

# ЕНДТ

НАИЛУЧШИЕ  
ДОСТУПНЫЕ  
ТЕХНОЛОГИИ  
ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ



Водоотведение: проблемные  
вопросы и внедрение  
современных технологий

(подборка из журнала “Наилучшие Доступные  
Технологии водоснабжения и водоотведения”)

---

Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации в 2014-2015 гг. во исполнение постановления Правительства Российской Федерации от 20.09.2014 № 961 осуществляет разработку справочника о наиболее эффективных технологиях, применяемых при модернизации (строительстве, создании) объектов коммунальной инфраструктуры.

В соответствии с нормативными требованиями справочник будет регулярно актуализироваться и пополняться.

Журнал «Наилучшие Доступные Технологии водоснабжения и водоотведения» публикует информацию о современных технологиях, проводит экспертный анализ практики их применения на предмет включения в справочник, осуществляет популяризацию справочника.

Данный сборник **«Водоотведение: проблемные вопросы и внедрение современных технологий»** содержит профессионально подготовленную журналом информацию, позволяющую специалистам ознакомиться с технологическими, техническими и экономическими аспектами внедрения НДТ.

Приглашаем профильные подразделения администраций субъектов Федерации и органов местного самоуправления, предприятия водопроводно-канализационного хозяйства использовать журнал «Наилучшие Доступные Технологии водоснабжения и водоотведения» в своей работе, в том числе при планировании строительства и модернизации объектов водоснабжения и водоотведения.

Предлагаем направлять в экспертную группу журнала «НДТ» ([info@vodexp.com](mailto:info@vodexp.com)) информацию о применяемых эффективных технологических решениях и лучших практиках в сфере водоснабжения и водоотведения.

# СОДЕРЖАНИЕ

Технологии очистки городских сточных вод: ретроспектива развития в России и перспективные направления .....	3
Энергоресурсный подход к очистке сточных вод и обработке осадков .....	19
Обоснование выбора технологического оборудования по очистке сточных вод.....	27
О новациях в сфере техники и технологий в ВКХ .....	39
Новое механическое оборудование для очистки сточных вод .....	51
Реализация технологий удаления азота и фосфора из сточных вод: роль проектирования и эксплуатации .....	59
Разработка типовых решений по автоматизации процессов биологической очистки сточных вод с совместным удалением азота и фосфора.....	71
Участие специалистов НПФ «ЭкоТОН» в модернизации очистных сооружений канализации МУП «ЛиСА» г. Липецк .....	86
Реализация проектов с внедрением мембранных технологий для очистки сточных вод.....	94
Блок удаления биогенных элементов Люберецких очистных сооружений г. Москвы – этапы внедрения современных технологий .....	99
Фито-системы для очистки сточных вод: современное решение экологических проблем .....	117
Современный инновационный экономичный метод обезвоживания и обеззараживания осадков сточных вод.....	127
Технология ГНБ как инструмент привлечения дополнительных доходов предприятий ВКХ .....	133

Данилович Д.А.

Российская ассоциация  
водоснабжения и  
водоотведения

# Технологии очистки городских сточных вод: ретроспектива развития в России и перспективные направления

## Исторический аспект

Интенсивное строительство городских очистных сооружений в 70–80-е годы прошлого века в значительной степени велось по типовым проектам или техническим решениям. Это позволяло значительно ускорять работы, однако, наряду с нехваткой элементарного оборудования, тормозило использование новых решений.

К удачным решениям советского периода следует отнести практически все сооружения, необходимые для осветления и биологической очистки:

- радиальные отстойники (в том числе большого диаметра и большой глубины) с илоскребами;
- коридорные аэротенки-вытеснители;
- фильтровые пластины (которые, при всех их хорошо известных недостатках, служили 12–15 лет);
- турбовоздуховки.

В результате удачных технологических и конструктивных решений стандартное качество очистки сточных вод в СССР в 80-е годы 20 века при меньших удельных объемах сооружений, по крайней мере, не уступало сооружениям в Европе и США.

Биофильтры после отказа от распространенных до 70-х годов щелочатых сооружений не получили дальнейшего развития: промышленность не смогла обеспечить массовый выпуск современной пластиковой загрузки. Аэротенки стали практически безальтернативным сооружением для водоканалов.

Люберецкие очистные  
сооружения, г. Москва



Решетки с прозорами 16 мм (а по факту – до 25 мм в отдельных прозорах) были далеки от идеала эффективности. Решения по дроблению отбросов повсеместно себя не зарекомендовали. В результате отбросы вывозили на свалки без всякой обработки.

Практически повсеместны проблемы с горизонтальными и аэрируемыми песколовками, возникшие из слишком оптимистичных формул СНИП, применение которых привело к занижению длины сооружений и времени пребывания. Также очень частыми являются проблемы с гидросмывным удалением песка в песколовках этих типов и с откачкой песка из приямков. Неспециализированные песковые насосы для гидроработок слишком мощные, гидроэлеваторы потребляют большой расход воды и быстро истираются. Обработка песка сводилась (и сейчас почти повсеместно такова) к розливу его на площадках радость воронам и чайкам и на горе жителям ближайших домов.

Горизонтальные отстойники появились у нас существенно позже радиальных. Их основным уязвимым местом являлись цепные плоскребами. Вне зависимости от типа отстойника существовала проблема с насосами для выгрузки осадка из первичных отстойников. Большая часть этих проблем шла от плохо работающих решеток и песколовков. В результате даже на крупнейших сооружениях трудно было подобрать незасоряющийся центробежный насос адекватной (весьма небольшой) производительности. Для этой задачи использовались плунжерные насосы – предмет неустанных забот обслуживающего персонала. Потом стали внедряться огромные перистальтические насосы. Их «ахиллесовой пятой» была высокая стоимость шлангов и (если шланг прорвется) замены внутренней рабочей жидкости. Изобретались и незасоряющиеся насосы на малые расходы (20–30 м<sup>3</sup>/ч).

Фильтры доочистки практически повсеместно создавали проблемы в эксплуатации (неэффективная промывка, потеря загрузки, разрушение дренажной системы, неудовлетворительная очистка). Редко где они эксплуатируются до сих пор. Перенос этой технологии из водоподготовки в очистку сточных вод был столь стремительным, что для очищенной воды после вторичных отстойников (с содержанием взвешенных веществ 10–15 мг/л, до 25 мг/л) вначале закладывались такие же решения, что и для питьевой воды после отстойников. На самом крупном в стране цехе доочистки (Курыновская станция аэрации) был сооружен крупнейший в мире цех доочистки с проектной производительностью 2 млн м<sup>3</sup>/сутки.

**В результате удачных технологических и конструктивных решений стандартное качество очистки сточных вод в СССР в 80-е годы 20 века при меньших удельных объемах сооружений, по крайней мере, не уступало сооружениям в Европе и США.**

Неработающие сооружения доочистки





Бывшие метантенки

На такую мощность цех не вышел, впоследствии его производительность была официально скорректирована до 1,2 млн м<sup>3</sup>/сутки, а в настоящее время в результате износа оборудования не превышает 400 тыс. м<sup>3</sup>/сутки.

Как альтернатива зернистым фильтрам в середине 80-х годов появились «ерши Куликова», изготавливаемые из стекловолокна. В течение нескольких лет они пользовались большой популярностью. Но, оказалось, что с очищенной водой частички стекловолокна выносятся в реки. Предложенные чуть позже лавсановые ерши сваливались в космы. В последнее время ерши с новыми, жесткими пластиковыми нитями вновь обрели некоторую популярность. Но изначальные проблемы массообмена в центре загрузки, а также металлоемкость установки остались.

В целом надо отметить, что отечественная инженерная мысль весьма активно работала над конструкциями фильтров доочистки в тот период, когда в мире основным направлением развития сооружений была действительно актуальная проблема удаления азота и фосфора.

Обеззараживания практически повсеместно осуществлялось хлором (или гипохлоритом), как правило, без автоматизации. Дехлорирование было известно лишь на бумаге, на практике нигде не применялось. Большим исключением в части обеззараживания являлась столица, для которой ученые немалыми усилиями отстаивали недопустимость хлорирования очищенной воды в связи крайне малым разбавлением водой реки Москвы (до 1:1). И никогда она не обеззараживалась до ввода УФ установки на части потока Люберецких очистных сооружений на всем расходе Курьяновских очистных сооружений. Кстати, при этом ни разу за десятки лет не было отмечено ни одной инфекционной вспышки в нижнем течении.

Что касается обработки осадка сточных вод, то практически все оборудование и сооружения для обработки осадка, внедренные в 70–80-х годах, работало гораздо хуже, чем было предусмотрено проектом, или не работало вообще. На очень многих крупных очистных сооружениях возвышаются метантенки, многие из которых не работали ни дня. В большей их части строителям так и не удалось ликвидировать протечки. Бетон протекал на многих сооружениях, но под обваловкой (например, под Ново-Курьяновскими

**Оборудование и сооружения для обработки осадка, внедренные в 70–80-х годах, работало гораздо хуже, чем было предусмотрено проектом, или не работало вообще.**

аэротенками при выводе их на реконструкцию, обнаружили подземную реку), в отличие от метантенков. Часть метантенков не смогли удержать в эксплуатации из-за забивания песком и коркой. Случались и взрывы из-за ошибок, как работников, так и проектировщиков. Там, где метантенки еще работают, далеко не везде биогаз утилизируется. Лишь на Курьяновских и Люберецких очистных сооружениях удалось, несмотря на проблемы с песком и коркой, не только сохранить в работе все имеющиеся метантенки (44 ед.), но и дать им вторую жизнь в результате реконструкции.

В целях экономии основная часть метантенков в стране была запроектирована на термофильный режим сбраживания (53 С) при очень малом времени пребывания в сооружении – 5–6 суток. Такой подход объяснялся тем, что в качестве основной цели сбраживания рассматривалась дегельминтизация осадка. Поскольку в основном сброженный осадок направлялся на иловые площадки, остальные его свойства и параметры после сбраживания были несущественны. Энергетическая тема просто не обсуждалась – в лучшем случае, биогаза хватало на обогрев метантенков (кроме периодов зимних морозов).

В результате действующих норм проектирования на тех сооружениях, где после метантенков было установлено обезвоживающее оборудование, получили дополнительную проблему – недопустимо плохие водоотдающие свойства сброженного осадка. Высокое содержание недоброжелательного, но частично гидролизованного органического вещества осадка требовало

огромных доз реагентов при обезвоживании. Для того чтобы решить эту проблему, было разработано технологическое дополнение к термофильному сбраживанию в виде промывки (смешения с 2–3 объемами очищенной воды) с последующим уплотнением. Как и освоение метантенков, строительство уплотнителей началось с Курьяновских очистных сооружений Москвы. Вначале полагали, что хватит 18 часов уплотнения смеси, потом – 24 часов. На практике – доходило и до 40–45 ч, что эквивалентно 4–5 суткам пребывания неразбавленного промывной водой осадка. При больших нагрузках на уплотнители слишком много (до 25 %) взвешенных веществ сброженного осадка выносилось обратно в первичные отстойники и аэротенки. В результате, все, что было сэкономлено по нормативу на объемах метантенков, пришлось добавлять для уплотнения.

Ну и, конечно, термофильный процесс сбраживания без теплообменников (а они есть только на московских сооружениях, и то не везде) несовместим с целями энергосбережения – каждая тысяча кубометров сброженного осадка уносит с собой энергию 3 тонн мазута.

В противовес анаэробному сбраживанию стали выдвигать (НИИ КВОВ) технологию аэробной стабилизации. Конструктивно исполнение аэробных стабилизаторов мало чем отличалось от аэротенков. Однако использование для аэрации все тех же фильтросных пластин приводило к их ускоренной кольматации в среде осадка. Будучи помноженным на вынужденную изначальную экономию на аэрационной системе, это приводило к тому, что многие аэробные стабилизаторы (работавшие на смеси ила и осадка первичных отстойников) превратились в открытые «горизонтальные метантенки», в которых шли скорее анаэробные, чем аэробные процессы. Недостаток кислорода существенно уменьшал эффективность процесса.

В совокупности эти неудачи привели к тому, что стабилизация осадка сейчас рассматривается в России как нечто необязательное, что конечно, не так.

Построенные в тот же период цеха механического обезвоживания постигла участь метантенков (за исключением того, что здания стоят и могут быть использованы). Все оборудование тех времен не было предназначено для осадка сточных вод, а изначально было разработано для угольной и целлюлозно-бумажной промышленности. В основном оно было ориентировано на работу с минеральными реагентами (известь и хлорное железо). Реагенты эти были не только дефицитны, но и дороги и крайне неудобны в эксплуатации.

Наиболее распространены были вакуум-фильтры. Увы, реагенты «съедали» их за несколько лет. Влажность обезвоженного осадка была высокой, производительность – низкой. Также устанавливались центрифуги ОГШ, обладавшие большим «преимуществом» – они могли, хотя бы и со смехотворным эффектом, работать без реагентов. Это породило целый спектр технологий по обработке фугата (совместная стабилизация с осадками, подсушка на иловых площадках и др.). Освоение камерных фильтр-прессов было многообещающим. Советским специалистам (Харьков, Бердичев) удалось создать знаменитый автоматический фильтр-пресс с горизонтальными плитами ФПАКМ, который даже поставлялся на экспорт. Однако на осадках сточных вод добиться надежной работы этого пресса не удалось.

Старые иловые площадки





Все, что осталось от отделения механического обезвреживания на центрифугах

В конце 70-х в стране всерьез заинтересовались зарубежным процессом теплового кондиционирования. По лицензии и на немецком оборудовании была построена опытно-промышленная установка, позволявшая получать глубоко обезвоженный осадок без реагентов. Однако, она была сложной, дорогостоящей и создавала немалые проблемы с сильнозагрязненным фильтратом. Дальнейшая попытка создать силами отечественной промышленности огромный цех теплового кондиционирования на Люберецких очистных сооружениях не была доведена до конца (с появлением доступных флокулянтов сожалеть об этом не стоит).

Новое тысячелетие подавляющее большинство водоканалов встретило с проверенным «многофункциональным» сооружением обработки осадка – иловыми площадками. Там, где нагрузка на них была умеренной, а осадок наливался тонким слоем, они давали и дают прекрасный результат. Однако при нехватке площадей при глубине 3–5 м иловые площадки превращаются в накопители полужидкого осадка. В климате средней полосы России осадок в таких условиях досушивается до содержания сухого вещества 13–15 %.

До конца 80-х подсушенный осадок весьма активно вывозили на поля. Потом, в перестройку, после печально известной статьи в газете «Московская правда» «Кадмий под грифом «Секретно»» вывозка во многих местах прекратилась.

**Новое тысячелетие подавляющее большинство водоканалов встретило с проверенным «многофункциональным» сооружением обработки осадка – иловыми площадками.**

В целом состояние передовых отечественных сооружений очистки сточных вод, находившихся в 50–60-е годы 20 века в числе мировых лидеров, к началу 90-х годов уже соответствовало 15–20-летнему отставанию от зарубежных коллег. В науке отставание началось еще раньше. Уже с 60-х годов, когда проведение научных работ стало все более требовать использования специализированного оборудования (аналитические приборы, датчики, специализированные насосы, средства автоматизации и т.п.), стало формироваться системное отставание отечественной отраслевой науки, лишенной все этого.

Какое-то время спасал высокий уровень специалистов ведущих организаций, их энтузиазм и находчивость. Потом этого стало не хватать. Известные (и мало изменившиеся к сегодняшнему дню) уровень и способы преподавания иностранных языков, помноженные на скудные возможности библиотек, приводили ко все большему отрыву от зарубежного научно-технического информационного пространства. Поэтому уже в 1985 году, к началу перестройки, можно было констатировать деградацию науки в ряде подразделений отрасли, недопустимое снижению уровня работ, фактической отдачи от них.



## Существующее положение

90-е годы прошлого века начали существенно менять положение в предприятиях отрасли. Из третьеразрядной, как по зарплатам, так и по снабжению, почти не заслуживавшей в СССР даже «своего» оборудования и пользовавшегося тем, что доставалось, она, в условиях кризиса промышленности и не столь тогда жесткого тарифного регулирования, начала превращаться в преуспевающую. В городах, где были установлены адекватные тарифы, до того, как их регулирование де-факто не переместилось из экономической сферы в политическую, водоканалы были весьма прибыльными предприятиями и одними из самых привлекательных работодателей.

Появившаяся возможность приобретения специализированного импортного оборудования позволяла решать многие неразрешимые десятилетиями проблемы.

Проанализируем, как изменилась ситуация с технологиями, конструкциями и оборудованием для очистных сооружений к настоящему времени.

Все, что связано с грубой механической очисткой – сегодня только вопрос финансирования. Предлагаются весьма разнообразные решения оборудования: решетки, прессы для отбросов и удаления песка из песколовков, обработке песка. Из неприглядного состояния отделение решеток может быть превращено в самое презентабельное. Конечно, проблему горизонтальных и аэрируемых песколовков можно решить только путем комплексной реконструкции, с увеличением времени пребывания в них.

Современные придонные, цепные и другие скребки практически уравнивают в надежности эксплуатации горизонтальные и радиальные отстойники. Доступны также и различные конструкции насосов для откачки осадка, в том числе и недорогие центробежные. Реализован ряд сооружений без первичных отстойников. Однако энергозатраты на нихкратно выше, чем с использованием отстойников. Такие решения должны применяться только в особых случаях, при низком содержании загрязнений в сточных водах.

Наибольшие изменения произошли в технологиях биологической очистки. Вместо классической технологии, в которой был реализован единственный процесс – окисления органических загрязнений, теперь стандартом становится технология биологического удаления азота и фосфора, в которой в нескольких выделенных зонах реализуются четыре различных по своей природе биологических процесса.

Отделение решеток  
Юго-Западных очистных  
сооружений Санкт-Петербурга



**Наибольшие изменения произошли в технологиях биологической очистки. Вместо классической технологии, в которой был реализован единственный процесс – окисления органических загрязнений, теперь стандартом становится технология биологического удаления азота и фосфора, в которой в нескольких выделенных зонах реализуются четыре различных по своей природе биологических процесса.**

Блок удаления биогенных элементов Люберецкие очистные сооружения, г. Москва

Все технологии биологического удаления азота и фосфора требуют гораздо более высокого уровня эксплуатации по сравнению с традиционными аэротенками. К сожалению, пока на стадии проектирования велика доля ошибок отечественных проектировщиков в реализации этих технологий. Не является панацеей и привлечение зарубежных специалистов. Их работу затрудняют два обстоятельства: существенные отличия типичной для России городской сточной воды от, например, характерной для Европы (более высокое соотношение азота и фосфора к БПК, невысокая концентрация), а также весьма легковесный подход к оценке исходных данных, предоставляемых Заказчиками.

Первое отличие делает эффективные в Европе технологические процессы биодефосфотации (например, известный ААО

– процесс) плохо работающими в России. Те западные специалисты, которые этого не знают, в результате не могут достичь должного биологического удаления фосфора. Второе (более распространенное при создании локальных очистных сооружений промстоков) – приводит к существенным ошибкам в определении нагрузок на сооружение.

Важнейшим вопросом является использование реагентного осаждения фосфора. Под влиянием скандинавских специалистов и получают распространение технологии с чисто реагентным удалением фосфора. Однако это весьма затратное решение. Как мировой, так и отечественный опыт показывают, что глубокое биологическое удаление фосфора вполне достижимы, а узел дозирования реагентов должен присутствовать, но больше «для страховки».

Гораздо доступнее для водоканалов такой метод повышения эффективности биоудаления фосфора, как acidификация осадка первичных отстойников, хорошо зарекомендовавший себя, например, на самом масштабном блоке с удалением фосфора – на Люберецких очистных сооружениях в Москве.



Весьма робко пока используются такие зарубежные разработки последних 15–20 лет, как циклические (СБР) реакторы и мембранные (МБР) реакторы. СБР – реакторы, в которых весь процесс очистки разворачивается не в пространстве, а во времени, в одной емкости, представляют настоящую находку для служб эксплуатации: вместо 5–6 секций аэротенков по 3–4 зоны в каждом, может быть применено 3–4 емкости, без выделения в них зон и организации рециклов. МБР реакторы, при высочайшем качестве очищенной воды, пока уступают по стоимости очищенной воды (в том числе за счет более высоких эксплуатационных затрат) современной классической схеме с глубокой доочисткой и более оправданы для промстоков.

Все большее место занимают сооружения биологической очистки с прикрепленной биомассой. Из современных конструкций, пригодных для технологий удаления азота и фосфора, следует выделить биофильтры с подвижной (плавающей загрузкой), эффективные как на основной стадии очистки, так и для глубокой доочистки. К тенденции размещения в аэротенках стационарных модулей с загрузкой автор относится с большим сомнением. Стоимость их очевидна, а доля в процессе очистки – большой вопрос и предмет для независимых исследований.

Переходя к анализу решений по доочистке, нельзя не затронуть тему нормирования сбросов. Введенные в конце 80-х годов как основа для нормирования рыбохозяйственные ПДК, на сегодня продолжают применяться в этом качестве лишь в России (давно отменены в Украине, Казахстане, Прибалтике и др.). На практике сохранение общепризнанно недостижимых нормативов вносит исключительно негативный вклад в развитие отрасли. Недостижимость многих нормативов либо подводит к нежеланию их соблюдать, либо причает к систематическому искажению данных – от проекта до отчетной формы 2ТП–водхоз. И, разумеется, недостижимое нормирование препятствует притоку частных инвестиций в очистные сооружения – слишком велики риски.

Для перехода к реалистичным нормативам, учитывающим специфику ВКХ, РАВВ предлагает в ходе происходящего сейчас законотворческого процесса:

1. Ввести поэтапную систему достижения технологических нормативов, соответствующих наилучших доступных технологий (НДТ). Показателям, характеризующим каждый из этапов повышения качества очистки сточных вод, придать статус норматива временно допустимого сброса.

2. Для отнесения конкретных очистных сооружений к определенному этапу использовать показатели фактического содержания в очищенной воде основных антропогенных загрязнений (взвешенные вещества, БПК, азот общий, азот аммонийный, фосфор общий). Отнесение конкретных очистных сооружений к определенному этапу производить по наиболее проблемному из этих загрязнений.

3. Установить три градации водных объектов, для которых будут использоваться соответствующие им наилучшие доступные технологии: объекты с интенсивным водообменом; объекты, склонные к эвтрофикации; прочие объекты.

Для объектов с интенсивным водообменом и для всех водных объектов применительно к сбросам сточных вод от населенных пунктов с числом жителей менее 5 тысяч рассматривать в качестве НДТ стандартные современные технологические решения с биологической очисткой, включающей биологическое удаление азота и фосфора. Для прочих объектов (средняя категория) очистные сооружения дополнять третичной очисткой от БПК и взвешенных веществ. Только для объектов, склонных к эвтрофикации, предусматривать глубокое удаление биогенных веществ.

Решение о необходимости создания сооружений доочистки должно приниматься, исходя из общей ситуации в бассейне водного объекта (региона). Нет смысла делать глубокую доочистку на городских очистных сооружениях, если в эту же реку рядом льется, например, сток большой свинофермы. Необходимо понимать, что сооружения глубокой обойдутся почти в ту же сумму, что и реконструкция биологической очистки, а экологический эффект будет в 5–10 раз ниже.

5. Использовать для очистных сооружений (для условий сброса в водные объекты, склонные к эвтрофикации) несколько уровней временно допустимых нормативов (технологических этапов повышения качества очистки сточных вод), в зависимости от типа водного объекта.

**Введенные в конце 80-х годов как основа для нормирования рыбохозяйственные ПДК, на сегодня продолжают применяться в этом качестве лишь в России (давно отменены в Украине, Казахстане, Прибалтике и др.). На практике сохранение общепризнанно недостижимых нормативов вносит исключительно негативный вклад в развитие отрасли.**

**Сооружения глубокой обойдутся почти в ту же сумму, что и реконструкция биологической очистки, а экологический эффект будет в 5–10 раз ниже.**



КОС Релино,  
Санкт-Петербург

За рубежом сфера доочистки сточных вод в последние 15–20 лет значительно прогрессирует, чего нельзя сказать об отечественном опыте. Можно перечислить из современных решений:

- биофильтр с подвижной загрузкой;
- самопромывной зернистый фильтр, в том числе с предварительной коагуляцией и флокуляцией, либо в режиме нитрифицирующего или денитрифицирующего биофильтра;
- дисковые сетчатые фильтры;
- осаждение с рециркулирующими частицами песка или магнетита (метод Actiflo и другие);
- фильтр-биофильтр с пенополистирольной загрузкой.

Наибольшее распространение в России современное оборудование получило пока не в процессах очистки сточных вод, а в обработке осадка, а именно – в обезвоживании. Рынок обильно насыщен альтернативными предложениями: центрифуги, ленточные фильтр-прессы, шнековые прессы (для малых расходов осадка). Давно забыты вакуум-фильтры, практически ушли с рынка камерные фильтр-прессы. Все больше становится отечественных производителей ленточных фильтр-прессов. Центрифуги (декантеры) пока на 100 % остаются импортными.

Выбор между центрифугами и ленточными фильтр-прессами – непростая задача. В пользу центрифуг говорит компактность, закрытое исполнение, хорошая автоматизация, высокая единичная производительность. Против – гораздо более высокая энергоемкость, высокая стоимость изнашивающихся частей, необходимость в квалифицированном обслуживании, чувствительность к песку в осадке. За ленточные прессы – крайне небольшая энергоемкость, простота эксплуатации, к недостаткам можно отнести большие габариты, несколько меньшая производительность, чувствительность к содержанию крупных включений в осадке.

Важный фактор выбора обезвоживающего оборудования (применительно к сырым осадкам) – его совместная работа с узлом сгущения. Применение технологии биологического удаления фосфора требует отказа от традиционного гравитационного уплотнения избыточного активного ила и применения механического оборудования. Для таких условий ленточные прессы на крупных очистных сооружениях обладают серьезным преимуществом – они могут быть легко скомпонованы по вертикали с ленточными же гравитационными сгустителями, что позволяет осуществлять сразу и сгущения и обезвоживание при однократном дозировании флокулянта. Применение любых сгущающих аппаратов перед центрифугами требует двукратного добавления флокулянта, что увеличивает его расход.

За рубежом повсеместен интерес к биогазу, как возобновляемому энергетическому источнику, в том числе для производства тепла и электроэнергии. В России метод сбраживания осадка по-прежнему практически не находит применения, как, впрочем и все методы его стабилизации. В подавляющем большинстве случаев вся обработка осадка на практике сводится к его обезвоживанию.

Это порождает немало проблем, к которым следует отнести: распространение запахов, угрозу гельминтозов и распространения инфекций. Кроме того, существует еще одна не столь очевидная проблема: нестабилизированный осадок неизбежно распадается в месте его захоронения, при этом выделяется вода, связанная с распавшимися частицами. Сооружения захоронения, как правило, не оборудованы необходимым дренажом. В результате влажность осадка, например, с 78 % возрастает до 83–85 %, и он переходит в полужидкое состояние. Данный эффект привел к необходимости для одного из крупнейших водоканалов повторно обезвоживать осадок, хранившийся в емкостях-накопителях.

Начинает, но очень медленно, развиваться метод компостирования – аэробной биологической обработки осадка, обеспечивающей его стабилизацию, дегельминтизацию и частичное обеззараживание. В существующих условиях основная трудность заключается не столько в организации самого процесса, сколько в последующей утилизации компоста. Эффективно решать эту задачу под силу только малому частному бизнесу. Нельзя не отметить весьма распространенную профанацию понятия компостирования, когда этим словом называют механическое смешение нестабилизированного осадка с торфом, песком и др.

В качестве дополнительного метода обработки осадка, обеспечивающего многократное сокращение объема, все чаще рассматривают метод термической сушки. Это – универсальный метод подготовки осадка к дальнейшей утилизации. Высушенный осадок легко вносится в качестве удобрения, причем возможно его размещение на существенно больших территориях сельхозугодий. За рубежом высушенный осадок охотно принимают цементные заводы. На полигонах ТБО и промтоходов его используют в качестве промежуточных слоев. Наименее целесообразно, да и чревато возгоранием – складировать высушенный осадок на монополигонах и в накопителях. Следует обратить внимание, что наиболее экономично использовать сушку совместно со сбраживанием. В этом случае биогаз используется как источник энергии (напрямую, или через мини-ТЭС), а горячий конденсат – для обогрева метантенков. В результате сушка осадка не требует дополнительных энергозатрат.

Сжигание осадка в настоящее время работает только в Санкт-Петербурге. Против этого метода сейчас не только высокая стоимость оборудования, но и устоявшееся общественное мнение о вреде любого сжигания, уже давно необоснованное применительно к современному оборудованию газоочистки.

Метод почвенной утилизации пока остается в кризисе, вызванном необоснованным отношением к нему исключительно как к опасному отходу. Хотя уже давно содержание тяжелых металлов в осадках стало в несколько раз меньше и соответствует ГОСТ, использование осадка в качестве удобрения тормозится множественностью надзорных органов, их коррумпированностью, а также несоразмерными требованиями к разрешительной документации. В результате игнорирования государством этой проблемы немалая часть осадка все равно попадает на поля, но уже вне всякого контроля доз и условий внесения.

Постепенно начинает формулироваться задача борьбы с запахами. Устаревшие подходы отечественной системы санитарно-гигиенического надзора, базирующиеся на измерении не более 4 показателей дурно пахнущих веществ, пока позволяют в большинстве случаев игнорировать проблему. Однако задачи развития городов вблизи существующих очистных сооружений, необходимость улучшения имиджа водоканалов в ряде мест принуждают прорабатывать радикальные мероприятия по борьбе с запахами. За рубежом, как известно, уже давно отработаны методы решения проблемы запахов, включающие в себя перекрытие сооружений и очистку вентвыбросов. Развивается также направление борьбы с запахами на больших территориях путем разбрызгивания растворов препаратов.

В последние годы очевиден интерес к проблематике энергосбережения. Современные технологии и оборудование позволяют не только сократить энергопотребление, но и достичь энергонезависимости очистных сооружений. Наряду с мерами по энергосбережению (эффективные системы аэрации при оптимальных нагрузках и раскладках, регулируемые воздуходувки, отказ от аэробной стабилизации ила) это достигается энергогенерацией на основе биогаза при глубоком сбраживании осадков. Использование тепловых насосов для утилизации почти неисчерпаемого тепла сточных вод позволяет зарубежным компаниям ставить и более амбициозные планы. Так, водоканал Гамбурга заявил о намерении добиться автаркии (энергонезависимости) в целом для ВКХ города.

**В подавляющем большинстве случаев вся обработка осадка на практике сводится к его обезвоживанию. Это порождает немало проблем.**

**Метод почвенной утилизации пока остается в кризисе, вызванном необоснованным отношением к нему исключительно как к опасному отходу, хотя уже давно содержание тяжелых металлов в осадках стало в несколько раз меньше и соответствует ГОСТ.**



Реконструированные  
метантенки  
Люберецких очистных  
сооружений,  
Москва

**Современные технологии и оборудование позволяют не только сократить энергопотребление, но и достичь энергонезависимости очистных сооружений.**

Важнейшей составляющей современных сооружений является система АСУТП. Огромной проблемой на стадии ее внедрения является «лоскутность» и разрозненность создаваемых подсистем, что вызвано поэтапным их созданием, в том числе в условиях требований по проведению конкурсов. Современный уровень – это обеспечение полной интеграции всех информационных баз и потоков, касающихся не только технологических процессов, но управления производством в целом. В области технологии за рубежом все больше применяются

индивидуальные пользовательские модели процессов, написанные для конкретных сооружений. Это программное обеспечение и услуга, которые доступны и в России, значительно повышает уровень эксплуатации сооружений.

Современный минимальный стандарт контроля подразумевает измерение расходов всех технологических потоков (воды, осадков и воздуха), контроль растворенного кислорода в аэротенках, сухого вещества в осадках, использования автоматических пробоотборников. Применение приборов он-лайн контроля загрязненности сточных вод целесообразно на втором этапе создания системы автоматического контроля.

Химико-бактериологические лаборатории десятки лет работают по традиционным методикам, во многом уже устаревшим. В то же время доступен широкий спектр современных методик и подходов. Так, взамен классической описательной гидробиологии, практическая польза от которой весьма сомнительна (выводы делаются по косвенным признакам – наличию и поведению простейших, которые не участвуют в самом процессе очистки), можно рекомендовать применение кинетических тестов на различные виды субстратных активностей ила, которые дают прямой, а не косвенный ответ о его возможностях. Кстати, микроскопия илов также может быть гораздо полезнее с использованием современных отечественных программно-аппаратных комплексов на базе фотоприставок к микроскопам. Это оборудование позволяет формировать и анализировать (в том числе и программными методами) базы данных по состоянию активных илов, в том числе количественно оценивать степень вспухания ила и его причины. Давно также пора переходить на респирометрическое определение БПК в специальных склянках с датчиками давления.

**Важный и сильно недооцененный инструмент контроля – переносные приборы, а также оборудование для экспресс-анализа практически любых показателей качества.**

Важный и сильно недооцененный инструмент контроля – переносные приборы, а также оборудование для экспресс-анализа практически любых показателей качества («наладонники»). При относительно невысокой стоимости использование этих приборов для текущей наладки сооружений может дать существенную экономию энергозатрат и/или улучшение качества очистки. Разумеется, важнейший инструмент современного контроля – автоматические пробоотборники, стационарные или переносные (последние существенно дешевле).



## Нормирование абонентов систем канализации по сбросам загрязняющих веществ

Взаимоотношения с абонентами в части сбросов загрязнений – очень непростая тема. Картина практических взаимоотношений с абонентами весьма пестрая. Во многих небольших городах крупные промышленные предприятия, как правило, пищевой, химической и подобных отраслей промышленности, весьма активно развивающиеся в последнее время, привыкли не считаться с требованиями водоканалов. Этому способствует роль данных промпредприятий в экономике населенного пункта и влияние их владельцев. В результате в таких ситуациях городские очистные сооружения не могут нормально работать при потоке загрязнений, в несколько раз превышающем их возможности. В тоже время существовавшая до этого года законодательная база практически не давала полномочий водоканалам по наведению порядка в таких ситуациях.

Другая крайность, более характерная для больших городов – выставление абонентам заведомо недостижимых требований в качестве допустимых концентраций сброса в канализацию. Это является следствием вышеописанной неприемлемой системы нормирования самих водоканалов.

Принятый в 2011 году Федеральный закон 416-ФЗ «О водоснабжении и водоотведении» существенно изменил систему взаимоотношений. Водоканалы получили немалые права по отключению от системы канализации абонентов, нарушающих установленные требования. В то же время в подходе к нормированию абонентов допущены серьезные ошибки, еще более усугубившие ситуацию с нереалистичным нормированием. Это привело к приостановке на год введения экологических положений закона.

В целом, к сожалению, следует говорить о несоответствии как нынешней, так и новой (по 416-ФЗ) системы нормирования абонентов мировой практике, инженерной и экономической целесообразности. Во всех развитых странах принято, что предприятия должны очищать стоки до такой степени, чтобы защитить централизованную систему водоотведения от следующих негативных последствий:

- ускоренное разрушение и/или засорение канализационных сетей;
- затруднение эксплуатации оборудования КНС, очистных сооружений;
- причинение вреда здоровью персонала;
- оказание токсического воздействия на активный ил сооружений биологической очистки;
- чрезмерные экономические затраты на очистку сточных вод на коммунальных очистных сооружениях;
- накопление в осадках сточных вод нормируемых для них веществ в количествах, препятствующих их использованию в качестве удобрения.

Кроме того, в составе промышленных сточных вод не должны содержаться специфические опасные загрязнения, не удаляющиеся на сооружениях биологической очистки.



Сооружения термической сушки осадка, Уфа

Остальную работу по очистке сточных вод должен сделать водоканал, но только по тем веществам, на которые может целенаправленно воздействовать.

Для формирования адекватной системы нормирования, как водоканалов, так и абонентов целесообразно разделить в законодательстве загрязнения сточных вод на две основных группы (с оговоркой, что данные названия применяются с известной степенью условности):

- загрязнения бытового происхождения (взвешенные вещества, БПК, ХПК, общий азот, общий фосфор);
- загрязнения техногенного происхождения (нефтепродукты, СПАВ, фенолы, тяжелые металлы, хлориды, сульфаты и др.).

Водоканалы должны нести ответственность за удаление загрязнений бытового происхождения. Содержание остальных, техногенных, загрязнений в очищенной коммунальной воде не должно превышать технологических нормативов, устанавливаемых для уровня технологии, использованной на очистных сооружениях. Все, что окажется в очищенной воде выше этих нормативов – ответственность предприятия ВКХ. Чтобы избежать этого, оно должно требовать от промышленных абонентов выполнения достижимых для них допустимых концентраций сброса техногенных загрязнений.

При установлении допустимых концентраций для абонентов следует учитывать, что значения допустимых концентраций не должны быть ниже величин, которые могут быть достигнуты у абонента, использующего воду только для хозяйственно-бытовых нужд, не привносящего в нее дополнительных загрязнений, однако экономно расходующего воду. Абонент не должен становиться «нарушителем поневоле»;

Также должна приниматься во внимание специфика процессов очистки сточных вод от техногенных загрязнений. Анализ данных по содержанию техногенных загрязнений в поступающей и очищенной воде для многих городских очистных сооружений показывает, что глубина удаления этих загрязнений на сооружениях биологической очистки определяется не их концентрацией в поступающем стоке, а состоянием активного ила. В условиях большого неисчерпанного резерва ила, как биолого-химической сорбционной системы, ее физико-химические параметры определяют остаточную несорбированную концентрацию веществ.

Полученные результаты позволяют сделать важные выводы:

- нормирование абонентов глубже допустимых концентраций, обоснованных выше, бессмысленно для защиты водных объектов и вредно для экономики страны;
- нормирование водоканалов по сбросам техногенных загрязнений нецелесообразно, т.к. на сооружениях биологической очистки они не могут направленно влиять на их концентрации.

**Установление инженерно и экономически обоснованных требований к сбросам промышленных абонентов играет очень важную роль для экономического развития страны. Работа по предотвращению и очистке сбросов должна быть оптимально распределена между абонентами и водоканалами. Иначе значительная часть валового продукта страны может быть направлена на достижение бессмысленных целей и снизит конкурентоспособность российских предприятий.**

Установление инженерно и экономически обоснованных требований к сбросам промышленных абонентов играет очень важную роль для экономического развития страны. Работа по предотвращению и очистке сбросов должна быть оптимально распределена между абонентами и водоканалами. Иначе значительная часть валового продукта страны может быть направлена на достижение бессмысленных целей и снизит конкурентоспособность российских предприятий.



## Подготовка и осуществление модернизации очистных сооружений

В данной области большое значение имеют: методики и алгоритмы расчета сооружений, обоснование принимаемых технических решений, уровень апробации применяемых технологий и оборудования

С 2013 г. в России начал действовать новый подход к регулированию расчетных алгоритмов в отрасли, применяемых при проектировании, основанный на требованиях Федерального закона от 30 декабря 2009 года № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».

Данный подход, в отличие ситуации, существовавшей до этого десятилетиями, отменяет обязательное использование безальтернативных формул и создает основу для применения проектными организациями альтернативных расчетных алгоритмов.

В 2010–2011 годах на основе этих принципов была осуществлена актуализация СНиП 2.04.03–85 «Канализация. Наружные сети и сооружения». В новой системе технического регулирования переработанный документ получил название Свод правил СП 32.13330.2012. Кардинальным отличием его от действовавшего 27 лет документа является практически полное отсутствие расчетных формул: посвященная очистным сооружениям канализации глава содержит всего две формулы.

Либерализация расчетно-методических подходов явилась мерой, давно назревшей и во многом вынужденной. Во-первых, появились целые классы технологических процессов, для которых в СНиП отсутствуют расчетные системы. Во-вторых, по большинству расчетных задач используется не одна, а несколько расчетных методик. Это объясняется, как наличием в стране нескольких научных школ в этих областях, так и активной ролью, которую на рынке проектирования играют зарубежные производители, проектные бюро и их российские партнеры. В свою очередь, в ведущих зарубежных странах исторически сложились различные расчетные системы.

Сравнительный анализ расчетных систем и определение наиболее адекватных представляет собой огромную научную задачу. В масштабе мирового отраслевого сообщества ее решением, в частности, занимаются рабочие группы Всемирной водной ассоциации (IWA) и других межгосударственных отраслевых структур. Кроме того, разрабатываются новые технологические решения, требующие своих расчетных систем.

В сложившейся ситуации безальтернативные формулы СНиП 2.04.03–85 (даже включая известное справочное пособие), уже не первый год являлись тормозом для современных технологических решений, выходящих за его пределы. Весьма частой стала ситуация, когда экспертиза требует, например, рассчитать по СНиП сооружения с биологическим удалением не только азота, но и фосфора, которые в нем не предусмотрены. Другим примером может служить необходимость проектировать иловые площадки на стесненной территории, рядом с полностью перекрытыми для борьбы с запахами очистными сооружениями, имеющими системы очистки выбросов.

Старые подходы, заложенные в СНиП 2.04.03–85, имели и ряд системных недостатков. В недостаточной степени (практически только для решеток, песколовков и осадительных центрифуг) содержали предписания и ограничения по применению сооружений, исходя из производительности объекта. Так, например, отсутствовали очевидно необходимые ограничения по использованию полей фильтрации, иловых площадок. Также практически не было требований, обеспечивающих энергоэффективность технологий и сооружений. Раздел, посвященный определению исходных данных, можно было эффективно использовать только для новых объектов, но не для реконструкции существующих.

Выбор исходных данных по расходу и загрязненности сточных вод является одной из важнейших проблем, решаемых при проектировании очистных сооружений. В советский период завышение проектных нагрузок на сооружения, как по расходу, так и по концентрации загрязнений стало традицией. Это всячески приветствовалось водоканалами, так как в условиях неуклонного роста расхода сточных вод, крайне жестких нагрузок на сооружения, предписываемых нормами СНиП, скудного резервирования и зачастую ненадежного оборудования, давало производителями скрытый резерв мощности. В настоящее время такой подход к определению исходных данных, неоправданно завышая затраты на строительство (реконструкцию), существенно снижает вероятность их осуществления.

**С 2013 г. в России отменено обязательное использование безальтернативных формул для расчета очистных сооружений, проектными организациями могут применяться альтернативные расчетные алгоритмы.**

**Выбор исходных данных по расходу и загрязненности сточных вод является одной из важнейших проблем, решаемых при проектировании очистных сооружений.**

При переработке СНиП в главе, посвященной очистным сооружениям, реализованы следующие основные новации:

- методология определения при проектировании релевантных (существенных, уместных) статистически обеспеченных технологических исходных данных для проектирования очистных сооружений;
- минимальные нормы очистки сточных вод и обработки осадка (использование биологической очистки, в том числе при количестве условных жителей более 500 – с удалением азота, более 5000 – с удалением фосфора, при количестве более 15000 условных жителей – с механическим обезвоживанием осадка);
- указания по обязательному набору параметров, которые должны быть определены при расчете сооружения при использовании одной из альтернативных методик;
- допущение использования расчетных программных продуктов;
- замена обязательного резервирования оборудования механического обезвоживания иловыми площадками на комплекс альтернативных технических мер;
- значительный объем рекомендательных положений в дополнение к обязательным нормам, как по новым технологиям, так и по разработке технологической части сооружений.

В последние годы активно обсуждается тема наилучших доступных технологий (НДТ) в области очистки сточных вод. Практическая применимость этого направления в техническом регулировании определится в ближайшие 1–2 года в связи с ожидаемым принятием законопроекта, вводящего для крупных природопользователей нормирование на основе принципа НДТ.

В сфере подготовки и реализации инвестиций разрыв отечественной и зарубежной практики гораздо больше, чем в сфере собственно технологий и оборудования. Знакомство с мировым опытом позволяет обнаружить в передовых странах комплексный эффективно работающий механизм подготовки и сопровождения инвестиций. Он основан на следующих важнейших элементах:

- функционируют эффективные механизмы отраслевой апробации и «обратной связи», т.е. объективной оценки уже реализованных проектов;
- важнейшая роль уделяется консалтингу на всех стадиях процесса;
- проектировщики обладают необходимой компетенцией и контактами, чтобы разрабатывать проект, не требуя решений от заказчика или привязок оборудования (не уникального, разумеется);
- подготовка технической конкурсной документации осуществляется профессионалами;
- в состав проекта входит оптимальный объем технических проработок, не ограничивающих, там, где это не нужно, работу строителей;
- инженеринговая компания несет полную ответственность за поставку работоспособного комплекса оборудования;
- заказчику сдаются отлаженные сооружения, прошедшие длительную опытную эксплуатацию силами подрядчика.

Бурное развитие современных технологий очистки, применительно к городским сточным водам в последние 30 лет вывело отрасль из безальтернативности типовых аэротенков. Только для сооружений средней производительности возможно применение не менее 20 принципиально различных апробированных технологических решений биологической очистки городских сточных вод (это без учета подвариантов). Не меньший выбор предлагают и современные технологии обработки осадка (если, конечно, не считать, что на обезвоживании эта обработка начинается и заканчивается). Это порождает проблему выбора пути развития сооружений.

**За рубежом стандартным методом решения проблемы выбора пути развития является консалтинг, т.е. выполнение технико-экономических проработок независимой специализированной организацией которая занимается исключительно проектированием и консультированием.**

За рубежом стандартным методом решения этой проблемы является консалтинг, т.е. выполнение технико-экономических проработок независимой специализированной организацией, которая занимается исключительно проектированием и консультированием. Очень важно понимать, что, поручив разработку вариантов предложений, либо экспертизу технических решений инженеринговой компании, предлагающей собственные технологические разработки, либо поставляющей оборудование определенной номенклатуры, велика вероятность получить рекомендации, ориентированные на предлагаемые технологии и оборудование, причем в наибольшем объеме поставок.

В России в нашей отрасли консалтинговые услуги пока недостаточно развиты. В полноценном виде их можно оказывают в основном специализированные зарубежные компании за немалые деньги. Такая ситуация объясняется как колоссальной нехваткой квалифицированных специалистов, готовых работать в этой нише, так и неразвитостью спроса на эту услугу. Слово здесь за заказчиками: если они сформируют спрос на инженерный консалтинг, вырастут и компании-консультанты.

Важно отличать предпроектный консалтинг от разработки рекомендаций на проектирование. Последний «жанр» за рубежом не существует. Проектировщик должен самостоятельно владеть методами расчета технологий, закладываемых в проект. Новые технологические решения в подавляющем большинстве

случаев разрабатываются либо в собственных исследовательских подразделениях инжиниринговых и многопрофильных компаний, либо в университетах по заказу этих компаний. В любом случае ответственность за технологию переходит к компании, которая ее продает вместе с необходимым оборудованием.

Для ситуаций сложного многопараметрического выбора в развитых странах часто выполняется двух-, а то и трехступенчатая проработка: вначале консультант проводит широкий анализ возможных методов с их качественной ранговой оценкой. Это призвано обезопасить заказчика (да и исполнителя) от сомнений, что он не обратил внимания на альтернативное решение проблемы. На следующем этапе отобранные варианты решений подвергаются проработке с определением основных технико-экономических показателей. Возможна также последующая углубленная проработка на уровне ТЭО (советского образца) оставшихся двух-трех вариантов.

Такая схема позволяет максимально обеспечить принятие оптимальных или, по крайней мере, хотя бы беспроигрышных решений. Работая по таким принципам, крайне немногочисленные сотрудники, например, европейских водоканалов и муниципалитетов способны быстро реализовывать сложные проекты, не имея в штате специализированных структур. Проведение многоступенчатых официальных экспертиз и консалтинговых проработок позволяет вырабатывать «бюрократически устойчивые» решения, которые потом трудно опровергнуть волюнтаристским решением.

Важнейшая тема при обосновании технических решений – степень их апробации. В 60–80-е годы проектирование промышленных очистных сооружений могло осуществляться либо по апробированной технологии, либо в статусе опытно-промышленных. Обязательным условием апробации являлось проведение межведомственной комиссии. Вершиной этой системы являлась разработка типового проекта, который впоследствии мог быть привязан к местным условиям менее квалифицированной, либо неспециализированной проектной организацией.

В настоящее время в стране полностью отсутствует система отраслевой апробации новых технологий и оборудования (система гигиенических сертификатов соответствия не обеспечивает адекватного уровня профессиональной инженерной оценки и может рассматриваться только с позиции гигиенической безопасности). Некоторые компании, предлагающие услуги на рынке, опираются на собственные «новейшие разработки» и «ноу-хау», не прошедшие реальной апробации. По большинству из них в отечественной специальной литературе отсутствует какая-либо информация, кроме чисто рекламной.

Другая группа подобных технологий – методы, находящиеся практически на лабораторной стадии, происходящие из других областей науки и техники. Их «испытания» в водоканалах отнимают массу времени у специалистов и далеко не всегда позволяют определить, либо опровергнуть эффективность предлагаемого метода.

