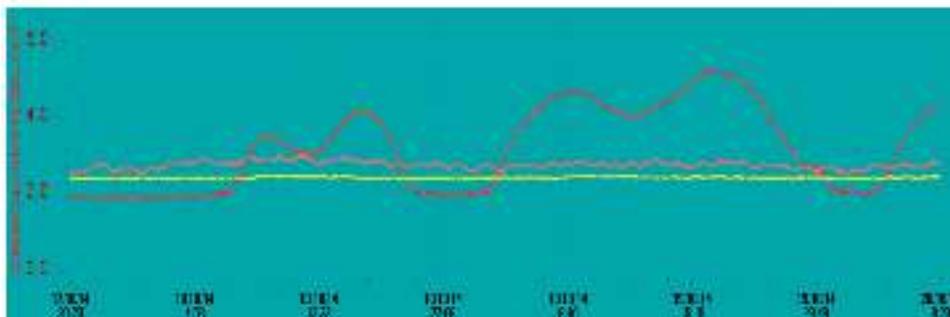
Аэротенки А в Зем коридоре не имеют контура регулирования подачи воздуха (датчик только информативный), поэтому для этих аэротенков наблюдается существенный перерасход воздуха и повышенной концентрации кислорода. Однако, в аэротенках Б в Зем коридоре, где есть контур регулирования подачи воздуха, также наблюдается перерасход, что вызвано сложностью поддержания баланса минимального уровня интенсивности аэрации и необходимой концентрации кислорода – к концу 3го коридора потребление кислорода становится ниже объема, требуемого для минимальной аэрации иловой смеси.

По результатам описанных испытаний был выбран токовый способ как более щадящий для задвижек и гарантирующий стабиль-

**Рисунок 9 – Поддержание уровня концентрации растворенного кислорода в аэротенках с разным управлением подачи воздуха**



**А. Аэротенк А с релейным управлением**  
Голубая линия – 1й коридор, розовая линия – 2й коридор, синяя линия – 3й коридор



**Б. Аэротенк Б с управлением по PID-алгоритму с помощью токовых выходов**  
Оранжевая линия – 1й коридор, желтая линия – 2й коридор, красная линия – 3й коридор

А. Для аэротенков А



Б. Для аэротенков Б



Рисунок 10. Составляющие эффективности регулирования подачи воздуха

ное поддержание КРК в регулируемых зонах с точки зрения расхода воздуха.

Фактическая экономия расхода воздуха, подаваемого в реконструируемые аэротенки представлена на рис. 10 (на примере аэротенков А, Б с нитри-денитрификацией в сравнении с аэротенками без НДН), результаты экономии количества воздуха на аэрацию при реализации регулирования (установка регулируемых воздуходувок) представлено в табл. 3.

Эксплуатация аэротенков после реконструкции показала, что применение эффективных аэрационных систем с высокими массообменными характеристиками в совокупности с системой регулирования позволяет обеспечивать необходимую подачу воздуха и не допускать как дефицита кислорода,

так и «передува» в условиях неравномерности гидравлической и массовой нагрузки на аэротенки, включая залповые поступления при сбросах в общегородскую систему канализации.

Таблица 3 – Снижение расхода воздуха при регулировании

Н именов ние характеристики	Экономия, %	Снижение расход , м³/ч
Регулиров ние в эротенк х А	30,5	4 960,0
Регулиров ние в эротенк х Б	42,6	10 190,0

В аэротенках А аноксидная и анаэробная зоны выделены компактно в двух третях 1го коридора и составляет 22%. При этом основной смысл схемы в удалении фосфатов, доказательством чего служит точка подачи нитратного рецикла. В аэротенках Б аноксидная и анаэробная зоны разделены между 1м и 2м коридорами и их суммарный объем составляет 33%. При этом в схеме соблюден баланс между процессами удаления азота и фосфора за счет четко выделенных зон, а также разделения подачи сточной воды между аноксидной и анаэробной зоной. Такое распределение также позволяет эффективнее удалить органические загрязнения, окисление которых требует большего расхода воздуха. Как следствие, за счет большего объема без аэрации, а также приведенных технологических особенностей протекания процесса очистки, аэротенки Б являются более энергоэффективными.