Что касается типовых проектов, то условия их применения в настоящее время существенно изменились по сравнению с советским периодом: в подавляющем большинстве случаев сейчас решается задача реконструкции существующих сооружений и в большей степени учитываются требования к качеству очистки сточных вод.

Поэтому сейчас правильнее говорить не о типовых проектах, а о типовых технологических схемах, разработанных для условий, отличающихся, прежде всего, масштабом сооружений и стандартизированными условиями сброса очищенных вод. Для этих типовых схем могут применяться типовые технологические решения по отдельным узлам.

Зоной применения собственно типовых проектов могут быть в основном малые и средние очистные сооружения (до 10 тыс. м<sup>3</sup>/сутки), создаваемые, как правило, для новых источников сточных вод.

**В 60–80-е годы проектирование промышленных очистных сооружений могло осуществляться либо по апробированной технологии, либо в статусе опытно-промышленных. Обязательным условием апробации являлось проведение межведомственной комиссии.**

**Для средних и крупных сооружений сейчас правильнее говорить не о типовых проектах, а о типовых технологических схемах, для которых могут применяться типовые технологические решения по отдельным узлам.**

# Энергоресурсный подход к очистке сточных вод и обработке осадков

Данилович Д.А.,  
канд. техн. наук,  
Российская ассоциация  
водоснабжения  
и водоотведения,  
эксперт-директор  
журнала «НДТ»

**В XXI ВЕКЕ НАБИРАЕТ  
СИЛУ НОВЫЙ ПОДХОД,  
СОГЛАСНО КОТОРОМУ  
ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД –  
ЭТО ПРОЦЕСС УТИЛИЗАЦИИ  
СОСТАВЛЯЮЩИХ ЕЕ  
ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ  
И ЭЛЕМЕНТОВ, ИМЕЮЩИХ  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКУЮ,  
УДОБРИТЕЛЬНУЮ И ИНУЮ  
ЦЕННОСТЬ, А ТАКЖЕ  
ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ САМИХ  
СТОЧНЫХ ВОД**

В течение всего XX века отрасль очистки сточных вод развивалась в направлении поиска и применения наиболее эффективных и экономичных технологий удаления (уничтожения) загрязнений. При таком подходе, чем меньше отходов образуется от процесса очистки (осадки и др.) – тем лучше. В XXI веке набирает силу новый подход, согласно которому очистка сточных вод – это процесс утилизации составляющих ее химических веществ и элементов, имеющих энергетическую, удобрительную и иную ценность, а также тепловой энергии самих сточных вод [1, 2]. Подобный подход основывается как на понимании конечности природных ресурсов (нефть, фосфаты), так и на устойчивом росте их стоимости, произошедшей в последнее десятилетие.

Было бы преувеличением сказать, что такой подход к процессам очистки требует обязательного использования принципиально новых решений, однако он позволяет по-другому расставить приоритеты в использовании известных методов и перспективах развивающихся технологий. Это близко к понятиям энерго- и ресурсосбережения, используемым в совокупности, но отличается от них нацеленностью не только на экономию, но и на генерацию энерго- и ресурсопотоков.

Безусловно, такой подход тем более себя оправдывает, чем больше масштаб очистных сооружений. На небольших объектах далеко не все энерго- и ресурсоэффективные решения являются конкурентоспособными.

С точки зрения макроэлементного состава, загрязнения городских и подобных им по составу сточных вод сводятся к углероду, водороду, азоту и фосфору. Осадки могут также рассматриваться как источник групп органических веществ и микроэлементов (цветных металлов). Так, в осадках, производимых ежегодно на очистных сооружениях города с населением 100 тыс. человек, может только в пределах соответствующих требований ГОСТ [3] содержаться до 45 т цветных металлов. Технологии извлечения металлических руд из осадков (золы) пока еще не апробированы, но потенциальный вторичный ресурс налицо.

Для углерода большое значение имеет его степень окисления, определяющая энергию соединений, характеризуемая ХПК<sup>1</sup> сухого вещества. Углерод в составе сточных вод выступает одновременно в качестве и цели, и средства современного процесса очистки сточных вод и обработки осадка. Выделение и использование энергии окисления восстановленного углерода сточных вод и органических отходов – основа современной альтернативной биоэнергетики. Однако этот углерод является наиболее доступным и дешевым источником для проведения распространенных и экономичных процессов удаления из сточных вод азота (денитрификация) и фосфора. В связи с этим минимизация вынужденных затрат углерода является одной из основных пружин развития современных технологий.

Основными методами выделения энергии восстановленного углерода являются получение и утилизация биогаза в процессе метанового сбраживания, а также сжигание осадка, как отдельное, так и в смеси с другим топливом.

Выделение и использование энергии окисления восстановленного углерода сточных вод и органических отходов – основа современной альтернативной биоэнергетики. Однако этот углерод является наиболее доступным и дешевым источником для проведения распространенных и экономичных процессов удаления из сточных вод азота (денитрификация) и фосфора. В связи с этим минимизация вынужденных затрат углерода является одной из основных пружин развития современных технологий.

Развиваются на стадии исследований принципиально новые биопроцессы получения из осадка биотоплива (этанола, бутанола, ацетона) и водорода, а также прямого получения электроэнергии в микробиальных топливных элементах [4].

Направление прямого выделения и использования составляющих веществ сточных вод (осадков) представляло интерес еще с тех времен, когда утилизировали жир из жироловок. На современном этапе развивается направление выделения из фосфатаккумулирующего активного ила полигидроксиалканоатов (ПГА), используемых для получения биоразлагаемых пластиков [5].

Традиционным и простейшим методом комплексной утилизации всех веществ осадка является его внесение в почву и использование в качестве почвогрунтов. К сожалению, это направление было скомпрометировано в 80-е годы информационными скандалами в связи с бесконтрольным сбросом тяжелых металлов в системы канализации, приводившее к многократному превышению их ПДК в осадке как удобрении. В настоящее время эта проблема уже не столь актуальна. Однако, как показывает зарубежный опыт, содержание тяжелых металлов – это лишь наиболее заметная потенциальная проблема. Опасность в ряде случаев может представлять содержание токсичных органических соединений, в том числе относимых к супертоксикантам. В последнее десятилетие обсуждается проблема содержания в сточных водах и осадках лекарственных средств и гормональных препаратов.

<sup>1</sup> Химическое потребление кислорода (ХПК) – количество кислорода, расходуемого на окисление вещества.



**Рис. 1.**  
**СОВРЕМЕННЫЕ МЕТАНТЕНКИ**  
**(Германия)**

Кроме того, при внесении нестабилизированного осадка в почву его органическая компонента в основном играет негативную роль, разлагаясь с потреблением кислорода. Лишь меньшая часть органического вещества осадка способна в процессе медленных трансформаций превращаться в гумусоподобные вещества, обогащающие почву.

Сбраживание является более распространенным методом получения энергии, т.к. позволяет в экологически чистом процессе получать топливо – биогаз (рис. 1). Сжигание его в газовых двигателях в итоге обеспечивает получение в виде электроэнергии около 25 % всей химической энергии осадка. В последние 15 лет активно развиваются методы интенсификации сбраживания (тепловая и УЗ предобработка, технологические решения), позволяющие достичь 55–65 % распада органического вещества осадка [6]. Таким образом, 1 т сухого вещества осадка только в процессе сбраживания может производить энергию, эквивалентную 300 кг каменного угля (и за этим топливом не надо спускаться в шахту).

Окисленный углерод, не имеющий ХПК, в процессе сбраживания трансформируется в углекислый газ, составляющий по массе более половины биогаза. Это гораздо более удобный источник получения технической углекислоты, чем традиционные (отходящие газы котельных установок). Данный метод – часть процесса подготовки биогаза к рациональному использованию в качестве моторного топлива или передаче в сеть. Выделение  $\text{CO}_2$  может также производиться и из дымовых газов установок по утилизации биогаза, т.к. концентрация  $\text{CO}_2$  в них также вдвое выше. Современные адсорбционные и мембранные методы делают этот процесс относительно простым.

Поскольку при сбраживании распадаются относительно легкоразлагаемые органические вещества, оно не только не противоречит, но и способствует последующей почвенной утилизации оставшихся труднотрансформируемых веществ – предшественников гумуса.

Вся масса органического вещества осадка может быть утилизирована только путем термических методов. Сжигание, в основном, позволяет получать тепловую энергию, утилизация которой часто затруднительна. Кроме того, как известно, к установкам сжигания традиционно предъявляются экологические претензии, степень обоснованности которых может быть различной. Однако установки являются эффективными на практике.

**1 т СУХОГО ВЕЩЕСТВА**  
**ОСАДКА ТОЛЬКО**  
**В ПРОЦЕССЕ**  
**СБРАЖИВАНИЯ МОЖЕТ**  
**ПРОИЗВОДИТЬ ЭНЕРГИЮ,**  
**ЭКВИВАЛЕНТНУЮ 300 кг**  
**КАМЕННОГО УГЛЯ**

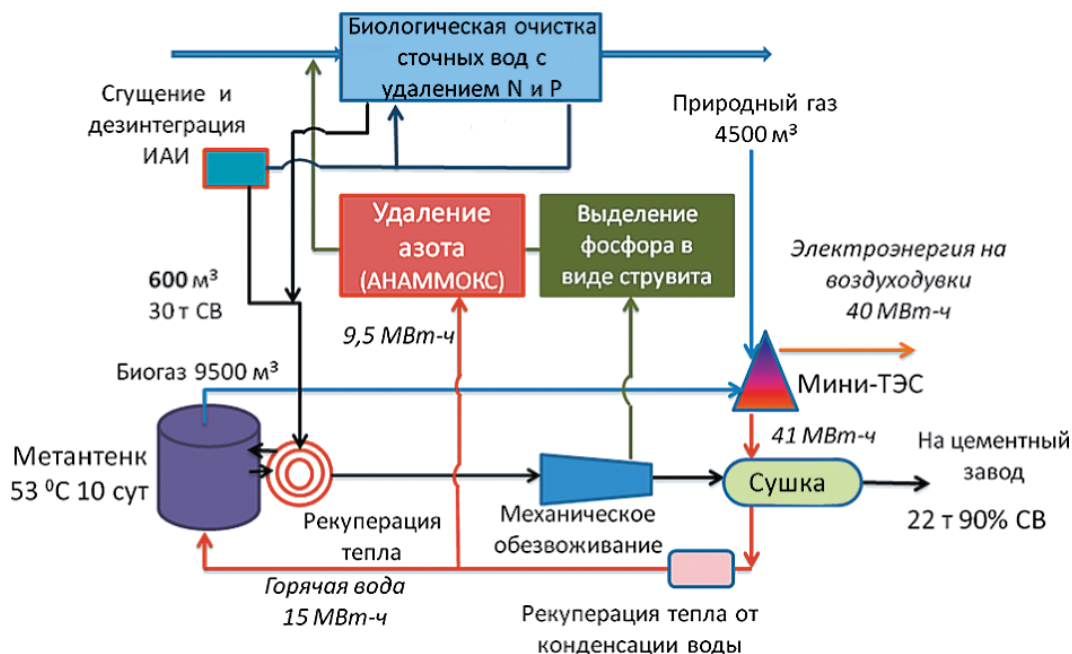
**Рис. 2.**  
**ТЕРМООБРАБОТКА ОСАДКА**  
**СТОЧНЫХ ВОД. КОС, VENLO**  
**(НИДЕРЛАНДЫ)**



Как это не кажется странным, оба метода энергогенерации на осадке, сбраживание и сжигание, вполне сочетаемы друг с другом. Более того, даже в дополнении с методом термической предобработки (термогидролиза) осадка (рис. 2). Термообработка снабжается теплом от сжигания, а глубокий распад осадка позволяет сократить мощность печей почти вдвое по сравнению со сжиганием сырых осадков (рис. 3).

Еще одним, хотя и не оптимальным способом утилизации энергии органического вещества осадка является его компостирование. Дело в том, что этот процесс, благодаря разогреву осадка до 55–60 °С обеспечивает снижение объема осадка, практически соответствующее применению технологии сушки, однако при многократно меньших энергетических затратах (и капитальных вложениях). Реализуемый в целях сокращения объема осадка процесс компостирования называют биосушкой [7].

**Рис. 3.**  
**ПРИМЕР СОВРЕМЕННОЙ**  
**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ**  
**СО СБРАЖИВАНИЕМ ОСАДКА**  
**(ДЛЯ КОС, ПРИНИМАЮЩИХ**  
**100 ТЫС. М<sup>3</sup>/СУТ.)**





**Рис. 4.**  
**Туннель (камера)**  
**КОМПСТИРОВАНИЯ ОСАДКА,**  
**TIEL (НИДЕРЛАНДЫ)**

Важно отметить, что в описываемом современном подходе приоритеты успешного проведения процесса очистки несколько иные, нежели в классическом. Ранее оптимальным считалось очистить воду при минимальном расходе энергоресурсов и образовании отходов (осадков). Новый подход, наряду с обеспечением необходимой очистки, ориентирован на максимальное производство энергии, органического и минерального сырья. В большинстве случаев это требует максимально возможного сохранения и концентрирования органических веществ (ХПК), поступающих со сточными водами с последующим получением из них энергии в ходе сбраживания и/или сжигания. Когда будут разработаны мембранные материалы, способные работать на сырых сточных водах, можно ожидать вытеснения ими аэробных биологических методов очистки.

Новый подход, наряду с обеспечением необходимой очистки, ориентирован на максимальное производство энергии, органического и минерального сырья. В большинстве случаев это требует максимально возможного сохранения и концентрирования органических веществ (ХПК), поступающих со сточными водами с последующим получением из них энергии в ходе сбраживания и/или сжигания.

В развивающихся странах (Индия, Бразилия и др.) с теплым климатом отказ от аэробных процессов как базовых для очистки бытовых стоков и непосредственная трансформация большей части ХПК в метан уже стала реальностью. Анаэробная очистка в простейших UASB-реакторах уже давно используется как первая ступень обработки бытовых сточных вод в небольших населенных пунктах [8]. Этому способствует их высокая температура и концентрация загрязнений в условиях недостаточности водоснабжения. Прошедшая анаэробную очистку сточная вода с содержанием БПК<sub>5</sub> и взвешенных ве-

ществ, практически весь азот и фосфор около 50 мг/л поступает сначала в факультативно-аэробные пруды, а затем – в рыбоводные биопруды. Азот и фосфор служат базой для роста водорослей, служащих кормом для рыб. Избыток очищенной воды применяется для полива. Биогаз из UASB-реакторов используется в домашних хозяйствах этого поселения для приготовления пищи. Несмотря на свою примитивность, данная технология может быть оценена как практически идеальная с точки зрения энергоресурсного подхода: энергия не тратится, а вырабатывается, а все биогенные вещества включаются в пищевую цепь.



Применительно к традиционным сооружениям реализация энергоресурсного подхода ориентирует на минимальное (насколько это возможно при соблюдении необходимого качества очистки) окисление органических соединений не только в аэробном процессе, но и в качестве субстрата для денитрификации. Технологически это может быть достигнуто путем сокращения потребления ХПК на денитрификацию за счет использования вместо нитрификации-денитрификации процесса нитритации-денитритации (аналогичного метода, но проходящего не через нитрат, а через нитрит), либо процесса аноксидного окисления аммония (АНАММОКС). Адаптация АНАММОКС-процесса для бытовых сточных вод – также технологически сложная задача. Однако опыт свидетельствует, что он может быть реализован в даже в аэробных биореакторах с прикрепленной микрофлорой во внутренних слоях биопленки [9]. Наиболее отработанным является применение процесса АНАММОКС для удаления азота из возвратных потоков после обезвоживания сброженного осадка [10]. Эта технология позволяет сократить в масштабах всех очистных сооружений на 15–20 % потребность в органическом субстрате на денитрификацию и на 10–15 % – энергозатраты на нитрификацию.

Попытки реализовать анаэробный процесс на бытовых стоках в странах с умеренным климатом продолжают уже давно, но не доведены до промышленного применения. Удаление азота после анаэробной очистки также может быть реализовано в процессе АНАММОКС (пока на промышленных сточных водах). Прямая конверсия органики в энергоноситель с последующим автотрофным удалением азота уже не одновременно позволяет получать минимальный прирост осадков.

Получение фосфора из осадка в форме, пригодной для использования в качестве удобрения, возможно в результате следующих процессов:

- выделение непосредственно из сточных вод с использованием процесса Phostrip и применением извести [11]. Однако это весьма длительный процесс, требующий

большого расхода извести (в настоящее время практически не применяется);

- выделение в виде струвита ( $(\text{NH}_4)\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , как правило, в реакторах с псевдооживленным слоем из жидкой фазы осадка [12]. Струвит, формирующийся в виде гранул, является хорошим аммонийно-фосфатным удобрением. Метод требует добавления соли магния. Как правило, используется для обработки фильтрата (фугата) от обезвоживания сброженного осадка, что позволяет перевести в удобрение не более 20 % фосфора, находящегося в осадке;

- переработка золы от сжигания или другой термической обработки осадка. Этот метод позволяет использовать 100 % фосфора в качестве удобрения, т.к. основан не на выделении фосфора из золы, а, напротив, на детоксикации золы – удалении из нее тяжелых металлов. Это пирометаллургический процесс, основанный на прокаливании золы, смешанной с хлоридами магния, кальция, калия. В этих условиях образуются хлориды тяжелых металлов, которые затем улетучиваются из золы и затем конденсируются отдельно [13]. В обработанной золе (при использовании на очистных сооружениях осадка, либо биоудаления фосфора) содержание фосфора может достигать 20–30 % по  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Таким образом, детоксицированная зола уже представляет собой хорошее фосфорное удобрение и после гранулирования (в том числе с солями азота) может быть использована непосредственно в этом качестве.

Нельзя не отметить, что безреагентная технология удаления фосфора (улучшенное биологическое удаление фосфора), несмотря на свою сложность, безусловно, обладает огромным преимуществом перед реагентной, как по экономическим показателям, так и с точки зрения ресурсосбережения.

Прямое выделение азота из сточных вод возможно с использованием минеральных ионообменников (клинотилолит и т.п.), однако, эта технология редко применяется даже на стадии доочистки.

Другие возможности выделения азота связаны с процессами стабилизации осадка. Давно известна отгонка аммиака паром.

Наиболее эффективно этот процесс реализуется при сочетании технологии сбраживания с предварительным термогидролизом ила и сжиганием обезвоженного осадка. В этом случае обеспечивается максимальная концентрация аммония – до 1 г/л (процесс термогидролиза используется с глубоким ступенем избыточного активного ила) и достаточно пара для отгонки аммиака.

Более проста другая возможность утилизации части азота, связанная с реакторными либо тоннельными технологиями компостирования. Поскольку в процессе компостирования около 25 % органического азота выделяется при распаде органического вещества, а температура превышает 50 °С, то продувочный воздух содержит высокие концентрации аммиака. Использование скрубберов с серной кислотой позволяет сразу получать концентрированный раствор сульфата аммония, который реализуется на предприятия по производству удобрений [7]. Такой же процесс оптимален и при отгонке аммиака паром.

Интерес к прямому выделению биогенных элементов привел к разработке и реализации в Нидерландах технологии прямой переработки урины, отдельно собираемой в общественных туалетах. В ее основе лежит тот же процесс формирования струвита и мембранное отделение и отгонка оставшегося аммония [14]. Упомянутый процесс разработчики предполагают адаптировать и для возвратных потоков очистных сооружений.

Повторное использование глубоко очищенной воды и утилизация тепловых ресурсов сточных вод – масштабные направления развития современных технологий и оборудования.

### ПОВТОРНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЛУБОКО ОЧИЩЕННОЙ ВОДЫ И УТИЛИЗАЦИЯ ТЕПЛОВЫХ РЕСУРСОВ СТОЧНЫХ ВОД – МАСШТАБНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ОБОРУДОВАНИЯ

Глубокая доочистка проводится, как правило, с использованием технологий водоподготовки, разработанных для кондиционирования питьевой воды, забираемой из загрязненных водоисточников. Это направление за рубежом называют производством «новой воды», или реклеймингом [15]. Безусловно, глубокая доочистка имеет смысл только при физической нехватке воды для технического водоснабжения, а также при применении частично замкнутых систем водного хозяйства, при которых сброс глубоко очищенных сточных вод происходит в водохранилища, из которых осуществляется водозабор (применяется, например, в Сингапуре). К настоящему времени это направление утилизации сточных вод (собственно, чистой воды, на основе которой они изначально возникают) в достаточной степени обеспечено технологиями, как для технических нужд (вплоть до подпитки ТЭС), так и для сброса в питьевые водохранилища.

Городские сточные воды являются огромным потенциальным источником тепловой энергии, в эквиваленте в несколько раз превышающем общие энергопотребности ВКХ [16].

Рис. 5.  
Метантенки Курьяновских очистных сооружений  
(70-е годы 20-го века)



Получение этой энергии возможно с использованием тепловых насосов с весьма высоким ожидаемым коэффициентом трансформации (около 4), т.к. температура сточных вод существенно выше грунтовых вод, обычно используемых как теплоисточник теплового насоса. Наиболее простое место для установки теплообменников тепловых насосов – емкость на потоке очищенной воды.

Потенциально, крупные очистные сооружения способны отапливать расположенные вблизи жилые массивы. Так, например, очистные сооружения производительностью 100 тыс. м<sup>3</sup>/сутки могут обеспечивать отопление около 10 тыс. м<sup>2</sup> жилья (около 500 жителей). Однако такие системы требуют совместной работы с районной системой отопления. Кроме того, в летнее время потребность в таком количестве тепла отсутствует, что снижает сроки окупаемости подобных установок. Использование тепловых насосов также возможно совместно с сооружениями обработки осадка. Обогрев ими метантенков позволяет ориентироваться на утилизацию биогаза как моторного топлива (при его компримировании, а также, желательнее, очистке от углекислоты), либо передавать его в сеть населенных пунктов.

Описанные подходы становятся все более проработанными и распространенными в развитых зарубежных странах. В небольшой статье описаны лишь самые основные понятия и возможности в этой сфере. При планировании строительства новых сооружений, либо комплексной реконструкции с использованием привлеченных средств полезно учитывать современные тенденции энергоресурсного подхода к сточным водам и их загрязнению: не как негативу, от которого надо избавляться, а как к ценному, пусть и непростому, комплексному вторичному ресурсу. ●

## ЛИТЕРАТУРА

1. KALOGO Y. AND MONTEITH H. ENERGY AND RESOURCE RECOVERY FROM SLUDGE. IWA PUBLISHING. 2012.
2. LAZAROVA V., KWANG-HO CHOO, AND CORNEL P. WATER-ENERGY INTERACTIONS IN WATER REUSE. IWA PUBLISHING, 2012.
3. ГОСТ Р 17.4.3.07-2001 «ТРЕБОВАНИЯ К СВОЙСТВАМ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИХ В КАЧЕСТВЕ УДОБРЕНИЙ».
4. RULKENS W.. SEWAGE SLUDGE AS A BIOMASS RESOURCE FOR THE PRODUCTION OF ENERGY: OVERVIEW AND ASSESSMENT OF THE VARIOUS OPTIONS. ENERGY & FUELS 2008, 22, 9–15.
5. K. CIRIK, D. AYDOĞMUŞ, Ş. ÖZDEMİR, M. GEZGINCI, Ö. ÇINAR. PARAMETERS AFFECTING POLYHYDROXYALKANOATE SYNTHESIS FROM WASTEWATERS. [HTTP://EPRINTS.IBU.EDU.BA/6041/ISSD2010\\_SCIENCE\\_BOOK\\_P579-P587.PDF](http://eprints.ibu.edu.ba/6041/ISSD2010_SCIENCE_BOOK_P579-P587.PDF)
6. Д.А. Данилович, А.Я. Ванюшина. АНАЭРОБНОЕ СБРАЖИВАНИЕ – КЛЮЧЕВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ОСАДКОВ ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД. ВОДОСНАБЖЕНИЕ И САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА, № 10–11, 2013.
7. WINKLER M.-K.H., BENNENBROEK M.H., HORSTINK F.H., VAN LOOSDRECHT M.C.M., VAN DE POL G.-J. THE BIODRYING CONCEPT: AN INNOVATIVE TECHNOLOGY CREATING ENERGY FROM SEWAGE SLUDGE. BIORESOURCE TECHNOLOGY VOLUME 147, NOVEMBER 2013, PAGES 124–129.
8. S. MUGISHA UTILITY BENCHMARKING AND REGULATION IN DEVELOPING COUNTRIES PRACTICAL APPLICATION OF PERFORMANCE MONITORING AND INCENTIVES. IWA PUBLISHING, 2011.
9. М.Г. Зубов, С.Ф. Бояренев, Г.М. Зубов, Н.И. Куликов, Ю.М. Шрамов, Г.А. Заварзин, Ю.В. Литти, В.К. Некрасова, А.Н. Ножевникова. Биотехнология очистки сточных вод с иммобилизацией активного ила и удалением азота. ВОДОСНАБЖЕНИЕ И САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА, № 8, 2013.
9. Данилович Д.А., Козлов М.Н., Мойжес О.В., Николаев Ю.А., Казакова Е.А., Грачев В.А. АНАЭРОБНОЕ ОКИСЛЕНИЕ АММОНИЯ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ АЗОТА ИЗ ВЫСОКОКОНЦЕНТРИРОВАННЫХ СТОЧНЫХ ВОД. ВОДОСНАБЖЕНИЕ И САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА, № 4, 2010.
11. Мишуков Б.Г., Соловьева Е.А., Керов В.А., Зверева Л.Н. ТЕХНОЛОГИЯ УДАЛЕНИЯ АЗОТА И ФОСФОРА В ПРОЦЕССАХ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД. ПРИЛОЖЕНИЕ К ЖУРНАЛУ «ВОДА: ТЕХНОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ». 2008 – СПб., 2008.
12. [HTTP://OSTARA.COM/SITES/DEFAULT/FILES/OSTARA-ROCK-CREEK-CASE-STUDY.PDF](http://ostara.com/sites/default/files/Ostara-Rock-Creek-Case-Study.pdf)
13. NOWAK B., PESSL A., ASCHENBRENNER P., SZENTANNAI P., MATTENBERGER H., RECHBERGER H., HERMANN L., AND WINTER F. HEAVY METAL REMOVAL FROM MUNICIPAL SOLID WASTE FLY ASH BY CHLORINATION AND THERMAL TREATMENT. JOURNAL OF HAZARDOUS MATERIALS, 2010, № 179 (1–3): 323–331.
14. [HTTP://WWW.SUSTEC.NL/INDEX.PHP?ID=54](http://www.sustec.nl/index.php?id=54)
15. М.Н. Козлов, Д.И. Доможаков, А.Г. Дорофеев. [HTTP://WWW.PANDIA.RU/TEXT/77/28/93045.PHP](http://www.pandia.ru/text/77/28/93045.php)
16. Д.А. Данилович. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА НА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ КАНАЛИЗАЦИИ. ВОДОСНАБЖЕНИЕ И САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА, № 1, 2011.

# Обоснование выбора технологического оборудования по очистке сточных вод

БЕРЕЗИН С.Е., БАЖЕНОВ В.И., ЧЕРНЕНКО А.В.,  
ЗАО «ВОДОСНАБЖЕНИЕ И ВОДООТВЕДЕНИЕ»  
(г. Москва)<sup>1</sup>

Оборудование для процессов очистки сточных вод требуется для переустройства систем и сооружений ВКХ при капитальном ремонте, расширении, техническом перевооружении и реконструкции. Последние два вида переустройства связаны с повышением их технического уровня на основе внедрения новой техники и технологий. Это требует, главным образом, обновления активной части основных фондов (оборудование, машины, механизмы, технологические линии и т.п.), поэтому водоканалам необходимо обосновать свой выбор при проведении закупок.

Конкурсный механизм при регулировании государственных и муниципальных закупок предусматривает проведение тендерной процедуры на основе Федерального закона № 44-ФЗ [1]. Основная масса федеральных, муниципальных и региональных госзаказов переведена на электронные торги и размещается на электронных торговых площадках.

<sup>1</sup> e-mail: info@pump.ru

В ПРАКТИКУ ВКХ ПОСТЕПЕННО ПРОНИКАЕТ ПОНЯТИЕ «НАИЛУЧШИЕ ДОСТУПНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ» (НДТ), КОТОРОЕ В РОССИИ ПОДРАЗУМЕВАЕТ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ, ИЗГОТОВЛЕННОЕ ПО «ПОСЛЕДНЕМУ СЛОВУ НАУКИ И ТЕХНИКИ».

СМЫСЛ ПОНЯТИЯ «НДТ» И ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ [2]:

- НДТ (ТОЧНЫЙ ПЕРЕВОД С АНГЛИЙСКОГО — НЕ ТЕХНОЛОГИИ, А МЕТОДЫ: BEST AVAILABLE TECHNIQUES). ПОНЯТИЕ «МЕТОДЫ» ВКЛЮЧАЕТ КАК ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ТАК И ТО, КАКИМ ОБРАЗОМ РАЗРАБОТАНА, ПОСТРОЕНА, ФУНКЦИОНИРУЕТ, ЭКСПЛУАТИРУЕТСЯ УСТАНОВКА И КАК ОНА ВЫВОДИТСЯ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ.

- В РУКОВОДЯЩИХ ДОКУМЕНТАХ ЕРА (США) ТЕРМИН «BEST AVAILABLE TECHNOLOGY» (ВАТ/НДТ) УТОЧНЕН КАК «BEST AVAILABLE TECHNOLOGY ECONOMICALLY ACHIEVABLE» — НАИЛУЧШИЕ ДОСТУПНЫЕ ЭКОНОМИЧЕСКИ ДОСТИЖИМЫЕ ТЕХНОЛОГИИ.

- В BREF (ИНФОРМАЦИОННО-СПРАВОЧНЫЕ ДОКУМЕНТЫ ЕС) БОЛЬШИНСТВО ОПИСАНИЙ НДТ ВЫПОЛНЕНЫ, В ОСНОВНОМ, КАК АДМИНИСТРАТИВНЫЕ УКАЗАНИЯ, А НЕ КАК ОПИСАНИЯ «ТЕХНОЛОГИЙ» В ОТЕЧЕСТВЕННОМ ПОНИМАНИИ.

- В КОНТЕКСТЕ ОХРАНЫ ВОДНОЙ СРЕДЫ ПРИ ВЫБОРЕ НДТ ПРОЕКТИРОВЩИКИ ДОЛЖНЫ ПРОИЗВЕСТИ СОПОСТАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ, ПРЕДОТВРАЩАЮЩИХ И СОКРАЩАЮЩИХ СБРОСЫ, НАЙТИ (ВЫЯВИТЬ) ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА, ОКАЗЫВАЮЩИЕ НАИМЕНЬШЕЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ВОДНЫЙ ОБЪЕКТ, ПРОИЗВЕСТИ СРАВНЕНИЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВАРИАНТОВ, ПРИЧЕМ КАК ДЛЯ ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ (ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ), ТАК И ДЛЯ СРЕДСТВ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД.

- ПРИНЦИП НДТ НЕ ПРЕДПОЛАГАЕТ ОБЯЗАТЕЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОНКРЕТНОГО РЕШЕНИЯ (ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА, ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ, ОЧИСТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ОПРЕДЕЛЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЛИ НАИМЕНОВАНИЯ). ПРЕДПРИЯТИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНО С УЧЕТОМ УСЛОВИЙ РЫНОЧНОЙ КОНКУРЕНЦИИ, КОММЕРЧЕСКОЙ ТАЙНЫ И ДРУГИХ СООБРАЖЕНИЙ ВЫБИРАЕТ, ПРИОБРЕТАЕТ, УСТАНОВЛИВАЕТ И ЭКСПЛУАТИРУЕТ НЕОБХОДИМОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА, А ТАКЖЕ ОБЕСПЕЧИВАЕТ ДОЛЖНЫЙ ПОРЯДОК ЭКСПЛУАТАЦИИ И ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ.

- НЕОБХОДИМА РАЗРАБОТКА ДОКУМЕНТОВ ПО НДТ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К МУНИЦИПАЛЬНЫМ СБРОСАМ: ИНФОРМАЦИОННО-СПРАВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПО НДТ, А ТАКЖЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ НОРМАТИВОВ.

- СПРАВОЧНО-ИНФОРМАЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ ПО НДТ ДЛЯ КОММУНАЛЬНОГО ВОДООТВЕДЕНИЯ НЕ ДОЛЖЕН СВОДИТЬСЯ К СОБСТВЕННО ТЕХНОЛОГИЯМ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД.

Материалы данной публикации представляют примеры сравнительных таблиц оборудования с его техническими характеристиками без «привязки» к конкретным объектам и ценам производителей. Поскольку цель и задачи на каждом конкретном объекте носят локально – проектный характер, то выборки оборудования должны соответствовать рабочим диапазонам и условиям его использования. Представленные сводные табличные данные в практической работе следует рассматривать в тесной связи с обоснованием выбранных решений, включая комментарии рабочих параметров.

Номенклатура продукции фирм – поставщиков широка и находится в процессе постоянного совершенствования, поэтому публикуемые данные являются лишь *примерами оформления обоснования выбора*. Авторы предлагают производителям и поставщикам по возможности направлять им недостающие данные и комментарии.

### Обоснование выбора технологического оборудования по очистке сточных вод востребовано водоканалами не только как средство обеспечения тендерной процедуры, а также как принцип обеспечения НДТ.

#### СИСТЕМЫ АЭРАЦИИ

Появление мембранных мелкопузырчатых аэраторов позволило значительно увеличить управляемость процесса и снизить засорение аэрационных систем. В настоящее время мелкопузырчатые аэраторы с использованием мембран являются основным оборудованием для систем аэрации, особенно на современных сооружениях с применением процессов удаления азота и фосфора, а также автоматизированным регулированием подачи воздуха. Необходимость регулирования вызвана неравномерностью исходной технологической нагрузки.

Классическими материалами для производства мембран являются следующие полимеры:

- EPDM – этилен пропилен диен мономер.
- Полиуретан – в основном полиэфир, реже полиэстер.
- Силикон – существенно отличается от других полимеров тем, что химические связи углерод-углерод замещены связями углерод-кремний-кислород (полиорганосилоксан).

Как правило, материал EPDM дешевле в ценовом отношении (при полном соответствии хозяйственно-бытовым сточным водам), но не всегда. В табл. 1 представлен ряд производителей, которые предлагают материал силикон (предполагает химическую стойкость к маслам и углеводородам) в той же ценовой категории.

В международной практике при выборе аэратора обычно учитывают его массообменные характеристики SOTE<sup>2</sup> (эффективность использования кислорода в стандартных условиях, %), площадь, обслуживаемую одним аэратором, которая зависит от площади мембраны и формы аэратора, удобство монтажа, цену, затраты по замене, обслуживанию и пр.

Количество подаваемого в аэрационную систему воздуха пропорционально степени использования кислорода воздуха SOTE для выбранного типа аэраторов.

Данные табл. 1 целесообразно рассматривать совместно с конструкцией и материалами распределительной системы, а также ее креплений к днищу аэротенка. Существуют различные варианты сборки распределительной системы: сварка, защелкивающиеся замки, резьбовые, софт-коннекторы. Среди материалов распределительных систем, на наш взгляд, следует отдать предпочтение ПВХ или нержавеющей стали, по сравнению с ПНД. Удобство замены мембраны аэратора в процессе эксплуатации – важный фактор, способствующий увеличению скорости переоснащения аэротенков. Опорный элемент мембраны должен быть прочным, поэтому применяют ПВХ, иногда алюминий (фирма U&D).

Цену за единичный аэратор (дисковый, пластинчатый, трубчатый) целесообразно соотносить к стоимости распределительной системы с креплениями. Так, более крупные аэраторы требуют существенно меньших затрат на приобретение разводящих систем и их монтаж.

Данные о современных мембранных аэраторах представлены в табл. 1.

## МЕШАЛКИ

Для поддержания активного ила во взвешенном состоянии обычно устанавливаются электромеханические мешалки. Двигатели мешалок могут быть исполнены в соответствии со степенью защиты IP54 или IP68 (используется двигатель погружной, поэтому обычно этот вариант называют «погружными мешалками»). Вал при этом короткий, потоки перемешивания в большинстве случаев горизонтальные. Этот вариант заслужил в России наибольшую популярность.

Погружные мешалки в классическом выражении подразделяются следующим образом:

- *Высокооборотные* безредукторные, что обеспечивается прямым приводом на вал и высокой скоростью вращения ~360–1400 об/мин в зависимости от диаметра рабочего колеса (~0,8–0,14 м) и мощности двигателя (~0,4–30 кВт)

- *Низкооборотные* редукторные с широким спектром технических характеристик (с обслуживанием размаха (или диаметра) лопастей крупного размера 1,2–2,75 м, при скорости вращения ~17–98 об/мин, и мощности двигателя ~0,5–7,5 кВт)

- *Среднеоборотные*, как правило, редукторные, занимающие промежуточное положение (производители по-разному классифицируют их функциональную зону).









До 2007 г. не существовало единого критерия оценки мешалок для использования в области очистки сточных вод. Промышленное развитие средств перемешивания потребовало обозначить расчетный параметр, одинаково понятный как проектировщикам, так и производителям оборудования. Международный стандарт ISO 21630 [3] определяет расчетный параметр: «Измерения напора (давления) и расхода не включаются в рассмотрение. Основным расчетным параметром является тяга». *Тяга (Thrust)* (измеряется в ньютонах), ее величина рассматривается как сила реактивной составляющей осевого давления, вызванного работой лопастей мешалок на опору.

<sup>2</sup> Standard Oxygen Transfer Efficiency

ТАБЛИЦА 1. ПРИМЕР СРАВНИТЕЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕМБРАНЫХ АЭРАТОРОВ-ДИСПЕРГАТОРОВ

Наименование	U&D	U&D	U&D	REHAU	Экополимер	Siemens	Xylem-Sanitare	Sulzer-ABS Норон	Xylem-Sanitare
Аэраторы	Борд UD660 (660×160 мм)	UD1500 (1500×168 мм)	UD 116 (116×1000 мм)	RAUBOXON Plus (92×1000 мм)	Аква-ТОР-Н	DualAir (2×227 мм)	Gold series	PIK 300 (336 мм)	Silver Series II (229 мм)
Внешний вид									
Материал мембраны	Силикон	Силикон	Силикон	Силикон	EPDM	EPDM	Полиуретан	EPDM	EPDM
Площадь поверхности аэратора	0,1000 м <sup>2</sup>	0,252 м <sup>2</sup>	0,36424 м <sup>2</sup>	0,238 м <sup>2</sup>	Н/Д	Н/Д	Н/Д	0,060 м <sup>2</sup>	0,0412 м <sup>2</sup>
Диаметр пузырька	0,8–1,9 мм	0,8–1,9 мм	0,8–1,9 мм	< 2,0 мм	Н/Д	1–3 мм	< 2,0 мм	1–3 мм	< 2,0 мм
Расчетная нагрузка на диффузор	8,0 м <sup>3</sup> /ч	18,0 м <sup>3</sup> /ч	14,0 м <sup>3</sup> /ч	12,0 м <sup>3</sup> /ч	9 м <sup>3</sup> /ч	Н/Д	20 м <sup>3</sup> /ч	5 м <sup>3</sup> /ч	4 м <sup>3</sup> /ч
Рабочая нагрузка на диффузор	2–16 м <sup>3</sup> /ч	4–36 м <sup>3</sup> /ч	6–28 м <sup>3</sup> /ч	3–19 м <sup>3</sup> /ч	5–13 м <sup>3</sup> /ч	1,2–5,1 м <sup>3</sup> /ч (на ед. – 22,7 см)	3,7–37 м <sup>3</sup> /ч	1,5–8,0 м <sup>3</sup> /ч	0,8–7 м <sup>3</sup> /ч
Потери напора	2,0–4,3 кПа	2,0–4,3 кПа	2,2–4,8 кПа	4,7–5,6 кПа	1,8–2,72 кПа	Н/Д	Н/Д	2,6–5,3 кПа	3,0–5,1 кПа
Эффективность использования кислорода в стандартных условиях (SOTE)	≥ 40 % (6 м глубина воды)	≥ 40 % (6 м глубина воды)	≥ 40 % (6 м глубина воды)	≥ 40 % (6 м глубина воды)	5,81–7,13 % на 1 м погружения	≥ 35 %	7–10 % на 1 м погружения	42 % (6 м глубина воды)	6,5 % на 1 м погружения
Эффективность аэрации (SAE)	≥ 9,2 кг O <sub>2</sub> /кВт·ч	≥ 9,2 кг O <sub>2</sub> /кВт·ч	≥ 8,6 кг O <sub>2</sub> /кВт·ч	≥ 9,4 кг O <sub>2</sub> /кВт·ч	Н/Д	Н/Д	3–8 кг O <sub>2</sub> /кВт·ч	Н/Д	2,5–6 кг O <sub>2</sub> /кВт·ч
Срок службы мембраны	> 8 лет	> 8 лет	> 8 лет	> 8 лет	Н/Д	7–10 лет	Н/Д	> 8 лет	Н/Д

**ТАБЛИЦА 2. ПРИМЕР СРАВНИТЕЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОГРУЖНЫХ МЕШАЛОК, 50 Гц, 400 В**

Наименование	Wлю-EMU	Wлю-EMU	НОМА	GSD	Sulzer-ABS	KSB	Хулем-Fluyt	Хулем-Fluyt
Мешалка	TR 326-3.43-4/12	TRE 326-3.42-4/17	HRL 40/4-301	LPH 7,5/4-2500-51	XSB 2733-PA75/4	Апаргор V 46-2500/5 4 URG	SR 4460	SR 4530
Внешний вид								
Диаметр пропеллера, мм	2600	2600	2300	2500	2750	2500	2500	1200
Материал пропеллера	GFK (Винилэстер)	GFK (Винилэстер)	Нержавеющая сталь	Стеклопластик	Композиционный мат-л на основе стекловолокна	EP-GF (стекло-пластик)	Усиленная полиуретановая пластмасса	Алюминий, АА А413.0
Материал корпуса	EN-GJL-250	EN-GJL-250	Чугун EN-GG/GJL	Нерж.ст. SUS304	EN1563/GGG40	Серый чугун JL 1040	Чугун, ASTM 35B	Чугун, ASTM 35B
Количество лопастей, шт	3	3	3	2	3	2	2	3
Мощность двигателя (потребляемая мощность), кВт	5,8 (4,7)	4,5 (4,31)	5	7,5	7,5	6,5	5,7 (6,0)	4,3 (4,46)
Частота вращения, об./мин.	43	42	34,1	51	60	46	47	145
Осевая тяга, Н	4250	4310	2822	4280	6422	Н/Д	4700	2140
Эффективность, Н/кВт	732,7	957,8	564,4	570,7	856,3	Н/Д	824,5	497,7
Материал монтажного комплекта	AVMS (оцинкованная сталь А4 (1.4571), А2 (1.4301))	AVMS (оцинкованная сталь А4 (1.4571), А2 (1.4301))	Нержавеющая сталь EN1,4301	Нержавеющая сталь SUS304	Бетонный пьедестал	Сталь CrNi 1.4301, Сталь 1.4571, гальванизир. сталь	Нержавеющая сталь EN1,4301	Нержавеющая сталь EN1,4301
Материал подъёмного устройства	АН250	АН250	Нержавеющая сталь EN1,4301	Нержавеющая сталь SUS304	Нержавеющая сталь	Гальванизир. сталь, сталь 1.4301	Нержавеющая сталь ASTM 316L	Нержавеющая сталь ASTM 316L
Требуемая тяга для устройства в азартенке, Н	19 170	19 170	19 170	19 170	19 170	19 170	19 170	19 170
Количество мешалок на 1 азартенк	5	5	7	5	3	Н/Д	4 (или 5 по согласованию)	9



Использование указанного стандарта способствует:

- увеличению однородности / совместимости характеристик, что позволяет производить сравнение мешалок,
- упрощению общения между заказчиком и поставщиком и защите клиентов,
- сокращению потребности в документации,
- повышению качества и эффективности как для процесса машиностроения, так и для очистки.

Практикой предполагается, что проектировщик оценивает требуемую силу тяги исходя из проектных величин: объема и формы резервуара, скоростей перемешивания. Затем из каталожных данных фирм-производителей выбирает подходящую по тяге мешалку и ее марку. Фирмы-производители способствуют процессу, помогая осуществить правильный выбор. Поэтому производители должны включать данные «тяга» в прямой каталожный доступ.

Поскольку одинаковая тяга реализуется на практике различной конструкцией погружных мешалок (диаметр и форма лопастей, наличие редуктора с определенным передаточным числом или его отсутствие) для сравнения удобно пользоваться относительной величиной – *удельная эффективность* (Н/кВт). Лучшим вариантом ее определения является потребляемая мощность в рабочей точке. Однако не все производители сообщают ее величину, ограничиваясь мощностью двигателя. Двигатели класса IE3 являются наиболее современными разработками, с повышенным КПД (более 90 %).

Примеры наиболее крупных по производительности низкооборотных редукторных устройств перемешивания представлены в табл. 2.

Жесткость конструкций опор – важный параметр, влияющий на долговечность работы мешалок. Как правило, она рассчитывается на прочность и резонансную стойкость к вибрациям. Некоторые производители предлагают бетонные пьедесталы или монолитные опоры из композитных материалов.

### ВОЗДУХОДУВНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Выбор воздуходушных машин определяется количеством воздуха, потребляемого на станции аэрации, и давлением нагнетания, которое устанавливается при расчете системы воздухопроводов. Аналогично насосной технике целесообразно определять «рабочую точку» подачи воздуха при параллельной работе рабочих воздуходувок и воздухопроводов.

Для подачи воздуха нормального давления 0,16–0,17 МПа (не более 0,19 МПа) на крупных объектах обычно используют центробежные воздуходувки и нагнетатели: многоступенчатые и одноступенчатые. Регулирование производительности осуществляют: для многоступенчатых агрегатов посредством использования высоковольтного преобразователя частоты (ПЧТ), для одноступенчатых – управляемого лопаточного аппарата после турбины и/или перед ней (рассматривается как конструктивная часть улиты). Если заказчик на своем объекте предполагает реализацию эффекта энергосбережения, требуется выбор управляемого воздуходушного оборудования. Использование управляющих технологических средств автоматизации приветствуется.

Для очистных установок малой производительности применяют как высокоскоростные центробежные безредукторные агрегаты, так и устройства объемного типа (винтовые и роторные). Регулирование первых осуществляется с использованием ПЧТ, иногда комплексным (направляющим лопаточным аппаратом + ПЧТ) способом. Данные решения, в основном, адаптированы к использованию как комплексный продукт.

Как правило, при сравнении воздуходувок учитывают и способ регулирования, и собственно оборудование (табл. 3). Поставщики предлагают сложные комплекты оборудования. «Одноступенчатые центробежные редукторные» решения адаптированы для использования как единый и законченный продукт. Решения «Многоступенчатые центробежные + ПЧТ», предлагаемые поставщиками как комплект оборудования, требует проектного подтверждения расчетами (цена ошибки высока).

Поскольку рабочий срок воздуходувного оборудования составляет не менее 25 лет, эксплуатационные затраты целесообразно рассчитывать на этот период (замена запчастей, масла, фильтров, ПЧТ и др., а также учет стоимости ремонтных работ). Даже цена средств охлаждения помещений с ПЧТ необходимо брать в расчет.

На величины гарантированных отклонений от заявленных параметров (или допусков на изготовление оборудования) также следует обращать внимание. Тенденция изменения рабочих характеристик оборудования после его производства не всегда носит желаемый характер для заказчика: расходы воздуха могут быть несколько ниже, а потребляемая мощность чуть выше гарантированных величин.

При выборе воздухонагнетателей также важно учитывать:

- Напряжение сети: 0,38; 0,69; 6; 10 кВ.
- Величину падения КПД при использовании ПЧТ, что снижает общий КПД системы.
- Величины допустимых отклонений от заявленных производителем параметров (производительности, давления, мощности). Эти величины могут достигать  $\pm 5\%$ , при этом производитель гарантирует сохранение рабочих характеристик не только в сторону увеличения, но, к сожалению, и уменьшения.
- Корректность проведенных расчетов на условия соответствия температурным режимам года, влажности. Каталожные данные воздухонагнетателей, как правило, соответствуют стандартным условиям.
- Референс-лист агрегатов подобной производительности, в качестве подтверждения опыта эксплуатации.
- Материалы, конструктивные особенности, скорость вращения, обеспечение заводских тестовых испытаний.

Пример сравнения характеристик управляемых воздухонагнетателей представлен в табл. 3 (на практике учитывают большее количество параметров и представляют более развернутую форму).

**ТАБЛИЦА 3.**  
**ПРИМЕР СРАВНИТЕЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК УПРАВЛЯЕМЫХ ВОЗДУХОНАГНЕТАТЕЛЕЙ**  
**ДЛЯ СТАНЦИЙ АЭРАЦИИ (ИЗ РАСЧЕТА ГЛУБИН АЭРОТЕНКОВ 5–6 м)**

Тип воздухонагнетателя	Многоступенчатые, центробежные	Одноступенчатые, центробежные, редуكتورные	Высокоскоростные, центробежные, безредукторные	Роторные и/или винтовые
Внешний вид				
Диапазон производительности, тыс. м³/час	0,5–60	2,0–130	1–16	0,03–25
Напряжение питания, кВ	0,38–10	0,38–10	0,38–0,69	0,38–0,69
Скорость вращения вала, об/мин	3 600–4 500	1 500–3 000	18 000–40 000	600–5 400
Диапазон регулирования, % производительности	30–40 %	55–60 %	40 % иногда** 60 %	55 %
Отклонения от заявленных параметров*, ±%	Q ± 4 %, Δr ± 0 %, P ± 4 %	Q ± 2 %, Δr ± 0 %, P ± 4 % иногда** Q ± 0 %, Δr ± 0 %, P ± 4 %	Q ± 2 %, Δr ± 0 %, P ± 5 % иногда** Q ± 0 %, Δr ± 0 %, P ± 4 %	Q ± 5 %, Δr ± 5 %, P ± 5 %

**Примечания:**

\* Отклонения от заявленных параметров в соответствии с различной методикой тестовых испытаний для параметров: производительности Q ±%, избыточного давления Δr ±%, потребляемой мощности P ±%.

\*\* Siemens TE.

## СИСТЕМЫ ДООЧИСТКИ

Данный тип оборудования рассмотрен в связи с потребностью водокачалов в технических средствах обеспечения рыбохозяйственных норм водоемов. Дисковые микрофильтры не являются единственно возможным оборудованием, скорее примером. Выбор обосновывается возможностью изыскать на ряде объектов перепад уровней до/после сооружений доочистки ~0,4 м. Этого вполне достаточно для обеспечения гидравлического напора, без строительства дополнительной насосной станции.

В данном случае рассматривается вариант для доочистки биологически очищенных городских сточных вод с целью снижения содержания взвешенных веществ, органических веществ, а также для доочистки от соединений фосфора.

Дисковые фильтры (с реагентным хозяйством) обладают рядом преимуществ по сравнению с другими фильтрационными установками и сооружениями:

- уменьшение занимаемой площади за счет вертикального расположения фильтрующих элементов – дисков;
- модульная конструкция позволяет, при необходимости, увеличивать пропускную способность фильтра;
- автоматизированная система управления;
- простота эксплуатации без необходимости опорожнения корпуса фильтра за счет легкоъемных фильтрующих панелей и спринклеров;
- нет необходимости в строительстве резервуаров промывной воды и грязных вод от промывки фильтров, для промывки используется отфильтрованная вода, подающаяся из корпуса фильтра, минимальный расход промывной воды;
- минимальные потери напора и затраты электроэнергии;
- полностью закрытая конструкция, оборудование оснащено металлическим кожухом с откидными дверцами для технического осмотра.

Диски выполняются в виде отдельных сегментов с фильтрующими элементами, представляющими собой трапецеидальную рамку, в которой закреплена мембрана (материал с размерами ячеек 10–50 микрон). Диски приводятся во вращение приводом, состоящим из электродвигателя и редуктора. Ось вращения дисков служит труба, являющаяся одновременно коллектором для отвода промывной воды. Промывное устройство представляет собой водораспределительную трубу со спринклерами, расположенными между дисками. Смытые загрязнения поступают в коллектор и направляются в голову сооружений, например, в первичные отстойники. На крупных объектах дисковые фильтры следует устанавливать в железобетонных камерах, снабженных водосливной перегородкой, которая обеспечивает расчетное погружение в воду.

Эффект очистки на дисковых микрофильтрах зависит от ряда факторов: состава и свойства воды, размера ячеек сеток и режима работы микрофильтров (гидравлической нагрузки, потерь напора, интенсивности промывки и пр.).

Пример сравнительных характеристик и средств комплектации для устройства на объекте условной производительностью 325 000 м<sup>3</sup>/сут. представлен в табл. 4.

Расход реагента может быть включен в таблицу сравнений как параметр эксплуатационных затрат, наряду с расходом электроэнергии. Стоимость комплекта запчастей на период эксплуатации подлежит запросу у поставщиков, как, впрочем, и шеф-монтажных наладочных работ (это касается всего рассмотренного в статье оборудования).

**Таблица 4 . ПРИМЕР СРАВНИТЕЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИСКОВЫХ ФИЛЬТРОВ ДООЧИСТКИ**

Производитель	U&D	Siemens	Hydrotech
Типоразмер	UD-20000-24-14×2-15	SDF A24 C	HSF2630-2F
Внешний вид			
Тип установки	ж/б канал	ж/б канал	ж/б канал
Максимальный суточный приток сточных вод, м³/сут	325 000	325 200	325 200
Средний часовой приток сточных вод, м³/час	13 542	13 600	13 600
Содержание взвешенных веществ в исходной воде	8–13	8–13	8–13
Содержание взвешенных веществ в осветленной воде	2,9	2,9	3* (реальное знач. – 5 мг/л)
Производительность дискового фильтра, м³/час	1000	1504,6	2250
Тип мембраны	Плоская	Гофрированная	Плоская
Вид мембраны			
Размер ячеек, микрон	10	10	10
Размеры, мм:			
• длина	7500	8740	6750
• ширина	2200	2280	2280
• высота	2400	2404	2964
Число дисков на валу, шт.	24	24	30
Диаметр диска, мм	2000	2200	2600
Площадь фильтрующей поверхности, м²	117,6	187,2	228,0
Расход воды на промывку, % расхода обрабатываемой воды	2÷4	1÷2	2
Давление, бар	8	8,5	7,5–8,0
Привод дискового фильтра:			
• мощность электродвигателя, N	1,1	1,1	1,1
• напряжение/частота, U/F	380/50	380/50	400/50
Промывной насос:			
• мощность электродвигателя, N	15,5	22	22
• напряжение/частота, U/F	380/50	380/50	400/50
Количество дисковых фильтров, шт.	14	9	6
Размер здания, м	27×22	33×22	30×16

**Примечание:**

\* В зависимости от характеристик и гранулометрического состава.

## РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА

В качестве критерия сравнения различных типов оборудования удобно использовать совокупную стоимость владения *LCC* (*Life cycle cost*). Критерий давно используется в международной практике, в т.ч. и при проведении сравнительных обоснований.

В России достаточно известны методы, основанные на сравнении экономической эффективности работы оборудования по показателю приведенных затрат. Методы схожи, поскольку основные составляющие (капитальные вложения и эксплуатационные затраты) трактуются единообразно. Метод приведенных затрат не отражает современные экономические процессы (например, инфляцию, кредитование, точную технико-экономическую оценку долгосрочных проектов).

В *LCC* совокупную стоимость владения (по вариантам сравнения) принято определять по формуле [3, 4, 5]:

$$LCC = C_{ic} + C_{in} + C_e + C_o + C_m + C_s + C_{env} + C_d, \quad (1)$$

где  $C_{ic}$  – капитальные затраты (строительные работы, стоимость оборудования);  $C_{in}$  – затраты на монтаж и пусконаладку;  $C_e$  – затраты на электроэнергию;  $C_o$  – текущие затраты (в основном на оплату труда обслуживающего персонала);  $C_m$  – затраты на сервисное и техническое обслуживание (текущий и плановый ремонт, при необходимости замена оборудования или элементов комплекса);  $C_s$  – затраты по причине простоя (упущенная выгода) или потери производительности;  $C_{env}$  – затраты на охрану окружающей среды и предотвращение ущерба;  $C_d$  – затраты на утилизацию, остаточная стоимость оборудования для его будущего использования.

Составляющие  $C_e$ ,  $C_o$ ,  $C_m$ ,  $C_s$  и  $C_{env}$  относятся к эксплуатационным затратам, при расчете которых во внимание принимается годовой темп инфляции  $p$ , который требуется компенсировать процентной ставкой  $i$ , выраженной в долях единицы:

$$C_n = C_p [1 + (i - p)]^n, \quad (2)$$

где  $n$  – расчетный период ( $n = 7, 8, \dots 25$  лет, в зависимости от расчетного периода эксплуатации оборудования);  $C_p$ ,  $C_n$  – текущие и предстоящие через  $n$  лет затраты;  $i$  – процентная ставка, принимаемая с учетом депозитных ставок банков высшей категории надежности (в период сравнения  $i \approx 16\text{--}20\%$ );  $p$  – годовой темп инфляции ( $p = 12\text{--}16\%$ ).

Для приведения затрат и результатов, полученных в различные моменты времени в ходе реализации проекта, к сопоставимому виду необходимо использовать коэффициент дисконтирования, так как очевидно, что ценность эквивалентных денежных средств в разные периоды неодинакова.

С учетом коэффициента дисконтирования  $\alpha$  формула (2) примет вид:

$$C_n = C_p \alpha; \quad (3)$$

$$\alpha = \frac{(1+p)^1}{(1+i)^1} + \frac{(1+p)^2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{(1+p)^n}{(1+i)^n} \quad (4)$$

Элементы совокупной стоимости владения LCC, как правило, выбираются к сравнительному расчету в соответствии с требованиями. Так, например, цена оборудования  $C_{ic}$  имеет большое значение для покупателя, поскольку отражает размер инвестиций. Цены на импортное оборудование и запасные части целесообразно формировать в соответствии с практикой российского рынка и с учетом транспортных затрат до потребителя, затрат на услуги таможен, налога на добавленную стоимость.

Величина затрат на сервисное и техническое обслуживание  $C_m$  характеризует последующие расходы (замены: ремонтных комплектов, масла, фильтров, реагентов, растворов для прочистки систем аэрации и т.п.). Включают в себя закупочные цены, а также затраты на сервисное и техническое обслуживание (в расчетах обычно используется стоимость ремонтных работ в руб. за 1 нормо-час). Продолжительность ремонтных работ определяется в соответствии с мощностью и массой агрегатов, грузоподъемностью механизмов.

Затраты на электрическую энергию  $C_e$  обычно существенно различаются по вариантам сравнения и очень важны для потребителя. Необходимость использования в расчетах элементов затрат  $C_{in}$ ,  $C_o$ ,  $C_s$ ,  $C_{env}$ ,  $C_d$  определяется водоканалами, исходя из целесообразности и присутствия реальной составляющей.

Применение метода LCC позволяет регулярно оценивать и оптимизировать инвестиционные и эксплуатационные затраты, сравнивать тендерные предложения различного уровня техники, экономически учитывать исходные КПД и качество используемого оборудования (технологии) как элемент затрат и пр.

Более подробно тема определения совокупной стоимости владения для обоснования технического варианта принятого решения будет рассмотрена в следующем номере журнала. ●

*(Продолжение следует)*

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Федеральный закон 44-ФЗ от 05.04.2013 «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ и услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд».**
2. **Данилович Д.А. Наилучшие доступные технологии для коммунального водоотведения. Журнал «Водоснабжение и санитарная техника». 2012, № 3. Березин С.Е. На конкурсах по закупке насосов обычно сравнивают несколько известных марок, имеющих поблизости сервис, и выбирают ту, которая дешевле. Достаточно ли этого для правильного выбора оборудования? Журнал «Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения». 2014. № 1. С. 42–44.**
3. **Баженов В.И., Кривошекова Н.А. Экономический анализ систем биологической очистки сточных вод на основе показателя затраты жизненного цикла. Журнал «Водоснабжение и санитарная техника». 2009. № 2. С. 6974.**
4. **Баженов В.И., Кривошекова Н.А. Экономический анализ современных систем биологической очистки сточных вод на базе показателя — затраты жизненного цикла (Life Cycle Cost) // Журнал «Водоснабжение и канализация». 2009. № 1. С. 37–48.**

# О новациях в сфере техники и технологий в ВКХ

**ЗАО «Водоснабжение и водоотведение» (ВИВ) около 20 лет работает в области инжиниринга, проектирования, поставок, производства, монтажа, пуско-наладки, сервиса и аренды оборудования в ВКХ и в водном секторе.**

**Кроме того, компания проводит обучение студентов и специалистов водного профиля ВКХ и промышленности, а также хорошо известна профессиональными публикациями (имеет более 100 печатных работ, в том числе две книги<sup>1</sup>).**

## Модернизация насосных станций<sup>3</sup>

**С.Е. БЕРЕЗИН,  
В.И. БАЖЕНОВ**

**ЗАО «Водоснабжение  
и водоотведение»<sup>2</sup>,  
г. Москва**

Примером модернизации *водопроводных* насосных станций может послужить объект ОАО «Мосводоканал» (рис. 1). Суть модернизации энергохозяйства насосной станции 1 подъема Западной станции водоподготовки заключается в использовании *погружного высоковольтного* насосного оборудования. Смысл модернизации подсказывает практика. Погружные агрегаты востребованы в связи с износом собственно насосной станции и продлением ее работоспособности, вне зависимости от фактов затоплений машинного зала. Высоковольтные агрегаты востребованы сложившейся в России практикой энергоснабжения.

<sup>1</sup> Березин С.Е. Насосные станции с погружными насосами. Расчеты и конструирование. — М., Стройиздат, 2008; Павлинова И.И., Баженов В.И., Губий И.Г. Водоснабжение и водоотведение. Учебник для бакалавров — М., Издательство Юрайт, 2012.

<sup>2</sup> E-mail: info@pump.ru

<sup>3</sup> Большинство работ и внедрений «ВИВ» данного направления отнесено к применению погружной насосной техники в канализационных, ливневых, водопроводных и водных насосных станциях. Ряд положений, приведенных в монографии «Насосные станции с погружными насосами. Расчеты и конструирование», вошли в своды правил СП 31.13330.2012 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения» и СП 32.13330.2012 «Канализация. Наружные сети и сооружения».





Параметры каждого из 2-х агрегатов Indar (северная Испания):  $Q = 5000 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $H = 80 \text{ м}$ ,  $P = 1660 \text{ кВт}$ , 6 кВ. Монтаж таких агрегатов упрощен. Для примера, монтаж и центровка традиционных насосов 36В-12 с длинным вертикальным валом занимает не менее 2-х недель, монтаж же двух погружных агрегатов составляет 2 дня.

Для случаев модернизации канализационных насосных станций данный вариант сохраняет актуальность, поскольку сточные воды более агрессивны и ресурс служб железобетонных сооружений практически исчерпан. Поэтому основные предлагаемые решения по замене морально устаревшего и изношенного оборудования связаны с установкой погружного насосного оборудования либо на фундаменты в машинный зал, либо — непосредственно в приемный резервуар.

Весьма актуальным направлением модернизации КНС является их оборудование дробилками фрезерного типа Monster (рис. 2). Спрос на данное оборудование прирастает от года к году в разы, что не случайно. Традиционное оборудование насосных станций решетками буквально заставляет службы эксплуатации поддерживать их работу повышенным количеством штатного персонала. Использование «Монстров» с автоматизацией насосов позволяет закрыть насосные станции «на ключ».

**Рис. 1.**  
Монтаж высоковольтных погружных насосов Indar выполнялся на станции 1-го подъема Западной станции водоподготовки агрегатированием электродвигателя и многоступенчатой улитки



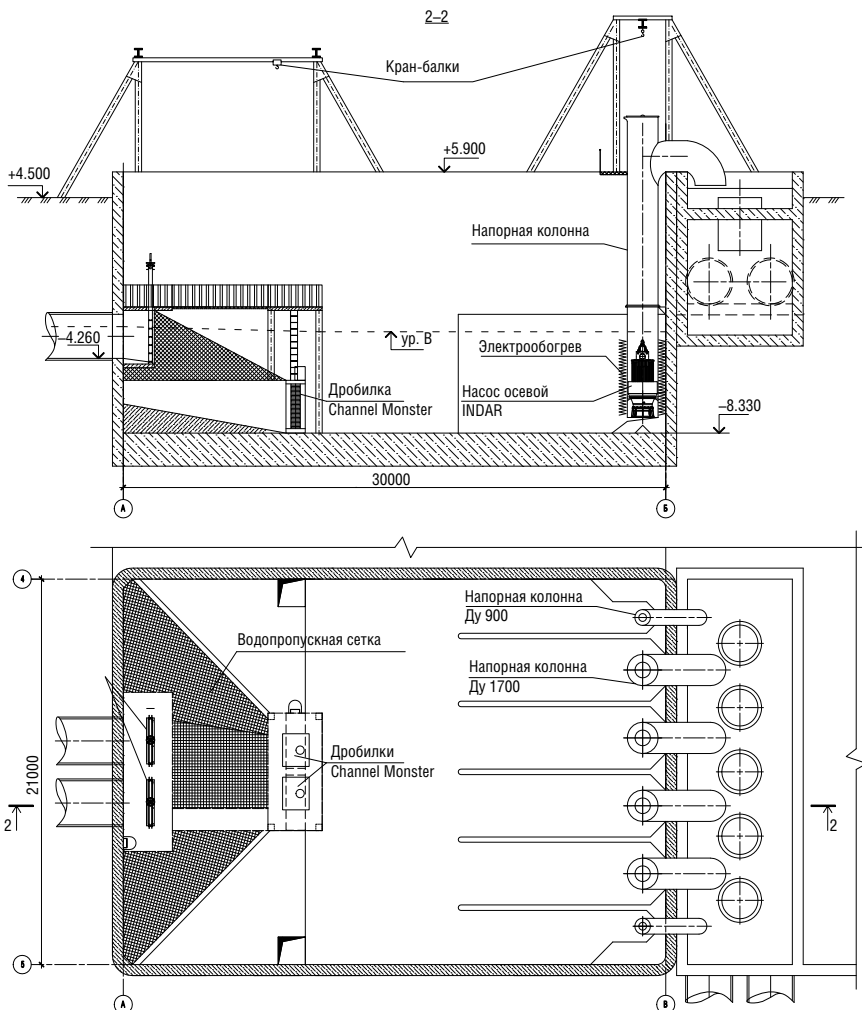
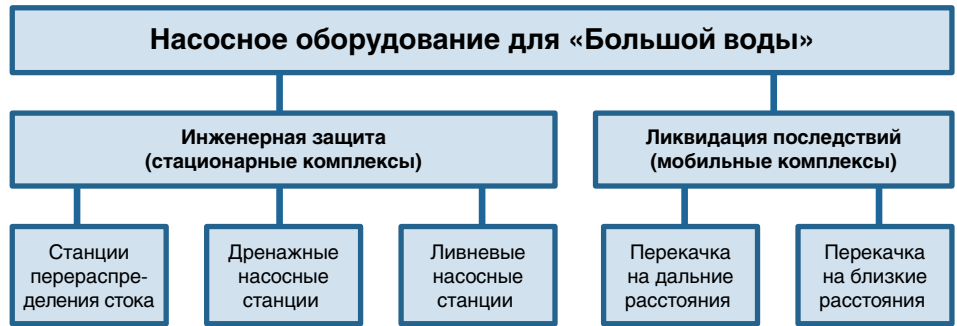
Параметры каждого из 2-х агрегатов Indar (северная Испания):  $Q = 5000 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $H = 80 \text{ м}$ ,  $P = 1660 \text{ кВт}$ , 6 кВ. Монтаж таких агрегатов упрощен. Для примера, монтаж и центровка традиционных насосов 36В-12 с длинным вертикальным валом занимает не менее 2-х недель, монтаж же двух погружных агрегатов составляет 2 дня.

Для случаев модернизации канализационных насосных станций данный вариант сохраняет актуальность, поскольку сточные воды более агрессивны и ресурс служб железобетонных сооружений практически исчерпан. Поэтому основные предлагаемые решения по замене морально устаревшего и изношенного оборудования связаны с установкой погружного насосного оборудования либо на фундаменты в машинный зал, либо — непосредственно в приемный резервуар.

Весьма актуальным направлением модернизации КНС является их оборудование дробилками фрезерного типа Monster (рис. 2). Спрос на данное оборудование прирастает от года к году в разы, что не случайно. Традиционное оборудование насосных станций решетками буквально заставляет службы эксплуатации поддерживать их работу повышенным количеством штатного персонала. Использование «Монстров» с автоматизацией насосов позволяет закрыть насосные станции «на ключ».

**Рис. 1.**  
Монтаж высоковольтных погружных насосов Indar выполнялся на станции 1-го подъема Западной станции водоподготовки агрегатированием электродвигателя и многоступенчатой улитки

**Рис. 3.**  
СТРУКТУРА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ В КАЧЕСТВЕ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЗАЩИТЕ НАСЕЛЕНИЯ, ТЕРРИТОРИЙ И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЗАТОПЛЕНИЙ



В качестве примера приведем проект *ливневых станций*, как крупных водоотливов производительностью 40 000, 70 000, 100 000 м<sup>3</sup>/ч (рис. 4). Проект предусматривает водопрпускные сетки, собирающие мусор и отбросы перед дробилками JWC Monster, а также специальные зоны для равномерного распределения потоков вод между агрегатами. Такое распределение позволяет устранить негативное взаимовлияние рабочих агрегатов друг на друга и воронкообразование при условии минимального конструктивного размера приемного резервуара. Это позволит достичь расчетных режимов при эксплуатации, способствует минимуму капитальных затрат и поддержанию приемного резервуара в чистоте.

**Рис. 4.**  
ПРОЕКТНОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ ЛИВНЕВЫХ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ 70 000 м<sup>3</sup>/ч, ЗАО «ВИВ» (Москва), АВТОР ПРОЕКТА С.М. БОЖЬЕВА

Для реализации проекта указанного проекта фирмой Indar изготовлены насосные агрегаты в погружном исполнении. Параметры насосных агрегатов:  $Q=15300 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $H=18 \text{ м}$ ,  $P=1,1 \text{ МВт}$ ,  $\text{КПД}=91,5 \%$ , 10 кВ. Общее количество — 8 ед. Оборудование Indar отвечает требованиям: по производительности — до  $15\,000 \text{ м}^3/\text{ч}$  и напорам — до 1200 м при установленной мощности двигателей до 2,5 МВт и выше в стандартной «линейке». Исполнение для напряжений 0,38; 0,66; 3; 6 и 10 кВ достаточно гибко соответствует потребностям объектов. Кроме того, при высоких мощностях переход на повышенное напряжение питания способствует уменьшению диаметра кабеля и его гибкости, что необходимо при работе с погружной техникой.

Примером ликвидации последствий наводнений и необходимостью локальной откачки из зон затоплений, подвалов, аварий на сетях водопровода, канализации, теплоснабжения, а также водопонижения (при комплектации иглофильтровальными установками) является набор инженерных решений, включающий мобильные насосные станции ВВА (Голландия).

Проекты предусматривают использование высокопроизводительных агрегатов в комплектации автономными источниками электроэнергии, а также без них (рис. 5). Мобильные насосные станции характеризуются следующими рабочими параметрами:  $Q$  до  $9\,000 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $H$  до 130 м. Дизельные или бензиновые приводы обеспечивают работоспособность в условиях отсутствия электроснабжения.

Принцип насосной перекачки данных агрегатов — самовсасывающий, не требующий их заливки перед пуском, в значительной степени упрощает их использование в чрезвычайных ситуациях. Основные достоинства мобильной техники — независимость от стационарных источников электропитания, позволяют применять ее также при решении задач, не связанных с природными явлениями (откачка воды при авариях на объектах ЖКХ, устройство временных насосных станций при ремонтных работах, пожаротушение) и имеют высокий арендный потенциал для владельца техники.

**Рис. 5.**  
**Мобильные насосные агрегаты ВВА для предотвращения наводнений при строительстве дамб**



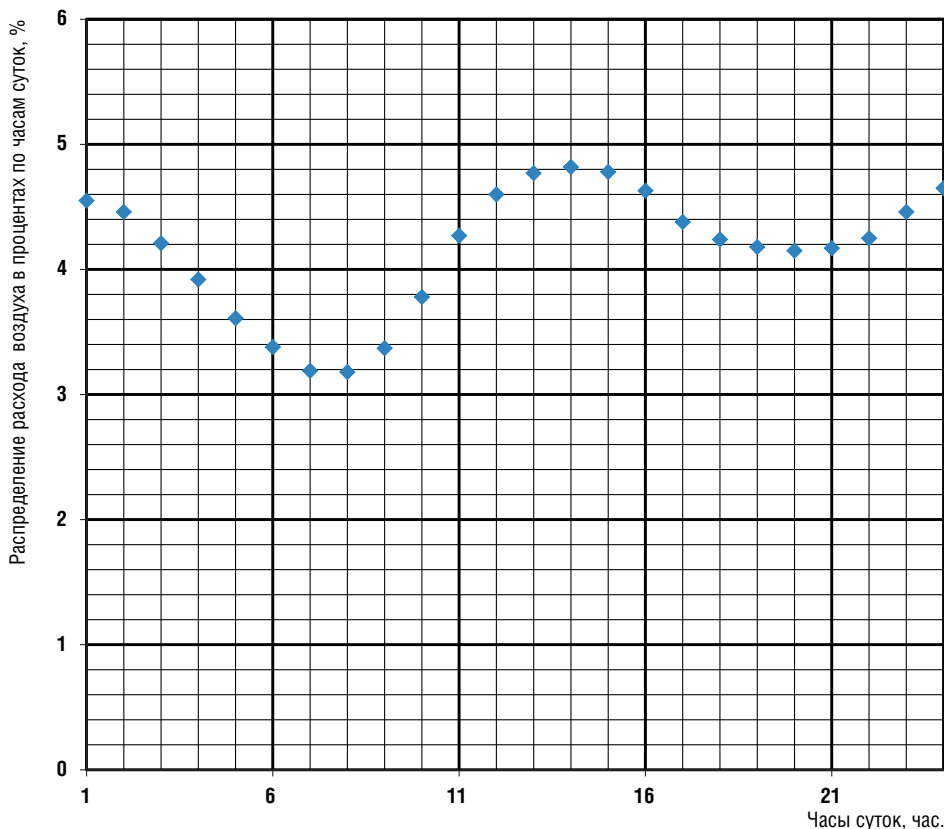
**Модернизация воздуходушных станций**

Профессионалам однозначно понятно, что затраты на аэрацию связаны с потреблением энергии воздуходушными станциями. Специалисты смежной профессии — «тепловики» уже освоили внедрение автоматизированных ИТП, достигая за счет этого серьезной экономии энергоресурсов посредством суточного и сезонного регулирования систем.

Управление подачей воздуха является выгоднейшим среди мероприятий и по энергосбережению, и по окупаемости инвестиций в сфере очистки сточных вод<sup>5</sup>.

Заметим, что оценка величины энергоэффективности модернизированной воздуходушной станции достигается на базе *имитационного моделирования процессов очистки сточных вод*<sup>6</sup>.

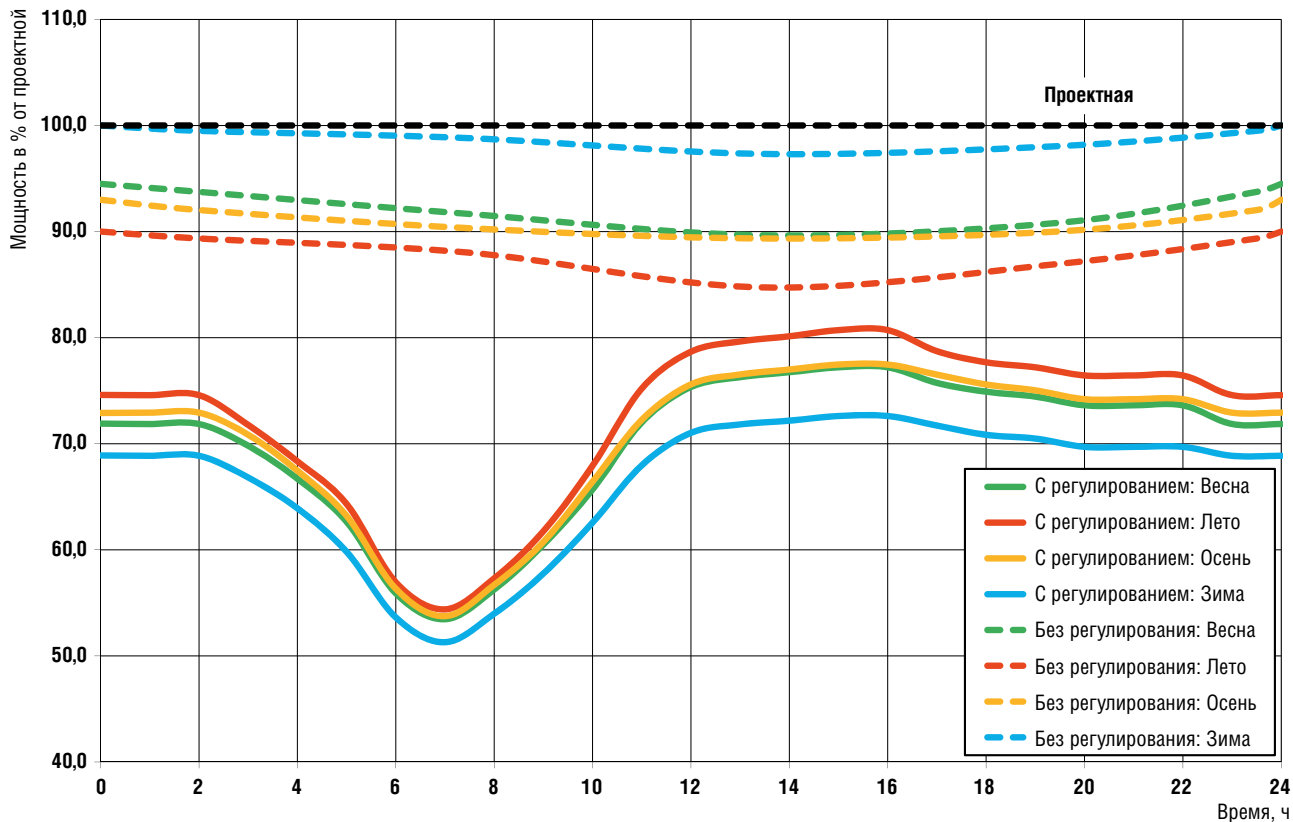
Основная задача моделирования — определить суточный расход воздуха для управляемых воздухонагнетателей (рис. 6). Учет стандартных условий (Т=20 °С, влажность 50 %, атмосферное давление 1,013 бар) крайне необходим для дальнейшего пересчета подач воздуха в условиях сезонов года (колебаний температуры, влажности, плотностей воздуха).



**Рис. 6.**  
**ГРАФИК НЕРАВНОМЕРНОСТИ**  
**ПОДАЧИ ВОЗДУХА**  
**МОДЕРНИЗИРОВАННОЙ**  
**ВОЗДУХОДУШНОЙ СТАНЦИЕЙ**  
**ДЛЯ СТАНДАРТНЫХ УСЛОВИЙ**  
**(Т = 20 °С, влажность**  
**50 %, АТМОСФЕРНОЕ**  
**ДАВЛЕНИЕ 1,013 БАР)**

<sup>5</sup> Недаром в Германии, где энергозатраты на производство 1 м<sup>3</sup> воды в 3,5 раза ниже, чем в России, регулируемые воздуходушки применены на 390 очистных сооружениях, в то время как в РФ — лишь на десятке. В 2013 г. двумя крупнейшими российскими водоканалами заказаны управляемые поворотнo-лопастные турбоагнетатели суммарной мощностью 16 750 кВт на замену существующим суммарной мощностью 26 300 кВт.

<sup>6</sup> Подробнее см. на с. \_\_\_\_\_.



**Рис. 7.**  
**ПРИМЕР РАСЧЕТОВ СУТОЧНОГО**  
**ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ**  
**В ТЕЧЕНИЕ ЧЕТЫРЕХ СЕЗОНОВ**  
**ГОДА ДЛЯ УПРАВЛЯЕМОГО**  
**И НЕРЕГУЛИРУЕМОГО**  
**ВОЗДУХОНАГНЕТАТЕЛЕЙ**

Дальнейший этап проектирования предполагает подбор оборудования, определение характера его работы и расчет величин энергоэффективности на базе пересчета из стандартных условий к реальным. Учет колебаний температуры, влажности и плотностей воздуха позволяет обеспечить параметры сезонной и суточной потребностей воздуха, а также потребляемую мощность оборудования (рис. 7).

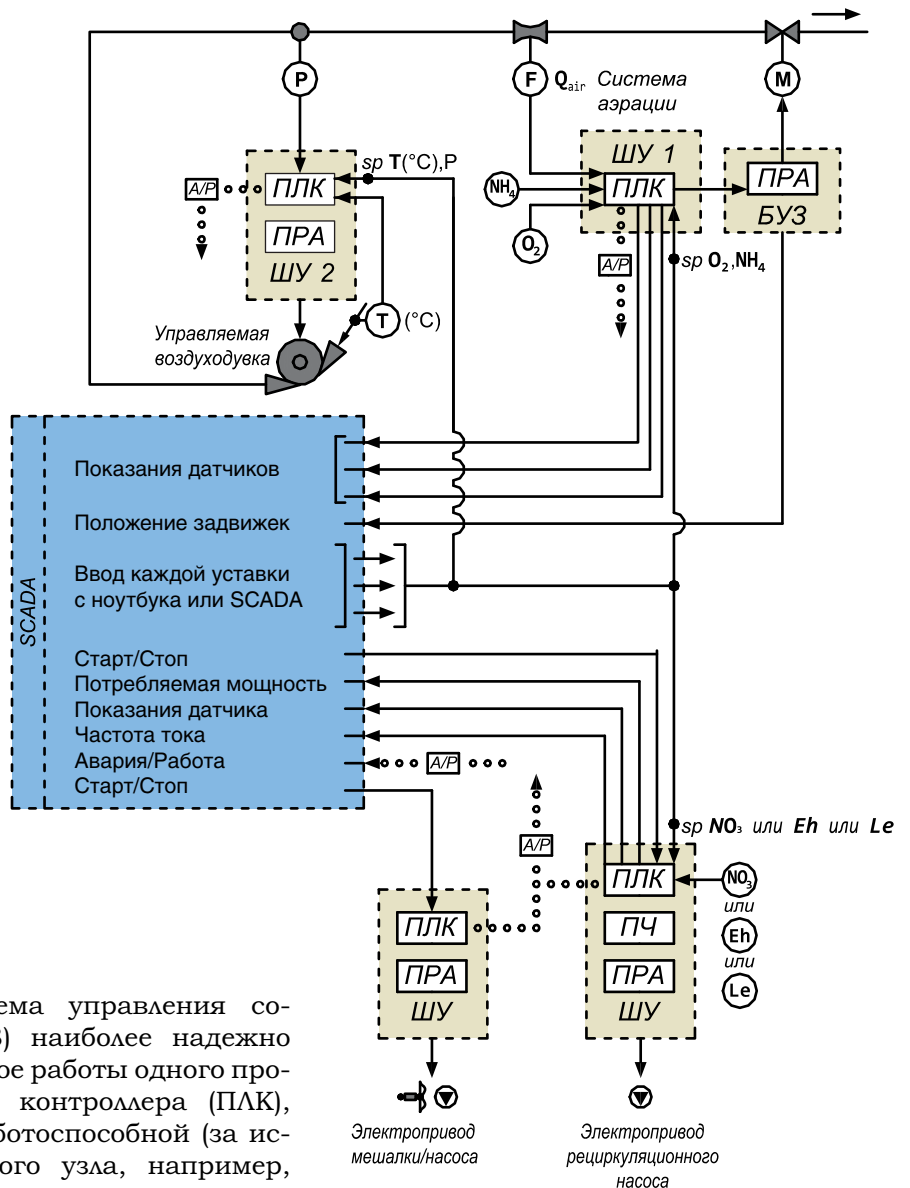
Таким образом, создаются условия обоснования инвестиционного проекта для энергосервисной компании<sup>7</sup>.

<sup>5</sup> В проект могут быть включены особые условия с использованием лизинга с базовыми условиями: удорожание 4–10 % годовых, размер аванса от 10 %, срок: 1–5 лет, график платежей: аннуитет, регресс, каскад.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕКАЧКИ И ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Рекомендуемая на перспективу стратегия АСУТП для процессов очистки сточных вод заключается в блочно-модульном исполнении систем управления по отдельным технологическим задачам. Это позволяет внедрять процессы АСУТП поэтапно, в соответствии с планами реконструкции технологической части проекта.

Рис. 8. ПРИМЕР ПОДКЛЮЧЕНИЯ БЛОЧНО-МОДУЛЬНЫХ ШКАФОВ УПРАВЛЕНИЯ (ШУ) К ЕДИНОЙ SCADA НА ЗАВЕРШАЮЩЕМ ЭТАПЕ РЕКОНСТРУКЦИИ/СТРОИТЕЛЬСТВА



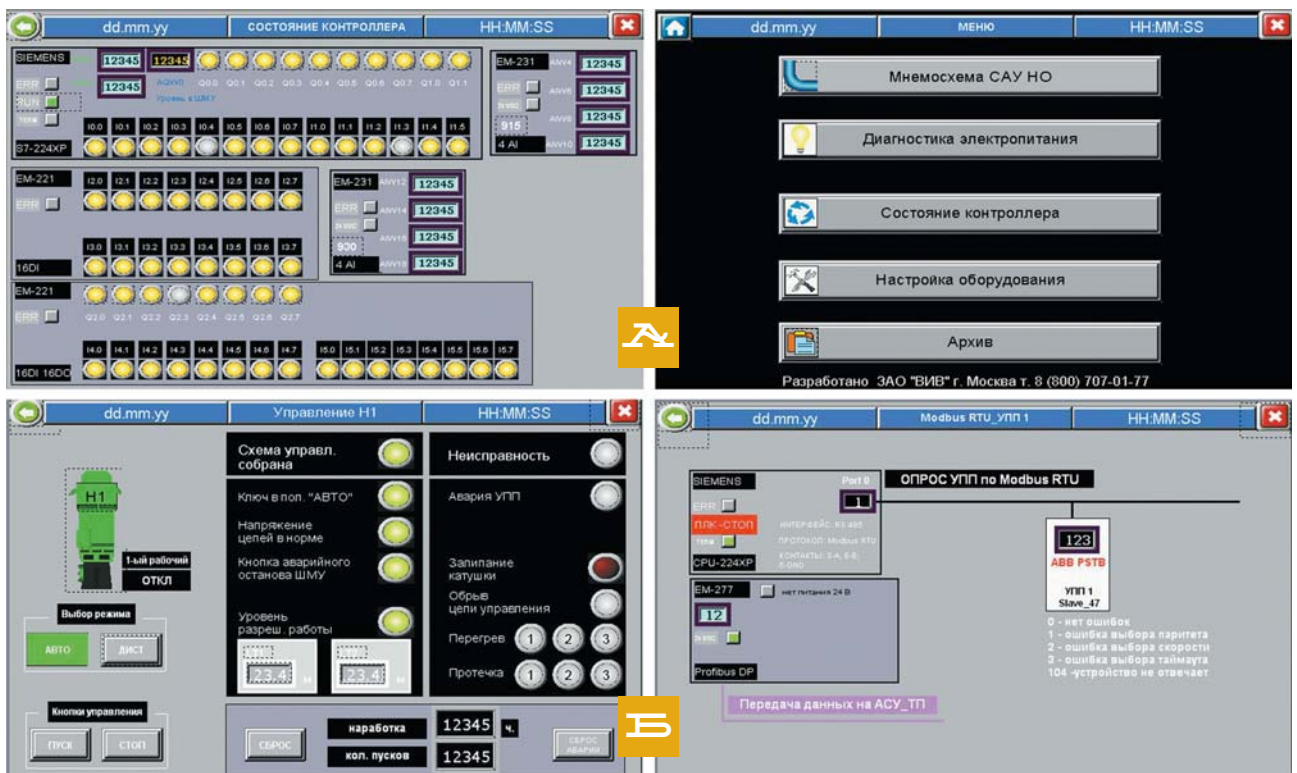
Блочно-модульная система управления совместно со SCADA (рис. 8) наиболее надежно функционируют. Так, при сбое работы одного программируемого логического контроллера (ПЛК), система остается вполне работоспособной (за исключением малого локального узла, например, одного рециркуляционного насоса на единичном аэротенке). В поддержку данного подхода обозначим, что любой другой узел очистки сточных вод и обработки осадка содержит локальные системы АСУТП при поставке технологического оборудования, кроме узла биоочистки.

Основываясь на многолетнем опыте проектирования, монтажа и ввода в эксплуатацию систем автоматического управления насосных станций, компанией «ВИВ» разработан универсальный модуль (PM33) мониторинга, защиты и автоматического управления для насосных агрегатов различного назначения.

Устройство представляет собой полностью законченный автономный блок на базе логического контроллера и имеет следующие основные возможности:

1. Самодиагностика устройства (рис. 9 а).
2. Контроль датчиков различного принципа действия, встроенных в насосные агрегаты.
3. Защита агрегатов при возникновении аварийной ситуации.
4. Выбор режима управления агрегатом (автоматический/дистанционный/местный).
5. Совместимость с любыми устройствами пуска асинхронных электродвигателей, в том числе высоковольтных.
6. Работа в режиме Slave, под управлением контроллера для группы агрегатов.
7. Управление и опрос по протоколу Modbus RTU частотных преобразователей и устройств плавного пуска любого производителя (рис. 9 б).
8. Хранение в памяти архива событий.
9. Передача данных в АСУТП верхнего уровня.
10. Наличие аналогового входа для контроля датчика давления (уровня) и поддержания параметра технологического процесса по закону ПИД-регулирования.

**Рис. 9 а, б.**  
**ИНТЕРФЕЙС**  
**УНИВЕРСАЛЬНОГО**  
**МОДУЛЯ (PM33)**  
**МОНИТОРИНГА, ЗАЩИТЫ**  
**И АВТОМАТИЧЕСКОГО**  
**УПРАВЛЕНИЯ ПРИВОДА**  
**АСИНХРОННЫМИ**  
**ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ**  
**ПЕРЕМЕННОГО ТОКА,**  
**ЗАО «ВИВ» (МОСКВА),**  
**АВТОРЫ МОДУЛЯ**  
**Ю.В. ПЕТРОВ,**  
**Р.А. КОШЕЧКИН**





Устройство РМ33 имеет 4х дюймовую сенсорную панель оператора с понятным графическим пользовательским интерфейсом.

Преимуществом данного устройства является то, что его можно использовать не только для насосного оборудования, но и для компрессоров, вентиляторов и другого оборудования, имеющего в качестве привода асинхронный электродвигатель переменного тока.

### ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Время настоятельно диктует необходимость ускоренной разработки проектов нового строительства и/или реконструкции сооружений водоотведения. Новый свод правил<sup>8</sup> рекомендует использовать современный метод математического (или имитационного) моделирования при проектировании очистных сооружений.

Современное развитие компьютерной техники и программного обеспечения (ПО) демонстрирует возможности использования расчетных комплексов математического моделирования процессов и технологий очистки сточных вод для решения задач проектирования и эксплуатации. ПО позволяет реализовать достаточно сложные и комплексные математические модели для увеличения *достоверности расчетов* и их *натурализации*.

Современное ПО как правило обеспечивает наиболее полное представление о поведении объекта в *нестационарно-динамических условиях*, т.е. во времени. При этом реализуется возможность рассматривать состояние объектов в *статических условиях*, но в условиях анализа другой переменной, например по длине или глубине сооружений. Это очень важно, поскольку позволяет учитывать *гидродинамические* параметры реакторов или сооружений, посредством описания ячеистыми моделями.

Метод, освоенный ЗАО «ВИВ» позволяет сократить в разы время, а также затраты на разработку проектов сооружений очистки сточных вод и включает следующие стадии (для одной очереди):

- Отбор на месте не менее 25 лабораторных проб для определения 144 показателей: фракционный состав ХПК, взвешенные вещества, ХПК, N-NH<sub>4</sub>, P-PO<sub>4</sub>. Отбор проб производится совместно с одновременным определением неравномерности притока сточных вод — 12 замеров. Дальнейшая обработка проб и замеров.
- Данные фракционного состава ХПК анализируются отдельно с точки зрения биоокисляемости. Они являются более достоверным аналогом БПК.
- Проведение респирометрических исследований на реальных пробах иловой смеси из аэротенков. Общее количество исходных данных поступающих с респирометра в переносной компьютер составляет порядка 1 млн. Специальное программное обеспечение позволяет статистически обрабатывать огромное количество данных по мере их поступления, руководствуясь их выборками (порядок — тысячи).

<sup>8</sup> СП 32.13330.2012 Канализация. Наружные сети и сооружения / Минрегион России, Москва, 2012.

- Собственно респирометрический анализ выборки позволяет определять характер изменения скорости дыхания ила и кинетические коэффициенты по длине сооружений (аэротенков) в особых условиях (характера нагрузки, токсических воздействий, ингибирования и т.д.), типичных для данного конкретного объекта.

- Сбор данных с объекта о технологических нагрузках (расходы, ХПК, БПК, взвешенные вещества,  $N-NH_4$ ,  $P-PO_4$ ) для точек «вход» и «выход» для проведения статистического анализа с целью назначения расчетных величин. Количество данных определяется представлениями о характерном периоде времени, типичном для работы объекта в целом. При статистической обработке данных могут учитываться данные развития генплана города.

Проведение такого вида НИР требуется для выполнения проектных работ, которые включают техническое задание заказчика. Приведем пример:

- Построение управляемой по колебаниям притока и концентраций математической модели, включающей все стадии очистки: механическую, биологическую с удалением биогенов, обеззараживание и обработку осадка с рекуперацией газов.

- Подбор оправданного по затратам оборудования, способного автоматически изменять характеристики адекватно колебаниям потоков и концентраций в увязке со своей цепочкой сооружений.

- Сравнение вариантов технологических схем, оптимизация процессов и сооружений очистки.

- Автоматизация процессов на базе имитационного математического предсказания.

В 2014 году появятся результаты работы новой версии GPS-X 6.3<sup>9</sup> со встроенными модулями оптимизации и анализа, которые значительно упрощают работу (сокращают время и усилия).

*Модуль оптимизации* обеспечивает:

- Калибровку модели: применяется для автоматического поиска параметрических величин (например, кинетических коэффициентов, параметров осаднения и т.д.), что уменьшает различие между лабораторными данными измерений и смоделированным результатом.

- Управление процессом оптимизации: используется для поиска лучшей конфигурации величин параметров (например, размеров резервуара, расходов рециклов и т.д.). Модуль самостоятельно выполняет рутинную работу по анализу возможных конфигураций процессов и автоматически оптимизирует множество переменных.

Важность калибровки модели очевидна. Например, если лабораторные данные относятся к показателю биоокисляемой части ХПК во времени, а модуль оптимизации автоматически подбирает соответствующие им: удельную скорость роста гетеротрофов и величины коэффициентов полунасыщения. Или другой пример — по лабораторным результатам аммонийного азота на выпуске из сооружения автоматически определяется удельная скорость нитрификации.

<sup>9</sup> Данное ПО используется ЗАО «ВИВ» при проведении имитационного моделирования.

Управление процессом оптимизации используется для поиска подходящих методов управления с целью улучшения качества очистки. В качестве примера приведем имитацию реальных процессов очистки с натуральным обеспечением качества 10 мг/л по общему азоту. В данном случае оптимизатор был использован для изменения настройки расхода возвратного активного ила (ВАИ), изменения расхода избыточного ила (ИАИ) и внутреннего рецикла (ВР) для соблюдения допустимого (или требуемого) содержания общего азота на выходе 7,0 мг/л (см. табл.). Цель этой оптимизации — уменьшить содержание общего азота в очищенной воде, автоматически отыскав лучшую комбинацию из трех расходов (ВАИ, ИАИ, ВР), не нарушив предельную производительность существующего на объекте насосного оборудования.

**Таблица**

**Оптимизация процессов очистки посредством управления насосным оборудованием с целью улучшения качества по показателю общего азота**

Номер итерации	ВАИ, м <sup>3</sup> /час	ИАИ, м <sup>3</sup> /час	ВР, м <sup>3</sup> /час	Концентрация общего азота, мг/л
0*	2702	21	2117	10,0
2	2161	21	2117	10,4
22	2525	23	4590	7,9
35	2493	26	6028	7,1
70	2447	25	6320	7,0

**Примечания:**

1. Выделены величины, определенные модулем оптимизации GPS-X.
2. (\*) Имитация реальных процессов очистки на объекте.

Для оптимизации потребовалось 70 итераций. Регулировка производительности насосов в соответствии с табличными данными обеспечит повышение качества очистки на объекте.

Модуль анализа попутно с расчетами выдает справки. Например, как уставки возраста ила, КРК, температуры влияют на различные характеристики очистных сооружений или определение зависимости «скорость нитрификации — температура» или анализ «концентрация активного ила — содержание аммонийного азота на выходе» и т.д. Вплоть до определения критических (или экстремальных) параметров калибровки модели.