Реализованная система управления подачей воздуха совместно с технологией нитри-денитрификации и высокоэффективными системами аэрации дает возможность экономии потребления электроэнергии до 50 %. При этом стоит отметить, что все работы были выполнены за собственные средства ООО «ЧЕЛНЫВОДОКАНАЛ» с выделением основных 6 этапов реконструкции. Суммарные затраты 5 этапов, которые были выполнены до 2018 г., включают в себя выше описанные работы и примерно равны затратам 6-го этапа – замена воздуходувных агрегатов, который является наиболее дорогостоящим.

На 6-м этапе предполагается установка 2-х высоковольтных (на 6 кВт) многоступенчатых воздуходувок, регулируемых за счет изменения количества рабочих ступеней, с характеристиками 45 000 м<sup>3</sup>/ч, 62 кПа, 1000 кВт. Установка новых воздуходувок с возможностью регулирования производительности позволит практически получить создаваемую системой управления экономию электроэнергии, что в свою очередь повысит окупаемость воздуходувок. Удельное энергопотребление очистных сооружений снизится с начального 1,345 кВт\*ч/кг КЭ до 0,725 кВт\*ч/кг КЭ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Данилович Д.А. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА НА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ КАНАЛИЗАЦИИ ВОД // Водоснабжение и санитарная техника. 2011. №1, с. 9-20.
2. ИТС 10-2015, Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов. М: Бюро НДТ, 2015, 377 с.
3. LAWRENCE J. PAKENAS, P.E. ENERGY EFFICIENCY IN MUNICIPAL WASTEWATER TREATMENT PLANTS. TECHNOLOGY ASSESSMENT. NEW YORK STATE, ENERGY RESEARCH AND DEVELOPMENT AUTHORITY. (2012).
4. LAWRENCE J. PAKENAS, P.E. WASTEWATER TREATMENT AND SLUDGE MANAGEMENT. ENERGY REFERENCE GUIDE. NEW YORK STATE, ENERGY RESEARCH AND DEVELOPMENT AUTHORITY. (2012).
5. Мешенгиссер Ю. М., Щетинин А. И., Есин М. А., Реготун А. А. Опыт ретехнологизации действующих сооружений биологической очистки сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2012. №1, с. 43-52.
6. Данилович Д.А. Система подачи и диспергирования воздуха в аэротенках: опыт эксплуатации, оценка эффективности и соответствия НДТ. М: «НДТ», 2017, 2, с. 6-18.
7. Смирнов А.В., Есин М.А. Пути решения непростой задачи: реализация схем биологического удаления фосфора из сточных вод // ВодаMagazine, 2014. №8 (84), с. 20-25.
8. ПАТЕНТ НА ИЗОБРЕТЕНИЕ №2508252 «Способ и устройство автоматического управления аэротенками», патент на полезную модель №115162 «Способ и устройство автоматического управления аэротенками»
9. Мешенгиссер Ю. М., Щетинин А. И., Остроуценко Н. Г., Коннов В. Н., Марченко Ю. Г., Михайлов В. К., Михайлов А. В., Минабутдинов А. С. Системы аэрации большой мощности // Водоснабжение и санитарная техника. 2010. №11, с. 55-59.
10. НАСК М., Платонов М. М. [HTTP://NAWS-RU.1GB.RU/PROJECTS/DETAIL.PHP?ID=74;](http://naws-ru.1gb.ru/projects/detail.php?id=74)
11. Платонов М.М. [HTTP://NAWS-RU.1GB.RU/ARTICLES/INDEX.PHP?ID=932;](http://naws-ru.1gb.ru/articles/index.php?id=932)
12. Шилин А.А., Букреев В.Г. Оптимальное релейное управление с программно реализуемой обратной связью // Труды XII Всероссийского совещания по проблемам управления, Москва, 16-19 июня 2014 г., – М.: ИПУ РАН, 2014. – С. 471-481.

# Олимпийские НДТ – Адлерские ОСК



АО «МАЙ ПРОЕКТ»

**ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ  
ОЧИСТКИ ВОД**
**А.В. Смирнов<sup>1</sup>,  
М.М. Богатырёв<sup>2</sup>,  
Ю.А. Иванова<sup>3</sup>**

Еще совсем недавно отгремели последние фанфары XXIII Зимних Олимпийских игр в южнокорейском Пхёнчхане и мы не можем не вспомнить тот праздник спорта, который был в нашем Олимпийском Сочи в 2014 г. В этом году исполняется 5 лет новым очистным сооружениям, которые были построены в Адлере (район Большого Сочи) как часть олимпийской инфраструктуры. В этой статье мы постараемся подробно рассказать про одни из самых современных и молодых очистных сооружений РФ, после которых всерьёз заговорили о наилучших доступных технологиях (НДТ).

## История

Для обслуживания группы олимпийских объектов в прибрежном кластере и основной части Адлерского района г. Сочи было решено строить новые очистные сооружения. Действовавшие до этого очистные сооружения в Сочи работали в режиме, близком к предельному уровню мощности. Пропускная способность очистных сооружений составляла 40 000 м<sup>3</sup>/сут. – этого, конечно, было недостаточно для обеспечения потребностей олимпийского строительства, а сами сооружения, построенные еще в 1970-е годы, технически устарели. При этом сбросы осуществлялись через глубоководные выпуски, которые по своей протяженности не соответствовали современным нормативам. В условиях строительства Олимпийских объектов требовалось значительное увеличение производительности очистных сооружений канализации, что невозможно было в рамках существующих мощностей без снижения качества очистки и надёжности работы всех сооружений в целом.

В результате проведенного госкорпорацией «Олимп-Строй» тендера в качестве основного проектировщика была выбрана компания ООО «Ростовгипрошахт». Технологическую часть проекта (ТХ) было поручено выполнять инженерной компании ЗАО «Экополимер-М» (с 2014 г. – АО «МАЙ ПРОЕКТ», далее по тексту - новое название).

В 2008 г. проект ОСК был выполнен в кратчайшие сроки, прошел государственную экспертизу, общественные и экологические слушания, после чего был выполнен комплект Рабочей документации и был дан старт стройке (рис. 1).

При проектировании Адлерских ОСК были применены инновационные решения, которые определило развитие ВКХ в некоторых отраслях:

- Впервые было применено 3D проектирование очистных сооружений (рис. 2).

<sup>1</sup> Смирнов Александр Владимирович, зам. н. ч. технологического отдела, АО «МАЙ ПРОЕКТ»

<sup>2</sup> Богатырёв Михаил Владимирович, главный инженер МУП город Сочи «Водоканал»

<sup>3</sup> Иванова Юлия Александровна, главный технолог МУП город Сочи «Водоканал»



**Рис. 1 – Проект и площадка строительства Адлерских ОСК**

- Сооружения были запроектированы с учетом наилучших доступных технологий, что на тот момент являлось не обязательной нормой при проектировании, и сегодня они соответствуют ИТС10-2015 по нормам НДТ 4, НДТ 7, НДТ 9, НДТ 10, НДТ 13, НДТ 14, НДТ 15.

- На очистных сооружениях реализована система нулевой эмиссии – все сооружения накрыты герметичными укрытиями, воздух с сооружений подается на газоочистку.

- Внедренная система утилизации осадка включает обезвоживание и сушку, что, помимо снижения объема, приводит к обеззараживанию осадка.

### ОПИСАНИЕ ПРИНЯТОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ

Принятая проектом технологическая схема очистки сточных вод предусматривает предварительную механическую очистку, полную

биологическую очистку, доочистку и обеззараживание очищенных сточных вод. Для утилизации образующегося осадка предусмотрен комплекс механического обезвоживания осадка на центрифугах с последующей дополнительной сушкой.

### Узел МЕХАНИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ

В соответствии с проектом смесь городских сточных вод (100 000 м<sup>3</sup>/сут.) поступает в приемную камеру по четырем напорным трубопроводам Ø800 мм. На каждом подводящем коллекторе установлен расходомер. Из приемной камеры (рис. 3) сточные воды распределяются по 6 распределительным каналам и поступают в здание решеток.

В здании решеток последовательно установлены решетки грубой очистки (40 мм) и решетки тонкой очистки (6 мм). Для тонкой очистки проектом предусмотрены барабанные решетки с интегрированной системой уплотнения задержанных веществ (рис. 4). Отходы с решеток уплотняются и выгружаются в горизонтальный шнековый транспортер, а далее – в контейнер, который вывозится автотранспортом на дальнейшую утилизацию. Для дополнительного удаления остаточного фосфора из сточных вод проектом принят узел реагентного осаждения, установленный в здании решеток.