Представленные в статье инженерные решения соответствуют целям Федеральной целевой программы «Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012–2020 годах» и направлены на снижение совокупных затрат использования техники и технологий в ВКХ. ●

# Новое механическое оборудование для очистки сточных вод

**А.А. Курятников,  
Е.А. Курятников,  
ГК «Мосэлектро»**

**Рис. 1.  
Цех механической  
очистки Курьяновских  
очистных сооружений,  
укомплектованный  
решетками модели РС**

Работа сооружений очистки сточных вод в значительной степени зависит от эффективности и надежности функционирования механического оборудования, обеспечивающего работу этих сооружений. В группе компаний «Мосэлектро», работающей в области производства и монтажа водоочистного оборудования с 1993 г., создано, испытано в производственных условиях и серийно выпускается новое оборудование. Это механические решетки тонкой и грубой очистки, механические сита тонкой очистки, щитовые затворы различных конструктивных исполнений, илоскребы, илососы. Разработка последних лет – уникальные перекрытия для радиальных сооружений.



### МЕХАНИЗИРОВАННАЯ СОРОЗАДЕРЖИВАЮЩАЯ РЕШЕТКА МОДЕЛИ РС

Отличительной особенностью конструкции решетки РС является отсутствие поперечных перемычек. Процеживающее полотно образовано набором тонких металлических пластин. Фильтровальные полотна, благодаря большой ширине и малой толщине пластины не подвержены «опутыванию» текстильными отходами. Граблины имеют длинные зубья и входят в зацепление на значительную величину, что способствует качественной очистке фильтровального полотна. Оригинальный способ крепления пластин фильтровального полотна создает вибрацию под воздействием потока воды, обеспечивая дополнительную очистку. Конструкция решетки позволяет исключить проскок непроцеженной воды между корпусом и стенками канала. Решетки РС оснащаются электроприводом с частотным преобразователем, что обеспечивает регулирование скорости движения граблин, а так-

же позволяет объединить комплекс оборудования в единую систему с общим центром управления и подключить к системе удаленной диспетчеризации. Практически бесшумная работа решеток РС (25 дБА) создает комфортные условия для обслуживающего персонала внутри цеха механической очистки. Решетки РС прошли испытания и успешно эксплуатируются с 2004 г. на крупнейших в Европе Курьяновских очистных сооружениях. Наблюдения за решеткой РС в процессе длительной производственной эксплуатации свидетельствуют о том, что данная конструкция обеспечивает полное отсутствие засоров фильтровального полотна за весь период эксплуатации, увеличение гидравлической производительности решёток по сравнению с ранее установленным оборудованием, отсутствие донных отложений в канале перед решётками и высокую надежность в условиях залповых поступлений волокнистых включений.

Рис. 2.  
Фильтровальное полотно решетки РС



### МЕХАНИЗИРОВАННАЯ СОРОЗАДЕРЖИВАЮЩАЯ РЕШЕТКА МОДЕЛИ РВ С ОБРАТНОЙ ГРАБЛИНОЙ

Особенностью решетки является расположение механизма удаления задержанного мусора позади процеживающего полотна, что защищает этот механизм от повреждений. Решетка имеет оригинальную систему очистки, при которой граблины входят в зацепление с задней стороны фильтровального полотна. Это позволяет обеспечить эффективную очистку фильтровального полотна и исключает возможность заклинивания. Расположение регенирующего механизма (цепи, граблины, звездочки) за фильтровальным полотном гарантирует его защиту от повреждений. Инженерами компании Мосэлектро было найдено оригинальное решение по совершенствованию конструкции фильтровального полотна в нижней части решетки, благодаря чему удалось не только значительно увеличить эффективную рабочую поверхность полотна, но и полностью исключить «мертвую зону» в нижней части корпуса решетки. Конструкция решетки РВ предусматривает возможность подбора длины зубьев граблины в зависимости от характера загрязнений в сточной воде,

что позволяет извлекать из воды крупные грубодисперсные загрязнения по всей длине решетки. Пластины фильтровального полотна в верхней части имеют загиб в сторону сбрасывания отходов. В месте загиба под действием силы тяжести мусор попадает на ленту транспортера или в приемный бункер. Широкий диапазон прозоров решетки от 1 до 70 мм позволяет использовать ее как для тонкой, так и для грубой очистки. В зависимости от решаемой задачи решетка может устанавливаться под углом от 60° до 90° к горизонту. Высокая компактность решетки РВ позволяет размещать ее в одном канале с решеткой тонкой очистки без дополнительных строительных работ по увеличению длины канала. Такое решение возможно использовать на действующих очистных сооружениях с целью повышения эффективности процеживания воды. При этом существенно сокращаются расходы на реконструкцию за счет отказа от строительства дополнительного здания решеток. В 2011 году на КОС был проведен эксперимент по реализации схемы двухступенчатой очистки с использованием решетки модели РВ с прозором 35 мм в паре с решеткой модели РС с величиной прозора 9 мм.



**Рис. 3.**  
Решетка модели РВ,  
установленная в одном канале  
с решеткой РС для обеспечения  
двухступенчатой очистки

Эксперимент показал высокую надежность решетки РВ, увеличение эффективности очистки сточной воды и полное исключение аварийных остановок решетки тонкой очистки из-за крупного мусора (бревна, арматура, мешки с мусором). В ходе испытаний дополнительно была выявлена способность решетки РВ осуществлять сортировку мусора на крупный и мелкий за счет оригинального технического решения в месте сброса мусора с фильтровального полотна.

### ИЛОСКРЕБ ДЛЯ РАДИАЛЬНОГО ОТСТОЙНИКА МАРКИ ИЛ

Конструкция илоскреба марки ИЛ разрабатывалась для замены традиционно используемых на российских очистных сооружениях илоскребов устаревшей конструкции марок ИПО, ИПР, а также их аналогов. Ферма илоскреба ИЛ является несущей и представляет собой равнобедренный треугольник с вершиной на центральной опоре. Такая конструкция обеспечивает максимальную жесткость и надежность системы. Центральная опорная конструкция выполнена с использованием компактного влагозащищенного подшипника, расположенного выше поверхности воды, что существенно облегчает его обслуживание. В конструкции илоскреба ИЛ полностью отсутствует чрезвычайно ненадежная тросово-тяговая система. Скребковый узел илоскреба ИЛ компактен и полностью размещен под фермой илоскреба. Соединение скребков с фермой илоскреба осуществляется при помощи колонн. Для движения тележки илоскреба марки ИЛ используется приводной механизм с двумя ведущими резиновыми колесами, разнесенных между собой и снабженных мотор-редукторами, что исключает пробуксовку в зимний период. Приводная система илоскреба марки ИЛ состоит из двух мотор-редукторов с частотным регулированием, что позволяет изменять скорость вращения фермы в широком диапазоне, обеспечивая выбор оптимальной величины. Скребковая система имеет эвольвентный профиль и состоит из ряда независимых скребков. Каж-



Рис. 4.  
Решетка модели РВ тонкой очистки. Ширина решетки 250 мм, величина прозора 3 мм

дый последующий скребок перекрывает предыдущий, благодаря чему достигается полная очистка днища отстойника за один оборот фермы. Скребки максимально приближены к проблемным «мертвым» зонам отстойника, что обеспечивает эффективное удаление осадка, исключает его загнивание и, как следствие, существенно сокращает вынос взвешенных веществ. Особенности крепления скребков позволяют им автоматически подстраиваться под неровный профиль дна отстойника, обеспечивая абсолютную его очистку, а также, благодаря специальным упорам-ограничителям, исключить повреждение гидроизоляции днища отстойника. Оригинальная запатентованная конструкция скребкового узла илоскреба позволяет дополнительно снизить нагрузку на борт отстойника при заполнении отстойника водой.



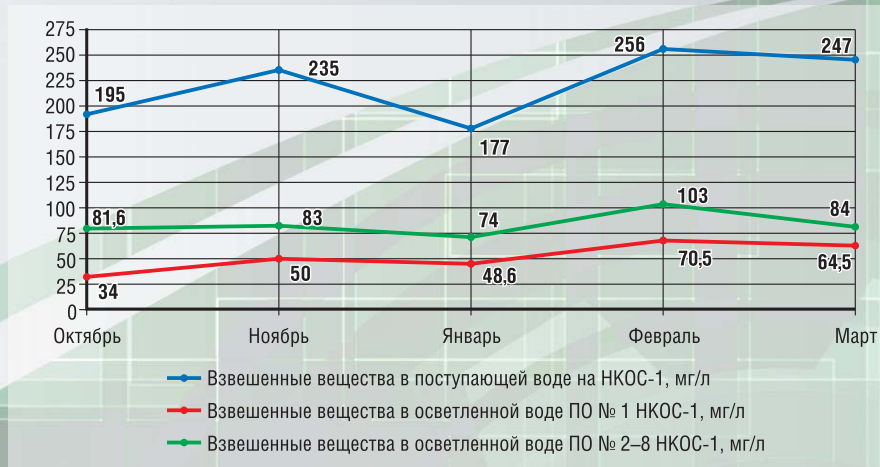
**Рис. 5.**  
**Илоскреб марки ИЛ.**  
**КУРЬЯНОВСКИЕ**  
**ОЧИСТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ**

Промышленные испытания илоскреба марки ИЛ-54 прошли в 2007 году на Курьяновских очистных сооружениях. Испытания включали два этапа: технологические и ресурсные испытания. Технологическая эффективность первичного отстойника диаметром 54 метра, оборудованного илоскребом новой конструкции, оценивалась по двум показателям: эффекту осветления сточных вод и уровню стояния осадка. В качестве сравнения принимались усредненные данные работы остальных семи отстойников НКОС-1, оборудованных илоскребами старой конструкции. При этом режим удаления осадка и гидравлическая нагрузка поддерживались одинаковыми для опытного и контрольных отстойников. Результаты технологических испытаний приведены на рис. 6. Полученные данные свидетельствуют о том, что при одинаковом уровне стояния осадка в опытном и контрольных отстойниках эффект осветления сточных вод, достигнутый на опытном первичном отстойнике № 1 на 20 % выше, чем на отстойниках, оборудованных старым илоскребом, что говорит об эффективной работе нового илоскреба.

Результаты ресурсных испытаний илоскреба марки ИЛ-54 продемонстрировали эффективную работу всех механических частей нового оборудования. Дополнительно была отмечена работа илоскреба в зимний период – не было выявлено ни одного случая пробуксовки или остановок тележки в зимний период даже при движении по абсолютному льду. Результаты испытаний позволили руководству ОАО «Мосводоканал» принять решение о планомерной замене всех илоскребов старой конструкции на илоскребы марки ИЛ.



**Рис. 6.**  
**СОДЕРЖАНИЕ ВЗВЕШЕННЫХ ВЕЩЕСТВ В СТОЧНОЙ ВОДЕ ПЕРВИЧНОГО ОТСТОЙНИКА № 1, ОБОРУДОВАННОГО ИЛОСКРЕБОМ НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ, В СРАВНЕНИИ С ОСТАЛЬНЫМИ ОТСТОЙНИКАМИ НОВО-КУРЬЯНОВСКИХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ**



### Илосос марки СО для радиального отстойника

Система удаления активного ила с помощью илососа СО включает в себя илосборный лоток и скребково-сосунный механизм для сбора ила. В зависимости от диаметра отстойника может быть один, либо два лотка, расположенных непосредственно под фермой. Лотки имеют ряд донных сосунов для сбора ила. Сосуны прямые, без колен и изгибов, что исключает возможность их забивания и обрастания илом. Лотки открыты в верхней части, что позволяет не только обслуживать их без опорожнения отстойника, но и визуально контролировать процесс выгрузки ила. Сосуны оборудованы донными скребками, которые крепятся к вертикальным трубам сосунов с помощью специального механизма. Скребки имеют форму, позволяющую дополнительно уплотнять ил и значительно повысить эффективность работы илососа.

**Рис. 7.**  
**Илосос марки СО-54.**  
**Новокурьяновские очистные сооружения**



Илосос имеет уникальную систему регулировки количества собираемого ила. В илосборном лотке непосредственно перед центральной опорой располагается шиберный затвор, позволяющий в автоматическом режиме регулировать проходное сечение лотка. Кроме того, каждый из сосунов илососа имеет возможность индивидуальной регулировки проходного сечения непосредственно с фермы илососа. Подшипниковый узел илососа расположен на центральной опоре выше уровня воды, что обеспечивает возможность проведения работ по ремонту и техническому обслуживанию без опорожнения отстойника. Уникальная конструкция центральной опоры позволяет перетекать илу напрямую в центральную опору, что позволило исключить из конструкции перелив с вакуумным насосом, традиционно используемый в зарубежных аналогах. Мотор-редукторы илососа оснащены частотным преобразователем, позволяющим осуществлять изменение скорости вращения фермы в автоматическом режиме в зависимости от количества ила на дне отстойника. В 2014 году Мосэлектро изготовило и смонтировало 8 единиц илососов марки СО-54 в рамках проходящей в настоящее время реконструкции Ново-Курьяновских очистных сооружений.

### ПЛАВАЮЩЕЕ ПЕРЕКРЫТИЕ ПБИ ДЛЯ РАДИАЛЬНОГО ОТСТОЙНИКА

Перекрытие ПБИ – оригинальная разработка инженеров Мосэлектро, не имеющая мировых аналогов. Конструкция перекрытия состоит из трех колец – центрального, среднего и периферийного. Центральное и периферийное кольца неподвижно закреплены, соответственно, на центральной опоре и периферийной части отстойника. Среднее кольцо перекрытия плавает на поверхности воды, соединено с фермой илоскреба и вращается вместе с ней концентрично центральному и периферийному кольцам. Окружности центрального и периферийного колец перекрытия расположены внахлест относительно плавающего кольца перекрытия. Незначительный зазор между плавающим и неподвижными кольцами закрывается с помощью оригинального щеточного уплотнения, что обеспечивает необходимую герметичность. Секции перекрытия компактны и не требуют больших свободных площадей рядом с отстойником отстойника при проведении монтажных работ, что исключительно важно в стесненных условиях действующих очистных сооружений. Плавающая часть перекрытия монтируется, непосредственно с поверхности воды. Перекрытие изготавливается полностью из нержавеющей стали. Высокая теплопроводность металла и близость воды, имеющей плюсовую температуру в течение года, обеспечивают таяние снега на поверхности перекрытия, что исключает снеговую нагрузку на конструкцию. Главным преимуществом перекрытия ПБИ перед зарубежными аналогами является возможность проведения ремонтных работ установленного внутри отстойника оборудования без полного демонтажа перекрытия. При опорожении отстойника плавающая часть перекрытия имеет возможность автоматического опускания на дно. Подобное техническое решение обеспечивает работу перекрытия с минимальными эксплуатационными затратами. Секции плавающего кольца перекрытия выполнены

**Рис. 8.**  
**ПЕРЕКРЫТИЕ МАРКИ ПБИ-54.**  
**ЛЮБЕРЕЦКИЕ ОЧИСТНЫЕ**  
**СООРУЖЕНИЯ**



герметичными и имеют очень хорошую плавучесть. Для контроля за работой отстойника на центральном и периферийном кольцах перекрытия расположены специальные смотровые люки. Перекрытие ПБИ имеет минимально возможный объем вентилируемого пространства среди всех существующих аналогов, что обеспечивает значительную экономию за счет низкого энергопотребления системы воздухоочистки. Перекрытия ПБИ могут быть изготовлены любых диаметров и могут устанавливаться на емкостные сооружения очистных сооружений без каких-либо доработок строительной части. Перекрытие ПБИ было смонтировано на первичном отстойнике диаметром 54 метра на Люберецких очистных сооружениях в 2013 году. В процессе промышленных испытаний определялись следующие параметры: деформация металлоконструкций перекрытия, нагрузка на двигатель при вращении перекрытия, коррозионный износ на границе раздела фаз, герметичность элементов плавающего перекрытия, состояние перекрытия при снеговой нагрузке, размеры слоя плавающих веществ под перекрытием. Проводились анализы качества воздуха над перекрытием и в местах уплотнений с периодичностью один раз в 2 недели. За более чем 9 месяцев бесперебойной работы не выявлено каких-либо деформаций или коррозии металлоконструкций перекры-

тия. Электродвигатели илоскреба работали в штатном режиме без перегрузок. В зимний период обеспечивалось постепенное таяние снега за счет высокой теплопроводности металла. Крупных скоплений плавающих веществ под загрязняющим кольцом перекрытия не выявлено. Замеры качества воздуха над перекрытием показали снижение концентрации сероводорода в воздухе более чем на 99 %.

Таким образом, плавающее перекрытие позволяет решить проблему распространения выбросов, не прибегая к их очистке.

Промышленные испытания плавающего перекрытия ПБИ на Люберецких очистных сооружениях Москвы доказали надежность данной конструкции. Это позволило руководству ОАО «Мосводоканал» принять решение об оснащении всех первичных отстойников плавающими перекрытиями ПБИ при реконструкции Курьяновских и Люберецких очистных сооружений. В настоящее время проходит монтаж 34 плавающих перекрытий для отстойников диаметрами от 33 до 54 метров в рамках реконструкции Курьяновских очистных сооружений.

Эксплуатация нового оборудования и внедрение нестандартных технических решений на действующих сооружениях г. Москвы подтвердили их высокую эффективность и надежность. ●

# Реализация технологий удаления азота и фосфора из сточных вод: роль проектирования и эксплуатации

**Харькин С.В.<sup>1</sup>,**  
ДИРЕКТОР КОМПАНИИ  
«АРХИТЕКТУРА  
Водных  
Технологий»,

**Харькина О.В.<sup>2</sup>,**  
к.т.н., ВЕДУЩИЙ  
ИНЖЕНЕР-ТЕХНОЛОГ  
по России и СНГ,  
КОМПАНИЯ «GENERAL  
ELECTRIC»,  
WATER & POWER

Достижение требований к качеству очистки сточных вод, в том числе и по биогенным элементам, на уровне ПДК для водоемов рыбо-хозяйственного назначения становится сегодня жесткой экономической необходимостью. В связи с этим, для предприятий, эксплуатирующих канализационные очистные сооружения, реконструкция может рассматриваться как возможность минимизировать экологические платежи и выполнить современные требования законодательства РФ в области ВКХ.

При этом ответственность за выбор технологической схемы реконструкции и корректность расчета сооружений, то есть доверие к результативности решений той или иной проектной организации, ложится, в конечном итоге, на водоканалы или компании, эксплуатирующие данные сооружения. Учитывая, что реконструкция очистных сооружений с применением современных технологий требует значительных капитальных затрат, очень важен выбор оптимальной технологической схемы, правильные расчеты, а также знания, как их эксплуатировать для достижения требуемых качественных результатов.

В настоящее время проекты реконструкции очистных сооружений с применением технологий удаления азота и фосфора весьма востребованы, ведь подавляющее большинство таких сооружений в нашей стране спроектированы и построены 30–40 лет назад и не способны обеспечить современное качество очистки. Компании, в том числе достаточно крупные и уважаемые в своих отраслях, имеющие солидный опыт успешных инженерных решений по проектированию промышленных объектов, объектов теплоснабжения и пр., считают возможным предлагать свои услуги в области проектирования объектов ВКХ, зачастую не располагая профильными специалистами. При этом проект будет выглядеть очень солидно, оборудование — современным, качественным и энергоэффективным, но конечный результат, ради которого и затевается дорогостоящая реконструкция — не очевиден. И никакого злого умысла, все достаточно банально, если посмотреть на функционирование отрасли ВКХ за последние десятилетия. В настоящий момент в нашей стране практически отсутствуют современные учебные и справочные пособия по расчету сооружений, работающих по технологии удаления биогенных элементов и позволяющих удовлетворять российским требованиям к качеству очищенных вод. Эксплуатирующей организации достаточно сложно разобраться, какие из предлагаемых решений действительно позволяют достичь необходимого качества очистки.

<sup>1</sup> +7 (926) 245 89 37,  
e-mail: skh@watertec.ru,  
www.watertec.ru  
<sup>2</sup> +7 (917) 509 81 39,  
e-mail: oxana.kharkina@  
ge.com, www.ge.com

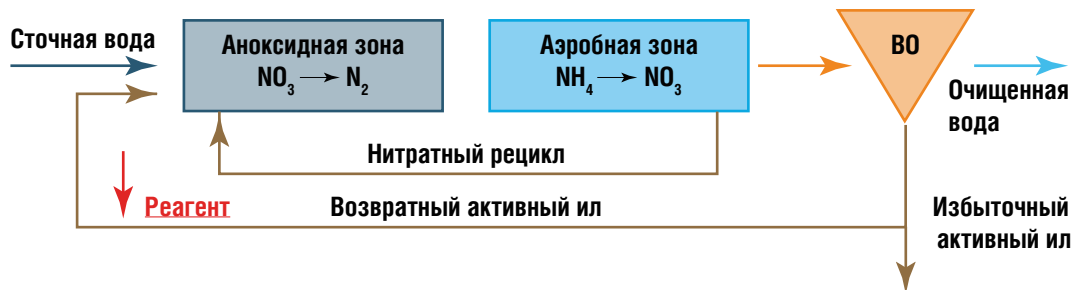


Рис.1. Схема с предвключенной денитрификацией и химическим удалением фосфора

Тем не менее, опыт проектирования и успешной эксплуатации сооружений, работающих по технологиям удаления азота и фосфора, в нашей стране уже есть [1], и его необходимо использовать. Рассмотрим технологические схемы с удалением биогенных элементов, показывающие стабильную работу для сточных вод населённых пунктов нашей страны, которые, в отличие от стоков городов Западной Европы, характеризуются низкими концентрациями загрязнений. Начнем с классических современных решений, со схемы с предвключенной денитрификацией и химическим удалением фосфора (рис.1) [2].

Помимо схемы с предвключенной денитрификацией, для реализации процессов нитри-денитрификации иногда используются схемы с последовательной нитри-денитрификацией (рис.2). Для удаления фосфора в этих схемах также используют реагентный метод.

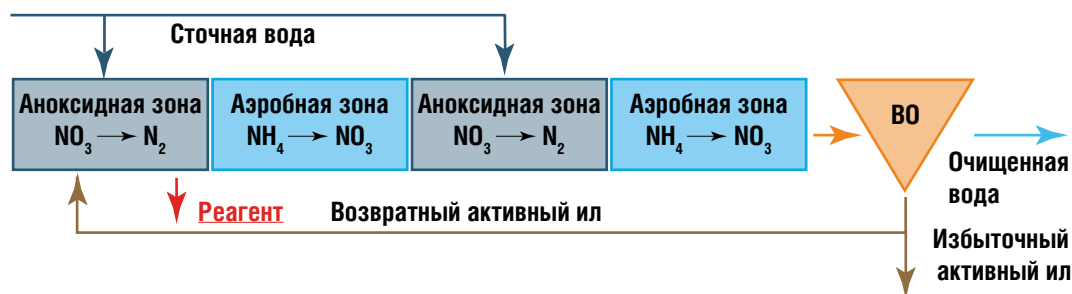


Рис.2. Схема с последовательной нитри-денитрификацией и химическим удалением фосфора

Однако схема с последовательной нитри-денитрификацией существенно уступает по эффективности и стабильности процесса денитрификации схеме с предвключенной денитрификацией. Это объясняется тем, что в схеме с последовательной нитри-денитрификацией не эффективно используются органические соединения, поступающие со сточной водой, концентрация которых является одним из определяющих факторов скорости процесса денитрификации и количественной возможности удаления азота нитратов. Кроме того, количество нитратов, поступающих во вторую аноксидную зону, невозможно регулировать для обеспечения требуемого качества очищенной воды по азоту нитратов.

Для обеспечения требований к качеству очищенной воды по соединениям азота ( $\text{NH}_4 = 0,39 \text{ мг/л}$ ,  $\text{N-NO}_3 = 9,10 \text{ мг/л}$ ,  $\text{N-NO}_2 = 0,02 \text{ мг/л}$ ) в аэротенке необходимо реализовать процессы нитрификации и денитрификации.

Процесс *нитрификации*, реализуемый в аэробных зонах аэротенков, представляет собой двухстадийный процесс окисления аммония ( $\text{NH}_4$ ) до нитритов ( $\text{NO}_2$ ) и, в итоге, до нитратов ( $\text{NO}_3$ ):

*первая стадия:*



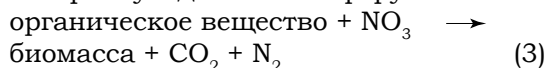
*вторая стадия:*



Для реализации процесса нитрификации в ходе очистки сточных вод необходимо обеспечить требуемые:

- время проведения обеих стадий процесса,
- значение аэробного возраста активно-го ила (рассчитывается в зависимости от температуры сточных вод, качественных и кинетических характеристик поступающих на биологическую очистку сточных вод и требуемого качества очищенной воды, как по аммонийному азоту, так и по азоту нитритов),
- кислородный режим (концентрация растворенного кислорода не должна быть ниже 2 мг/л),
- значение pH не должно быть вне диапазона рабочих значений (6,5–8,5),
- остаточная щелочность не должна быть ниже 50 мг/л по  $\text{CaCO}_3$ .

Процесс *денитрификации*, реализуемый в аноксидных зонах аэротенков, представляет собой процесс восстановления нитратов ( $\text{NO}_3$ ), образованных в ходе процесса нитрификации, до молекулярного азота  $\text{N}_2$ , который уходит в атмосферу:



Большинство гетеротрофных микроорганизмов в сооружениях биологической очистки сточных вод могут использовать как растворенный кислород, так и связанный кислород нитратов.

В связи с тем, что в ходе процесса денитрификации часть органических соединений окисляется связанным кислородом нитратов, требуемое количество растворенного кислорода на окисление оставшейся части органических соединений, поступающих со сточными водами, существенно снижается. Это ведет к снижению количества воздуха, подаваемого в аэротенки и, как следствие, к снижению энергозатрат на аэрацию. Таким образом, требуемый *расход воздуха* на окисление органических соединений *снижается* за счет того, что часть органических соединений окисляется связанным кислородом нитратов в зоне денитрификации.

В зависимости от состава сточных вод, экономия электроэнергии на аэрацию в аэротенках, работающих по схемам нитри-денитрификации составляет 25–45%. Следовательно, реализация процессов нитри-денитрификации, помимо достижения требуемого качества очищенных вод по формам азота, является одним из наиболее эффективных методов сокращения эксплуатационных расходов канализационных очистных сооружений.

*Химическое удаление фосфора* из сточных вод основано на взаимодействии фосфатов, содержащихся в сточных водах, и солей алюминия или железа, которые добавляются в виде реагентов. В результате образуются соли фосфорной кислоты, которые выпадают в осадок и выводятся из системы.

При реализации технологии химического удаления фосфора важными моментами являются как выбор точки ввода реагента, так и выбор самого реагента. На рис. 1,2 показана одна из возможных точек ввода реагента — в поток возвратного активного ила. В каждом конкретном случае необходимо отталкиваться от минимизации как

**В зависимости от состава сточных вод, экономия электроэнергии на аэрацию в аэротенках, работающих по схемам нитри-денитрификации составляет 25–45%.**

эксплуатационных, так и капитальных затрат. Выбор точки ввода реагентов влияет на эффективность удаления 1 мг фосфора на 1 мг реагента, то есть на количество реагента, необходимого для достижения требуемого качества очищенной воды по фосфору. Следует учитывать вариативность различных реагентов по эффективности. При вводе реагента в поток возвратного активного ила (или непосредственно в аэробную зону аэротенка), положительным фактором является отсутствие дополнительных сооружений для механического удаления осадка, образующегося вследствие взаимодействия реагентов и фосфора. Однако в этом случае происходит повышение зольности активного ила и количества приросшего активного ила, что ведет к увеличению объемов аноксидных и, особенно, аэробных зон аэротенков. Правильно выбранная схема химического удаления

фосфора и тип реагента для конкретных сточных вод позволяют стабильно обеспечивать требуемое качество очищенных вод по фосфору при оптимальных капитальных и эксплуатационных затратах. То есть, в схемах с химическим удалением фосфора, обеспечение требуемого качества очистки по фосфору фосфатов не представляется сложной задачей, однако даже оптимально выбранная схема химического удаления фосфора требует существенных затрат на закупку реагента.

Реализация схем биологического удаления фосфора позволяет исключить или существенно снизить (при реализации схем биолого-химического удаления фосфора) затраты на реагенты. На рис. 3 (а, б, в) представлены наиболее эффективные и применяемые на сегодняшний день схемы биологического удаления азота и фосфора из сточных вод.

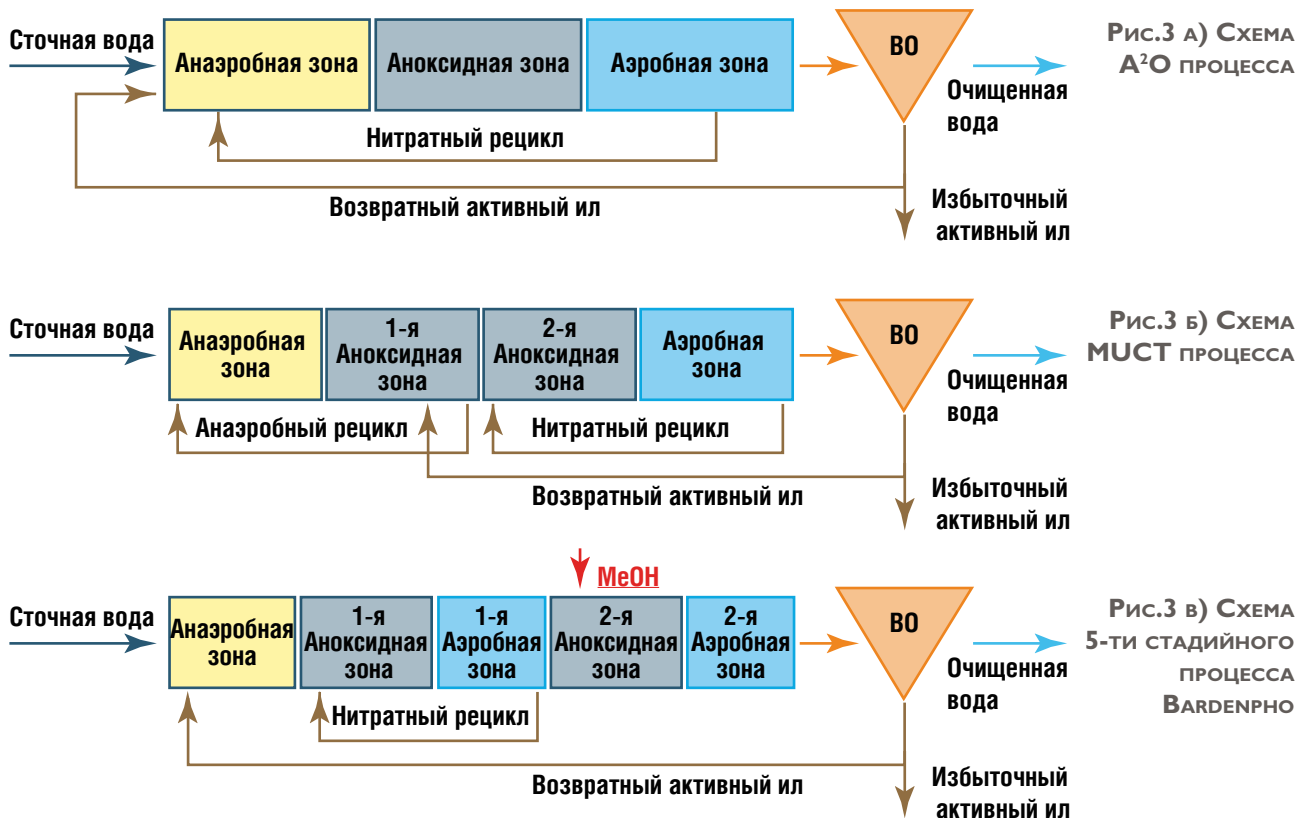


Рис.3. СХЕМЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ НИТРИ-ДЕНИТРИФИКАЦИИ И БИОЛОГИЧЕСКОГО УДАЛЕНИЯ ФОСФОРА

Рис.4 а) Суточная динамика ХПК в осветленной сточной воде ЛОС

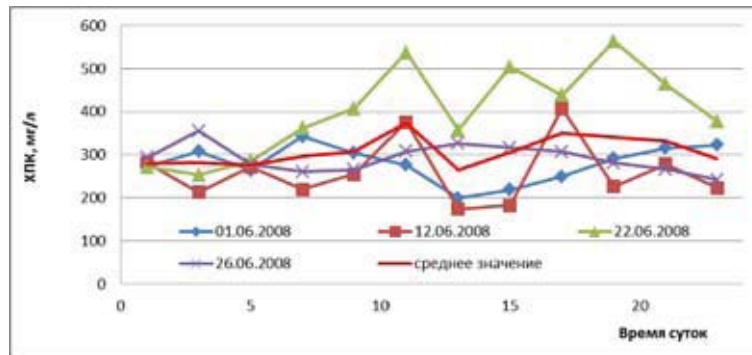


Рис.4 б) Суточная динамика аммонийного азота в осветленной сточной воде ЛОС

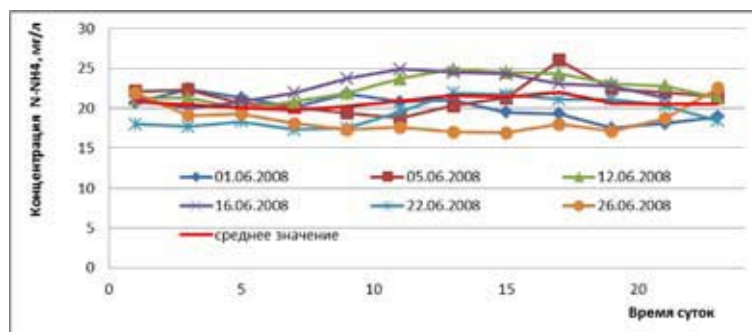
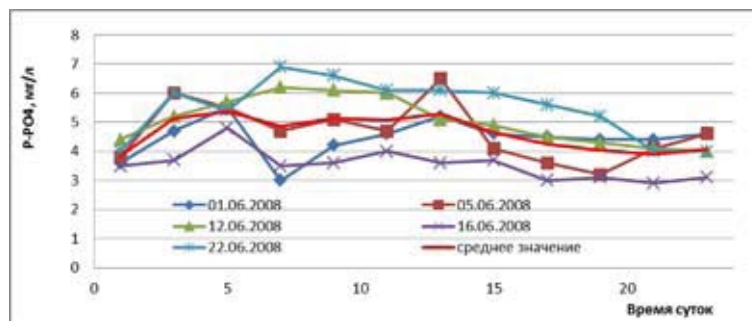


Рис.4 в) Суточная динамика фосфора фосфатов в осветленной сточной воде ЛОС



Выбор конкретной схемы удаления азота и фосфора для реализации в промышленных аэротенках зависит, в первую очередь, от качественного состава поступающих на биологическую очистку сточных вод и требований к качеству очищенной воды. Сооружения биологической очистки сточных вод от азота и фосфора более чувствительны к колебаниям поступающих загрязнений, чем аэротенки, работающие только на окисление органических загрязнений. В связи с этим, выбор значений качественных показателей сточных вод из массива реальных данных, которые закладываются в расчет сооружений, является одним из определяющих факторов корректности полученных результатов.

При этом важна динамика качественного состава сточных вод, в зависимости от которой и разрабатывается схема реализации процессов удаления азота и фосфора, и рассчитывается само сооружение. На рис. 4 представлены данные качественного состава сточных вод, поступающих на 3-ю очередь Люберецких очистных сооружений (ЛОС) [3].





Рис.5. РАСЧЕТНАЯ СХЕМА РЕКОНСТРУКЦИИ АЭРОТЕНКОВ ЛОС ПОД ТЕХНОЛОГИИ БИОЛОГИЧЕСКОГО УДАЛЕНИЯ АЗОТА И ФОСФОРА

С помощью модели OxiD, разработанной автором (Харькиной О.В.), были просчитаны различные схемы реализации процессов биологического удаления азота и фосфора в аэротенках старого блока ЛОС. На рис. 5 представлена выбранная в результате проведенных расчетов схема реконструкции аэротенков, обеспечивающая для реальной динамики поступающих на биологическую очистку сточных вод качество очищенной воды на уровне ПДК для водоемов рыбо-хозяйственного назначения.

На основании модели OxiD автором были проведены расчеты реконструкции аэротенков ЛОС с применением технологии биологического удаления азота и фосфора. На рис. 6 приведены результаты работы аэротенка ЛОС производительностью 80 000 м<sup>3</sup>/сут, реконструированного по приведенной выше схеме и с учетом рассчитанных объемов анаэробной, аноксидной и аэробной зон, значений внутренних рециклов и рецикла возвратного активного ила.

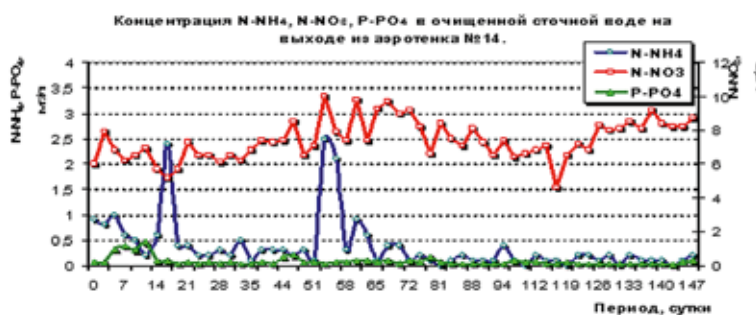


Рис.6. Качество очищенной ВОДЫ РЕКОНСТРУИРОВАННОГО АЭРОТЕНКА ЛОС

Как видно из представленных на рис. 6 данных, проведенный по модели OxiD расчет позволил спроектировать аэротенк (для условий Люберецких очистных сооружений), который обеспечивает заданную стабильность очистки. В первые две недели проходила технологическая отладка сооружения, связанная с установлением расчетного расхода осветленной воды, поступающей в аэротенк. В дальнейшем в 2-х из 53-х проб было выявлено превышение качества стоков над расчетными показателями по N-NH<sub>4</sub>. Это было связано со сбросом нефтесодержащих стоков, в результате чего концентрация растворенного кислорода в аэробной зоне сооружения снизилась до 0,7 мг/л (концентрация растворенного кислорода, заложенная в расчет, составляет 2 мг/л). По фосфору фосфатов сооружение работало в соответствии с заданным качеством.

Работа данного сооружения, реконструированного с применением технологии биологического удаления азота и фосфора, на протяжении 10 лет показывает следующее качество очищенной воды:

$N-NH_4 = 0,2-0,4$  мг/л,  $N-NO_3 = 7,6-9,1$  мг/л,  $N-NO_2 = 0,01-0,02$  мг/л,  $P-PO_4 = 0,15-0,2$  мг/л.

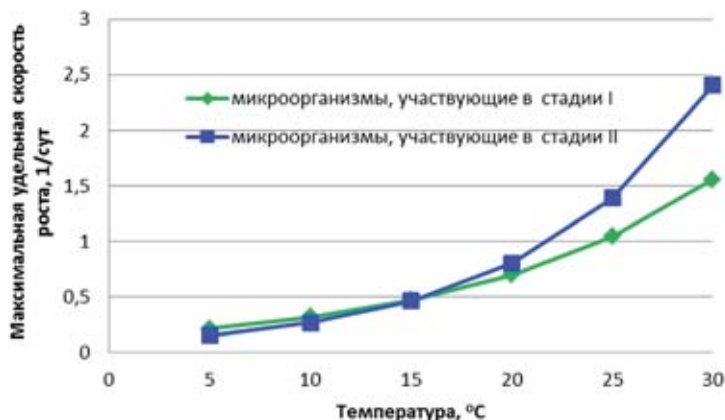
Это доказывает возможность достижения стабильного качества очищенных вод на уровне ПДК для водоемов рыбо-хозяйственного назначения при условии корректного расчета и надлежащей эксплуатации.

Важно зафиксировать правильное понимание результата любой дорогостоящей реконструкции, а именно: корректно рассчитанные и спроектированные сооружения, работающие по современной технологии удаления азота и фосфора, требуют от технологов высокой квалификации и правильной эксплуатации. В реальных условиях работы, когда нагрузки по загрязнениям изменяются в широком диапазоне, оперативное поддержание оптимальных технологических характеристик работы аэротенков является залогом обеспечения проектного качества очищенной воды при условии корректно выбранной и запроектированной схемы очистки для конкретных сточных вод

Так, основные факторы, влияющие на эффективность процессов нитрификации в аэротенках: температура, концентрация растворенного кислорода, рН среды, аэробный и общий возраст активного ила, наличие или отсутствие ингибирующих веществ.

Температура является одним из основных факторов, влияющих на протекание реакций нитрификации. На рис. 7 представлена зависимость скоростей роста нитрифицирующих микроорганизмов, участвующих в 1-й и 2-й стадиях процессов нитрификации, от температуры сточных вод, рассчитанная нами по модели ASM2d [4].

Рис.7. Зависимость скоростей роста нитрифицирующих микроорганизмов 1-й и 2-й стадий процесса нитрификации от температуры сточных вод



Как видно из графика, при температуре сточных вод ниже 15°C, скорость роста нитрифицирующих микроорганизмов 1-й стадии, участвующих в процессе окисления  $NH_4$  до  $NO_2$ , выше, чем скорость роста микроорганизмов 2-й стадии, участвующих в процессах окисления  $NO_2$  до  $NO_3$ .

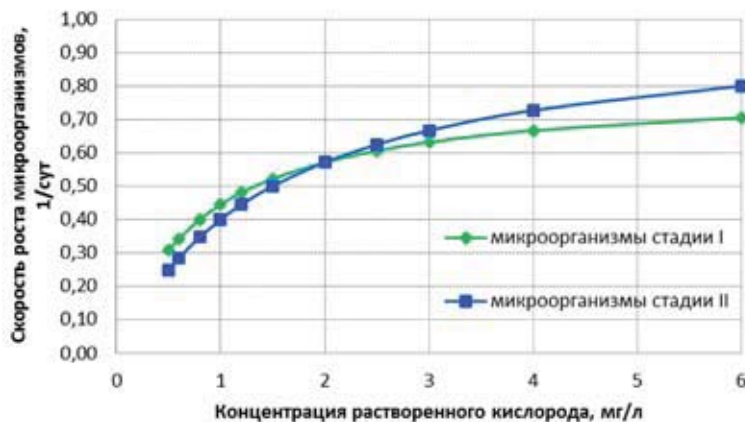


Рис.8. Зависимость скоростей роста нитрифицирующих микроорганизмов I-й и 2-й стадий процесса нитрификации от концентрации растворенного кислорода

В результате происходит накопление нитритов и, как следствие, концентрация нитритов в очищенной воде увеличивается. Концентрация нитритов в очищенной воде при низких температурах может повышаться до 1 мг/л и более, в случае, если при проектировании аэротенков не проводился расчет сооружений на достижение качества очистки до  $N-NO_2 = 0,02$  мг/л при минимальных температурах.

Следует отметить, что температура, при которой происходит процесс биологической очистки, является параметром, на который практически невозможно влиять при эксплуатации промышленных сооружений. Следовательно, фактор температуры необходимо корректно учитывать при расчете объемов и технологических схем сооружений, предназначенных для биологической очистки от соединений азота.

Концентрация растворенного кислорода является определяющим фактором реализации процессов нитрификации обеих фаз. Особенно чувствительны к недостаточному количеству кислорода бактерии, участвующие в процессе окисления нитритов до нитратов. Для реализации процесса нитрификации концентрация растворенного кислорода должна быть не менее 2 мг/л.

При концентрации растворенного кислорода 0,5 мг/л и менее, рост нитрифицирующих микроорганизмов практически равен нулю (рис. 8).

Представленные на рис. 8 данные показывают, что при концентрации растворенного кислорода в аэротенке менее 2 мг/л скорость роста микроорганизмов 2-й фазы процесса нитрификации ниже, чем скорости роста микроорганизмов, участвующих в окислении аммонийного азота до нитритов. В результате, в очищенной воде наблюдается превышение нитритов над проектными значениями.

Кислотность среды оказывает определяющее значение на скорость роста всех микроорганизмов, участвующих в процессах биологической очистки сточных вод. Оптимальные значения pH для реализации процесса нитрификации составляют 7,5–8,5. При значениях pH менее 6 и более 10 скорости реакции нитрификации снижаются практически до 0 [5].

Аэробный возраст активного ила является базисным критерием расчета аэротенков, реализующих процессы нитрификации. Обеспечение проектного значения аэробного возраста активного ила является ответственностью инженеров, эксплуатирующих очистные сооружения. Возраст ила влияет на то, в какой форме ( $NH_4^+$ ,  $NO_2^-$ ,  $NO_3^-$ ) азот

будет содержаться в биологически очищенной воде. Например, при аэробном возрасте ила от 4 до 6 сут в активном иле, как правило, доминируют бактерии рода *Nitrosomonas*. Поддержание аэробного возраста ила в пределах этих значений будет приводить к доминированию нитрита в качестве продукта нитрификации и, как следствие, будет наблюдаться превышение нитритов над проектными значениями после биологической очистки. При эксплуатации сооружений следует постоянно фиксировать в ходе технологического контроля реальные значения общего и аэробного возрастов активного ила.

Общий возраст ила рассчитывается по следующей формуле:

$$V_{\text{общ}} = \frac{N \cdot V_{\text{аэр}} \cdot x_{\text{ил.смеси}}}{x_{\text{ИАИ}} \cdot Q_{\text{ИАИ}}} \quad (4)$$

где  $N$  – количество работающих аэротенков;  $V_{\text{аэр}}$  – объем аэротенка, м<sup>3</sup>;  $x_{\text{ил.смеси}}$  – доза активного в аэротенках (средняя по всем аэротенкам), г/л;  $x_{\text{ИАИ}}$  – доза избыточного активного ила, г/л;  $Q_{\text{ИАИ}}$  – расход избыточного активного ила, м<sup>3</sup>/сут.

Аэробный возраст активного ила рассчитывается по формуле:

$$V_{\text{аэр}} = \frac{N \cdot V_{\text{Nitri}} \cdot x_{\text{ил.смеси}}}{x_{\text{ИАИ}} \cdot Q_{\text{ИАИ}}} \quad (5)$$

где  $V_{\text{Nitri}}$  – объем аэробной зоны одного аэротенка, м<sup>3</sup>.

Расчет проводится по среднесуточным данным для  $x_{\text{ил.смеси}}$ ,  $x_{\text{ИАИ}}$  и  $Q_{\text{ИАИ}}$  за предыдущие сутки. Данные о возрасте ила обновляются один раз в сутки и являются одним из наиболее важных технологических параметров. Обеспечение требуемого возраста активного ила регулируется расходом избыточного ила.

*Ингибирующие вещества* оказывают более сильное действие на нитрифицирующие микроорганизмы, чем на гетеротрофные бактерии. В табл. 1 приведены данные по ингибирующему воздействию на процесс нитрификации некоторых металлов [4].

Таблица 1.  
Ингибирующее  
воздействие  
некоторых металлов  
на процессы  
нитрификации

Металл	Концентрация, мг/л	Оказываемое воздействие
Cu	0,05–0,56	Ингибирование активности <i>Nitrosomonas</i> (для чистой культуры)
Cu	4	Заметное ингибирующее влияние на активный ил не наблюдается
Cu	150	75% — е ингибирование активности ила
Ni	более 0,25	Ингибирование роста <i>Nitrosomonas</i> (для чистой культуры)
Cr 3+	Более 0,25	Ингибирование роста <i>Nitrosomonas</i> (для чистой культуры)
Cr 3+	118	75% — е ингибирование активности ила
Zn	0,08–0,5	Ингибирование роста <i>Nitrosomonas</i> (для чистой культуры)
Co	0,08–0,5	Ингибирование роста <i>Nitrosomonas</i> (для чистой культуры)

Для обеспечения процесса денитрификации, в аноксидную зону аэротенка подается возвратный активный ил и возвратный поток из аэробной зоны, содержащие нитраты; в сточной воде, поступающей в аноксидную зону, содержатся органические вещества. Скорость процесса денитрификации зависит от следующих *факторов*: температура сточной воды, рН среды, количество и фракционный состав органических соединений, концентрация растворенного кислорода.

*Температура воды* более явно влияет на процесс денитрификации, чем на аэробное окисление органических веществ. Скорость процесса денитрификации описывается кривой с оптимумом при 37–40°C, участок кривой от минимума до оптимума может быть описан теоретически уравнением Аррениуса.

*Величина рН* не только влияет на скорость процесса, но и определяет состав конечных продуктов восстановления нитратов. Оптимум рН находится в пределах 6,5–8,5. Денитрификация, в противоположность нитрификации, увеличивает щелочность среды и вызывает увеличение рН среды в зависимости от буферной ёмкости среды.

*Количество и фракционный состав органических соединений*, поступающих со сточной водой в аноксидную зону, является определяющим фактором реализации процесса денитрификации.

При эксплуатации сооружений, работающих по технологии нитри-денитрификации, необходимо обеспечить проектное количество органических веществ, поступающих в аноксидную зону. При снижении нагрузки по БПК<sub>полн</sub>, поступающей в зону денитрификации, эффективность процесса пропорционально уменьшается при всех прочих равных условиях. При недостаточном количестве органических веществ в сточных водах, для обеспечения эффективного процесса нитрификации, необходимо изменить режим работы первичных отстойников или добавлять внешние источники углерода. В качестве внешних источников углерода чаще всего используют этанол, стоки пивных производств, метанол, мелассу и др.

*Концентрация растворенного кислорода* является необходимым показателем технологического контроля процесса денитрификации. Кислород ингибирует процесс денитрификации, так как в присутствии кислорода микроорганизмы-денитрификаторы переключаются с нитратного на аэробное окисление органических соединений. В западной литературе максимально допустимая концентрация растворенного кислорода в зоне денитрификации определяется как 0,5 мг/л. Однако следует отметить, что сточные воды городов Западной Европы более концентрированы по сравнению с городскими сточными водами в России. Для отечественных очистных сооружений максимальная концентрация растворенного кислорода в зоне денитрификации не должна превышать 0,15 мг/л.

Важным моментом надежной эксплуатации сооружений, работающих по технологии удаления биогенных элементов, является эффективный контроль количественных и качественных характеристик потоков. В табл. 2–3 приведены примеры основных показателей, требующих мониторинга и контроля.

Технологический контроль работы сооружений биологической очистки осуществляется на всех этапах и стадиях для регулирования процесса и оперативного принятия решений. Фактические значения контролируемых качественных показателей работы сооружений определяются на основании анализа представительных (среднесуточных) проб сточных вод и сведений по учету и контролю основных технологических параметров, получаемых с помощью приборов.

Управление технологическим процессом биологической очистки сточных вод следует проводить на основе анализа результатов технологического контроля, что позволит достичь наиболее высоких технико-экономических показателей работы сооружений, совершенствования технологических процессов. Систематический анализ результатов производственного и технологического контроля направлен на своевременное обнаружение нарушений в технологии очистки сточных вод и предупреждение отвода

**Таблица 2.**  
КОНТРОЛИРУЕМЫЕ  
ПАРАМЕТРЫ  
ЭКСПЛУАТАЦИИ  
АЭРОТЕНКОВ,  
РАБОТАЮЩИХ  
ПО ТЕХНОЛОГИИ  
УДАЛЕНИЯ АЗОТА  
И ФОСФОРА

Наименование показателя	Регламентное значение
Расход сточной воды, м <sup>3</sup> /сутки	Проектный, не более
Расход сточной воды, м <sup>3</sup> /час	Проектный, не более
Расход возвратного активного ила, м <sup>3</sup> /час	Проектный
Расход рецикла нитратов, м <sup>3</sup> /час	Проектный
Отношение расхода возвратного активного ила к расходу сточной воды	Проектный
Отношение расхода нитратного рецикла к расходу сточной воды	Проектный
Доза активного ила на выходе из аэробной зоны аэротенка, г/л	Проектный
Доза возвратного активного ила, г/л	Проектный
Доза избыточного активного ила, г/л	Проектный
Зольность активного ила, %	
Иловый индекс, см <sup>3</sup> /г	
Концентрация растворенного кислорода, мг/л в 1-ом коридоре во 2-ом коридоре в 3-ем коридоре в 4-ом коридоре на выходе из 4-ого коридора	0–0,15 0 — денитрификатор/ 1,8–2,2 — нитрификатор 1,8–2,2 2,0–2,5 3,0–3,5
Редокс-потенциал, мВ — в 1-ом коридоре (анаэробная зона) — в канале возвратного активного ила	< –50 < –50
Количество избыточного активного ила, м <sup>3</sup> /сут	проектное
Общий возраст ила, сутки Аэробный возраст ила, сутки	Проектный, (заданный диапазон)

**Таблица 3.**  
ПРИМЕР КОНТРОЛЯ  
КАЧЕСТВЕННЫХ  
ХАРАКТЕРИСТИК  
СТОЧНОЙ ВОДЫ

№.	Качественные параметры работы аэротенков	Периодичность определения параметров
1	Взвешенные вещества, БПК <sub>5</sub> , ХПК, N–NH <sub>4</sub> , P–PO <sub>4</sub> , P <sub>общ</sub> , N <sub>общ</sub> в сточной воде, поступающей на биологическую очистку	3 раза в неделю
2	БПК <sub>5</sub> в очищенной сточной воде	2 раза в неделю
3	Взвешенные вещества, N–NH <sub>4</sub> , N–NO <sub>2</sub> , N–NO <sub>3</sub> , P–PO <sub>4</sub> , ХПК, P <sub>общ</sub> в очищенной сточной воде	3 раза в неделю
4	N–NH <sub>4</sub> , N–NO <sub>3</sub> , N–NO <sub>2</sub> , P <sub>общ</sub> , P–PO <sub>4</sub> в иловой смеси на выходе из каждого аэротенка	1 раз в неделю
5	N–NH <sub>4</sub> , N–NO <sub>3</sub> , N–NO <sub>2</sub> , P <sub>общ</sub> , P–PO <sub>4</sub> в возвратном активном иле	1 раз в неделю
6	Щелочность, мг/л	3 раза в неделю
7	Отношение БПК <sub>5</sub> к азоту и фосфору	3 раза в неделю
8	Ингибирующие условия: токсичные вещества, повышенные нагрузки по БПК <sub>5</sub> , низкие значения щелочности, сброс нефтепродуктов и т.д.	
9	Приборные данные по окислительно-восстановительному потенциалу eH, pH, температуре, растворенному кислороду и N–NO <sub>3</sub> .	ежедневно

с сооружений воды, не отвечающей по своим показателям требованиям санитарных правил и норм охраны поверхностных вод от загрязнения.

Анализ указанных параметров позволит оперативно оценить возникшую проблему, понять причину и принять соответствующие технологические решения.

## ВЫВОДЫ:

1. Реализация технического и технологического решения реконструкции существующих очистных сооружений или строительства новых сооружений, обеспечивающих нормативные показатели качества очищенных сточных вод, требует высокопрофессионального подхода, как со стороны проектной организации, так и со стороны эксплуатирующей компании.

2. Достижение жестких требований к качеству очищенной воды по биогенным элементам возможно, однако при условии корректно выбранной схемы реализации процессов удаления азота и фосфора и проведении расчетов сооружений с учетом реального качества поступающей на биологическую очистку сточной воды, кинетических параметров биохимических процессов, требуемого качества очищенной воды и минимальной температуры стоков.

3. Для обеспечения проектных качественных показателей очищенной воды по  $N-NH_4$  и  $N-NO_2$  требуется поддержание проектных технологических параметров реализации процесса нитрификации, таких как температура, концентрация растворенного кислорода, допустимый диапазон значений pH и поддержание проектного значения аэробного возраста активного ила.

4. Основными факторами, влияющими на процесс денитрификации, являются температура сточной воды, значение pH среды, количество органических соединений и концентрация растворенного кислорода в аноксидной зоне аэротенка.

5. Управление технологическим процессом биологической очистки сточных вод следует проводить на основе анализа результатов технологического контроля, что позволяет своевременно обнаружить и исправить нарушения в технологии очистки и обеспечить проектное качество очищенной воды в реальных условиях эксплуатации. ●

## ЛИТЕРАТУРА

1. Загорский В.А., Данилович Д.А., Козлов М.Н., Мойжес О.В., Белов Н.А., Дайнеко Ф.А., Мухин В.А. Опыт промышленного внедрения технологий биологического удаления азота и фосфора// Водоснабжение и санитарная техника. 2001. №12.
2. Харькин С.В. Разработка концепта реконструкции канализационных очистных сооружений как следующий шаг к рентабельному комплексу систем водоотведения// Водочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2013. №6 (66)
3. Мойжес О.В. Динамическая модель  $OxID$  сооружений биологической очистки сточных вод// Водоснабжение и санитарная техника. 2008. №10
4. Хенце М., Армоэс П, Ля-Кур-Янсен Й., Арван Э. Очистка сточных вод. Биологические и химические процессы// М., Издательство «Мир». 2004 г.
5. SUTTON P.M., JANK B.E. DESIGN CONSIDERATION FOR BIOLOGICAL CARBON. REMOVAL-NITRIFICATION SYSTEMS TRAINING AND TECHNOLOGY TRANSFER DIVISION (WATER) ENVIRONMENT PROTECTION SERVICE. FISHERIES AND ENVIRONMENT CANADA, OTTAWA, ONTARIO. 1976. PUBL. №. 3

# Разработка типовых решений по автоматизации процессов биологической очистки сточных вод с совместным удалением азота и фосфора

**Эпов А.Н.<sup>1</sup>,  
гл. ТЕХНИЧЕСКИЙ  
СПЕЦИАЛИСТ**

**Канунникова М.А.<sup>2</sup>,  
КАНД. ТЕХН. НАУК,  
ДИРЕКТОР НАПРАВЛЕНИЯ  
«ВОДОСНАБЖЕНИЯ  
И ВОДООТВЕДЕНИЯ»  
ООО «Домкопстрой»**

Наиболее сложной системой управления в очистке сточных вод является управление сооружениями биоочистки с удалением азота и фосфора. В отличие от начала внедрения этих технологий в России в середине – конце 90-х годов, сейчас для реализации данной системы имеется широкий выбор надежных датчиков и контроллеров, позволяющих реализовать практически любые идеи по автоматизации управления процессами. Благодаря современному оборудованию основные проблемы по созданию систем управления процессом биологической очистки с совместным удалением азота и фосфора в основном решены. С другой стороны, определение конфигурации системы АСУТП для таких технологий в практике проектирования до сих пор является проблемой и предметом совместного творчества проектировщика-технолога, проектировщика АСУ и специалистов заказчика. Решение о конфигурации и объеме системы АСУТП для современных сооружений биологической очистки принимается индивидуально для каждого конкретного проекта. Анализ проектов показывает, что системы управления проектируются как с избыточной сложностью, так и с недостаточной оснащенностью для поддержания технологического процесса.

В ранних редакциях СНиП для принятых в те годы технологий существовали основные рекомендации по объему и конфигурации систем АСУТП. Конечно, сейчас для автоматизации процессов биоочистки они значительно устарели. Можно ли определить типовой состав системы АСУТП для современных станций очистки сточных вод и тем самым избежать ошибок уже на начальной стадии разработки проекта?

В зарубежной практике для выполнения таких решений используется опыт работы десятков действующих станций. Подобный подход требует значительных инвестиций в научный анализ при эксплуатации очистных сооружений с биологическим удалением азота и фосфора. В России количество сооружений, построенных по современным технологиям биоочистки,

<sup>1</sup> Эпов Андрей Николаевич, e-mail: epov@treatmentwater.ru.

<sup>2</sup> Канунникова Марина Александровна, e-mail: kanunnikova@treatmentwater.ru.



существенно меньше, чем в Европе и ряде других стран. Отсутствует целенаправленное финансирование в изучение их работы, что заставляет искать иные способы для проработки оптимальных решений.

Наилучшим вариантом, предназначенным для реализации таких задач, является математическое моделирование процессов очистки сточных вод и системы АСУТП. Применение данного метода проектирования на базе программного комплекса GPS-X совместной работы системы автоматизации и объектов очистных станций при осуществлении проектов позволяет провести подробную разработку системы, уменьшает сроки пусконаладочных работ и повышает работоспособность системы АСУТП. Это наиболее прогрессивный и эффективный метод, с помощью которого можно проанализировать работоспособность и достаточность предлагаемых решений, определить расстановку датчиков с использованием имитационной модели, выбрать оптимальный вариант схемы и установить алгоритм управления.

Математическое моделирование достаточно широко применяется в России последние 10 лет. С использованием программного комплекса GPS-X при участии авторов были проведены работы по проектированию и анализу эксплуатации свыше 20 станций очистки сточных вод общей производительности более 6 млн м<sup>3</sup>/сутки.

Накопленный опыт в применении данных методов расчета сооружений с использованием математического моделирования и анализ его результатов позволяет определить состав и предпочтительные схемы управления для процессов биологической очистки и обработки осадка.

## Цель, метод и основные правила управления

При разработке типовых решений системы АСУТП биологической очистки следует разделять цели управления и методы реализации.

*Цель управления* – поддержание определённого показателя на заданном уровне или в заданном диапазоне. Цель диктуется биологией процесса, требованиями к очищенной воде и его экономикой.

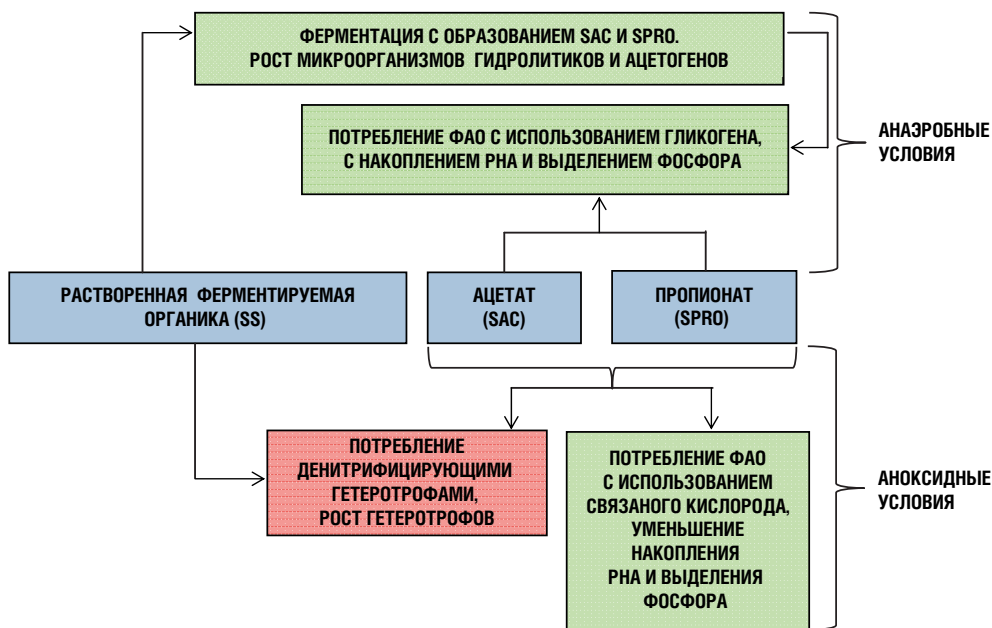
*Метод реализации* – каким образом и где измерять заданную величину, и какими технологическими воздействиями поддерживать. Метод определяется конструктивным оформлением процесса.

Основные цели управления для поддержания процесса совместного биологического удаления азота и фосфора были полностью сформулированы в 2002 г. в руководстве по проектированию и эксплуатации станций с биологическим удалением фосфора [1]. Эти рекомендации использовались в качестве базовых при математическом моделировании систем управления станций с биологическим удалением азота и фосфора. Анализ выполненных работ по моделированию позволяет определить основные правила, соблюдение которых обеспечивает получение оптимальных по конфигурации систем управления процессом.

*Правило № 1* – для стабильного удаления фосфора необходим контроль процесса удаления азота. Цели контроля:

защитить анаэробную зону от попадания нитратов;

максимально удалить нитратный азот, обеспечив совместную денитрификацию и дефосфатацию.



**Рис. 1.**  
Использование легко окисляемой органики в математической модели

В основе данного правила заложено использование легко окисляемой органики фосфатаккумулирующими микроорганизмами (ФАО) и гетеротрофами в анаэробных и аноксидных условиях.

Современные представления о биохимии процесса использования легко окисляемой органики и энергии полифосфатных связей в анаэробных и аноксидных условиях, используемых в современных математических моделях, представлены на рис. 1.

Ферментируемые легко окисляемые вещества (растворенное биоокисляемое ХПК) в анаэробных условиях гидролизуются с производством летучих жирных кислот (ЛЖК), при этом происходит рост факультативно аэробных микроорганизмов гидролиза и ацидофикации. Произведенные в результате гидролиза и присутствующие в воде ЛЖК (ацетата и пропионата) используются ФАО для накопления внутреннего резерва питательных веществ в виде биополимеров РНА. Для баланса степени окисления используемых ЛЖК и запасаемых субстратов используется гликоген. В качестве источника энергии – макро энергетические связи в полифосфатах. В этом процессе используется максимум ЛЖК, накапливается максимум РНА и выделяется максимум полифосфатов.

В присутствии связанного кислорода в нитритах и нитратах ферментируемая органика и часть ЛЖК используются гетеротрофными микроорганизмами в процессе денитрификации. ФАО микроорганизмы также взаимодействуют ЛЖК, но вместо использования гликогена и энергии полифосфатов часть ЛЖК окисляются с использованием связанного кислорода.

В результате резко снижается накопление запасаемых биополимеров микроорганизмами ФАО и выделение фосфора в анаэробной зоне. Из-за этого значительно падает эффективность удаления фосфора – меньше субстрата для роста ФАО в присутствии кислорода и отсутствует необходимость восстанавливать концентрацию полифосфатов в их клетках.

При поступлении нитратов и нитритов в анаэробную зону сначала происходят процессы, характерные для аноксидных условий, а затем при снижении концентрации связанного кислорода до минимума – процессы, характерные для анаэробных условий. Таким образом, эффективность накопления запасаемых биополимеров и выделение фосфора зависят от соотношения массы поступающих легко окисляемых веществ и массы поступающего связанного кислорода.

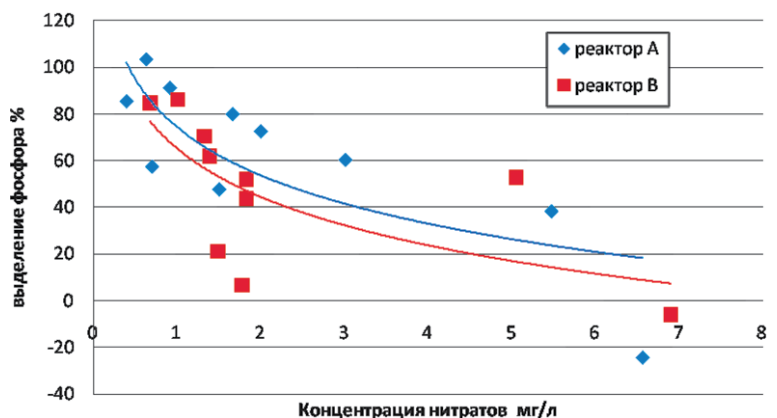
Это хорошо подтверждается данными, полученными при обследовании и моделировании городских очистных сооружений г. Якутска (рис. 2). Масса поступающего связанного кислорода пропорциональна концентрации нитратов в конце зоны денитрификации, откуда направляется рецикл ила в анаэробную зону. Ограничение концентрации нитратов, поступающих в анаэробную зону, на уровне около 1 мг/л позволяет добиться высокого выделения в ней фосфора. Также следует отметить, что денитрификация до данного уровня протекает без снижения скорости процесса.

*Правило № 2* контроль качества очищенной воды проводится по показателям концентрации аммонийного азота. Для контроля нитрификации необходим оптимальный кислородный режим и возраст ила.

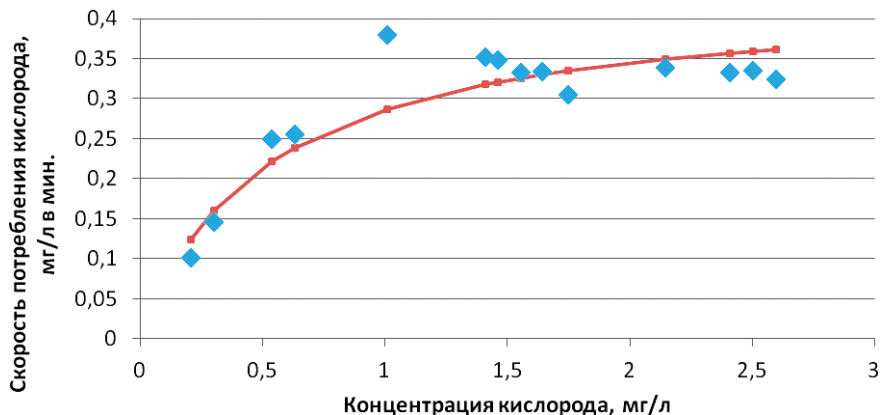
Концентрация растворенного кислорода и концентрация аммонийного азота наряду с органическими и неорганическими ингибиторами оказывают решающее влияние на скорость роста микроорганизмов нитрификаторов как первой, так и второй фазы нитрификации. Контроль концентрации растворенного кислорода наиболее распространенный параметр при построении схем АСУТП. Цели контроля:

- обеспечить требуемую глубину очистки по БПК и азоту аммонийному;
- избежать перерасхода энергии на аэрацию.

**Рис. 2.**  
Зависимость выделения фосфатов в анаэробной зоне и концентрации нитратов в зоне денитрификации



**ВОЗРАСТ ИЛА ЯВЛЯЕТСЯ КЛЮЧЕВЫМ ФАКТОРОМ ВО ВСЕХ МЕТОДИКАХ РАСЧЕТА СООРУЖЕНИЙ С БИОЛОГИЧЕСКИМ УДАЛЕНИЕМ АЗОТА И ФОСФОРА И ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СООРУЖЕНИЙ**

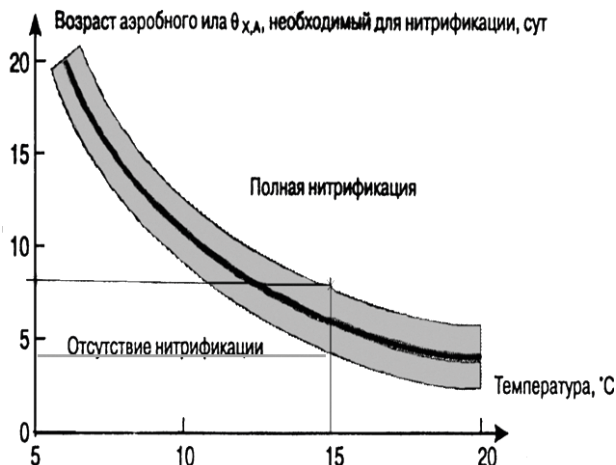


**Рис. 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ РАСТВОРЕННОГО КИСЛОРОДА НА СКОРОСТЬ ПОТРЕБЛЕНИЕМ КИСЛОРОДА МИКРООРГАНИЗМАМИ НИТРИФИКАТОРАМИ**

Оптимальная концентрация растворенного кислорода для процесса нитрификации определена как по литературным данным, так и экспериментально – рис. 3. Во всех случаях повышение концентрации кислорода выше оптимальной не ведет к улучшению нитрификации, а только вызывает перерасход воздуха [2].

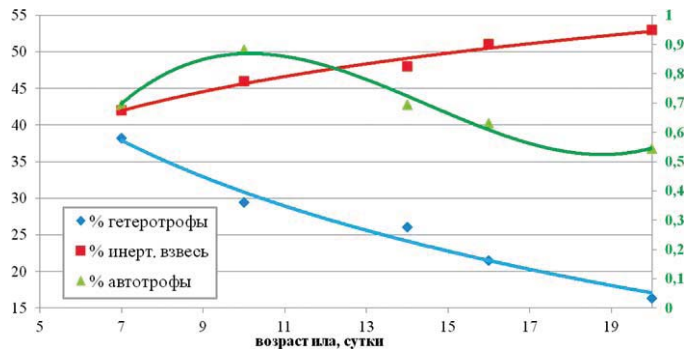
Возраст ила является ключевым фактором во всех методиках расчета сооружений с биологическим удалением азота и фосфора и при эксплуатации сооружений [3]. В современных моделях различают следующие показатели возраста ила:

**Рис. 4. ЗАВИСИМОСТЬ АЭРОБНОГО ВОЗРАСТА ИЛА ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ РАЗНОЙ ГЛУБИНЕ НИТРИФИКАЦИИ**



*Аэробный возраст ила* эта величина определяет допустимые скорости роста микроорганизмов нитрификации первой и второй фазы. Определяется как отношение массы ила, находящаяся в аэробных условиях, к массе выводимого из сооружений ила. Меньшие значения возраста принимаются при концентрациях аммонийного азота от 1 мг/л в отсутствия жёсткого нормирования по нитритам. Для достижения более глубокой нитрификации принимаются большие значения возраста ила. Также увеличение или уменьшение возраста ила связано с изменением температуры стока и наличие ингибиторов нитрификации. На рис. 4 [4] представлена зависимость аэробного возраста ила от температуры при полной нитрификации, а также возраст ила, необходимый для начала процесса нитрификации в аэротенках представлены.

**Рис. 5.**  
**РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ СОСТАВА**  
**БИОМАССЫ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ОБЩЕГО ВОЗРАСТА**  
**ИЛА ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ 20 °С**

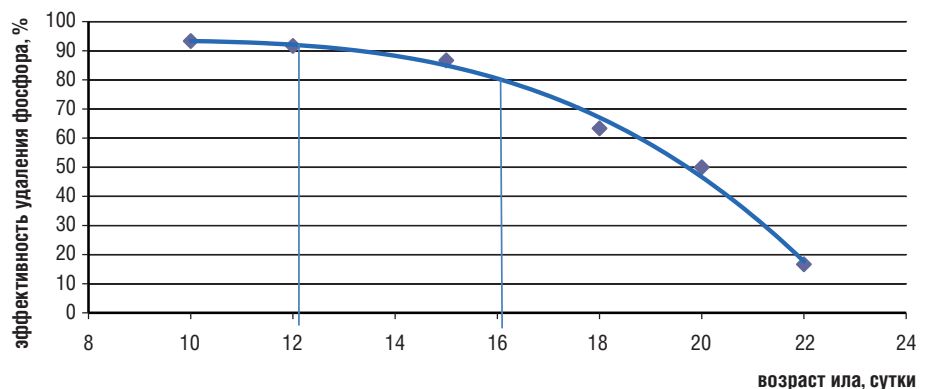


Анаэробный возраст ила отвечает за рост микроорганизмов гидролиза и ацидофикации, происходящих в анаэробных условиях. В зависимости от необходимости получать дополнительные ЛЖК в анаэробной зоне возраст анаэробного ила составляет от 1-х до 3-х суток. Определяется как отношение массы ила в анаэробной зоне к общей массе выводимого ила.

Общий возраст ила определяет соотношение видов биомассы в биоценозе и глубину самоокисления ила. Общий возраст ила определяется как отношение массы ила во всех зонах аэротенка (анаэробной, аноксидной и аэробной) к массе выводимого с приростом ила. В каждом случае в процессе существует оптимальный возраст ила. Уменьшение общего возраста ила не позволяет получить оптимальные аэробный и анаэробный возраст ила и осуществлять процессы денитрификации. Увеличение возраста приводит к развитию процессов автолиза ила и снижению эффективности удаления фосфора (рис. 5 и рис. 6).

**УМЕНЬШЕНИЕ ОБЩЕГО ВОЗРАСТА ИЛА НЕ ПОЗВОЛЯЕТ ПОЛУЧИТЬ ОПТИМАЛЬНЫЕ АЭРОБНЫЙ И АНАЭРОБНЫЙ ВОЗРАСТ ИЛА И ОСУЩЕСТВЛЯТЬ ПРОЦЕССЫ ДЕНИТРИФИКАЦИИ. УВЕЛИЧЕНИЕ ВОЗРАСТА ПРИВОДИТ К РАЗВИТИЮ ПРОЦЕССОВ АВТОЛИЗА ИЛА И СНИЖЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ УДАЛЕНИЯ ФОСФОРА**

**Рис. 6.**  
**РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ**  
**ЭФФЕКТИВНОСТИ УДАЛЕНИЯ**  
**ФОСФОРА ФОСФАТОВ**  
**ОТ ОБЩЕГО ВОЗРАСТА ИЛА**  
**В ПРОЦЕССЕ УСТ<sup>3</sup>**



<sup>3</sup> Технология Кейптаунского университета (University of Cape Town) УСТ-процесс

## ПРИОРИТЕТНОСТЬ ЦЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ

Поскольку рассмотренные цели управления могут противоречить друг другу при работе конкретной станции, при проектировании системы управления надо определить приоритеты.

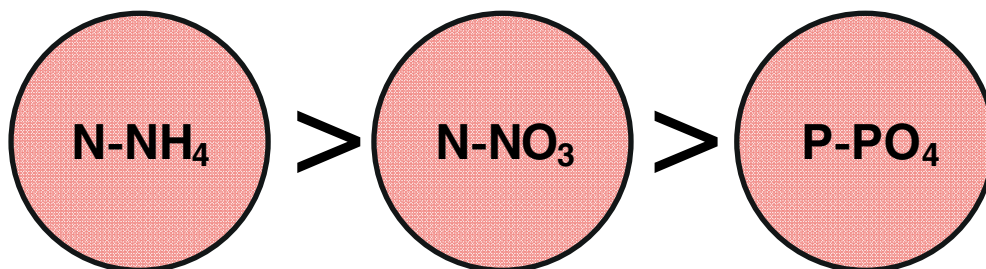
Приоритетность целей управления показана на рис. 7 и объясняется следующим образом:

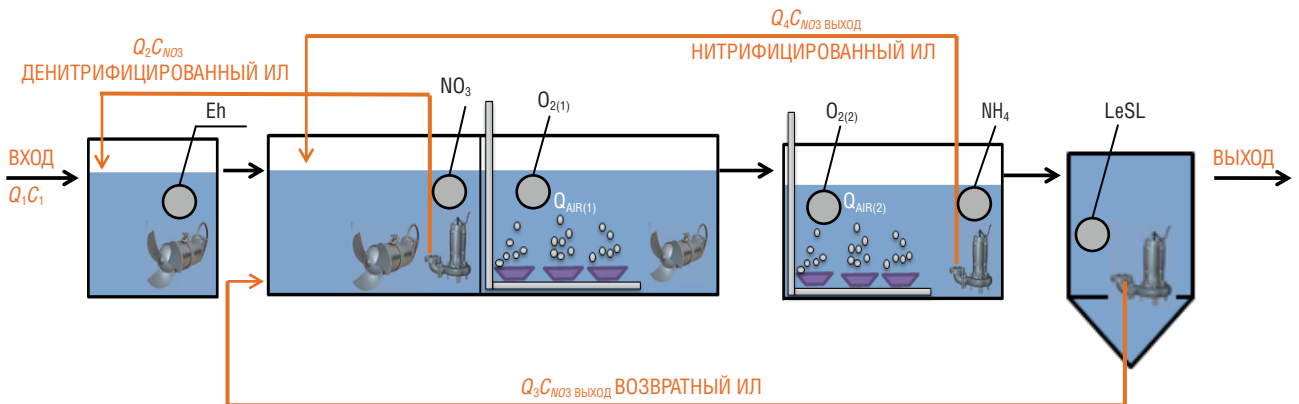
- восстановление нитрификации связано с ростом нитрификаторов и может занимать до двух недель. Действия системы управления ни в коем случае не должны приводить к потере нитрифицирующих микроорганизмов. В зарубежной практике, в том числе в рекомендациях по расчёту аэротенков ATV при неблагоприятных условиях (к примеру, сезонном снижении температуры стоков) рекомендуется предусматривать возможность увеличения аэробного объёма аэротенков за счет зоны денитрификации;

- восстановление денитрификации связано с перестройкой ферментативной системы и занимает от нескольких минут (переключение на другой фермент в дыхательной цепи) до нескольких часов (синтез ферментов). Следует учитывать, что при нарушении или недостаточном времени денитрификации растёт концентрация нитратов в очищенной воде. Величина концентрации азота нитратов в очищенной воде технологически может корректироваться только при наличии специальных сооружений доочистки. Поэтому при необходимости допускается при неблагоприятных условиях использовать для денитрификации часть или всю анаэробную зону аэротенка;

- восстановление удаления фосфора связано как с перестройкой ферментативной системы, так и с ростом ФАО. Восстановление процесса занимает от нескольких минут (переключения в ферментативной системе) до суток (рост концентрации ФАО в биоценозе). Концентрация фосфора легко корректируется реагентом как на стадии биологической очистки, так и при доочистке, поэтому временная потеря эффективности дефосфатации при управлении дозированием реагента не ведет к ухудшению качества очищенной воды.

Рис. 7.  
ПРИОРИТЕТНОСТЬ ЦЕЛЕЙ  
УПРАВЛЕНИЯ





## МЕТОДЫ РЕАЛИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ

Рассмотрим, какими методами может быть реализована система управления, решающая поставленные цели, на примере схемы биологической очистки стоков с применением процесса УСТ.

На рис. 8 представлена принципиальная схема процесса УСТ в наиболее полном варианте реализации, включающая анаэробную зону, аноксидную зону, зону с переменным режимом (можно поддерживать различные условия – аэробные, аноксидные или периодической аэрации), аэробную зону и вторичный отстойник.

Первая цель – ограничить массу азота нитратов (и нитритов)  $Q_2 C_{NO_3}$  так, чтобы она была значительно меньше массы поступающих органических веществ  $Q_1 C_1$ . Основной проблемой в этом случае является вопрос, чем померить это соотношение. Здесь, на первый взгляд, напрашиваются два варианта:

1) Измерить концентрации поступающего азота нитратов и растворенных органических или растворенных биоокисляемых веществ. Для реализации такого подхода потребуется измерять два расхода, концентрацию азота нитратов и концентрацию растворенных органических веществ химическими или биохимическими методами. Такое измерение возможно, но система получится достаточно сложной и дорогой.

2) Поскольку мы ограничиваем влияние азота нитратов – измерять их концентрацию в анаэробной зоне. Здесь надо учитывать, что при низких концентрациях азота нитратов он является лимитирующим фактором процесса денитрификации (как акцептор электронов аналогично кислороду в аэробных процессах). Следовательно, остаточная концентрация азота нитратов будет подчиняться уравнению Моно. Т.е. при низких концентрациях азота нитратов они практически не удаляются вследствие падения скорости реакции. В результате при низких концентрациях (по результатам моделирования менее 0,1 мг/л) азота нитратов в анаэробной зоне возможны два варианта:

- низкая концентрация достигнута в результате малой массы азота нитратов, поступающей в анаэробную зону;
- низкая концентрация достигнута в результате удаления азота нитратов в анаэробной.

Рис. 8.  
СХЕМА ПРОЦЕССА  
УСТ

Таким образом, измерение окажется малочувствительным.

В руководстве по проектированию и эксплуатации станций с биологическим удалением фосфора [1] отмечалось, что при контроле удаления азота одним из полезных измерений является измерение окислительно-восстановительного потенциала Eh. Величина Eh (при постоянном pH) определяется балансом окислителей и восстановителей в растворе, т.е. способностью принимать или отдавать электроны, а также характером окислителя и восстановителя. Величина Eh существенно падает при изменении окислителей в следующем порядке – растворенный кислород – нитриты и нитраты – сульфаты. Таким образом, использование датчика Eh позволяет оценить роль нитритов и нитратов в процессах, происходящих в анаэробной зоне, и соотношение окислителя и органики.

Поэтому использование Eh для контроля анаэробной зоны является достаточно простым и надежным методом.

Для того, чтобы поддерживать оптимальную величину Eh, в рассматриваемой технологии возможно управлять расходом  $Q_2$  и концентрацией нитратов  $C_{NO_3}$ .

Управление расходом реализуется достаточно просто за счет применения насоса с использованием частотных регуляторов, и, как правило, используется во всех схемах с процессами на основе УСТ, однако это влияет на диапазон регулирования (ограничено в интервале  $\pm 30\%$ ). Уменьшать величину расхода рецикла меньше нерационально, так как это противоречит основной задаче данного рецикла – подаче активного ила в анаэробную зону. Увеличивать более тоже нецелесообразно, так как с увеличением расхода растет не только масса подаваемого ила, но и снижается время нахождения в анаэробной зоне.

Для того, чтобы управлять концентрацией нитратов  $C_{NO_3}$  есть несколько вариантов. Первый вариант – управлять массой поступающего азота в рецикле денитрификации  $Q_4 \cdot C_{NO_3\text{выход}}$  за счет изменения расхода  $Q_4$ . Данный принцип управления наиболее легко реа-

лизуем – концентрация нитратов измеряется непосредственно в конце зоны денитрификации, а насос регулируется частотным регулятором. Управление данным рециклом применяется в большинстве схем с удалением азота и совместным удалением азота и фосфора. Регулирование данного рецикла технически ограничено возможностями совместной работы насоса и частотного регулятора, а технологически – достижением необходимой концентрации нитратов в очищенной воде.

Аналогично массой поступающего азота  $Q_3 \cdot C_{NO_3\text{выход}}$  можно управлять за счет изменения расхода  $Q_3$ . Данный вид управления сложнее, так как, как правило, расход возвратного ила регулируется не насосом, а водосливами на камерах возвратного ила, а насос вторично регулируется по уровню в резервуаре. Также данный вид регулирования технически ограничен повышением уровня стояния ила во вторичном отстойнике LeSL (см. рис. 8) при снижении расхода рецикла. Такое регулирование применяется в технологических схемах, создаваемых на основе процесса МУСТ<sup>4</sup> с выделением отдельной зоны денитрификации возвратного ила. При этом желательно отслеживать уровень стояния ила во вторичных отстойниках.

Другим вариантом управления массой азота, поступающей в денитрификатор  $(Q_3 + Q_4) \cdot C_{NO_3\text{выход}}$ , является регулирование концентрации азота нитратов в очищенной воде. Такой метод регулирования применяется, как правило, совместно с регулированием расхода рецикла денитрификации, при наличии зон с переменным режимом. Для регулирования нитри-денитрификации в зонах с переменным режимом используется расход воздуха  $Q_{air1}$ .

Снижение концентрации растворенного кислорода до уровня одновременной нитри-денитрификации или периодическое отключение подачи воздуха происходит всегда с обратной связью по концентрации азота аммонийного  $NH_4$ , чтобы не нарушить процесс нитрификации. При этом обязательно вносится поправка в расчет аэробного возраста.

<sup>4</sup> Модифицированный УСТ-процесс (modified UCT)



Для зон с периодической аэрацией аэробный возраст рассчитывается как:

$$SA_{AER} = \frac{W * a_i(T_A / T_D)}{q_i * a_r}$$

где  $T_A / T_D$  отношение времени аэрации и денитрификации;  
 $W$  – объем зоны аэротенка, м<sup>3</sup>;  
 $a_i$  – доза ила, г/л;  
 $a_r$  – доза ила в возвратном иле, г/л;  
 $q_i$  – расход избыточного ила, м<sup>3</sup>/сутки.

### АЭРОТЕНКИ «КАРУСельНОГО» ТИПА

В некоторых проектах для организации процесса нитри-денитрификации используются аэротенки с «карусельным» принципом перемешивания. В этом случае при организации регулирования следует различать два принципиально разных случая.

Первый случай «короткая карусель» (рис. 9). Если на выходе из системы аэрации поддерживается концентрация растворенного кислорода, оптимальная для процесса нитрификации, то за время прохождения потока от выхода из системы аэрации до возвращения, концентрация растворенного кислорода не успевает снизиться до уровня прохождения процессов денитрификации. При этом справедливо:

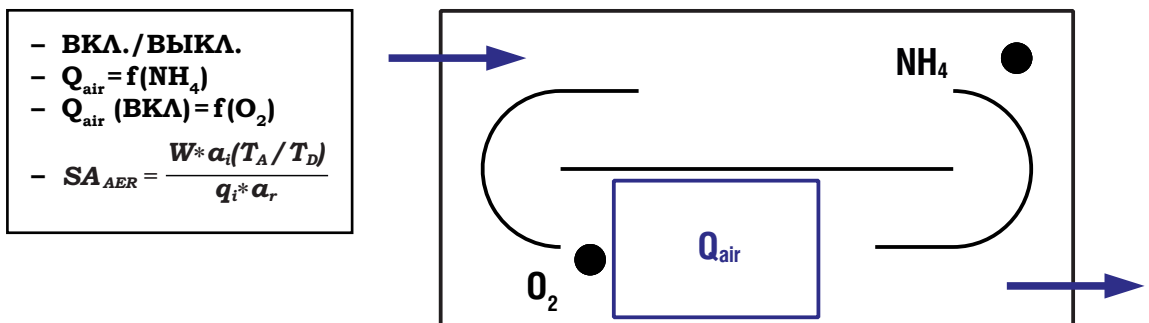
$$L/v \leq C_{O_2} / (OUR * a_i),$$

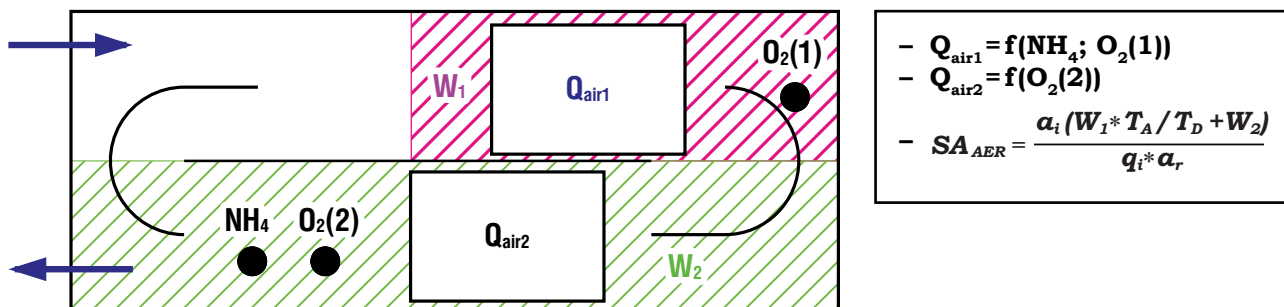
где  $L$  – длина пробега от конца до начала аэрационной системы (м),  
 $v$  – скорость движения воды в «карусели» (м/сек),  $C_{O_2}$  концентрация кислорода после аэрационной системы (мг/л),  $OUR$  – средняя скорость потребления кислорода (мг<sub>O<sub>2</sub></sub>/г СВ в сек),  $a_i$  – доза ила (г/л).

В среднем длина пробега для потери кислорода составляет 50 м.

Такие сооружения оптимально работают в режиме периодической аэрации, который контролируется по датчикам растворенного кислорода и азота аммонийного. По концентрации азота аммонийного происходит включение/выключение подачи воздуха.

Рис. 9.  
 УПРАВЛЕНИЕ  
 «КОРОТКОЙ»  
 КАРУСельЮ  
 С ВЫДЕЛЕНИЕМ ЗОНЫ  
 ДЕНИТРИФИКАЦИИ  
 «ВО ВРЕМЕНИ»





**Рис. 10.**  
**УПРАВЛЕНИЕ «КАРУСЕЛЬЮ»**  
**С ВЫДЕЛЕНИЕМ ЗОНЫ**  
**ДЕНИТРИФИКАЦИИ**  
**«В ПРОСТРАНСТВЕ»**

Принципиально другим случаем является «длинная карусель» ( $L/v \gg C_{O_2} / (OUR \cdot a_i)$ ), когда время пробега позволяет снизить кислород до оптимума денитрификации и выделить в «карусели» зону денитрификации в пространстве (рис. 10).

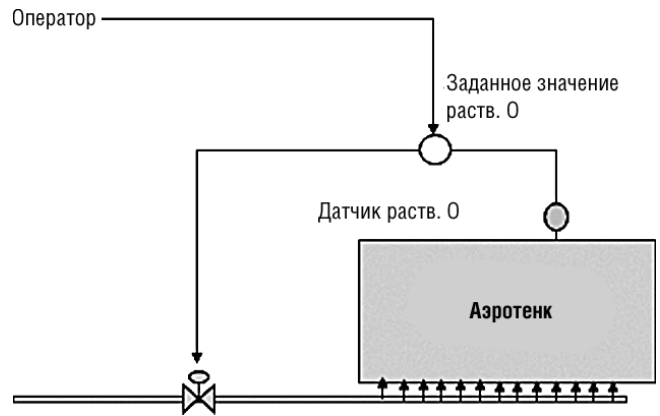
В этом случае можно регулировать протяжённость зоны денитрификации, т.е. устраивать зону с переменным режимом в «карусели». Управление зоной переменного режима осуществляется по общему принципу – включение/выключение подачи воздуха  $Q_{air1}$  осуществляется по датчику азота аммонийного. При включенной системе аэрации концентрация кислорода поддерживается на оптимуме нитрификации по датчику кислорода  $O_2(1)$ . Подача воздуха в часть карусели, которая всегда аэробна, производится по датчику кислорода  $O_2(2)$ , расположенному в конце аэробной зоны и обеспечивающему начало процесса денитрификации в точке подачи стока.

## ПОДДЕРЖАНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ РАСТВОРЕННОГО КИСЛОРОДА В АЗРИРУЕМЫХ ЗОНАХ

Поддержание концентрации растворенного кислорода в аэрируемых зонах может происходить с использованием разных алгоритмов. Рассмотрим подробнее их достоинства и недостатки.

*Прямое регулирование расхода воздуха* представлено на рис. 11. Это самый простой в осуществлении алгоритм регулирования. Такое регулирование может осуществляться непосредственно от встроенных контроллеров приборов определения концентрации растворенного кислорода. Данный метод имеет следующие ограничения:

- Нет защиты по минимальному расходу воздуха – при снижении расхода может быть нарушена минимальная интенсивность аэрации с расслоением иловой смеси и выпадением ила на дно аэротенка.
- Нет защиты по максимальному расходу воздуха – при увеличении расхода воздуха возможны длительные перегрузки аэрационной системы.
- Нет обратной связи по азоту аммонийному.



**Рис. 11.**  
**ПРЯМОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ**  
**РАСХОДА ВОЗДУХА**

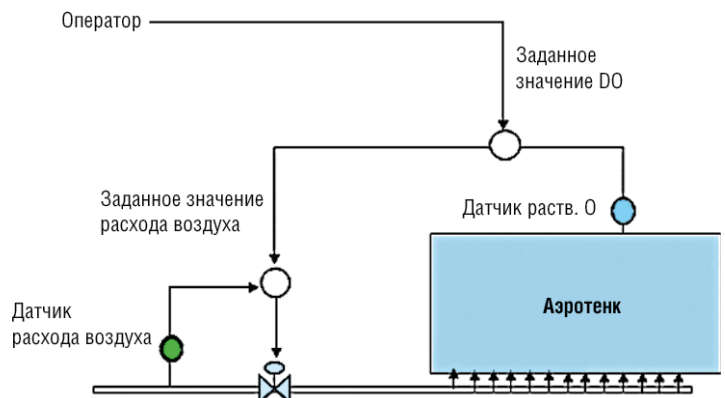
Данный метод рекомендуется для дополнительного регулирования расхода воздуха в отдельных аэрируемых зонах по длине аэротенка, он неприменим для зон с переменным режимом и при регулировании всей системы аэрации задвижкой на главном воздуховоде, так как может приводить к нарушениям технологии очистки и снижению срока службы аэрационной системы.

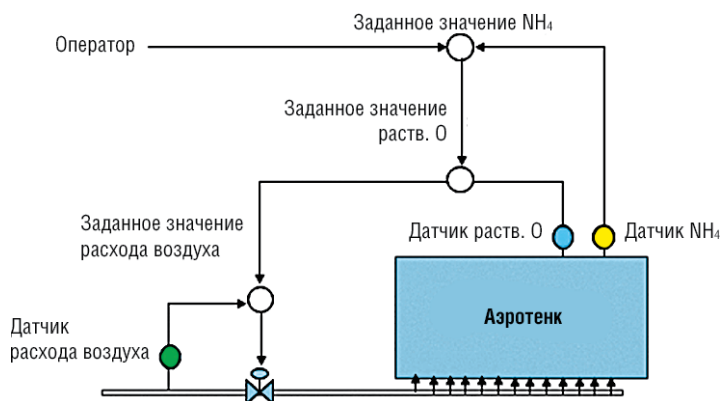
*Второй метод управления* – однокаскадный алгоритм управления расходом воздуха (рис. 12). В этом случае по результату сравнения заданной и текущей концентрации кислорода рассчитывается новое значение расхода воздуха, которое поддерживается задвижкой по расходомеру.

Такой алгоритм регулирования значительно надежней и является основным, принимаемым для управления расходом воздуха, в том числе и одной задвижкой на главном воздуховоде.

В данном случае можно поддерживать как минимальный, так и максимальный расход воздуха, обеспечивая минимальную интенсивность аэрации и предотвращая перегрузки системы аэрации. Отсутствует только связь с концентрацией азота аммонийного.

**Рис. 12.**  
**ОДНОКАСКАДНЫЙ АЛГОРИТМ**  
**УПРАВЛЕНИЯ РАСХОДОМ**  
**ВОЗДУХА**





**Рис. 13.**  
**ДВУХКАСКАДНОЕ**  
**РЕГУЛИРОВАНИЕ РАСХОДА**  
**ВОЗДУХА**

При необходимости использования сигнала датчика азота аммонийного используется наиболее сложный двухкаскадный алгоритм регулирования (рис. 13).

В этом случае к регулированию расхода воздуха по предыдущему принципу добавляется изменение «уставки» по растворенному кислороду по результатам измерения концентрации азота аммонийного. Это самый сложный алгоритм управления и самый дорогой по приборному обеспечению. Его рекомендуется применять в зонах с переменным режимом для получения наиболее глубокой денитрификации при сохранении качества очистки по азоту аммонийному.

## УПРАВЛЕНИЕ ВОЗРАСТОМ ИЛА

Управление возрастом ила процесс медленный, который, в принципе, может осуществляться как системой автоматике, так и оператором. При поддержании возраста наиболее важен рассчитываемый при моделировании так называемый «динамический возраст ила» – средняя величина за последний интервал времени, соответствующий величине расчетного возраста. На многих действующих станциях контроль возраста ила не ведется или ведется неправильно, так как определения прироста рассчитывается по различным формулам (часто устаревшим).