**Рис. 2 – 3D модель очистных сооружений**

После здания решеток сточные воды по лоткам поступают в аэрируемые горизонтальные пескожировловки (рис. 5) и проходят очистку от механических примесей. На этих сооружениях происходит задержание минеральных примесей (песка) и всплывающих веществ (жира). Сгребание песка к песковому приямку осуществляется при помощи донной скребковой цепной системы против движения воды. Песок, осевший в приямке песколовок, удаляется периодически при помощи песковых насосов. Обезвоживание пескопульпы от песколовок осуществляется в устройствах отмывки и уплотнения песка, которые расположены в здании решеток (рис. 6). Отмытый от органических примесей и обезвоженный песок наклонным шнековым транспортером выгружается в контейнер и далее вывозится автотранспортом на утилизацию. Вода от пескопульпы самотеком поступает в лоток после решеток.

После каждой аэрируемой песколовки сточные воды собираются в лоток, а затем поступают на осветление в первичные отстойники (рис. 7). После песколовок установлено измерительное устройство для контроля распределения сточных вод по технологическим очередям.

Распределение сточных вод между первичными отстойниками осуществляется через распределительную чашу, оборудованную двумя электрифицированными шиберными затворами. Для сгребания осевшего осадка первичные радиальные отстойники оборудованы илоскребным механизмом, который сгребает осадок в иловый приямок, расположенный в центре отстойника. Удаление осадка из отстойников производится при помощи насосов насосной станции сырого осадка. Всплывающие вещества задерживаются



**Рис. 3 – ПРИЕМНАЯ КАМЕРА И РЕШЕТКИ ГРУБОЙ ОЧИСТКИ**



**Рис. 4 – РЕШЕТКИ ТОНКОЙ ОЧИСТКИ И УЗЕЛ ХИМ. УДАЛЕНИЯ ФОСФАТОВ**



**Рис. 5 – Горизонтальные песколовки (после и до установки укрытия)**

при помощи полупогружных досок, укрепленных перед переливным бортом сборного лотка.

### Узел биологической очистки

После механической очистки сточные воды подаются на биологическую очистку в аэротенках. Биологическая очистка спроектирована с использованием технологии нитри-денитрификации. Для этого аэротенки разделены на зоны перемешивания и зоны аэрации. Смесь сточных вод с активным илом последовательно проходит обработку в зонах перемешивания (анаэробные и бескислородные условия) и зонах аэрации. Возврат-

ный активный ил подается в начало первых коридоров аэротенков. Сточные воды после первичных отстойников поступают в распределительные камеры аэротенков (рис. 8), в которых осуществляется распределение сточных вод между двумя секциями аэротенков. Также при помощи распределительной камеры выполняется распределение подачи осветленной сточной жидкости между двумя зонами перемешивания в каждой секции аэротенков.

Зоны перемешивания выделены в первой половине 1-го коридора и 1-й половине второго коридора каждой секции аэротенков. Регулирование поступления сточных вод в зоны аэротенка осуществляется при помощи электрифицированных шиберных затворов, установленных в распределитель-

**Рис. 6 – Устройство отмывки и обезвоживания песка**



**Рис. 7 – Первичные отстойники (вид снаружи и внутри)**

ных камерах. Сигнал о работе направляется в диспетчерскую.

Для поддержания иловой смеси во взвешенном состоянии в зонах перемешивания предусмотрены погружные механические мешалки, в зонах аэрации – торообразные аэраторы. Сигнал о работе мешалок подается в диспетчерскую. Воздух для аэрации и перемешивания иловой смеси подается от воздуходувок, установленных в воздуходувной станции. На подводящих воздуховодах каждой секции аэротенков установлены расходомеры воздуха.

Для обеспечения внутренней рециркуляции иловой смеси предусмотрены погружные насосы. Рециркуляция осуществляется из конца второго коридора (зона аэрации) в начало первого коридора (зона перемешивания). В конце 3-го коридора каждой секции аэротенков установлены автоматические пробоотборники и автоматические анализаторы непрерывного действия по соединениям: азот аммонийный, азот нитратный, фосфаты, взвешенные вещества, растворенный кислород. Информационный сигнал от автоматических анализаторов направляется в диспетчерскую.