Концентрация ила в иловом рецикле со вторичных отстойников исходя из баланса масс может быть рассчитана:

$$a_r = a_i(1 + 1/R_i)$$

Масса выводимого ила :

$$M_i = Q_i * a_i(1 + 1/R_i)$$

Для сооружений, где весь активный ил подается в голову аэротенков, текущая величина возраста ила может быть рассчитана следующим образом:

$$SA_T = W_{ат} / Q_i * (1 + 1/R_i),$$

где  $SA_T$  – общий возраст ила,  $W_{ат}$  – общий объем аэротенка,  $Q_i$  – расход избыточного ила,  $R_i$  – коэффициент рециркуляции ила.

При наличии анаэробной зоны, куда подается ил из зоны денитрификации, доза ила в ней меньше и зависит от коэффициента рециркуляции в анаэробную зону. В этом случае доза ила в анаэробной части рассчитывается:

$$a_{ан} = a_i * (1 / (1 + 1/R_a)),$$

где:  $a_{ан}$  – доза ила в анаэробной части сооружения,  $a_i$  – доза ила в аноксидной и аэробных зонах,  $R_a$  – коэффициент рециркуляции в анаэробную зону.

Тогда общий возраст ила в таких сооружениях:

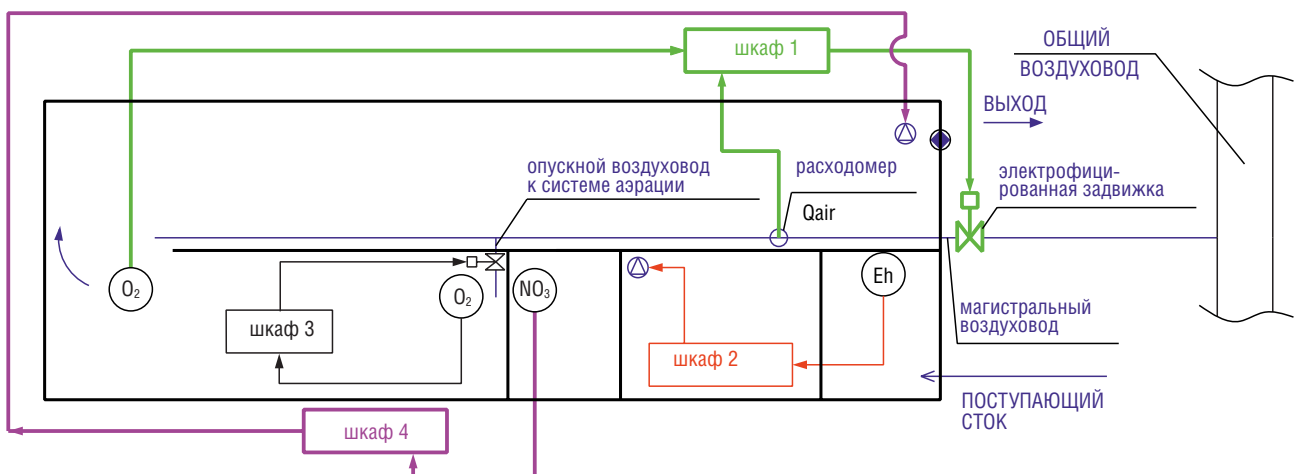
$$SA_T = (W_{ан} * (1 / (1 + 1/R_a)) + W_{ат}) / Q_i * (1 + 1/R_i)$$

Такой метод расчета возраста учитывает только значения расходов и значительно проще реализуется при автоматизации управления.

### ПРИМЕР СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

В заключение рассмотрим схему управления двух коридорным аэротенком с применением процесса УСТ, разработанную с применением описанных принципов для очистных сооружений г. Киров (рис. 14).

Рис. 14.  
СХЕМА УПРАВЛЕНИЯ  
АЭРОТЕНКОМ  
С ПРОЦЕССОМ УСТ



Ограничение массы поступающих в анаэробную зону нитратов достигается за счет регулирования расхода рецикла в анаэробную зону по датчику Eh и за счет регулирования рецикла денитрификации по датчику азота нитратов  $\text{NO}_3$  в зоне денитрификации. Предусмотрено автоматическое регулирование «уставки»  $\text{NO}_3$  при невозможности достижения заданного диапазона величины Eh путем регулирования рецикла в анаэробную зону. Для использования анаэробной зоны в качестве денитрификатора в неблагоприятных условиях предусмотрено введение оператором более высокой «уставки» Eh.

Общее регулирование концентрации растворённого кислорода происходит по двухкаскадному принципу от кислородного датчика  $\text{O}_2$  и расходомера воздуха  $Q_{\text{air}}$  общей задвижкой на воздуховоде. Достижение постоянной концентрации кислорода по длине аэротенка обеспечивается изменением плотности раскладки аэраторов. Поскольку в начале аэробной зоны колебания расхода при соблюдении заданной концентрации менее выражены, для корректировки расхода воздуха в этой зоне используется однокаскадный принцип регулирования с дополнительным датчиком кислорода.

Вычисление величины возраста ила происходит автоматически по описанному принципу за счет измерения расходов. Корректировка массы выводимого ила и оптимума возраста должна производиться оператором.

### Выводы

Применение математического моделирования позволяет определить основные принципы конструирования систем автоматического управления аэротенками с биологическим удалением азота и фосфора.

Для контроля процесса удаления фосфора необходимо минимизировать влияние нитратов, поступающих с рециркуляционными потоками в анаэробную зону, для чего контролируется масса азота нитратов в рециркуляционных потоках. Основным методом контроля массы азота нитратов, поступающего в анаэробную зону, является контроль процесса денитрификации путем изменения рециркуляционных расходов и кислородного режима в зонах с переменным режимом.

Контроль процесса в анаэробной зоне рационально проводить по датчику окислительно-восстановительного потенциала.

Для поддержания процесса нитрификации следует контролировать кислородный режим и аэробный возраст ила.

При построении системы следует придерживаться следующих приоритетов: сохранение процесса нитрификации, сохранение процесса денитрификации и лишь затем биологическое удаление фосфора. ●

### ЛИТЕРАТУРА

1. P.M.J. JANASSEN, K. MEINEMA, H.F. VAN DER ROEST. «BIOLOGICAL PHOSPHOROUS REMOVAL. MANUAL FOR DESIGN AND OPERATION» IWA PUBLISHING 2002.
2. Эпов А.Н. Канунникова М.А. «РЕСПИРОМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИНЕТИЧЕСКИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ УРАВНЕНИЯ СКОРОСТИ НИТРИФИКАЦИИ». Водоснабжение и канализация. 2009. № 4.
3. Эпов А.Н. Николаев В.Н. «ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ГЛУБОКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД В АЭРОТЕНКАХ ПУТЕМ ОПТИМИЗАЦИИ ВОЗРАСТА ИЛА». — М.: ИЭЖКХ, 1989. № 4.
5. М. Хенце. Очистка сточных вод. Биологические и химические процессы. Пер. с англ./М. Хенце, П. Армозс, Й. Ля-Кур-Янсен, Э. Арван. — М.: Мир, 2004.

# Участие специалистов НПФ «ЭкоТОН» в модернизации очистных сооружений канализации МУП «ЛиСА» г. Липецк

Блюмин Г.А.,  
ВЕДУЩИЙ ТЕХНОЛОГ,

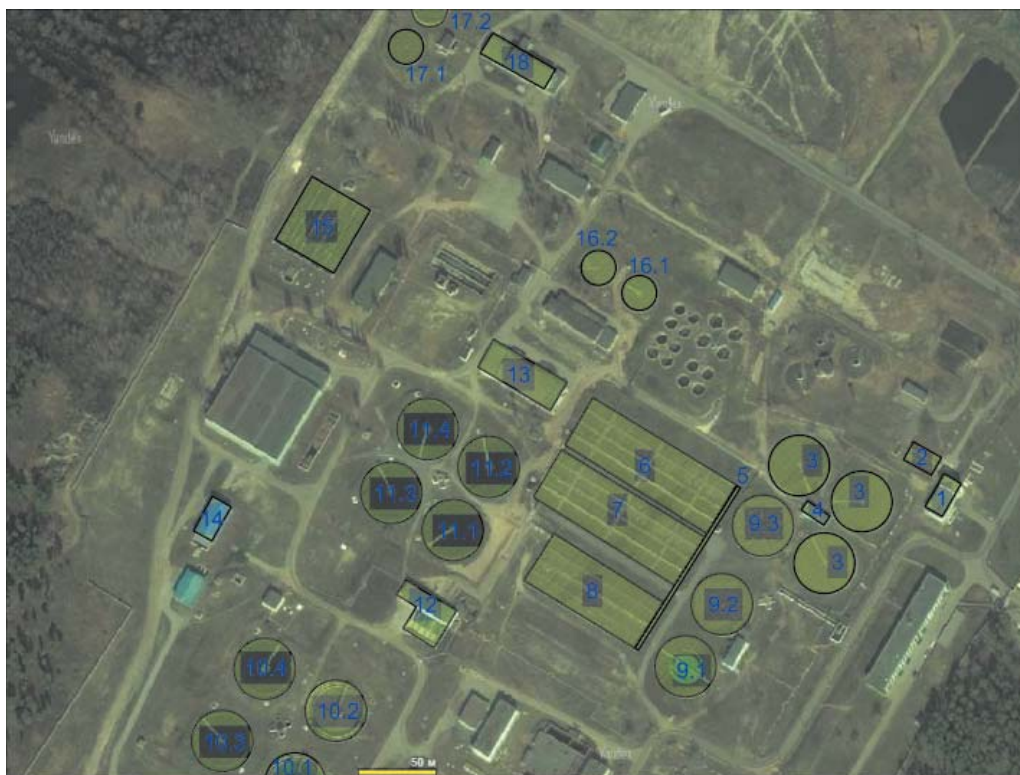
Чув Е.В.<sup>1</sup>,  
ИНЖЕНЕР-ТЕХНОЛОГ

ЗАО НПФ «ЭкоТОН»

Реконструкция объединенных канализационных очистных сооружений г. Липецка и ОАО «Новолипецкого металлургического комбината» ведется с 2004 г.

Ввиду большого объема работ, невозможности остановки поступления сточных вод и условий действующего производства реконструкция выполняется на имеющихся двух технологических линиях очистки сточных вод поэтапно.

Рис. 1.  
План сооружений 2-й технологической линии МУП «ЛиСА»  
(НОМЕРА СООРУЖЕНИЙ СМ. В ТАБЛ. 1)



<sup>1</sup> Чув Евгений Владимирович, e-mail:chuev@ekoton.com.

В рамках данной статьи описывается часть наладочных работ, выполненных ЗАО НПФ «ЭкоТОН» (согласно договору с генподрядчиком – ЗАО «Фирма «СЭНС» г. Санкт-Петербург) в рамках реконструкции второй технологической линии по очистке сточной воды правобережной части города, общей производительностью 221 тыс. м<sup>3</sup>/сут. Проект реконструкции был выполнен ООО «ЭКОВОДОКАНАЛ» г. Липецк в 2008 г.

Реконструкция второй технологической линии разбита на 4 этапа. В данной публикации описан 2-й этап, включающий реконструкцию сооружений биологической очистки – аэротенков и вторичных отстойников.

Состав сооружений (см. рис 1) приведен в табл. 1.

**Таблица 1.**  
**Состав**  
**сооружений второй**  
**технологической**  
**линии МУП «ЛиСА»**

Стадия очистки	Наименование сооружений	Состав оборудования
<b>Механическая очистка</b>	1. Камера гашения и здание решеток	Грабельные решетки производства ЗАО НПФ «ЭкоТОН» – 3 шт.
	2. Аэрируемые песколовки	Гидросмыв и удаление пескопулпы погружными насосами – 3 шт.
	3. Первичные радиальные отстойники Ду=40 м	Илоскребы ИРПО-40 производства ЗАО НПФ «ЭкоТОН» – 3 шт.
	4. Насосная станция сырого осадка	Насосы сырого осадка Flygt, производительность 250 м <sup>3</sup> /ч
	5. Распределительный канал осветленной сточной воды	Система барботаж
<b>Биологическая очистка</b>	6. Аэротенк № 1 (W=19300 м <sup>3</sup> ), запущен в ноябре 2013 г. Нитри-денитрификатор с биологической дефосфотацией	Мешалки и насосы фирмы Willo, система аэрации ЗАО НПФ «ЭкоТОН»
	7. Аэротенк № 2 (W=19300 м <sup>3</sup> ), выведен на реконструкцию	—
	8. Аэротенк № 3 (W=13600 м <sup>3</sup> ) Аэротенк-вытеснитель с регенератором (25 %)	Система аэрации ЗАО НПФ «ЭкоТОН»
	9.1÷9.3. Аэротенк № 4 (W=15600 м <sup>3</sup> ), запущен с 2011 г. Нитри-денитрификатор с биологической дефосфотацией	Мешалки и насосы фирмы Flygt, система аэрации ЗАО НПФ «ЭкоТОН»
	10.1÷10.4. Вторичные радиальные отстойники № 1÷4, Ду=40 м	Илососы ИРВО-40 производства ЗАО НПФ «ЭкоТОН» – 4 шт.
	11.1÷11.4. Вторичные радиальные отстойники № 5÷8, Ду=40 м	Илососы ИВР-40
	12. Насосная станция возвратного активного ила	Полуосевые насосы – 3 шт. производительностью по 3000 м <sup>3</sup> /ч
	13. Воздуходувная станция	ТВ 150 1,6 – 5 шт.
<b>Обеззараживание</b>	14. УФ станция	Оборудование НПО «ЛИТ»
<b>Доочистка</b>	15. Контактные резервуары	Полимерная загрузка, система аэрации ЗАО НПФ «ЭкоТОН»
<b>Обработка осадка</b>	16.1÷16.2. Илоуплотнитель № 1÷2, Ду=24 м	Илососы ИРВО-24 производства ЗАО НПФ «ЭкоТОН» – 2 шт.
	17.1÷17.2. Шламовый резервуар № 1÷2	Система барботаж
	18. Цех механического обезвоживания осадка	Ленточный сгуститель и ленточный фильтр-пресс – 4 шт. Суммарная производительность – 90 м <sup>3</sup> /ч (по исх.осадку)



## ГЛАВНЫЙ КРИТЕРИЙ

**Рис. 2.**  
**Оборудование производства**  
**НПФ «ЭкоТОН», установленное**  
**на МУП «ЛиСА»:**

- а) Илоскребы ИРПО-40;**
- б) Трубчатый диспергатор**  
**воздуха АПКВ, алюминиевые**  
**мостики, щитовые затворы,**  
**дроссельные задвижки,**  
**подъемное оборудование;**
- в) Илосососы ИРВО-40 и др.**

Из табл. 1 видно, что оборудование ЗАО НПФ «ЭкоТОН» занимает существенное место в обеспечении работы станции (рис. 2).

Технологический процесс удаления азота и фосфора организован по схеме JNB (Университет Йоханнесбурга) (рис. 3).

Особенностью технологической схемы обработки осадка на станции являлось совместное уплотнение осадка первичных отстойников и избыточного активного ила.

Целью проведения пусконаладочных работ было обеспечение высокой эффективности удаления соединений азота и фосфора на аэротенках № 1 и № 4 и обеспечения стабильного процесса нитрификации в аэротенке № 3 в условиях проведения реконструкции второй технологической линии.



**Рис. 3.**  
**СХЕМА БИОЛОГИЧЕСКОГО УДАЛЕНИЯ**  
**СОЕДИНЕНИЙ АЗОТА И ФОСФОРА,**  
**ВНЕДРЯЕМАЯ НА ВТОРОЙ**  
**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛИНИИ КОС г. ЛИПЕЦКА.**  
**D = ДЕНИТРИФИКАЦИЯ,**  
**A = АНАЭРОБНАЯ ЗОНА,**  
**N = НИТРИФИКАЦИЯ,**  
**G = ДЕГАЗАЦИЯ**



## Положение на КОС на начало работ

Фактическое поступление сточной воды в ноябре 2013 г. на 2-ую технологическую линию составляло 84÷92 тыс. м<sup>3</sup>. Для ее очистки были задействованы все сооружения механической очистки, 3 аэротенка из 4-х (№ 1,3÷4); 5 вторичных отстойников из 8-ми (№ 1÷2,5÷7), один илоуплотнитель.

Результаты анализа среднесуточной пробы сточной концентрации загрязняющих веществ приведены в табл. 2.

**ТАБЛИЦА 2.**  
**КОНЦЕНТРАЦИЯ**  
**ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ**  
**ВЕЩЕСТВ НА НАЧАЛО**  
**РАБОТ**

Наименование показателя	Значение концентрации		
	после здания решеток	после первичных отстойников во входном канале аэротенка	очищенная вода после контактных резервуаров
Взвешенные вещества, мг/дм <sup>3</sup>	298	324	24,0
БПК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	248	225	12
Фосфаты (по P), мг P-PO <sub>4</sub> /дм <sup>3</sup>	2,5	4,5	0,35
Азот аммонийный, мгN-NH <sub>4</sub> /дм <sup>3</sup>	34,6	37,3	5,6
Азот нитратов, мгN-NO <sub>3</sub> /дм <sup>3</sup>	0,35	0,3	8,9
Азот нитритов, мгN-NO <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	—	—	0,1

Таким образом, до пуско-наладки можно было констатировать отсутствие эффективности первичного отстаивания и высокий вынос взвешенных веществ со сточной водой. Концентрация ила в аэротенках № 1 и № 4 в среднем составляла 8,5 г/дм<sup>3</sup>, в аэротенке № 3 в зоне регенерации – 12 г/дм<sup>3</sup>. Столь высокая доза ила была объяснена:

- мощным рециклом взвешенных веществ активного ила из илоуплотнителей в аэротенки;
- попаданием с 1-й технологической линии избыточного активного ила, обогащенного железом, так как линия работает на сточных водах Новолипецкого металлургического комбината;
- выводом аэротенка № 2 под реконструкцию;
- ограниченной производительностью узла механического обезвоживания осадка и др.

Концентрация кислорода на выходе из аэротенков составляла менее 1 мгО/дм<sup>3</sup>.

Создавшаяся ситуация, несмотря на большое количество вторичных отстойников, постоянно создавала угрозу самопроизвольной выгрузки активного ила с очищенной водой.

## КОРРЕКТИРОВКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

### А. Технология обработки осадка

Первым шагом была изменение схемы обработки осадков – прекращена подача сырого осадка в илоуплотнители. На период корректировки схемы в работу был введен 2-й илоуплотнитель.

Таким образом, илоуплотнители были переведены только на уплотнение избыточного активного ила в количестве 120÷130 м<sup>3</sup>/ч, при концентрации 10÷11 г/дм<sup>3</sup> ила. Это позволило исключить массовый вынос ила с надиловой водой, поступающей в один из первичных отстойников, и привело к снижению концентрации взвешенных веществ на входе в аэротенки примерно на 30 %, до 200 мг/л. Это повлекло за собой существенное уменьшение прироста избыточного ила.

Откачку сырого осадка стали производить в барботируемую усреднительную емкость при цехе механического обезвоживания.

В течение недели была снижена концентрация ила в аэротенках № 1 и № 4 до 5 г/дм<sup>3</sup>, а в аэротенке № 3 – до 3,5 г/дм<sup>3</sup>. Это дало возможность исключить из работы один вторичный отстойник и снизить объем перекачиваемого возвратного активного ила на 20 % (1200 м<sup>3</sup>/ч). После снятия угрозы самопроизвольной выгрузки ила с очищенной сточной водой была выполнена регулировка шиберов в иловых камерах вторичных отстойников, позволившая получать более концентрированный возвратный ил и снизить объем рецикла еще на 450 м<sup>3</sup>/ч.

Достижение оптимальной дозы и оптимальной величины рецикла ила позволило:

- вывести из эксплуатации один из двух работающих насосов возвратного активного ила (экономия 1440 кВт·ч в сутки);
- снизить объем избыточного активного поступающего на илоуплотнитель до 90 м<sup>3</sup>/ч;
- вывести из эксплуатации 2-й илоуплотнитель (его включение изначально было временным шагом) и др.
- перейти к настройке биологической ступени очистки.

### Б. Технология биологического удаления соединений азота и фосфора

Наладка системы биологической очистки проводилась пошагово, когда каждый последующий шаг выполнялся только после устоявшегося режима предшествующего шага.

После вышеописанной оперативной стадии наладки анализ среднесуточной пробы сточной концентрации загрязняющих веществ имел следующие показатели (табл. 3).

Таблица 3.

Концентрация загрязняющих веществ после оперативной стадии наладки

Наименование показателя	Значение концентрации		
	после здания решеток	во входном канале аэротенка	выход после контактных резервуаров
Взвешенные вещества, мг/дм <sup>3</sup>	280	200	6,4
БПК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	320	283	5,2
Фосфаты (по Р), мг Р-РО <sub>4</sub> /дм <sup>3</sup>	3,0	5,0	0,2
Азот аммонийный, мгN-NH <sub>4</sub> /дм <sup>3</sup>	28,0	32,0	1,2
Азот нитратов, мгN-NO <sub>3</sub> /дм <sup>3</sup>	0,1	0,1	9,3
Азот нитритов, мгN-NO <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	–	–	0,4

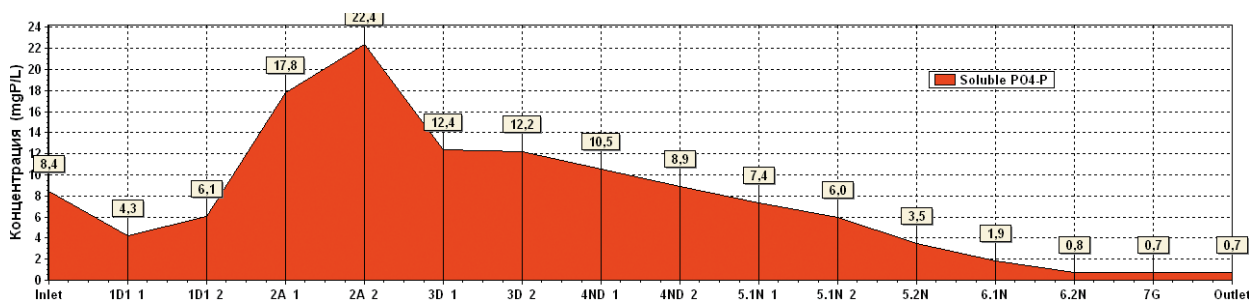
Как видно из табл. 3, качество очистки улучшилось по всем показателям.

С помощью компьютерного моделирования был рассчитан и задан оптимальный технологический режим биологической очистки (см. табл. 4 и рис. 4, 5), адаптированный под круглосуточную работу сооружений с одновременным ведением реконструкции на различных участках.

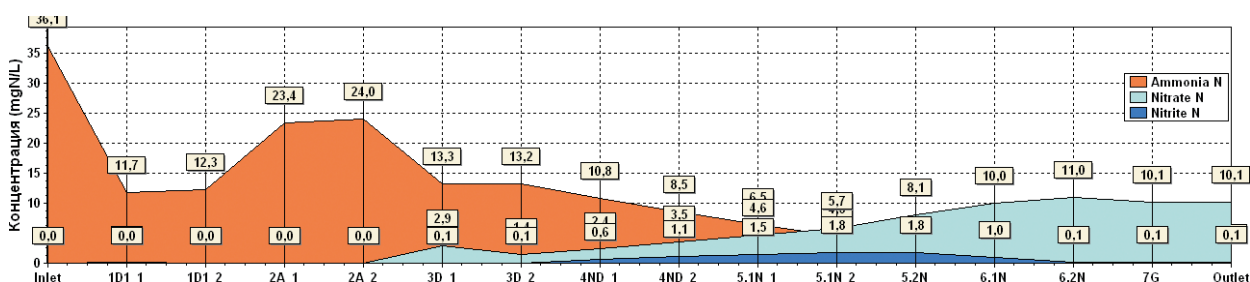
**Таблица 4.**  
**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РАБОТЫ АЭРОТЕНКА № 1**

Наименование параметра	Величина
Среднесуточный расход сточных вод, м³/сут	32 832
<b>Аэротенки</b>	
Количество аэротенков, шт.	1
Время гидравлического удержания сточной воды, часов	14,6
<b>Объемы зон</b>	
Первая зона денитрификации, % от общ. объема	8,9
Зона дефосфотации, % от общ. объема	16,1
Вторая зона денитрификации, % от общ. объема	12,7
Зона нитрификации/денитрификации, % от общ. объема	12,3
Зона нитрификации, % от общ. объема	45,5
Зона дегазации, % от общ. объема	4,5
<b>Параметры функционирования системы</b>	
Масса ила в системе, кгСВ	94 700
Средняя доза ила, кгСВ/м³	4,7
Объем внутреннего рецикла нитратов, м³/сут	46 800
Минимальный возраст активного ила, сут	9,0
Расчетный расход воздуха на аэрацию и перемешивание, м³/ч	16 500
<b>Вторичные отстойники</b>	
Количество вторичных отстойников, шт.	2
Гидравлическая нагрузка, м³/м²хч	0,53
Массовая нагрузка, кг/м²хч	4,13
Объем рециркуляции возвратного активного ила, м³/сут	24 000
<b>Обработка осадков</b>	
Избыточный активный ил (ИАИ), м³/сут	1016
Масса ИАИ, кгСВ/сут	10 540

**Рис. 4.**  
**Прогноз изменения концентрации фосфатов (по Р) в зонах аэротенка № 1**



**Рис. 5.**  
**Прогноз изменения концентрации соединений азота в зонах аэротенка № 1**



В ходе наладки были выполнены работы:

а) подстройка всех аэротенков по воздуху, распределен воздух между аэротенками № 1,3÷4, а также распределен воздух между аэробными зонами (концентрация кислорода в аэробных зонах составила 1,8÷3,5 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>);

б) корректировка расхода возвратного активного ила (степень рециркуляции 35÷40 %, при дозе 2,6÷4,7 г/дм<sup>3</sup>);

в) корректировка расхода внутреннего рецикла из конца зоны нитрификации (80÷150 %, при нитратах на выходе 28÷38 мг/дм<sup>3</sup>);

г) корректировка выводимого расхода избыточного активного ила (2040÷2520 м<sup>3</sup>/сут, включая объем ИАИ с 1-й технологической линии) и др.

Проведенные уточнения режима позволили снизить концентрацию фосфатов (по Р) на выходе до 0,2÷0,4 мг/дм<sup>3</sup>.

Эффективность удаления фосфора достигла даже больших величин, чем предусмотрено проектом (см. табл. 5) и было рассчитано при компьютерном моделировании.

**Таблица 5.**  
**Концентрация**  
**загрязняющих веществ**  
**после завершения**  
**пусконаладочных работ**

Наименование показателя	Проектные величины			Фактические величины <sup>1</sup>		
	вход в аэротенк	ПДК	эффективность, %	вход в аэротенк	выход из вторичных отстойников	эффективность, %
БПК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	200	2,0	98,0	200÷355	2,9÷5,6	98,4÷98,6
Взвешенные вещества, мг/дм <sup>3</sup>	142	7,05	95,0	170÷280	4,3÷6,9	97,5
Азот аммонийный (N-NH <sub>4</sub> )	23,1	0,39	98,3	31÷34	0,4÷0,8	97,6÷98,5
Фосфаты по фосфору (P-PO <sub>4</sub> )	3,02	0,2	93,4	4,5÷5,0	0,2÷0,4	92,0÷95,6

Сделан вывод, что столь высокая эффективность дефосфотации обусловлена попаданием в систему биологической очистки ила с первой технологической линии с высоким содержанием железа, что приводит к дополнительному химическому связыванию фосфатов. Наличие значительного количества вторичных отстойников позволило поддерживать высокую дозу ила и аккумулировать в нем фосфаты. Таким образом, благодаря особенности сточных вод и наличию анаэробной зоны, на станции без применения реагентов реализовано химико-биологическое удаление фосфора.

<sup>2</sup> Фактические данные согласно результату анализа среднесуточной пробы, после недели функционирования по установленному технологическому режиму.

Также были предложены и реализованы следующие шаги по корректировке механической ступени очистки:

а) выключение из работы одной решетки, что позволило исключить отложение песка в каналах решеток из-за малой скорости воды. Каналы решеток не должны брать на себя функцию песколовков;

б) выключение из работы одной песколовки, что позволило сократить время пребывания осадка в остальных песколовках, тем самым снизить количество органических веществ, оседающих с песком;

г) нормализация ситуации в системе обработки осадка позволила в целях оптимизации удаления азота и фосфора выключить из работы один из трех первичных отстойников (рис. 6) и сократить время пребывания осадка в остальных первичных отстойниках. В результате выросли концентрация органических веществ поступающих на биологическую очистку и соотношение БПК/Н и БПК/Р;

в) регулирование системы откачки осадка из первичных отстойников, что позволило снизить влажность откачиваемого сырого осадка с 98,3 % до 95,5 % и, соответственно, уменьшить объем перекачки.

## Выводы

**В РЕЗУЛЬТАТЕ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ СПЕЦИАЛИСТОВ ЗАО НПФ «ЭкоТОН», ЗАО «Фирма «СЭНС» И ЭКСПЛУАТИРУЮЩЕГО ПЕРСОНАЛА МУП «ЛиСА» БЫЛ ОПТИМИЗИРОВАН ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ РАБОТЫ ВТОРОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛИНИИ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ КАНАЛИЗАЦИИ ПРАВОБЕРЕЖНОЙ ЧАСТИ г. Липецк (рис. 7), в условиях проведения реконструкции, что позволило:**

**а) получить высокие показатели эффективности очистки в аэротенках № 1 и 4 и сократить платежи за загрязнение водного объекта;**

**б) снизить энергоёмкость процесса и себестоимость очистки;**

**в) на основании работы аэротенка № 1 внести предложения по корректировке реконструируемого аэротенка № 2;**

**г) увеличить устойчивость технологического процесса, проверенного даже при наличии залповых сбросов жиров и др. ингибирующих биологическую очистку веществ.**

**Полное достижение установленных нормативов допустимых сбросов веществ в водный объект будет обеспечено после реконструкции аэротенка № 2 (конец 2014 г.) и № 3 (2015 г.). ●**

# РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЕКТОВ С ВНЕДРЕНИЕМ МЕМБРАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД



INDUSTRIAL GROUP

Кривень А. П.,  
ВЕДУЩИЙ ИНЖЕНЕР  
ТЕХНИЧЕСКОГО ОТДЕЛА  
ЗАО НПФ  
«ЭКОТОН»,  
WWW.EKOTON.COM,  
PRESS@EKOTON.COM

Актуальность вопросов очистки сточных вод вновь строящихся или расширяющихся населенных пунктов, коттеджных поселков и других малых объектов, способствовали появлению на рынке очистных сооружений канализации огромного количества всевозможных предложений от поставщиков.

В большинстве случаев заказчику приходится выбирать между традиционной технологией биологической очистки с вторичным отстаиванием (в 2014 г. данная технология отмечает столетие с момента начала научного исследования и практического применения) и технологией биологической очистки с разделением иловой смеси на мембранах (МБР). Выбор не является однозначным и определяется целым рядом особенностей реконструируемого или строящегося объекта очистки сточных вод.

До недавнего времени недостаточное количество реализованных в России проектов с применением мембранных технологий приводило к скептическому мнению о МБР и тормозило широкое распространение этой относительно новой технологии. В результате заказчики часто бессознательно склонялись в пользу традиционной технологии очистки сточных вод, игнорируя возможности и преимущества технологии МБР.

Поскольку специалисты компании «ЭКОТОН» имеют опыт внедрения и эксплуатации как одной, так и другой технологии, и знакомы с плюсами и минусами каждой из них, надеемся, данная статья даст объективную оценку и сделает процесс выбора комплекса очистных сооружений более прозрачным.

Традиционная технология, применяемая на большинстве отечественных городских очистных сооружений,

предусматривает механическую очистку на решётках и в песколовках, первичное отстаивание, биологическую очистку в аэротенках микроорганизмами активного ила с последующим разделением иловой смеси отстаиванием, доочистку и обеззараживание.



Рис. 1. Отличие традиционных сооружений от МБР

Рис. 2. Модульные очистные сооружения в Ленинградской обл.



Рис. 3. Модульные очистные сооружения в Ленинградской обл.

Альтернативная технология глубокой биологической очистки с разделением иловой смеси в мембранном модуле (МБР) позволяет исключить этап вторичного, а часто и первичного, отстаивания, и обеспечивает достаточное качество очистки от взвешенных веществ без стадии доочистки. Также использование технологии МБР позволяет повысить

дозу активного ила с 3–4 г/л (для традиционных биореакторов) до 8–12 г/л и, таким образом, появляется возможность культивировать большую массу активного ила в единице объема биореактора.

Выведение ряда сооружений из состава очистных сооружений, возможность сокращения объема емкостей биологической





Рис. 4. Очистные сооружения в Белгородской обл.

очистки и компактная расстановка оборудования в установке МБР сокращает площадь, занимаемую непосредственно очистными сооружениями, на 20–50%.

Биологический реактор является наиболее чувствительным к влиянию внешних факторов процессом, нуждающимся в постоянном контроле технологов. На протекание процесса биологической очистки влияют качество и количество поступающих сточных вод, количество растворённого кислорода в иловой смеси и т.п. Эти и другие изменения работы системы являются основной причиной интенсивного развития нитчатых бактерий и других микроорганизмов, которые вызывают «вспухание» активного ила. На очистных сооружениях с традиционной схемой очистки и вторичным отстаиванием это порождает серьёзную проблему и приводит к выносу ила с очищенными стоками и некачественной очистке. В мембранных биореакторах частички даже вспухшего ила в несколько раз больше размера фильтровальных пор, поэтому выноса ила из биореактора с очищенной водой не происходит.

Решение основной проблемы обслуживания наиболее сложного участка — этапа биологической очистки, и автоматизация всех основных процессов позволяют существенно упростить работу обслуживающего очистные сооружения персонала. В принципе, небольшие очистные сооружения на базе МБР может обслуживать один человек, проводя ежедневные технологические операции.

Использование в МБР ультрафильтрационных мембран с размером пор 0,01–0,05 микрон для разделения иловой смеси обеспечивает полное удаление взвешенных веществ (достижение концентраций порядка

1 мг/л). Кроме того, мембраны не пропускают некоторые макромолекулярные метаболиты, предотвращая тем самым их разрушение, благодаря чему достигается меньшая величина ХПК в очищенной воде, чем при использовании классического активного ила.

Также на мембранах задерживаются такие патогенные микроорганизмы как яйца гельминтов, бактерии и даже вирусы (эффективность удаления бактерий и вирусов достигает 99,99%). Двухступенчатое обеззараживание ультрафильтрацией на мембранах и затем ультрафиолетом, позволяет использовать очищенную сточную воду в не питьевых целях, в частности для полива газонов или мойки автотранспорта.

Повышение возраста активного ила с 7–12 суток (для традиционных биореакторов) до 15–20 открывает возможности накопить медленно растущие виды микроорганизмов, необходимые для окисления биорезистентных соединений и протекания процессов нитрификации. Кроме того, после МБР осадок имеет меньшую влажность (99% против 99,3–99,5% после вторичного отстойника), а это значит, что при отведении одной и той же массы ила (по сухому веществу), объём отводимого ила из МБР будет на 40–60% меньше.

Энергозатраты на обеспечение процесса очистки в МБР несколько выше, чем на очистных сооружениях с традиционной технологией. Это связано с необходимостью обеспечить достаточную аэрацию высококонцентрированной иловой смеси в биореакторе и аэрацию самих мембран для удаления отложений с их поверхности.

Дополнительные затраты также вызваны необходимостью очистки мембран от отложений с помощью слабо концентрированных растворов кислот и щелочей.

Несмотря на огромное количество аргументов в пользу технологии МБР, мембранные методы очистки сточных вод не вытесняют полностью традиционные технологии, они занимают свою нишу в области сооружений малой и средней производительности, в особенности, при

**Рис. 5. Очистные сооружения в Белгородской обл.**



Интенсификация процесса биологической очистки и выведение из технологической схемы вторичного отстаивания, а также этапа доочистки сокращает площадь очистных сооружений в 1,5–2 раза.

наличии дополнительных требований к качеству очистки или к компактности сооружений и сокращению санитарно-защитной зоны.

За 19 лет работы компания успешно внедрила более 1000 проектов на коммунальных и промышленных предприятиях, осуществляющих очистку сточных вод. Работа с технологией МБР ведется с 2006 г. Запроектированы и запущены очистные сооружения производительностью 100 м<sup>3</sup>/сут. в Ленинградской области, на территории собственного производства компании «ЭКОТОН» установлены очистные сооружения сточных вод производительностью до 10 м<sup>3</sup>/сут. Проведены монтаж и запуск в эксплуатацию очистных сооружений на базе МБР производительностью 150 м<sup>3</sup>/сут. для коттеджного посёлка в Белгородской области и проектирование восьми сооружений на базе МБР производительностью от 700 до 35000 м<sup>3</sup>/сут.

Доказанные практикой результаты эксплуатации позволяют развеять сомнения в целесообразности применения технологии МБР в России и доказывают эффективность её работы даже в сложных условиях.

## Выводы

- Технология биологической очистки сточных вод с разделением иловой смеси в мембранном блоке позволяет интенсифицировать процесс очистки взвешенной концентрированной микрофлорой (80% эффекта очистки) и обеспечить дополнительный эффект за счет ультрафильтрации на мембранах (20% эффекта очистки).
- Интенсификация процесса биологической очистки и выведение из технологической схемы вторичного отстаивания, а также этапа доочистки сокращает площадь очистных сооружений в 1,5–2 раза.
- Отделение очищенной воды фильтрованием на мембранах вместо отстаивания решает проблему «вспухания» активного ила, и вызванного этим выноса взвешенных веществ, содержащих в своем составе органику, азот и фосфор, а также проблему вымывания активного ила. Таким образом, уменьшается зависимость системы от влияния внешних факторов.
- Размер пор ультрафильтрационных мембран обеспечивает 100% удаление взвешенных веществ и других загрязнений размером более 0,01–0,05 микрон, а также обеспечивает практически полное обеззараживание сточных вод за счёт удаления бактерий и вирусов.
- Автоматизация основных технологических процессов МБР существенно упрощает эксплуатацию очистных сооружений. Возможна также диспетчеризация и удаленное управление системой.
- Основным ограничением использования мембранных технологий являются несколько более высокие эксплуатационные затраты. ●

# Блок удаления биогенных элементов Люберецких очистных сооружений г. Москвы – этапы внедрения современных технологий

Данилович Д.А.,  
зам. исполнительного директора РАВВ,  
ЭКСПЕРТ-ДИРЕКТОР ЖУРНАЛА «НДТ»

Рис. 1.

Общий вид Люберецких очистных сооружений (ЛОС)

Слева – старый блок, 1500 тыс. м<sup>3</sup>/сут.,

справа сверху – 1-й блок Ново-Люберецких очистных сооружений (НЛОС-1), 1000 тыс. м<sup>3</sup>/сут.,

справа посередине – 2-й блок Ново-Люберецких очистных сооружений (НЛОС-2), 500 тыс. м<sup>3</sup>/сут.,

справа внизу – блок удаления биогенных элементов (УБЭ), 500 тыс. м<sup>3</sup>/сут.

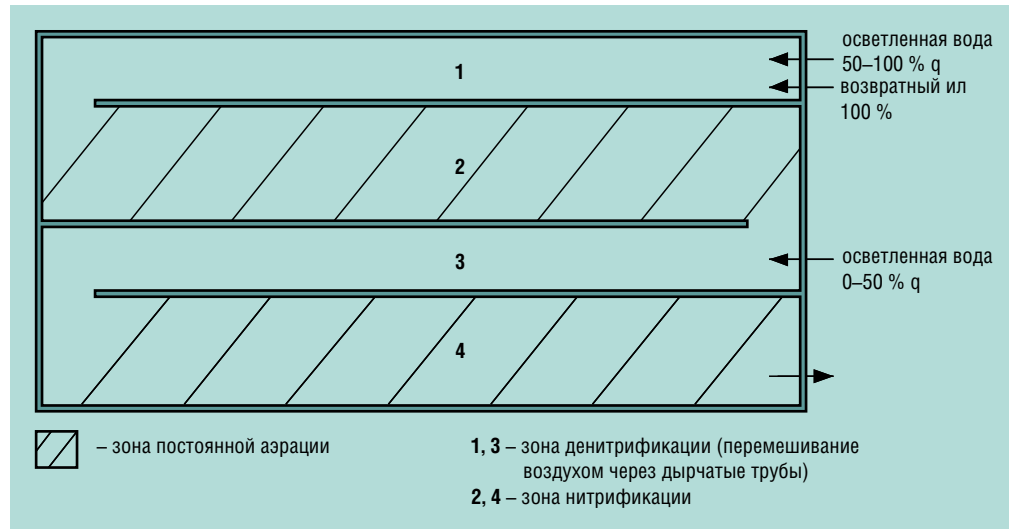
Основы и подробности процессов биологического удаления азота и фосфора подробно рассмотрены на страницах нашего издания<sup>1</sup>. В данной статье подробно описан опыт поэтапного внедрения и многолетней апробации современных технологий на крупнейших в стране очистных сооружениях.

## История создания блока УДАЛЕНИЯ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Люберецкие очистные сооружения (ЛОС) ОАО «Мосводоканал» – вторые по производительности (500 тыс. м<sup>3</sup>/сут.) в Европе (после парижской станции Acher). Их развитие продолжалось с 60-х годов прошлого века вслед за ростом Москвы.



<sup>1</sup> См., например, Харькина О.В. Реализация технологий



**Рис. 2.**  
**Компоновка**  
**АЭРОТЕНКА НЛОС-2.**

В 1997 г. было завершено экстенсивное наращивание мощностей станции: введен в эксплуатацию блок Ново-Люберецких очистных сооружений (НЛОС-2). На тот момент он был крупнейшим сооружением, рассчитанным на удаление азота (и, наверное, единственным крупным сооружением, запроектированным для этой цели еще в советский период). Проект предусматривал двухстадийную предвключенную нитри-денитрификацию. Особенностью этой схемы (рис. 2) является подача сточной жидкости в две последовательно расположенные ступени денитрификации, после которых расположены две зоны нитрификации. В основу проекта была положена разработка лаборатории очистки сточных вод института «МосводоканалНИИпроект», выполненная под руководством Б.А. Ганина. Данная технология обладает рядом весьма существенных преимуществ:

- наличие второй зоны денитрификации, расположенной после зоны нитрификации, позволяет сократить потребность в рециркуляции нитратов. В проекте НЛОС-2 это позволило отказаться от внутреннего рецикла денитрификации, обеспечив необходимое поступление нитратов только за счет рецикла возвратного ила;
- ступенчатая подача сточной воды в денитрификаторы (по 50 %) позволяет поддерживать в сооружениях весьма высокую дозу ила за счет того, что в половине объема сооружения весь поток возвратного ила смешивается лишь с половиной расхода сточной воды;
- технология может быть с минимальными переделками реализована при реконструкции очень распространенных в России четырехкоридорных аэротенков.

**Таблица 1.**  
**Результаты эксплуатации**  
**блока нитри-**  
**денитрификации НЛОС-2**  
**(среднегодовые значения**  
**за 2007–2009 гг., мг/л)**

Проектное среднее время пребывания сточных вод в аэротенке составляет 11,6 ч, во вторичных отстойниках (радиальных, диаметром 54 м) – 3,2 ч. Ввиду отсутствия на момент проектирования (конец 80-х годов) возможности комплектации денитрификаторов перемешивающим оборудованием проектом было предусмотрено перемешивание воздухом через дырчатые трубы.

В течение более чем 10 лет после проведения пуско-наладочных работ блок обеспечивает удаление всех соединений азота до величин, близких к ПДК рыбохозяйственных водоемов (табл. 1).

Параметры загрязненности	Поступающая сточная вода	Очищенная вода
Взвешенные вещества	223–241	5,7–6,1
БПК <sub>5</sub>	138–155	2,0–2,4
Азот общий	34–37	14–16
Азот аммонийный	27,3–30,5	0,7–1,0
Азот нитритов	–	0,03–0,06
Азот нитратов	–	11,2–12,8
Фосфор общий	5,8–6,6	2,6–3,1
Фосфор фосфатов	2,9–3,4	2,1

Впоследствии опыт реализации данного проекта был применен в городах Санкт-Петербург, Набережные Челны, Бузулук и др. и послужил основой для дальнейшего совершенствования этой технологии<sup>2</sup>.

Финальным этапом строительства ЛОС должен был явиться цех доочистки на зернистых фильтрах на полную производительность станции. В соответствии с Генеральной схемой развития канализации Москвы городским бюджетом были запланированы необходимые средства. Однако к этому моменту на основании весьма неудачного опыта эксплуатации в 80 – 90-х годах аналогичного цеха доочистки на другой крупнейшей московской станции аэрации – Курьяновской (ни производительность этого цеха, ни эффективность очистки от взвешенных веществ не соответствовали проекту) было общепризнано, что такое решение не обеспечит ожидаемого эффекта. В этой ситуации получило поддержку предложение института «МосводоканалНИИпроект» (Б.А. Вайсфельд, Ю.Ф. Эль, О.Н.Исаев) достичь снижения сброса взвешенных веществ и БПК не за счет сооружений доочистки, а путем разгрузки аэротенков и вторичных отстойников других блоков ЛОС (кроме НЛОС-2, обладающего большой емкостью аэротенков и площадью вторичных отстойников). С этой целью вместо фильтров доочистки было решено построить дополнительный блок биологической очистки, достигнув аналогичного эффекта более надежным путем. С современных экологических позиций такое решение имеет подтверждение, т.к. приоритет удаления азота и фосфора перед доочисткой от органических загрязнений лежит в основе современной водной экологической политики развитых стран.

<sup>2</sup> Воронов Ю.В. и др., 2000 г, Мешенгиссер и др., 2005 г.

В результате принятого решения после завершения строительства основных сооружений НЛОС-2 в 1994 г. МГУП «Мосводоканал» (заказчик строительства), не дожидаясь его запуска, начал строительство блока биологической очистки, аналогичного НЛОС-2, но без собственных сооружений механической очистки, с подачей осветленной сточной воды от других блоков ЛОС. Строительство велось без утвержденного проекта, с использованием немного измененной документации НЛОС-2.

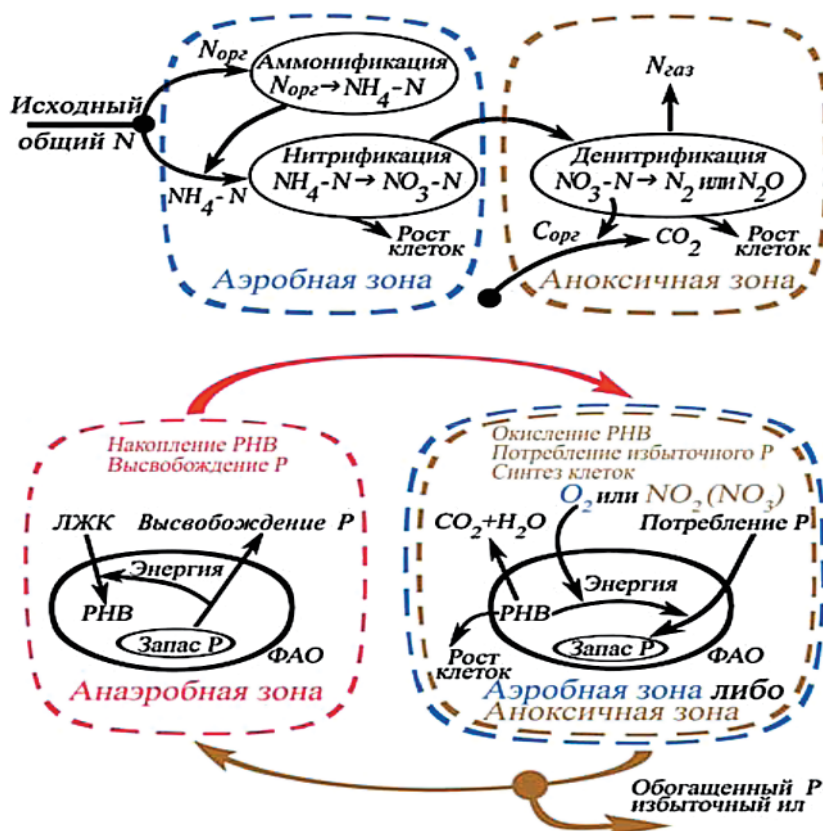
Однако использованные на НЛОС-2 решения уже в середине 90-х не могли рассматриваться как достаточные по следующим причинам:

- перемешивание денитрификаторов воздухом не обеспечивает оптимальной эффективности процесса и требует увеличенного времени пребывания по сравнению с перемешиванием мешалками, а также повышенного расхода электроэнергии;
- технология в принципе не предназначена для глубокого удаления фосфора.

### ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА И КОМПОНОВКА БЛОКА БИОЛОГИЧЕСКОГО УДАЛЕНИЯ ФОСФОРА

Направление удаления фосфора в МГУП «Мосводоканал» начали осваивать в 1994 г. с химического осаждения на опытной линии производительностью 40 тыс. м<sup>3</sup>/сут. (в сотрудничестве с «КовиКонсалт», Дания). С учетом масштаба потенциальной потребности в реагентах для Люберецких и Курьяновских сооружений, в 1995–1996 г. было принято решение ориентироваться на биологическое удаление фосфора как базовый метод, без использования реагентного осаждения. Процесс биологического удаления фосфора (рис. 3) происходит в результате так называемого «жадного поглощения» его клетками фосфатаккумулялирующих организмов (ФАО), использующих фосфорные соединения для аккумуляции значительной энергии, необходимой для их весьма причудливого метаболизма.

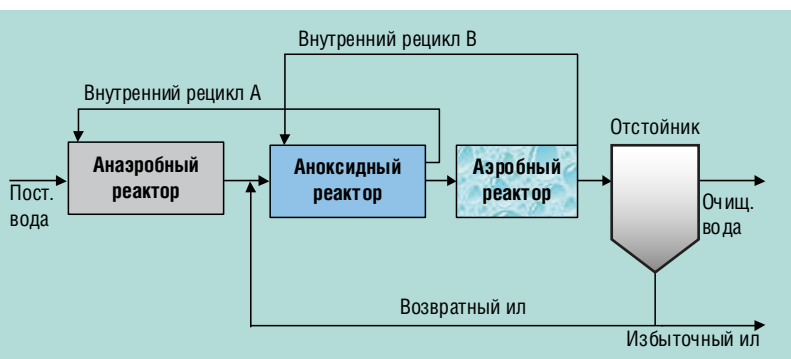
Рис. 3. Процесс биологического удаления фосфора



В 1995 г. техническая политика в отношении нового разгрузочного блока ЛОС была резко изменена, строительство разгрузочного блока было остановлено. В 1997 г. специалистами МГУП «Мосводоканал» была разработана новая технологическая схема и компоновка разгрузочного блока, который впоследствии получил название Блок удаления биогенных элементов (УБЭ) ЛОС. На основе переданных технических решений институтом «МосводоканалНИИпроект» был разработан проект блока.

В основе технологии очистки сточных вод, использованной на новом блоке, лежит известный УСТ-процесс (процесс Кейптаунского университета, см. рис. 4), отличительной особенностью которого является проведение предварительной денитрификации иловой смеси, подаваемой в анаэробную зону биореактора.

**Рис. 4.**  
**ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА**  
**блока УБЭ ЛОС**



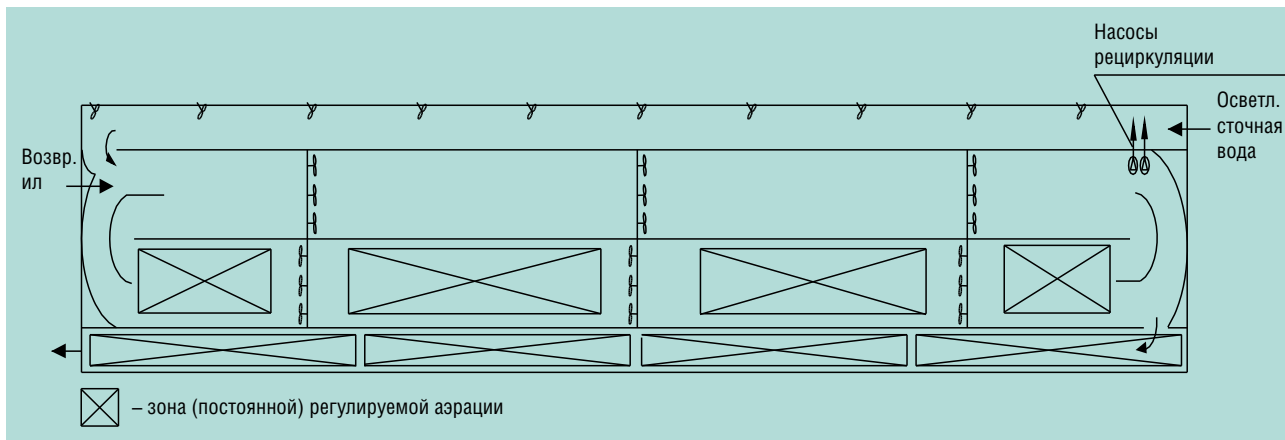
Компоновка УБЭ ЛОС показана на рис. 5. Подача осветленных вод осуществляется в начало первого коридора (анаэробная зона), где происходят процессы высвобождения фосфатов из клеток фосфатаккумулирующих микроорганизмов и поглощения ими легкодоступных органических веществ. Обязательное условие этого процесса – отсутствие окислителей, как растворенного кислорода, так и нитратов. Из первого коридора иловая смесь поступает во второй и третий коридоры с аноксидными и аэробными зонами. В начало 2-го коридора подается возвратный активный ил. В этих коридорах происходят процессы нитри-денитрификации и частичное окисление органических веществ, накопленных фосфатаккумулирующими микроорганизмами. Циркулирующая иловая смесь (так называемый «кейптаунский» рецикл) подается погружными насосами из конца вто-

рого коридора после прохождения процесса денитрификации. В четвертом коридоре (аэробная зона) проходят процессы нитрификации и доокисление органических соединений, накопленных фосфатаккумулирующими организмами с потреблением ими фосфатов, находящихся в иловой смеси.

Внутренний рецикл денитрификации организован с использованием «карусельного» принципа. С помощью мешалок, ориентированных по оси потока, во 2-м и 3-м коридорах биореактора осуществляется непрерывное движение иловой смеси через аэробные и аноксидные зоны со скоростью 0,25–0,3 м/с.

Компоновка блока (рис. 5) разрабатывалась с учетом уже выполненных на тот момент строительно-монтажных работ (рис. 6), что предопределило конфигурацию аэротенков и расположение перегородок в них. Данные по основным сооружениям блока УБЭ представлены в табл. 2.





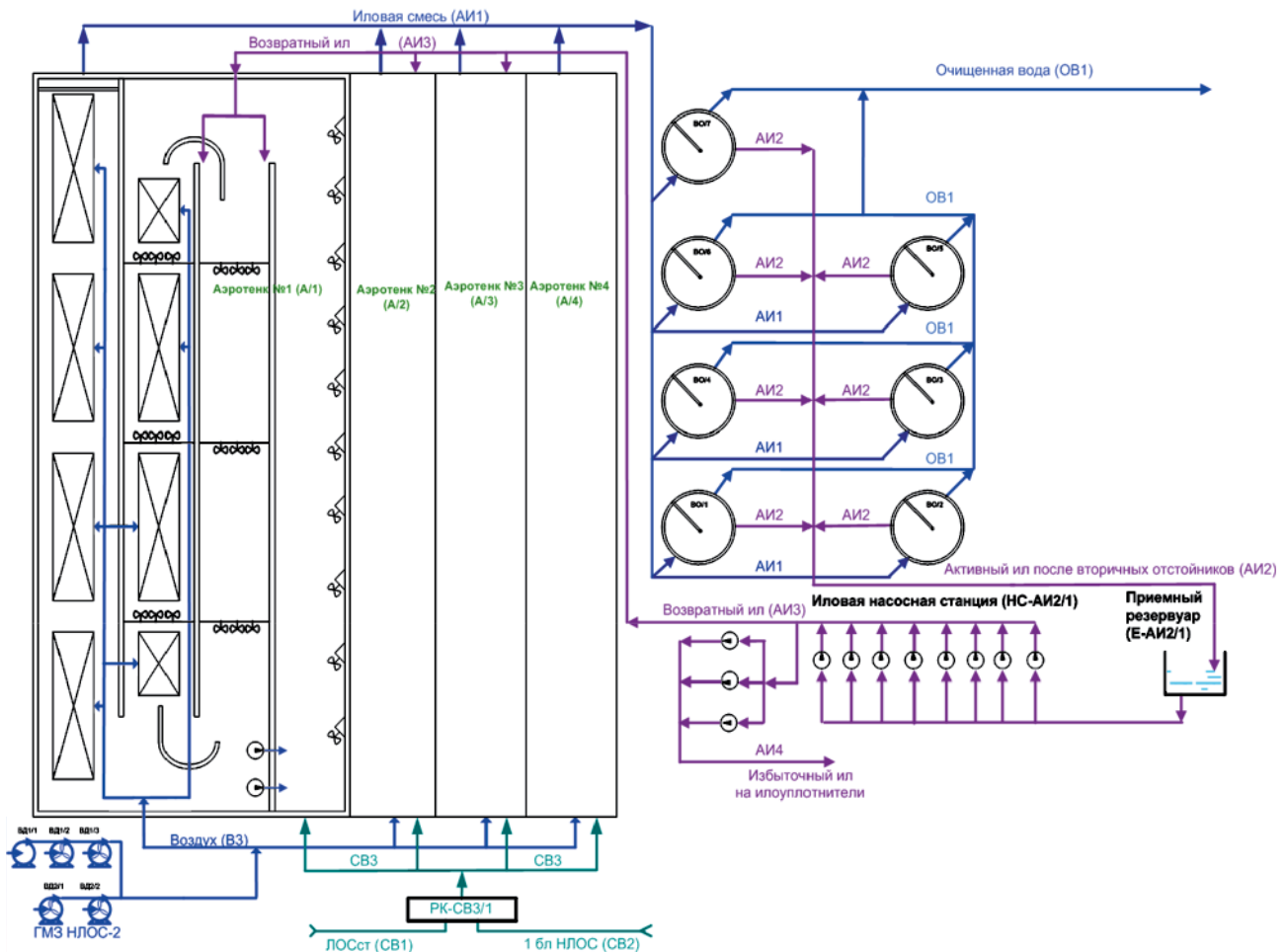
**Таблица 2.**  
**Данные по основным сооружениям блока УБЗ**

<b>Аэротенки</b>	Количество аэротенков 4 ед. Количество коридоров 4 ед. Ширина коридоров 2 по 6 и по 12 м Гидравлическая глубина 6 м Длина коридора 294 м Объем аэротенков 252 тыс. м <sup>3</sup> Время пребывания СВ 12 ч.
<b>Вторичные отстойники</b>	Количество 7 ед. Диаметр 54 м Гидравлическая глубина 5,7 м Глубина зоны отстаивания 5,0 м Среднесуточная гидравлическая нагрузка на зеркало 1,3 м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> в час

**Рис. 5.**  
**Компоновка блока УБЗ ЛОС**

**Рис. 6.**  
**Вид на блок УБЗ и сооружения ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ НЛОС в период пуско-наладочных работ**





**Рис. 7.**  
**ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ**  
**СХЕМА БЛОКА УБЭ**

Для контроля технологического процесса очистки воды в каждом аэротенке установлены датчики окислительно-восстановительного потенциала, анализаторы аммонийного азота, нитратов, взвешенных веществ, концентрации растворенного кислорода (КРК). Впервые в России на блоке УБЭ использовано автоматическое регулирование подачи воздуха в аэротенки. Для этого были предусмотрены регулируемые (с направляющими лопатками) воздуходувки, управляемые в зависимости от давления в воздуховоде и регулирующие задвижки, управляемые от датчиков концентрации растворенного кислорода (рис. 7).

Первый конкурс на приобретение оборудования для блока был проведен в 1998 г. (примерно за месяц до экономического кризиса в стране). В результате последовавшей приостановки строительства и срыва выполнения контрактов в 2004 г. Правительством Москвы был проведен повторный конкурс, контракты по которому были выполнены в срок, что позволило ввести блок в эксплуатацию в августе 2006 г.

Основное оборудование, приобретенное по контрактам, приведено в табл. 3.

**ТАБЛИЦА 3.**  
**ОСНОВНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ БЛОКА УБЭ**

№	Наименование оборудования	Назначение	Производитель
1	Аэрационная система AQUASTRIP с пластинчатыми мембранными аэраторами	Подача воздуха в аэробные зоны	Aqua consult, Австрия
2	Воздуходувки с системой регулирования производительности	Подача воздуха в аэробные зоны	HAFI, Австрия (производители: воздуходувка – Aerzen, Австрия, электрооборудование и АСУ Zigelsky, Польша)
3	Мешалки погружные высокооборотные	Перемешивание анаэробной зоны	KSB, Германия
4	Мешалки погружные низкооборотные	Создание кругового потока во 2-м и 3-м коридорах	KSB, Германия
5	Насосы рециркуляционные		KSB, Германия
6	Эксцентриково-шнековые насосы с регулируемой подачей	Отведение избыточного активного ила	Seerex, Seeberger GmbH + Co, Германия
7	Электрифицированные задвижки для воздухопроводов	Регулирование расхода воздуха	ISORIA, Германия
8	Многопараметрические стационарные и переносные анализаторы (аммония, фосфатов и нитратов)	Контроль качества на выходе	WTW, Германия
9	Стационарные анализаторы нитратов	Контроль содержания нитратов в конце аноксидных зон	WTW, Германия
10	Кислородомеры (стационарные и переносные) и приборы измерения окислительно-восстановительного потенциала и pH	Контроль в аэробных и анаэробных зонах	Стационарные приборы – ENDRESS+HAUSER, Германия, Переносные – WTW, Германия
11	Приборы измерения концентрации взвешенных веществ (стационарные и переносные)	Контроль дозы ила	ENDRESS+HAUSER, Германия
12	Автоматические пробоотборники (стационарные и переносные)	Отбор проб поступающей и очищенной воды для анализа в ХБЛ	American Sigma, США
13	Расходомеры воздуха	Измерение расхода воздуха, подаваемого в аэротенки	ENDRESS+HAUSER, Германия



**Рис. 8.**  
**Аэротенки блока УБЗ**

**Рис. 9.**  
**Вторичные отстойники**  
**блока УБЗ**

На рис. (рис. 8–9) видны конструктивные детали блока, теперь уже типичные для подобных сооружений:

- направляющие потока иловой смеси в «карусели», позволяющие сократить энергозатраты на перемешивание;
- мосты, перпендикулярные коридорам, на которых установлены «карусельные» мешалки (12 шт. на коридор шириной 12 м и длиной 297 м);
- воздуховоды из нержавеющей стали;
- ограждения из оцинкованной стали.



Вторичные отстойники – стандартные для современных блоков очистных сооружений Москвы, диаметром 54 м, с илоскребами. Существенный момент: в связи с невысокой нагрузкой на поверхность отстойников, они оснащены не двумя, а одним водосливом. Илоскребы для столь крупных отстойников нельзя признать оптимальным решением, скорее оно отражает дань традициям и отсутствие на тот период конструкций илососов для сооружений такого масштаба.

Весьма неудачным решением, вынужденно обусловленным объемом строительно-монтажных работ, выполненных к моменту перепроектирования блока, явилось размещение анаэробных зон в узких и длинных коридорах-вытеснителях. При ширине коридора 6 м одна мешалка способна перемешивать не более 15 м его длины, что требовало установки 20 мешалок на коридор и 80 – на все 4 аэротенка блока.

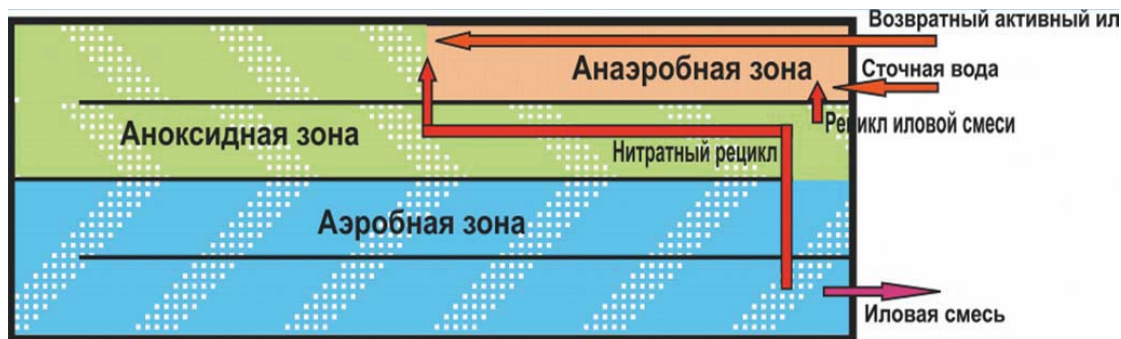
### РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ СООРУЖЕНИЙ БИОЛОГИЧЕСКОГО УДАЛЕНИЯ АЗОТА И ФОСФОРА

За годы, прошедшие от разработки технических решений по блоку (1997 г.) до его запуска, сотрудники «Мосводоканала» получили большой опыт создания, наладки и эксплуатации сооружений биологического удаления азота и фосфора, как своими силами, так и в сотрудничестве с немецкими и датскими специалистами (см. табл. 4). Большая часть этого уникального опыта была получена на опытном комплексе на Люберецких очистных сооружениях, состоящем после проведенной в 1998 г. реконструкции из трех параллельных самостоятельных линий биологической очистки. Данный комплекс действует и по настоящее время, позволяя отрабатывать путем переключения запорных устройств различные технологии азота и фосфора.

Таблица 4.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ СООРУЖЕНИЙ БИОЛОГИЧЕСКОГО УДАЛЕНИЯ АЗОТА И ФОСФОРА НА МГУП «Мосводоканал» (1998–2003 гг.)

Наименование объекта, производительность	Название технологической схемы	Разработчик проекта	Год реализации	Результат очистки
Опытная линия 2 ЛОС (на базе аэротенка № 14), 70 тыс. м <sup>3</sup> /сутки	Технология удаления азота с предвключенной денитрификацией	МГУП «Мосводоканал»	1998	Все соединения азота – ПДКр/х
Аэротенк № 3 КОС, 50 тыс. м <sup>3</sup> /сутки	Биологическое удаление азота и фосфора (IR-технология)	COWIconsalt (Дания)	1999	Все соединения азота – ПДКр/х Фосфор – свыше 1 мг/л
Очистные сооружения Южного Бутова, 80 тыс. м <sup>3</sup> /сутки	Технология Bio-Balance® в аэротенках карусельного типа с реагентным осаждением фосфора	SHW (Германия)	1999	Все соединения азота – ПДКр/х Фосфор – 0,7 мг/л
Очистные сооружения г. Зеленограда, 130 тыс. м <sup>3</sup> /сутки	Технология Bio-Balance® в аэротенках карусельного типа с реагентным осаждением фосфора	SHW (Германия)	2000	Все соединения азота – ПДКр/х Фосфор – 0,7 мг/л
Опытная линия 3 ЛОС (на базе аэротенка № 15), 70 тыс. м <sup>3</sup> /сутки	Технология удаления азота и фосфора УСТ	МГУП «Мосводоканал»	2000	Все соединения азота – ПДКр/х Фосфор – менее 1 мг/л
Опытная линия 1 ЛОС (на базе аэротенка № 13), 70 тыс. м <sup>3</sup> /сутки	Технология Bio-Balance® с биологическим удалением фосфора	SHW (Германия)	2001	Все соединения азота – ПДКр/х Фосфор – около 2 мг/л
Опытная линия 3 ЛОС (на базе аэротенка № 13), 70 тыс. м <sup>3</sup> /сутки	Технология удаления азота и фосфора УСТ – «карусельная» схема	МГУП «Мосводоканал», повторная реконструкция после неудачного решения	2003	Все соединения азота – ПДКр/х Фосфор – менее 1 мг/л
Опытная линия 2 ЛОС (на базе аэротенка № 14), 70 тыс. м <sup>3</sup> /сутки	Технология удаления азота и фосфора УСТ – коридорная схема	МГУП «Мосводоканал», реконструкция после успешного окончания испытаний	2003	Все соединения азота – ПДКр/х Фосфор – менее 1 мг/л



**Рис. 10.**  
Реконструкция  
типового аэротенка  
для удаления  
азота и фосфора  
с коридорной  
компоновкой

Вкратце, полученный к 2006 г. опыт можно сформулировать следующим образом:

- на сточных водах Москвы возможно эффективное биологическое удаление азота и фосфора;
- популярная в Западной Европе технология  $A^2/O$ , в которой возвратный ил поступает непосредственно в анаэробную зону, в российских условиях (низкоконцентрированные сточные воды, низкое соотношение БПК к азоту и фосфору) не работают. Зарубежным специалистам на 4-х объектах так и не удалось добиться безреагентного удаления фосфора;
- технология УСТ, заложенная<sup>3</sup> в проект блока УБЭ, эффективна на сточных водах, характерных для российских городов;
- более устойчивой как по удалению фосфора, так и по нитрификации показала себя схема УСТ, реализованная в аэротенке с коридорами-вытеснителями, без использования «карусельного потока» (см. рис. 10–11);
- наиболее слабым звеном процесса является процесс денитрификации (самый простой и неприхотливый), что объясняется низким соотношением БПК/азот;
- для удаления фосфора желательны любые действия, приводящие к увеличению соотношения БПК/азот и обогащения сточной воды летучими жирными кислотами.

**Рис. 11.**  
Результаты удаления  
фосфора в аэротенке  
экспериментальной  
линии



<sup>3</sup> В тот период – только на основании анализа научно-технической литературы.

Пуско-наладочные работы на новом блоке проводились в 2006–2007 гг. Для понимания условий его работы важно учитывать, что на 9 лет его строительства пришлось значительные события, сказавшиеся на загрязненности сточных вод:

- водопотребление Москвы существенно снизилось (и продолжает снижаться до настоящего времени);
  - продолжился вывод промышленных предприятий из города.
- В результате уже к моменту запуска блока:

- концентрация аммонийного азота существенно возросла и даже по среднему значению на 10 % превысила расчетное максимальное проектное значение (25 мг/л), аналогично выросло содержание фосфатов;
- загрязненность сточной воды по БПК не увеличилась, в результате чего соотношение БПК к азоту и фосфору оказалось на 30 % ниже, чем проектное (фрагмент динамики соотношения БПК5/Р приведен на рис. 12).

Динамика показателей поступающей осветленной сточной воды приведена в табл. 5.

Из рис. 12 понятно, что существенная часть данных приходится на период, когда соотношение БПК5/Р<sub>общ</sub> было неудовлетворительным. Если не принимать дополнительных мер, то удаление фосфора будет также неудовлетворительным, с чем и столкнулись в ходе эксплуатации блока.

Анализ данных за 5 лет работы блока по окончании пуско-наладки (см. табл. 5 а, б) позволяет сделать следующие выводы по эффективности его работы:

- по 2-м из 5-ти проектных показателей (взвешенные вещества, БПК5) блок обеспечивает очистку существенно лучше, чем предусмотрено проектом. По азоту аммонийному и азоту нитратов практически всегда выполнялись проектные значения;
- эффективность очистки от фосфора фосфатов в разные периоды работы блока существенно различалась, однако в среднем за 5 лет работы блока удовлетворяет проектным показателям.

**Рис. 12.**  
Динамика соотношения БПК5/Р.  
Зеленая линия показывает соотношение, создающее оптимальные условия для удаления фосфора, пунктирная синяя – нижнюю границу приемлемого диапазона

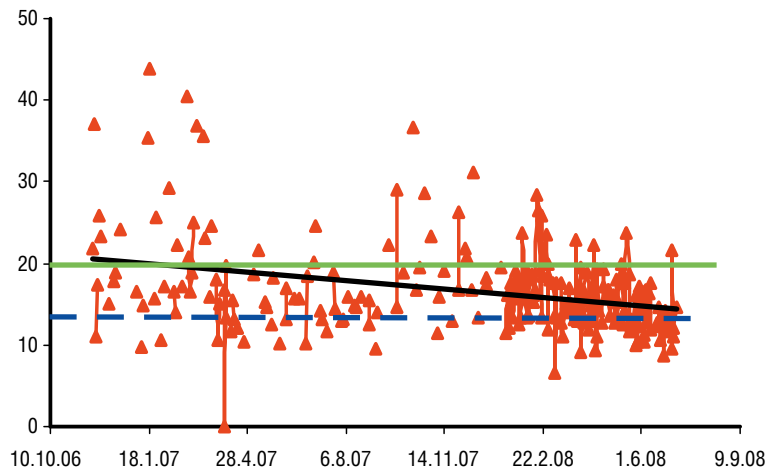


Таблица 5А.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ БЛОКА УДАЛЕНИЯ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

ЛЮБЕРЕЦКИХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ: ЗАГРЯЗНЕННОСТЬ ПОСТУПАЮЩЕЙ СТОЧНОЙ ВОДЫ, МГ/Л

Годы	Взв. в-ва	БПК-5	ХПК	N <sub>общ</sub> (по расчету)	N-NH <sub>4</sub>	P <sub>общ</sub>	P-PO <sub>4</sub>
Проектные показатели				30	25		3,3
2009	86	89	278	30,5	24,4	4,8	2,5
2010	108	119	325		28,7	5,5	3,0
2011	98	120	318	40,0	32,0	5,5	3,2
2012	113	128	323	41,8	33,4	5,5	3,5
2013	139	136	361	43,3	34,6	5,5	3,0
Среднее	109	118	321	38,3	30,6	5,4	3,0

Таблица 5Б.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ БЛОКА УДАЛЕНИЯ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

ЛЮБЕРЕЦКИХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ: ЗАГРЯЗНЕННОСТЬ ОЧИЩЕННОЙ СТОЧНОЙ ВОДЫ, МГ/Л

	Взв. в-ва	ХПК	БПК5	N <sub>общ</sub> (по расчету)	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>2</sub>	N-NO <sub>3</sub>	P <sub>общ</sub>	P-PO <sub>4</sub>
Проектные показатели	8	30	4,0	не норм.	1	0,02	9,1	не норм.	0,9
2009	5,2	31,9	1,5–2,2	8,2	0,53	0,03	7,1	1,0	0,8
2010	6,2	26,6		8,9	1,37	0,04	7,0	0,6	0,4
2011	6,2	27,9		10,0	1,13	0,05	8,3	1,6	1,2
2012	6,5	32,8		11,8	0,89	0,07	10,3	1,3	0,9
2013	6,4	34,4		9,9	0,90	0,21	8,3	1,2	0,8
Среднее	6,1	30,7	1,8	9,7	0,96	0,08	8,2	1,1	0,83
Эффект, %				0,75				0,78	

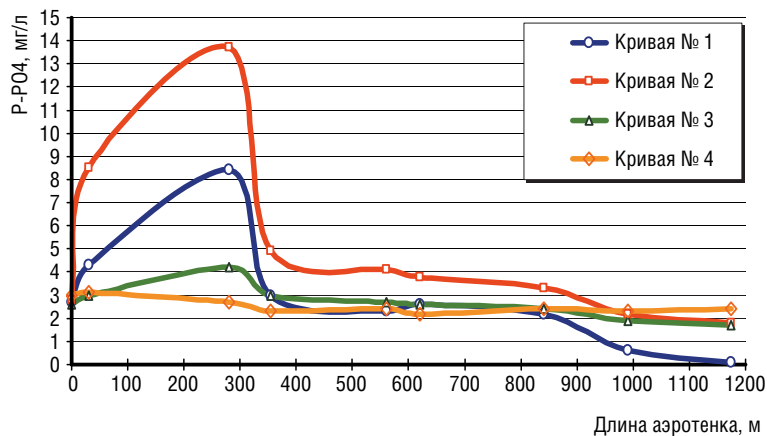
## ЭФФЕКТИВНОСТЬ БИОЛОГИЧЕСКОГО УДАЛЕНИЯ ФОСФОРА

Эффективность биологического удаления фосфора рассматривалась как основной критерий работы блока и целевой показатель проводимых технологических операций. В ходе всего описываемого периода работе блока уделялось большое внимание, без преувеличения, его можно считать самым изученным сооружением очистки сточных вод в стране.

Анализ профилей загрязнений по длине коридоров аэротенков и специальные тесты позволили сделать вывод о том, что практически во все периоды работы в блоке происходят процессы, характерные для биологической дефосфотации (высвобождение фосфатов в анаэробной зоне до 815 мг/л с последующим поглощением илом), однако не всегда они приводили к глубокому удалению фосфатов до проектного значения (рис. 13).



**Рис. 13.**  
**Типичные кинетические кривые выделения поглощения-фосфора для блока УБЭ.**  
**Кривая № 1 – благоприятные условия для процесса удаления фосфора;**  
**кривая № 2 – отсутствие необходимой глубины поглощения фосфатов в аэробной зоне (4-й коридор) несмотря на выраженную активность ФАО;**  
**кривая № 3 – малое количество ФАО в активном иле при концентрации  $N-NO_3=45$  мг/л в точке отбора «кейптаунского» рецикла иловой смеси в анаэробный коридор;**  
**кривая № 4 – отсутствие процесса удаления фосфора**

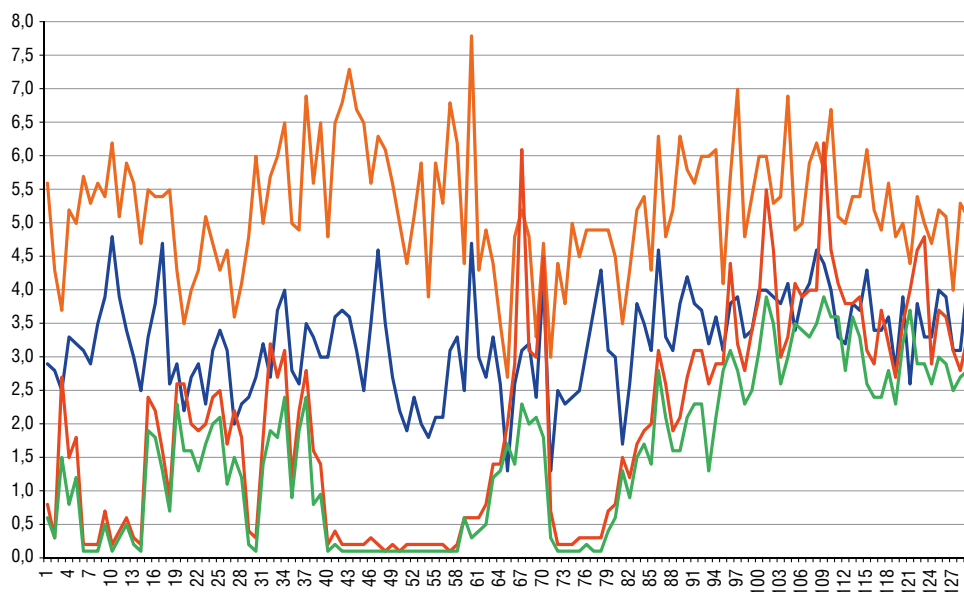


По результатам работы блока в этот период были сделан вывод, что «карусельная» компоновка 2–3 коридоров не является оптимальной для данного качества поступающей воды, приводит к повышенному забросу растворенного кислорода в зону денитрификации и недостаточной ее эффективности и, в результате, поступлению с «кейптаунским» рециклом повышенных концентраций нитратов в анаэробную зону. Проведенное в 2007–2008 гг. регулирование работы блока в основном сводилось к контролю концентрации растворенного кислорода в 3-м коридоре в пределах менее 1 мг/л и отклю-

чению части аэрационных решеток. Однако это приводило к снижению общей подачи воздуха на блок. В результате концентрации фосфатов на входе в 4-й коридор были чрезмерно высокими и не снижались к его концу.

В результате в 2008–2009 гг. биологическое удаление фосфора на блоке происходило неустойчиво. Примерно 2/3 времени удаление было ниже 1 мг/л, однако в периоды неудовлетворительного удаления фосфора картина выглядела, как показано на рис. 14 (в эти периоды эффект улучшенного биологического удаления фосфора практически отсутствовал).

**Рис. 14.**  
**Период неудовлетворительного удаления фосфора (2-е полугодие 2011 г.).**  
**По оси абсцисс указаны дни. Кривые общий фосфор и фосфор фосфатов: в поступающей воде и в очищенной воде**

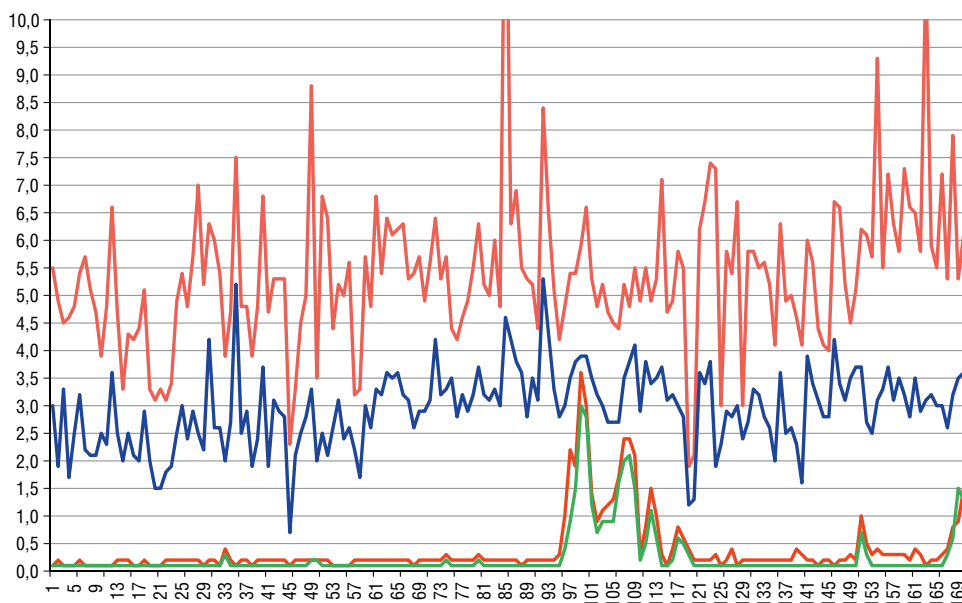


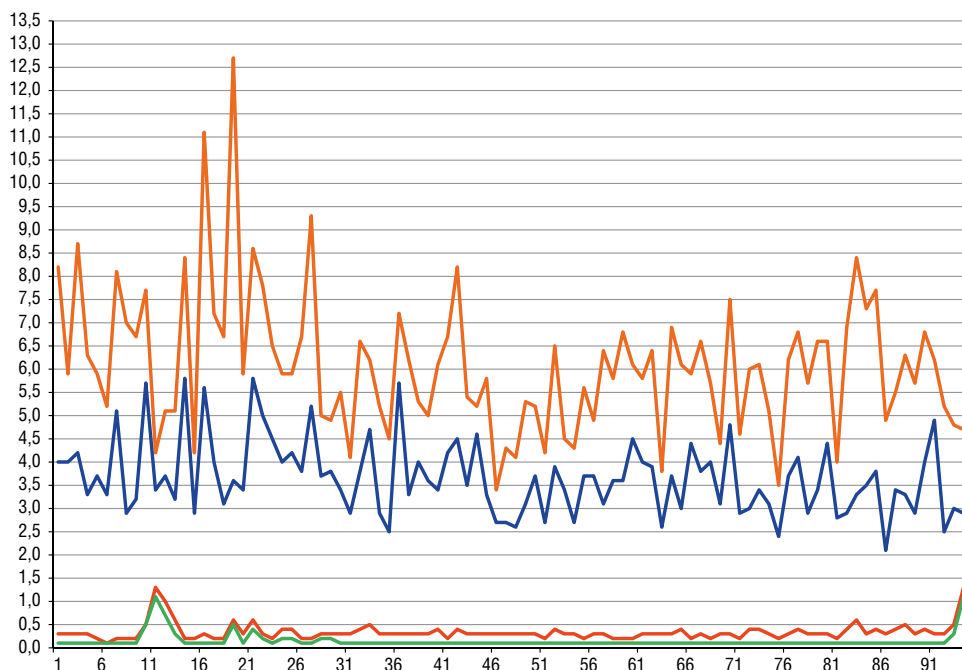
В условиях отсутствия возможности регулировать работу собственных первичных отстойников блока УБЭ (работает на осветленной воде с других блоков) были реализованы последовательно две попытки повышения содержания БПК в стоке. Первая заключалась в реализации технологии уплотнения и частичной ацидофикации осадка первичных отстойников на ЛОС, откуда на блок УБЭ поступает 60 % осветленной воды.

Благодаря переводу первичных отстойников в режим частичной ацидофикации ХПК подаваемой воды выросла на 1530 %. Одновременно было существенно повышено регулируемое верхнее значение концентрации растворенного кислорода (КРК) в 3-м коридоре и увеличен до максимума рецикл иловой смеси в анаэробную зону. Данные изменения привели к резкому и устойчивому падению концентрации фосфатов в очищенной воде практически до пределов обнаружения (рис. 15). Главной причиной этого, по мнению автора, является повышение КРК в 3-м коридоре, способствующее эффективной работе фосфат-аккумулирующих бактерий, в результате чего содержание фосфатов на входе в 4-й коридор (в нем происходило полное потребление фосфатов) сократилось с 35 до 12 мг/л. При этом возросшее количество кислорода, заносимое в зону денитрификации, потреблялось за счет достигнутого прироста ХПК входящей воды. В результате возросла глубина денитрификации.

Однако такой режим эксплуатации первичных отстойников приводил к увеличению прироста избыточного активного ила на всей станции и был экономически неэффективен. От него пришлось отказаться.

**Рис. 15.**  
**УДАЛЕНИЕ ФОСФОРА**  
**В РЕЖИМЕ ЧАСТИЧНОЙ**  
**АЦИДОФИКАЦИИ ОСАДКА**  
**ПЕРВИЧНЫХ ОТСТОЙНИКОВ**  
**НА ЛОС**  
**(МАРТ ОКТЯБРЬ 2010 Г.).**  
**КРИВЫЕ – ОБЩИЙ ФОСФОР**  
**И ФОСФОР ФОСФАТОВ:**  
**В ПОСТУПАЮЩЕЙ ВОДЕ**  
**И В ОЧИЩЕННОЙ ВОДЕ**





В 2012 г. Б.А. Ершовым<sup>4</sup> был предложен и опробован оригинальный способ<sup>5</sup>, заключающийся в отключении на больший период времени значительной части мешалок в анаэробном коридоре. Отключенные мешалки периодически менялись местами, что привело к максимальному эффекту улучшенного биологического удаления фосфора (рис. 16).

### АЭРАЦИОННАЯ СИСТЕМА

Отдельного внимания заслуживает не слишком удачный опыт применения самого современного на тот период оборудования для аэрации. На блоке были установлены:

- воздуходувки (2 ед.) марки ТС 52.800/690 производства фирмы HAFI (Австрия) с номинальной производительностью 800 м<sup>3</sup>/мин с автоматическим регулированием до номинала 40 % при сохранении постоянного давления нагнетания 0,69 бар. Регулирование расхода воздуха осуществляется за счет изменения угла наклона направляющих лопастей, расположенных во всасывающем коллекторе;
- воздуходувки (3 ед.) российского производства (г. Хабаровск) аналогичной производительности, не оснащенные системами регулирования расхода.

**Рис. 16.**  
УДАЛЕНИЕ ФОСФОРА  
В РЕЖИМЕ ЧАСТИЧНОГО  
ПЕРЕМЕШИВАНИЯ  
В АНАЭРОБНОЙ ЗОНЕ  
(НА ПРИМЕРЕ 3 кв. 2012 г.).  
КРИВЫЕ ОБЩИЙ ФОСФОР  
И ФОСФОР ФОСФАТОВ:  
В ПОСТУПАЮЩЕЙ ВОДЕ  
И В ОЧИЩЕННОЙ ВОДЕ

<sup>4</sup> В прошлом – главный технолог Люберецких очистных сооружений.

<sup>5</sup> Детально изучен и описан специалистами Инженерно-технологического Центра «Мосводоканала» (см. Козлов М.Н., Стрельцов С.А., Гаврилин А.М., Белов Н.А., Кевбрина М.В., Казакова Е.А., Мойжес С.И. Организация (оптимизация) работы анаэробной зоны аэротенков, работающих по технологии биологического удаления биогенных элементов. Материалы ВЕЙСТЕК-2013).

От датчиков кислорода (COM-253+COS-41, Endress+Hauser), которые установлены в 3-м и 4-м коридорах каждого аэротенка, осуществляется приоткрытие-призакрытие задвижек на воздуховодах, подающих воздух в эти коридоры. Датчики давления воздуха фиксируют его изменение, по их показанием контроллер производит регулирование производительности воздуходувок (при работе с агрегатами HAFI).

В течение 6 лет данная система прекрасно регулировала подачу, будучи хорошо управляемой и надежной. Для работы было достаточно только двух регулируемых воздуходувок. Когда одна из регулируемых машин вышла из строя в аварийной ситуации (разрушение направляющей лопатки), вторую пришлось также вывести из работы. Был сделан вывод о необходимости использовать регулируемые воздуходувки с двусторонним креплением лопаток. Сейчас блок работает на традиционных нерегулируемых воздуходувках.

Аэрационная система (см. табл. 6) также характеризовалась очень высокими заявленными показателями, в том числе по сроку службы.

**Таблица 6.**  
**АЭРАЦИОННАЯ СИСТЕМА (2006–2012 гг.)**

Марка аэратора	Aerostrip© T4,0EU-18 (Австрия)
Тип аэратора	Пластинчатый мембранный мелкопузырчатый
Количество аэраторов, ед.	Всего – 1392 (в т.ч. по 348 на 1 аэротенк, в 3-м коридоре, «карусель» – 218, в 4-м коридоре – 130)
Площадь поверхности, м <sup>2</sup> одного аэратора, всего	0,7 975
Материал аэрационной системы	Воздухопроводы и корпус аэратора – нержавеющая сталь. Мембрана – силиконовый полимер

Установленное по проекту оборудование проработало до 2012 г. К тому моменту аэрационная система, вопреки заверениям производителя о службе до 10 лет, существенно ухудшила свои параметры, включая деформацию мембран (см. рис. 17), однако работа блока в целом не ухудшилась.

В 2012 г. взамен аэраторов Аквастрип были установлены аэраторы AP-420 Т, в количестве, обеспечивающем выросшую потребность блока в кислороде (табл. 7).

**Таблица 7.**  
**АЭРАЦИОННАЯ СИСТЕМА, РАБОТАЮЩАЯ С 2012 г.**

Марка аэратора	AP-420 Т
Тип аэратора	Дисковый (тороидальный) мембранный мелкопузырчатый
Количество аэраторов, ед.	Всего – 13300 (по 3325 на 1 аэротенк)
Площадь поверхности, м <sup>2</sup> одного аэратора, всего	0,12 1596
Материал аэрационной системы	Воздухопроводы и корпус аэратора – полиэтилен. Мембрана – EPDM



**Рис. 17.**  
**ПРОЕКТНАЯ АЭРАЦИОННАЯ СИСТЕМА.**  
**НА РИСУНКЕ ВНИЗУ – ДЕФОРМАЦИЯ**  
**МЕМБРАНЫ**



## Выводы

Опыт эксплуатации блока УБЭ ЛОС показывает высокие возможности процесса биологического удаления фосфора, значительно более экономичного по сравнению с реагентным методом, так как исключает колоссальные затраты на реагенты и может быть даже эффективнее.

Полученный за годы исследований и эксплуатации блока УБЭ опыт позволяет сделать следующие выводы для сооружений биологической дефосфотации:

- Обязательны собственные первичные отстойники с небольшим (30–40 %) и регулируемым эффектом отстаивания.
- Весьма желательна ацидофикация осадка.
- На стоках с низким соотношением БПК/Р предпочтительна конфигурация коридорного аэротенка.
- Стабильное удаление Р до уровня ниже 1 мг/л требует использования реагентов.
- При проектировании следует учитывать вероятное изменение загрязненности сточных вод в ходе эксплуатации.
- Следует избегать насыщения сточных вод кислородом до попадания в анаэробную зону.
- Периодическое снижение возраста ила до 10 суток предотвращает срывы процесса дефосфотации, либо снижает их интенсивность.

Автор также хотел бы отметить также ряд моментов, которые выходят за рамки чисто технологических аспектов проблемы:

- Участие зарубежных специалистов в проекте по очистке сточных вод – не гарантия успеха проекта.
- Удаление фосфора в условиях российских стоков – ближе к искусству, чем к науке. Но это не значит, что оно невозможно, просто нужно этим искусством овладеть.
- Настойчивость и изобретательность при пуско-наладке и эксплуатации – залог успеха.
- Если в проект не заложен узел дозирования реагентов – их не придется расходовать!
- Биологическое удаление фосфора должно быть самостоятельным первым этапом внедрения. К использованию реагентов целесообразно переходить на следующем этапе. ●

**В ПРОЕКТИРОВАНИЕ, НАЛАДКУ, ЭКСПЛУАТАЦИЮ И ОПТИМИЗАЦИЮ БЛОКА УБЭ БОЛЬШОЙ ВКЛАД ВНЕСЛИ СОТРУДНИКИ (РАБОТАЮЩИЕ НЫНЕ И ТРУДИВШИЕСЯ В РАЗНЫЕ ГОДЫ) В ОАО «Мосводоканал» и ОАО «МосводоканалНИИПроект»:**

**Н.А. Белов, Ф.А. Дайнеко, Б.А. Ершов, С.В. Забровский, О.Н. Исаев, М.Н. Козлов, Д.И. Привин, С.А. Стрельцов, О.В. Харькина, К.В. Шотина, А.В. Эпов и другие.**

**В НАСТОЯЩЕЙ СТАТЬЕ ИСПОЛЬЗОВАНЫ КАК СОБСТВЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ АВТОРА, ТАК И ПУБЛИКАЦИИ УКАЗАННЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ.**

# ФИТО-СИСТЕМЫ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД: современное решение экологических проблем

Н.М. Щеголькова<sup>1</sup>,  
В.Диас<sup>2</sup>,  
Е.А. Криксунов<sup>3</sup>,  
К.Ю. Рыбка<sup>4</sup>

Обеспеченность малых поселений РФ высокоэффективными системами очистки бытовых стоков явно недостаточна. Данное обстоятельство во многом отражает особенности социально-исторического развития страны и является фактором, сдерживающим развитие территорий и решение насущных социальных и экологических проблем [1]. Острота проблемы существенно возрастает в периоды масштабной сезонной миграции населения из городов в пригороды, в коттеджные или дачные поселки, садоводческие товарищества и т.п. Стандартные подходы к решению этой проблемы – строительство очистных сооружений или прокладка коллекторов до существующих централизованных систем водоотведения, требуют существенных затрат. Существует ли возможность быстрого и кардинального решения проблемы, не столь затратного и не связанного, как это часто случается, с перегрузкой имеющихся коммуникационных сетей?



**Рис. 1.**  
**Примеры ФОС разных**  
**типов (Португалия,**  
**Польша, Германия)**

<sup>1</sup> Ведущий научный сотрудник, д-р биолог. наук, Лаборатория охраны вод, Институт водных проблем РАН, Москва, Россия, e-mail: nshegolkova@mail.ru, тел. +7 499 783-31-15.

<sup>2</sup> Независимый консультант, Португалия, e-mail: verissimo.dias@gmail.com.

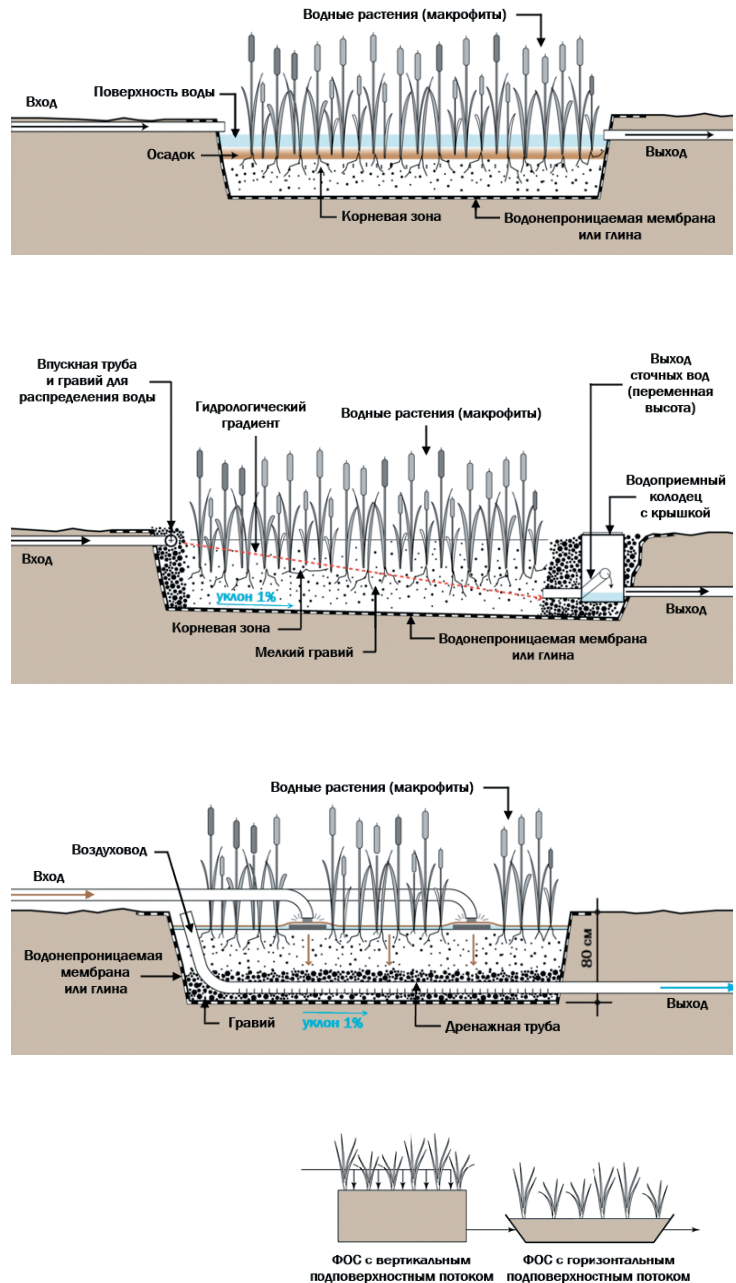
<sup>3</sup> Профессор, чл.-корр. РАН, биологический факультет, МГУ им. М.В. Ломоносова, e-mail: kriksunov@mail.ru, тел. +7 495 939-37-92, +7 495 939-27-25.