После аэротенков иловая смесь подается для отстаивания во вторичные отстойники (рис. 9). Всего вторичных отстойников 8 шт. Для илоразделения впервые в РФ использова-

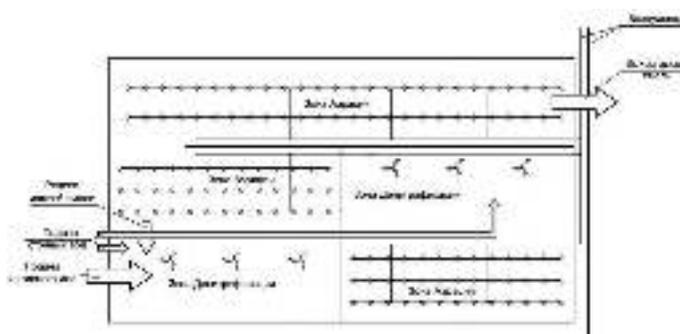


ны илососы с возможностью индивидуальной регулировки расхода возвратного ила от каждого сосуна (с контролем дозы ила).

Иловая смесь после аэротенков направляется в распределительную чашу вторичных отстойников. Регулирование поступления иловой смеси происходит при помощи



**Рис. 8 – Аэротенки нитри-денитрификации и их технологическая схема работы**





**Рис. 9 – Вторичные отстойники (в работе и опорожненные)**

**Рис. 10 – Доочистка и обеззараживание сточных вод**



электрифицированных шиберных затворов, установленных в распределительной чаше отстойников.

Удаление осевшего активного ила производится при помощи илососного механизма под действием гидростатического давления. Регулирование количества удаляемого осадка (активный ил) производится при помощи регулируемых шиберных устройств, установленных в иловых камерах. Активный ил в самотечном режиме поступает в насосную станцию циркуляционного ила.

### **Узел доочистки и обеззараживания**

Осветленные биологически очищенные воды после вторичных отстойников поступают на доочистку, которая осуществляется на барабанных дисковых фильтрах, установленных в корпусе доочистки и обеззараживания (рис. 10). Подача сточных вод на доочистку осуществляется в самотечном режиме.

Фильтры работают на основе проверенного принципа барабанного фильтра: установка состоит из вращающихся фильтровальных дисков, закрепленных на горизонтальном полом валу, и на 60% погруженных в воду. Каждый диск состоит из взаимозаменяемых сегментов сита из нержавеющей





**Рис. 11 – Илоуплотнитель и центрифуги**

стали. С обеих сторон на сегментах диска, как на барабане, натянута тонкая сетка из нержавеющей стали с размером ячейки сита 18 мкм. Сточные воды, подлежащие очистке, протекают сквозь сегменты, а фильтрат сливается в заднем отверстии фильтра. Когда сопротивление фильтра повышается, включается режим промывки фильтра. Промывка осуществляется вследствие медленного вращения фильтрующих дисков с промывными форсунками. Подача в форсунки осуществляется насосом, отбирающим часть отфильтрованной сточной воды. Для выведения из

работы фильтров доочистки предусмотрен обводной канал.

После сооружений доочистки стоки подаются на установку ультрафиолетового обеззараживания лоткового типа, установленную в корпусе доочистки и обеззараживания. Для распределения сточных вод по лоткам предусмотрены электрифицированные шиберные затворы. Обеззараживание сточных вод производится при помощи лотковых модулей УФО, установленных по 6 шт. в трех каналах. На сборном лотке УФО установлены: ультразвуковой расходомер, автоматический

**Рис. 12 – Барабанная сушка и бункер хранения высушенного осадка**



пробоотборник, мутномер. Сигнал работы оборудования КИП направляется в диспетчерскую.

Очищенные и обеззараженные сточные воды по сбросному лотку поступают в камеру и далее, по самотечному коллектору, к месту сброса в море. Глубоководный выпуск протяженностью около 4 км расположен в районе устья р. Мзымта и состоит из двух частей: наземная часть – 400 м и морская часть – 3260 м. Коллектор уходит в море на глубину до 24 м. При строительстве морской части выпуска использовались трубы из полиэтилена, стойкие к агрессивной среде Черного моря. Трубы обладают высокой устойчивостью к истиранию стенок и коррозии, не требуется электрохимическая защита и дополнительная гидроизоляция. Морская часть коллектора укладывается в специ-

ально разработанную подводную траншею. Важной особенностью выпуска является рас-труб длиной 260 м, который оборудован 17-ю рассеивающими выпусками. Таким образом, обеспечивается лучшее смешение очищенных сточных вод с морской водой.

### **Узел обработки осадка сточных вод и избыточного активного ила**

Проектом предусмотрено механическое обезвоживание смеси осадка сточных вод и уплотненного избыточного активного ила с дополнительной сушкой. Смесь образующихся осадков аккумулируется в резервуаре осадка перед цехом механического обезвоживания.



**Рис. 13 – Диспетчерская очистных сооружений**



Избыточный активный ил насосами перекачивается в распределительную камеру илоуплотнителей (рис. 11). Удаление уплотненного ила производится при помощи системы илоскребных механизмов с системой низкоградиентного перемешивания.

Уплотненный избыточный активный ил самотеком через регуляторы выпуска осадка поступает в резервуар осадка перед ЦМО. Цех механического обезвоживания осадка представлен тремя технологическими линиями в составе которых: центрифуга с гидроприводом, подающий насос с мацератором, узел приготовления флокулянта с насосом-дозатором, транспортер обезвоженного осадка, расходомеры осадка и флокулянта. После центрифуг обезвоженный осадок от каждой технологической линии подается на линию дополнительного обезвоживания на барабанной высокотемпературной сушке (рис. 12).

### ОЧИСТКА ГАЗА И СБРОС ОЧИЩЕННОЙ ВОДЫ

На Адлерских очистных используется система накрытия всех сооружений и откачки газов для очистки на плазмокаталитических реакторах (два корпуса очистки газозвездных выбросов), благодаря чему удалось избе-

жать попадания газов в атмосферу, сократить санитарно-защитную зону сооружений до 50 метров и улучшить экологическую обстановку района, в котором располагаются ОСК.

### ДИСПЕТЧЕРСКАЯ И КИПиА

На сооружениях реализована самая современная система управления технологическим процессом очистки сточных вод: на каждом этапе установлены датчики контроля, расходомеры и уровнемеры, всё оборудование имеет местное и дистанционное управление. Все сигналы с каждого узла выведены на верхний уровень АСУ – в диспетчерскую (рис. 13)

Спустя более 5 лет сооружения отлично справляются с поставленными задачами очистки воды и обработки осадков (табл. 1).

Адлерские ОСК на сегодняшний день являются одними из самых современных станций на территории Европы. Примененные проектные решения, заложенные более 10 лет назад (проект 2008 г.), во многом определили пути развития современных технологий очистки и являются примером очистных сооружений, реализованных по принципам НДТ.

**Таблица 1. Проектное и фактическое качество сточных вод**

№	Наименование загрязнителя	Проект/факт 2017 г., мг/л		Норматив сброс в Черное море, мг/л
		Поступающие	Очищенные	
1	ХПК	293,4/247	30,8/29	-
2	БПК5	173,4/148,4	7,1/2,4	3,0
3	Взвешенные вещества	184,7/121	5,0/3,6	10
4	Азот аммонийный	22,84/21,6	0,2/0,16	2,3
5	Азот нитритный	-	0,02/0,01	0,02
6	Азот нитратный	-	8,8/7,6	9
7	Фосфор фосфатов	3,27/2,54	0,4/0,1	0,2
8	АПВ	0,4/1,76	0,1/0,025	0,1
9	Нефтепродукты	0,67/1,77	0,05/0,04	0,05



## НАИЛУЧШИЕ ДОСТУПНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ «МАЙ ПРОЕКТ»



Очистка сточных вод всегда является сложной инженерной задачей во все времена.

На сегодняшний день, мы рады вам представить комплексные технологические решения под общим названием «MY Technologies», по направлениям:

- **MY MET** – механическая очистка сточных вод;
- **MY BIO** – биологическая очистка стоков по технологиям: классической, нитри-денитрификации и ряда инновационных способов очистки;
- **MY Filter** – доочистка сточных вод;
- **MY MBR** – очистка с помощью мембранных биологических реакторов;
- **MY SHLUM** – обработка и обезвоживание;
- **MY SBR** – очистка стоков переменного расхода с помощью реакторов последовательно-переменного действия;
- **MY DAF** – физико-химическая и флотационная очистка;
- **MY AMI** – анаэробные установки производственных стоков.



тел.: +7 (495) 989 85 04  
e-mail: [info@myproject.msk.ru](mailto:info@myproject.msk.ru)  
[www.myproject.msk.ru](http://www.myproject.msk.ru)



АО «МАЙ ПРОЕКТ»