<sup>4</sup> Аспирант, Лаборатория охраны вод, Институт водных проблем РАН, Москва, Россия, e-mail: kseniarybka@gmail.com, тел. +7 499 783-31-15

С 70-х годов прошлого века в мире активно развивается очистка воды с применением *фито-очистных систем* ФОС (известных как «искусственные болота» – Constructed Wetlands, Treatment wetlands, или Reed bed systems). Отличительной особенностью ФОС является их подобие естественным водно-болотным объектам, которые, будучи дополнены рядом технических элементов и встроены в естественный ландшафт, способны эффективно выполнять роль водоочистных систем. ФОС – это искусственно созданные очистные сооружения со специфическим составом микроорганизмов, развивающихся в корневой зоне растений и на иных субстратах, находящихся в водной среде (рис. 1).

Наибольшее количество ФОС действуют в настоящее время на территории Германии и США (десятки тысяч). Тысячи ФОС построены в Австралии, сотни – в странах Северной Европы. Структурное многообразие ФОС достаточно велико и зависит не только от климатических условий местности, но и от качества очищаемых вод. Данные сооружения широко используются для очистки бытовых, ливневых, промышленных (в основном пищевой отрасли) стоков, а также стоков от животноводческих комплексов, шахтных вод, элюатов свалок ТБО и др. С каждым годом происходит увеличение доли ФОС среди очистных сооружений различного типа. ФОС официально признаны в числе наилучших доступных технологий в США, Германии, Франции и десятках других стран, внедряющих данные системы водоочистки. Начиная с 90-х годов 20 века, после широкого внедрения ФОС в системы очистки сточных вод в малых поселениях, качество вод в малых реках Европы заметно улучшилось.

По местоположению гидравлической проектной линии и направлению потока воды ФОС делятся на четыре основных типа: ФОС со свободной водной поверхностью; ФОС с горизонтальным подповерхностным потоком; ФОС с вертикальным подповерхностным потоком; комбинированные ФОС (рис. 2).



**Рис. 2.**  
**Основные типы ФОС.**  
 1— ФОС со свободной водной поверхностью;  
 2— ФОС с горизонтальным подповерхностным потоком;  
 3— ФОС с вертикальным подповерхностным потоком;  
 4— КОМБИНИРОВАННЫЕ ФОС

Функционирующие в мире фито-системы различаются не только по организации движения потока воды, но и по типу фильтрующего и загрузкиного материала (гравий, песок, почва, торф, комбинация названных материалов), по типу искусственного растительного сообщества (моно- или поликультура, местные виды или привезенные, плавающие или закрепленные растения).

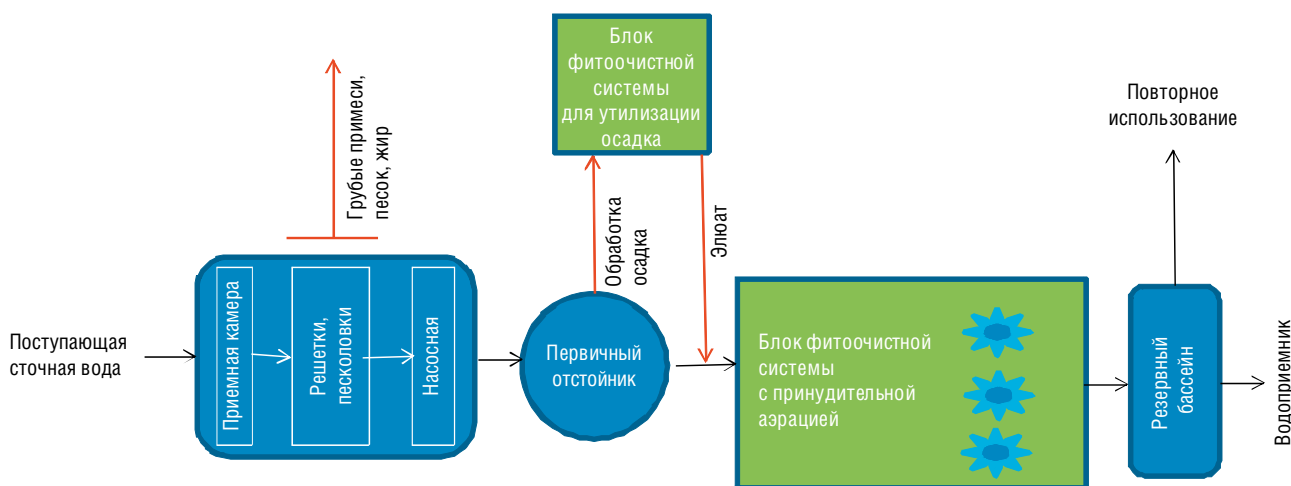
В Европе самыми распространенными являются подповерхностные ФОС. В последнее время получают распространение ФОС комбинированного типа, а также системы с применением инженерных узлов, обеспечивающих аэрацию, перенаправление потока, регулирование времени удержания стоков в отдельных блоках и т.п. Принудительная аэрация в ФОС появилась недавно, но успела зарекомендовать себя как очень результативный прием, повышающий эффективность очистки воды. Распространения в России эти системы не получили, в том числе, по причине отсутствия технических решений для адаптации к холодным зимам. В данной публикации обсудим особенности ФОС, наиболее подходящих для условий нашей страны.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ФОС

В качестве такого варианта рассмотрим ФОС с горизонтальным подповерхностным потоком, с принудительной аэрацией, ориентируясь на потребности очистки сточных вод поселка с населением 1,5–3,0 тыс. жителей.

Технологическая схема всего сооружения состоит из следующих блоков (рис. 3): 1) грубой механической очистки (который формируется в соответствии с качеством поступающей воды), 2) первичного отстойника, 3) блока ФОС для очистки воды, 4) блока ФОС для аккумуляции и переработки первичного осадка. В состав сооружений также могут входить камера усреднения перед сбросом, а также накопительные емкости для очищенной воды, направляемой на повторное использование.

**Рис. 3.**  
**ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ**  
**СХЕМА ОЧИСТНОГО**  
**СООРУЖЕНИЯ**  
**С БЛОКОМ ФОС**  
**ПОДПОВЕРХНОСТНОГО**  
**ПОТОКА С**  
**ПРИНУДИТЕЛЬНОЙ**  
**АЭРАЦИЕЙ**





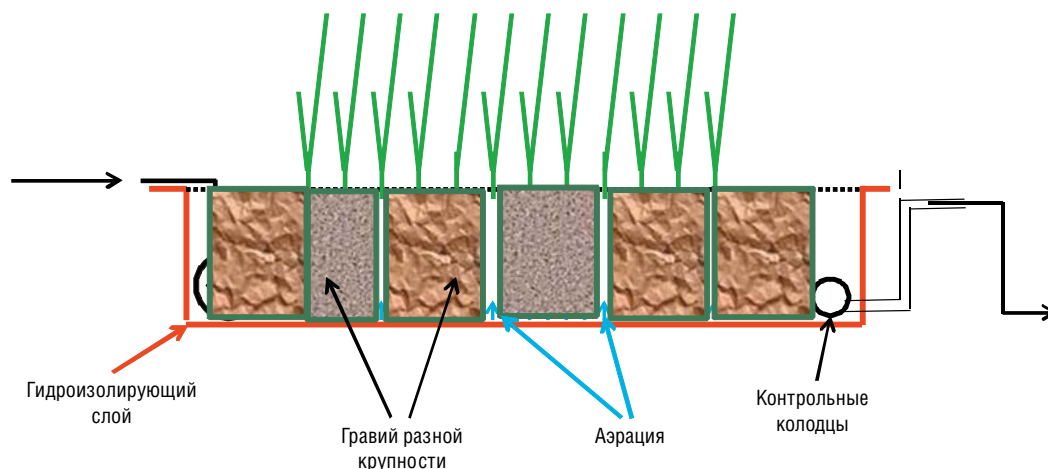


Рис. 4.  
СХЕМА ПОДЗЕМНОЙ ЧАСТИ СИСТЕМЫ

Подземная часть ФОС (рис. 4) размещается в широком котловане, глубиной до 1,5 м, который предварительно выстилается гидроизолирующим материалом и заполняется фильтрующим материалом (загрузкой) – гравием или песком, подобранным с определенным чередованием крупности (по блокам). Поток воды в бассейне ФОС распределяется по ширине сооружения по возможности равномерно. Чередование зон с разными фильтрационными характеристиками позволяет в пределах одной системы поддерживать микробиологические ценозы аэробного или анаэробного типа. Выходящий поток направляют в усреднительный резервуар, а затем – в водоприемник.

## ПРОЦЕССЫ ОЧИСТКИ ВОДЫ

**Органические соединения** разлагаются в ФОС (как в аэробных, так и в анаэробных условиях) бактериями, развивающимися на подземных/подводных органах растений и на поверхности минеральной загрузки. Кислород, необходимый для аэробного разложения, поступает непосредственно из атмосферы за счет диффузии из корней и корневищ растений и/или в результате работы аэрационных систем (в случае применения принудительной аэрации). Роль высших растений чрезвычайно велика. Их корни, корневища, стебли являются своеобразной матрицей, формирующей аэробные и анаэробные зоны, чередующиеся в пределах очень небольших участков. Благодаря поступлению кислорода вблизи корневищ создаются микро-аэробные зоны, которые «опоясываются» анаэробными зонами. Таким образом, каждый корень формирует своеобразное сообщество бактерий, подпитывая его кислородом, ферментами и биодоступным органическим веществом.

**Азот** удаляется за счет комплекса процессов: нитрификации/денитрификации, процесса анамнокс, в том числе за счет ассимиляции растениями (в период роста биомассы). В ряде исследований [6] показано, что аммонификация, нитрификация, денитрификация и анамнокс-процесс (автотрофный процесс удаления азота за счет окисления аммонийного азота нитратным азотом) происходят в ФОС одновременно за счет различия окислительно-восстановительных и субстратных условий в разных микрозонах. Важной особенностью ФОС является использование отмирающей части органического вещества растений для проведения процесса денитрификации, в результате функционирования бактерий, осуществляющих гидролиз органического вещества. Азот удаляется в атмосферу в виде  $N_2$  и оксидов.

**Фосфор** удаляется, в первую очередь, за счет обменно-сорбционных реакций на поверхности минеральной загрузки, путём образования нерастворимых и малорастворимых солей. Интенсивность удаления фосфора повышается в аэрируемых ФОС, а также в системах со специальными зонами загрузочного материала, богатого соединениями железа, кальция, алюминия. Нерастворимые соединения кальция, железа и алюминия в ходе работы ФОС сорбируются на минеральной загрузке (гравии)

и «наращивают» ее, что позволяет ФОС удалять фосфор десятки лет без замены минеральной загрузки, что подтверждается уже функционирующими системами.

**Специфические органические загрязнения** подвергаются глубокому разложению. Растения и микроорганизмы в ФОС формируют весьма эффективную систему по очистке стоков от органических токсичных соединений. Множество исследований показывают, что эффективность разложения некоторых из них (пестициды, лекарственные препараты, моющие средства) в ФОС может достигать более 99 %. При этом эффективность удаления токсичной органики в ФОС увеличивается с возрастом сооружения, так как в течение первых двух лет в ФОС формируется микробиоценоз, специфичный для каждого вида сточных вод.

**Обеззараживание** происходит биологическим путем: за счет отмирания фекальных бактерий в процессе естественных смен бактериальных сообществ от входа воды к выходу из ФОС в течение времени пребывания (более 8 суток), а также за счет потребления бактерий в трофической цепи (питание простейших) и ингибирования их корневыми выделениями растений. Возможность регулирования времени пребывания воды в ФОС позволяет достигать высокой степени обеззараживания сточных вод.

### ОБРАБОТКА ОСАДКА

На схеме (рис. 3) обозначен блок ФОС для накопления и одновременной утилизации осадка первичного отстойника. Это совершенно новое направление, которое сейчас активно развивается в фито-очистных технологиях. Важно отметить, что его реализация может быть проведена независимо от блока ФОС для очистки сточных вод. Подобные экологичные системы переработки осадка уже функционируют во Франции, Канаде, Германии и других странах. По своему устройству эта часть системы аналогична блоку ФОС по очистке воды, с важным отличием – крупность гравия в загрузке уменьшается по ходу движения воды. Поступающие вещества осадка перерабатываются за счет процессов разложения в корневой зоне растений. Объем этой части сооружения рассчитывается с учетом объема разлагаемого за год органического вещества. Элюат, вытекающий из этого блока, возвращается на очистку в основной блок ФОС. В результате глубокого разложения, накопления вещества в осадочном блоке ФОС происходит очень медленно.

Характеристика	Единицы измерения	Значения на входе	Значения на выходе
Взвешенные вещества	мг/л	45–85	2–14
ХПК	мгО/л	150–218	15–24
БПК	мгО/л	55–82	1–6
N <sub>общ.</sub>	мг/л	45–78	7–11
N-NH <sub>4</sub>	мг/л	35–60	0,03–1,5
P <sub>общ.</sub>	мг/л	3,2–8,9	0,02–0,6
Общее содержание колиформных бактерий (ОКБ)	КОЕ/100мл	7,7·10 <sup>4</sup> –3·10 <sup>7</sup>	3,0·10 <sup>1</sup> –2,9·10 <sup>2</sup>

В отличие от открытых площадок, используемых для обезвоживания и стабилизации осадка в такой системе, отсутствуют запахи. Их выделению препятствует верхний слой, богатый корнями и микроорганизмами.

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОЧИСТКИ ВОДЫ В ФОС

В табл. 1 приведены значения качества воды на выходе из сооружений с подповерхностным потоком с *принудительной аэрацией* (для зон с умеренным климатом) и максимальные значения по эффективности очистки.

Эффективность очистки (от биогенных элементов и ксенобиотиков) становится выше с увеличением возраста ФОС. Максимальной эффективности сооружения достигают после 2-3 лет эксплуатации (что сравнимо с периодом отладки процесса нитри-денитрификации или биологического удаления фосфора на средних и крупных сооружениях с активным илом). В Европе многие подповерхностные ФОС, созданные в 70-е и 80-е годы 20 века, продолжают эффективно функционировать. Таким образом, необходимость затрат на капитальный ремонт или реконструкцию данных систем не возникает в течение, как минимум, 40 лет [5].

**Таблица 1.**  
**Данные по качеству воды**  
**в ФОС с горизонтальным**  
**подповерхностным**  
**потоком с принудительной**  
**аэрацией, расположенных**  
**в умеренном климате**

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ФОС

Особенности проектирования ФОС определяются не только величиной нагрузки или качеством стоков, но и конкретными ландшафтными особенностями территории, что выдвигает повышенные требования к качеству и объему предпроектных изысканий, являющихся ключевым этапом проектирования.

В ФОС вода находится, обычно, 7-8 суток, что минимум в 10 раз дольше, чем в классических сооружениях биологической очистки сооружений, поэтому в расчете на 1 м<sup>3</sup> обрабатываемой воды необходимый объем ФОС соответственно превышает объем сооружений

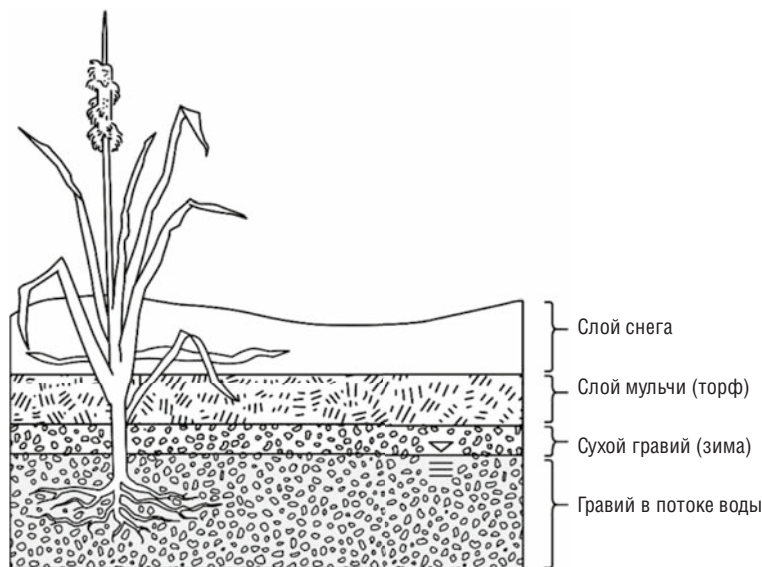
биологической очистки. С учетом глубины ФОС, которая, в свою очередь, в 5–10 раз меньше глубины аэротенков и отстойников, площадь их поверхности в десятки раз больше площади, занимаемой сооружениями биологической очистки. Поэтому важными составляющими водного баланса становятся приход воды с атмосферными осадками, испарение и инфильтрация – факторы, которые практически не учитываются при проектировании классических очистных сооружений. Кроме того, есть специфический параметр водного баланса – эвапотранспирация (испарение воды растениями). Таким образом, уравнение водного баланса включает в себя большее число параметров, в отличие от классических очистных сооружений.

Время пребывания рассчитывается в зависимости от качества поступающей воды, типа ФОС (глубина, расположение зон аэрации, тип загрузочного материала), фильтрационных характеристик загрузочного материала.

*Учет особенностей климата России.* Наличие холодных зим требует устройства терморегулирующего слоя, защищающего сооружение от промерзания зимой. Для такой защиты используется рыхлый материал, например, торф, легкие почвы, опилки и т.п., толщина которого определяется расчетом *теплового баланса* ФОС (рис. 5).

Расчеты авторов, выполненные для условий Московской области, показывают, что толщина слоя мульчирующего материала при приеме стоков (с температурой около 20 °С) должна составлять около 10 см, чтобы процесс очистки воды оставался зимой столь же эффективным. Понижение уровня воды в зимний период создает дополнительный термоизолирующий слой из сухого гравия (рис. 5), что подтверждается эффективной работой ФОС на Аляске (США), Канаде, Ирландии, Швеции, Чехии и иных странах с холодными зимами. Заметим, что обустройство такой защиты не требует серьезных затрат и не связано с использованием больших объемов дополнительных материалов.

*Площадные характеристики.* Считалось, что слабой стороной ФОС является необходимость отведения под них значительных территорий. Развитие конструкций ФОС позволило существенно снизить удельные площади, необходимые для приема стоков в расчете на одного жителя. Для сооружения, технологическая схема которого приведена в данной статье, при очистке стоков от 2000 жителей площадь блока ФОС по очистке воды – около 5000 м<sup>2</sup>, площадь блока ФОС по утилизации осадка – 1000 м<sup>2</sup>, в сумме – около 0,6 га. Для сельской местности выделение такой площади, как правило, не составит проблемы.



**Рис.5.**  
**Защита ФОС от вымерзания в зимний период**

Для сопоставления: площадь зданий и сооружений классической станции биологической очистки на такой расход составляет 100–150 м<sup>2</sup>, однако площадь их санитарно-защитной зоны (даже при ее глубине 100 мм) – около 6 га. Поэтому, с учетом санитарно-защитных зон, потребность в площади для классических сооружений выше.

### ЗАТРАТЫ НА СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЮ ФОС

Сравнение с капитальными затратами классического очистного сооружения (аэротенки с удалением биогенных элементов) показывает, что капитальные затраты при строительстве ФОС на 20–30 % ниже. В процентном отношении затраты на строительство ФОС складываются из позиций, приведенных в табл. 2.

Важно подчеркнуть, что ФОС имеют очень низкие эксплуатационные затраты и затраты на техническое обслуживание. Наиболее важной частью экономии в ФОС является отсутствие необходимости вывоза осадка, значительно меньшая численность персонала, не использование реагентов.

Затраты на строительство ФОС	%
Загрузка ФОС (гравий, песок)	34
Оборудование и комплектующие блока механической очистки (включая легковозводимое здание)	17
Оборудование блока ФОС	10
Комплектующие трубопроводов	8
Строительные работы (включая земляные работы)	31
<b>ВСЕГО</b>	<b>100</b>

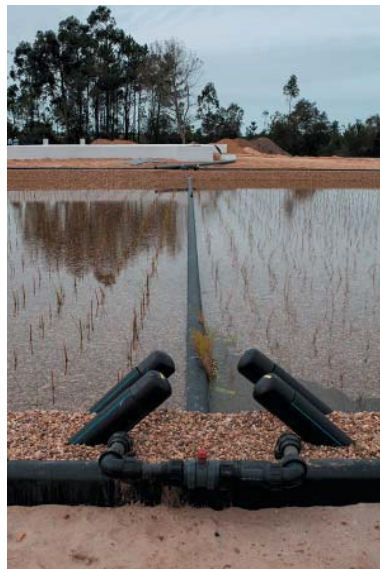
**Таблица 2.**  
СТРУКТУРА ЗАТРАТ НА ФОС (НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ПО ОДНОМУ ИЗ КОНКРЕТНЫХ ОБЪЕКТОВ, РЕАЛИЗУЕМЫХ В РОССИИ)

**Таблица 3.**  
СРАВНЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЗАТРАТ ФОС И КЛАССИЧЕСКИХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ С АКТИВНЫМ ИЛОМ

Затраты	ФОС горизонтального типа с принудительной аэрацией	Очистные сооружения с активным илом (удаление биогенных элементов)
Общие затраты на электроэнергию, кВт час/м <sup>3</sup>	0,18–0,20	0,45–0,60
Персонал, чел.	неквалифицированный персонал – 1 (наблюдения не каждый день)	инженер-технолог (в дневную смену) – 1, операторы – 4 (посменно)
Вывоз и депонирование осадка, м <sup>3</sup> /год	нет необходимости	около 300 м <sup>3</sup> (при влажности 80 %)
Применение реагентов для удаления фосфора	не применяются	не менее 5 т/год (по товарному реагенту)
Применение реагентов для обезвоживания осадка	не применяются	не менее 200 кг/год



**Рис. 6.**  
**Этапы строительства горизонтального ФОС**  
**с подповерхностным потоком и принудительной аэрацией**



Сравнение эксплуатационных затрат ФОС и классических очистных сооружений с активным илом, работающих по современной технологии с удалением азота и фосфора (в расчете на очистное сооружение, принимающее бытовые стоки от 2000 жителей), приведено в табл. 3.

Строительство ФОС состоит из следующих этапов (рис. 6): земляные работы и планировка поверхности, создание бассейна за счет земляных работ и/или за счет строительства боковых стенок, создание гидроизоляционного слоя, прокладка аэрационной системы, засыпка гравия, посадка растений.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Фито-очистные сооружения могут быть достойной альтернативой классическим очистным сооружениям с активным илом, применительно к малым и средним поселениям.

Главное отличие фито-очистных систем от других технологий очистки стоков в состоит в следующем:

- высокая надежность сооружений в течение длительного времени, повышение эффективности очистки со временем;
- удаление загрязняющих веществ (в т.ч. ксенобиотиков) до нормативных требований за счет использования растительно-бактериальных сообществ;
- отсутствие необходимости применения реагентов для очистки воды, ее обеззараживания, а также для обезвоживания осадка;
- низкие эксплуатационные затраты, основанные на сравнительно незначительном энергопотреблении, малой потребности в обслуживании, отсутствии необходимости применения высококвалифицированного персонала, не использовании реагентов;
- экологическая совместимость с природными ландшафтами, эстетическая привлекательность;
- отсутствие неприятных запахов и возможность расположения практически вплотную к жилой застройке. ●

## ЛИТЕРАТУРА

1. Чижов С.Г. Как изменилась очистка сточных вод в России за последние 10 лет? / Россия в окружающем мире – 2008. Устойчивое развитие: экология, политика, экономика: аналитический ежегодник / Отв. ред. Н.Н. Марфенин; под общей редакцией Н.Н. Марфенина, С.А. Степанова. – М.: Изд-во МНЭПУ, 2008. – С. 97–119.
2. Щеголькова Н., Рыбка К., Диас В., Криксунов Е. Природный механизм с техническими элементами. Применение фито-сооружений для очистки сточных вод в различных климатических зонах / ВодаMagazine. № 12 (88) Декабрь 2014. С. 12–18.
3. Щеголькова Н.М., Диас В., Криксунов Е.А., Рыбка К.Ю. Оценка применения фито-систем для очистки сточных вод в России / Журнал «Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение». 2013. С. 20–31.
4. DIAS V., KRIKSUNOV E., SHCHEGOLKOVA N. MULTI-FITOX-ADVANCED WASTEWATER TREATMENT SYSTEM USING AQUATIC EMERGENT MACROPHYTES / 5TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON WETLAND POLLUTANT DYNAMICS AND CONTROL. OCTOBER 13–17, 2013 NANTES (FRANCE). P. 321
5. KADLEC, ROBERT H. TREATMENT WETLANDS / ROBERT H. KADLEC AND SCOTT WALLACE. (2009) – 2ND ED. P. CM. INCLUDES BIBLIOGRAPHICAL REFERENCES AND INDEX. ISBN 978. LLC CRC PRESS IS AN IMPRINT OF TAYLOR & FRANCIS GROUP, AN INFORMA BUSINESS. 1048 P.
6. VYMAZAL JAN, KRÖPFELOVÁ LENKA. REMOVAL OF ORGANICS IN CONSTRUCTED WETLANDS WITH HORIZONTAL SUB-SURFACE FLOW: A REVIEW OF THE FIELD EXPERIENCE / SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT 407 (2009) 3911–3922 P.

# Современный инновационный экономичный метод обезвоживания и обеззараживания осадков сточных вод

**Вартанов Р.Р.,**  
ДИРЕКТОР;

**Панасенко Н.И.,**  
НАЧАЛЬНИК ЦЕХА КОС;

**Тарапура Н. Н.,**  
ИНЖЕНЕР-ТЕХНОЛОГ ЦЕХА  
КОС

**МУП «Водопроводно-  
канализационное  
хозяйство» городского  
округа – город Волжский  
Волгоградской области**

**Чадов О.П.,**  
ДИРЕКТОР;

**Клопова Т.Ю.,**  
КАНД. ТЕХН. НАУК,  
ТЕХНИЧЕСКИЙ ДИРЕКТОР

**ООО «ОФОРТ»**

Обработка осадка сточных вод вызывает наибольшие затруднения при эксплуатации очистных сооружений. Самая актуальная проблема на сегодняшний день – обезвоживание осадка – технически сложная задача, требующая больших финансовых затрат. В основном предприятия ВКХ идут по пути создания установок механического обезвоживания с кондиционированием флокулянтами.

Однако иловые площадки при условии эффективной интенсификации могут обеспечить аналогичный результат при гораздо меньших затратах.

КОС МУП «Водоканала» г. Волжского эксплуатируют 18 иловых площадок, имеющих бетонное основание и донный дренаж, площадью 3200 м<sup>2</sup> и глубиной налива 1 м (т.е. рабочий объем 3200 м<sup>3</sup> каждая). До августа 2010 г. площадки эксплуатировались по традиционной технологии. Кратность наливов при заполнении составляла не более 10 раз, а процесс высыхания длился 2 года. Это происходило потому, что сырой осадок представляет собой стабильную коллоидную структуру, имея в своем составе большое количество органических веществ, способных гнить, разлагаться с выделением неприятного запаха. В макромасштабе эти свойства осадка выражались в том, что при «шевелении» осадка на площадке бульдозером в середине слоя наблюдалась гелеобразная масса.

В 2010 г. сотрудники КОС МУП «Водоканал» г. Волжский внедрили технологию по обезвоживанию осадков сточных вод на иловых площадках с использованием флокулянта «Сибфлок-718». Технология позволяла достигать высокой степени обезвоживания осадков, сравнимой с результатами механического обезвоживания. Однако высокая себестоимость флокулянта, относительно малая скорость водоотведения, сохранение остаточного гнилостного запаха заставили нас искать более эффективные реагенты. В качестве такового был выбран композиционный флокулянт «Селектиф-к» – полимерная композиция катионного типа, полученная полимеризацией диметилдиаллиламмоний хлорида в среде активного неорганического растворителя. Как показывает



практика, эффективность флокулирующего действия полимера зависит от химической природы, молекулярной массы, величины и знака заряда. При правильном подборе всех этих факторов нивелируются все активные группы и заряды взвешенных частиц осадка. Композиционный флокулянт «Селектиф-к» обеспечивает высокую скорость водоотдачи и позволяет получать структурированные осадки с высокой фильтрующей способностью, что открывает новые возможности эффективного использования уже существующих карт. Возможна дополнительная обработка всего объема осадка антигельминтными и бактерицидными препаратами.

Флокулянт «Селектиф-к» разработан и применяется для обезвоживания различных по составу шламов и осадков. Реагент соответствует 4 классу опасности и рекомендован для очистки питьевой воды. Осадок, полученный после взаимодействия с флокулянтом «Селектиф-к», также соответствует 4 классу опасности, что подтверждено экспертными заключениями. При дополнительной обработке достигим 5-й класс опасности конечного осадка (для использования в качестве удобрения).

Хотя общий механизм флокуляции под действием полимеров известен, выбор соответствующего флокулянта для каждого типа дисперсной системы осуществляется эмпирическим путем подбора. В ходе совместных работ с производителем флокулянта его рецептура была уточнена применительно к условиям обезвоживанию осадка КОС г. Волжский на иловых площадках.

Осадки, образующиеся в процессе очистки стоков, смешиваются с раствором флокулянта «Селектиф-к» в трубопроводе и наливаются на иловые площадки (рис. 1). Концентрация и количество рабочего раствора подбирается специалистами опытным путем.

**Рис. 1.**  
**Налив осадка,**  
**обработанного**  
**флокулянтом**





Рис. 2.  
МЕХАНИЗИРОВАННЫЕ ДРЕНАЖНЫЕ КОЛОДЦЫ

Под действием флокулянта в обработанном осадке происходит уменьшение количества связанной воды, что и приводит к повышенной водоотдаче осадка на иловых площадках. Важную роль в процессе обезвоживания играет дренажная система и, прежде всего – фильтрующие водоотводные колодцы. Установка механизированных щелевых колодцев (рис. 2), значительно увеличивает количество отводимой воды. Наличие донного дренажа (щебень) на иловой площадке (согласно проекту) помогает уходить остаткам воды в течение длительного периода времени. Дренажные воды подаются в голову КОС.

По регламенту эксплуатации до вывода на сушку на каждую площадку производится 21 налив по 550 м<sup>3</sup>/сут смеси сырого осадка и избыточного активного ила со средней влажностью 97,2 % (всего около 11,5 тыс. м<sup>3</sup> осадка, то есть 3,6 м<sup>3</sup> осадка/м<sup>2</sup> площадки). Уже в первые сутки в голову очистных сооружений возвращается в виде сливной воды и фильтрата около 80 % от налитого объема осадка. На следующий день налив на эту карту повторяется.

Доза флокулянта и регламент заполнения карт были оптимизированы экспериментальным путем. Время года не оказывает влияния на процесс флокуляции и уплотнения осадка, поэтому регламентные процедуры в течение года не меняются. Время высыхания в летний период составляет 2–4 месяца, в зимний – до 6 месяцев (рис. 3). Таким образом, с учетом процедур налива жидкого осадка и очистки карты потенциальная оборачиваемость карты составляет 2 раза в год, что обеспечивает производительность площадок по применяемой технологии около 7,2 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> в год. Это в 6,5 раз выше, чем нагрузка, рекомендованная СНиП 2.04.03-85 для иловых площадок в соответствующем климатическом поясе. При этом влажность высушенного осадка, в зависимости от сезона, составляет 35–65%, что заведомо ниже механически обезвоженного осадка.



Рис. 3.  
Иловая площадка в процессе сушки

Для обеззараживания осадка используется дезинфектант «Селектиф-дез». Эта процедура необходима для применения осадка в качестве удобрения в соответствии с требованиями ГОСТ Р 17.4.3.07-2001<sup>1</sup>. Действующей основой препарата является клатрат катамина с диамином угольной кислоты.

Катамин АБ (алкилдеметилбензиламмоний хлорид) – четвертичное аммониевое соединение (ЧАС). К основным элементам структуры, которые обуславливают противомикробные свойства ЧАС, относятся гидрофильные и гидрофобные углеводородные радикалы. Также противомикробные свойства ЧАС определяются их поверхностно-активными свойствами. В основе механизма действия ЧАС, как ПАВ на живые клетки, лежит изменение плазматической проницаемости в результате взаимодействия с липидно-белковыми мембранами живых образований. В процессе проникновения ЧАС в клетку происходит денатурация белков клетки, нарушение ферментного равновесия внутри организма.

Данный препарат обладает эффективностью по отношению к бактериям группы кишечной палочки, а также высокой степенью фунгицидной активности. Катамин АБ является известным дезинфицирующим веществом и используется для обработки поверхностей и емкостей, в том числе, в больницах, в производстве антимикробных тканей и т.п.

**КАТАМИН АБ  
ЯВЛЯЕТСЯ ИЗВЕСТНЫМ  
ДЕЗИНФИЦИРУЮЩИМ  
ВЕЩЕСТВОМ И ИСПОЛЬЗУЕТСЯ  
ДЛЯ ОБРАБОТКИ  
ПОВЕРХНОСТЕЙ И ЕМКостей,  
В ТОМ ЧИСЛЕ, В БОЛЬНИЦАХ,  
В ПРОИЗВОДСТВЕ  
АНТИМИКРОБНЫХ ТКАНЕЙ И Т.П.**

<sup>1</sup> См. п. 4 табл. № 3. Санитарно-бактериологические и санитарно-паразитологические показатели осадков. Бактерии группы кишечной палочки, клеток/г осадка факт влажности – 1000.



Введение препарата в смесь осадков производится вместе с флокулянтами. Совместное применение флокулянта и данного дезинфектанта возможно только в случае образования пористой структуры осадка, обеспечиваемой флокулянтами «Сеолектиф-к» (рис. 4).

Отбор и анализ проб через 3 месяца после обработки, по окончании цикла сушки, показал их соответствие требованиям ГОСТ Р 17.4.3.07-2001.

**Рис. 4.**  
Высушенный осадок: легкая,  
проницаемая структура

## Таблица.

### СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИСПОЛЪЗУЕМОЙ ТЕХНОЛОГИИ И МЕХАНИЧЕСКОГО ОБЕЗВОЖИВАНИЯ

Обезвоживание на иловых площадках с помощью флокулянта «Селектиф-к» (технология водоканала г. Волжский)	Цех механического обезвоживания
<b>Используемое специальное оборудование</b>	
Бак объёмом 2,0 м <sup>3</sup> , Механическая мешалка, Бак объёмом 2,5 м <sup>3</sup> для приготовления рабочего 0,1 % раствора, Насосный агрегат СД 16/25 для подачи раствора флокулянта в напорный трубопровод сырого осадка (1 – рабочий, 1 – резервный), Щелевые колодцы на иловых площадках (на 18 площадках 36 колодцев)	Фильтр-пресс, Ленточный сгуститель, Насос – дозатор осадка, Автоматизированный узел приготовления и обеспечения дозировки флокулянта, Илоуплотнители, Ёмкость и насос для промывания фильтра, Транспортер обезвоженных осадков, АСУ ТП
<b>Цена (с НДС) 1 т флокулянта, тыс. руб.</b>	
142	250
<b>Доза флокулянта, кг/т сухого вещества</b>	
1,3	3,0–4,5
<b>Затраты на внедрение, млн. руб.</b>	
2 (при наличии иловых площадок)	от 45
<b>Содержание сухого вещества в обезвоженном осадке, %</b>	
35–65 (в зависимости от сезона) в среднем по году – 50	20–30
<b>Энергозатраты, кВт-час/т сухого вещества</b>	
8–10	35–40
<b>Затраты на флокулянт, руб./т сухого вещества</b>	
185	750–1100

**Рис. 5.**  
**Опытные образцы топливных**  
**брикетов из осадка**



Технология обладает следующими достоинствами:

- минимальные финансовые затраты на внедрение технологии, по сравнению с цехом механического обезвоживания (см. табл.);

- высушенный осадок, отвечает требованиям ГОСТ Р 17.4.3.07-2001 (по классу опасности и по санитарно-эпидемиологическим показателям).

Получение хорошо подсушенного и обеззараженного осадка позволило использовать его в различных целях:

- для рекультивации нарушенных земель (в том числе городской свалки) в качестве изолирующего слоя на проектируемом полигоне ТБО;

- на сельскохозяйственных полях в качестве удобрения (вывезено 2100 т);

- для изготовления топливных брикетов (гранул) (рис. 5) с дальнейшим использованием в качестве топлива или для получения (в специальных установках) электрической энергии (получены опытные образцы топливных брикетов, которые не слеживаются и не плесневеют);

- в производстве строительных материалов (цемент, керамические блоки, керамзит и т. д.). Осадок использовался вместо опилок. Изготовлена опытная партия керамзита в количестве 200 т, плотность керамзита всех марок ниже (он легче) по сравнению с опилками;

- как органическое удобрение для промышленного цветоводства, в лесном и сельском хозяйстве. На территорию завода ОАО «Волжский оргсинтез» для рекультивации прилегающей земли, вывезено 100 т;

- в качестве мелиоранта для рекультивации нефтезагрязненного полигона ОАО «Лукойл-нефтепереработка» г. Волгоград.

### Выводы

**Результаты работы КОС г. Волжский в 2012–2014 гг. подтверждают, что при применении флокулянта «Селектиф-К» и специальных щелевых колодцев существующие иловые площадки могут быть использованы как высокотехнологичные эффективные сооружения, обеспечивающие обезвоживание осадков сточных вод в два раза более глубокое, чем при использовании цеха механического обезвоживания, в 20 раз дешевле по капитальным вложениям (по затратам на внедрение) и в 4 раза выгоднее по затратам на флокулянт и электроэнергию. ●**



**ДАННЫЕ МНОГОЛЕТНЕГО МОНИТОРИНГА РЫНКА БЕСТРАНШЕЙНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА ТРУБОПРОВОДОВ ПО ТЕХНОЛОГИ ГНБ, ПРОВОДИМОГО В ТЕЧЕНИЕ ПОСЛЕДНИХ 15-ТИ ЛЕТ МЕЖДУНАРОДНОЙ АССОЦИАЦИЕЙ СПЕЦИАЛИСТОВ ГОРИЗОНТАЛЬНО НАПРАВЛЕННОГО БУРЕНИЯ (МАС ГНБ), ПОЗВОЛЯЮТ СДЕЛАТЬ, ОБОСНОВАННЫЙ ВЫВОД О ЕЖЕГОДНОЙ ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ ДИНАМИКЕ И ВЫСОКИХ ТЕМПАХ ВНЕДРЕНИЯ БЕСТРАНШЕЙНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЦЕЛОМ И ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ ГНБ В ЧАСТНОСТИ В ПРАКТИКУ РАБОТЫ ПРЕДПРИЯТИЙ ВКХ. ПО ДАННЫМ АНАЛИТИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ РЫНКА ПО ИТОГАМ РАБОТЫ В 2014 Г., РАБОТЫ В СЕГМЕНТЕ ВКХ СОСТАВИЛИ 34 % ОТ ОБЩЕГО ОБЪЕМА СМР ПО БЕСТРАНШЕЙНОМУ СТРОИТЕЛЬСТВУ ПОДЗЕМНЫХ КОММУНИКАЦИЙ ПО ТЕХНОЛОГИИ ГНБ, В ТОМ ЧИСЛЕ: НАПОРНЫЕ СЕТИ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ – 25 %, САМОТЕЧНАЯ КАНАЛИЗАЦИЯ – 6 %, ЛИВНЕВАЯ КАНАЛИЗАЦИЯ – 2 %, ДРУГИЕ ПРИМЕНЕНИЯ – 1 %.**

**Столь существенный сегмент рынка обусловлен, в первую очередь, большой протяженностью и высокой степенью износа коммунальных сетей. Следствием этого является необходимость их плановой замены, капитального ремонта, оперативного устранения аварийных ситуаций в сжатые сроки. Решение этих задач невозможно без интенсивного внедрения новейшей техники и технологий бестраншейного строительства сетей водоснабжения и водоотведения на всей территории Российской Федерации. Особую актуальность эти вопросы приобретают в сложных современных финансово-экономических условиях.**

# Технология ГНБ как инструмент привлечения дополнительных доходов предприятий ВКХ

Семина М.М.,  
директор МУП «Водоканал» г. Подольска

В современной практике водоканал сталкивается со многими проблемными вопросами в повседневной деятельности:

- заметный рост требований потребителя к качеству услуги;
- ограниченные возможности роста тарифа (убыточность, низкая эффективность) и как следствие – дефицит оборотных средств;
- высокие энергозатраты в производстве, подаче и распределении питьевой воды;
- выпадающие расходы, в том числе в связи с повышением объёмов сброса сточных вод за счёт приёма на очистные сооружения поверхностных ливневых сточных вод;
- высокая аварийность на сетях водопровода и канализации из-за высокого уровня износа сетей (рис. 1) и отсутствия зонирования, несбалансированности гидравлических режимов работы насосных станций.

Все это влечёт за собой нарушение плановости и стабильности в работе персонала, жалобы, незапланированные аварийные ситуации, требующие отвлечения ресурсов и времени, невысокий уровень зарплаты и кадровые проблемы.

Рис. 1

МУП «Водоканал» г. Подольска				Коэффициент аварийности на сетях водоснабжения		
№ п/п	Наименование	Показатель	Единица измерения	Год	Показатель	Единица измерения
1	Протяженность сетей водоснабжения	650	км	2010	0,35	ед./км
2	Протяженность сетей водоотведения	430	км	2011	0,26	
3	Степень износа сетей	37	%	2012	0,25	
				2013	0,18	
				2014	0,17	

Примечание: среднеевропейский показатель аварийности на сетях водоснабжения составляет **0,4 ед./км**

## Где выход?

Если рассмотреть водопроводно-канализационное хозяйство пообъектно, то наиболее крупным, хлопотным и непосредственно влияющим на потребителя является распределительная сеть водопровода и канализации. На водопроводную сеть приходится 80 % потребляемой электроэнергии, и как правило по капитальным затратам он является самым дорогим объектом.

В таком городе как Подольск, 2 % реставрации сетей в год составляют 100–150 млн руб.

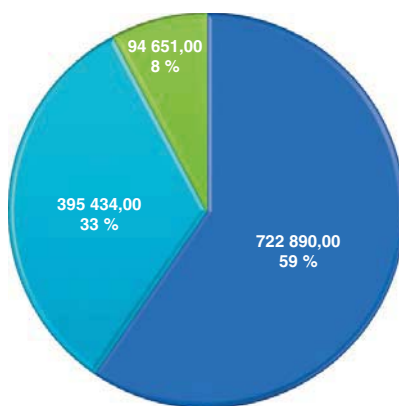
Водопроводная сеть претерпевает постоянные изменения. Техническую политику этого процесса обеспечивает водоканал. С конца 90-х нам стало понятно, что тарифная политика не учитывает перечисленные проблемы, зависит от политической конъюнктуры, платежеспособности, населения и др. факторов.

## Нужны дополнительные доходы

Водоканалу нужны дополнительные источники доходов, чтобы иметь средства для реализации работ по реставрации и развитию водопроводной и канализационной сети, модернизации насосных станций, а также обеспечить достойный уровень заработной платы.

Среди основных направлений формирования дополнительных доходов ключевым является строительная деятельность (рис. 2). За счёт строительства сетей собственными силами можно, в том числе, обезопасить себя от низкого качества проведения строительных работ (аварий в будущем). Кроме того, это позволяет снизить себестоимость прокладки трубопроводов, а значит удвоить объём с каждого вложенного рубля! При наличии в арсенале водоканала строительных технологий постепенно уходит аварийность.

Структура доходов предприятия за 2014 год, тыс. руб.



Структура расходов предприятия за 2014 год, тыс. руб.

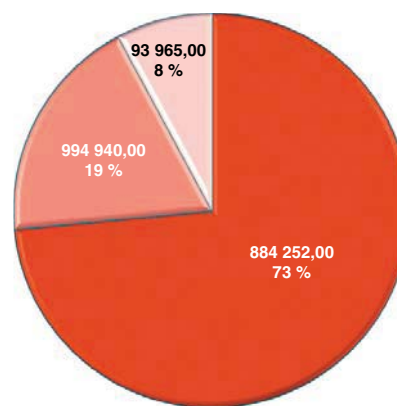


Рис. 2.  
СТРУКТУРА ДОХОДОВ  
И РАСХОДОВ

■ Основная деятельность  
■ Строительство и плата за подключение  
■ Внебюджетные доходы  
Всего доход: 1 212 975,00 тыс. руб.

■ Основная деятельность  
■ Строительство  
■ Прочие расходы  
Всего расход: 1 203 157,00 тыс. руб.



Рис. 3

С развитием полиэтиленовых трубопроводных систем параллельно движется процесс развития технологий, связанный с их прокладкой, особенно бестраншейных. Без этого немислимо осуществлять строительство трубопроводов в современном городе. Ведущее место среди бестраншейных методов по праву занимает технология горизонтально направленного бурения (ГНБ), которая позволяет в относительно сжатые сроки решать такие задачи, которые иными способами решать невозможно в принципе.

### ПРИМЕР ИЗ НАШЕЙ ИСТОРИИ

В 2008, кризисном году в Подольске строился путепровод через пути Курского направления Московской ж/д. Необходимо было отвести ливневые стоки от самого путепровода и связанных с ним развязок. Ливневых магистралей поблизости нет. Проектировщики ФГУП «Автодор» разработали схему с ЛОС и мощной КНС ливневых стоков, а также напорной канализации до существующего места сброса. Сметная стоимость реализации проекта составляла около 45 млн руб. (в ценах 2008 г.).

Данная схема была разработана проектировщиками из соображения невозможности прокладки самотечной линии максимальной глубиной 9 м в полосе отчуждения железной дороги открытой экскавацией грунта. Другой трассы для прокладки ввиду плотной застройки не было. Чтобы снизить эксплуатационные расходы по обслуживанию ЛОС и КНС проектной группой нашего предприятия был разработан проект устройства самотечной ливневой канализации Ø 800 мм вдоль главных путей, прокладываемой методом ГНБ, протяжённостью 800 м двумя захватами: по 500 и 300 м соответственно (рис. 3, 4).

На тот момент мы не обладали необходимой для осуществления данного проекта установкой. Поиск оптимального предложения привёл нас в группу компаний «Юнирус». Был заключен договор на поставку комплекса UNI 160×240 стоимостью 27 млн рублей.





**Рис. 4.** СХЕМА ТРАССЫ ОБЪЕКТА: «СТРОИТЕЛЬСТВО ЛИВНЕВОЙ КАНАЛИЗАЦИИ ДЛЯ ПУТЕПРОВОДА ЧЕРЕЗ ПУТИ МОСКОВСКОЙ ЖД»

На рис. 5 представлена структура затрат по данному проекту. Продолжительность работ с учётом подготовительного периода составила 3 месяца. Установка окупилась сразу.

## ТЕХНИКА, С КОТОРОЙ РАБОТАЕМ

На данный момент наше предприятие располагает следующими комплексами:

- Технология направленного прокола Ditch Witch P-80 и МНБ 50
- Комплексы ГНБ – 4 шт. с усилием обратной тяги от 3,5 до 72 т
- Комплекс статического разрушения АСР-240 Б с усилием обратной тяги 240 т
- Комплексы динамического разрушения трубопроводов на диаметры от 150 до 300 (пневмопробойники)
- Инвентарные крепления стенок котлованов и траншей ОР 1,5 и SBH-790

**Рис. 5.** ОУПАЕМОСТЬ ТЕХНИКИ ГНБ НА ПРИМЕРЕ ОБЪЕКТА: «СТРОИТЕЛЬСТВО ЛИВНЕВОЙ КАНАЛИЗАЦИИ ДЛЯ ПУТЕПРОВОДА ЧЕРЕЗ ПУТИ МОСКОВСКОЙ ЖД»

Общая стоимость объекта	43 473,00 тыс. руб.
<b>ЗАТРАТЫ:</b>	
Компоненты бурового раствора	2 500,00 тыс. руб.
Материалы (труба, железобетон)	11 300,00 тыс. руб.
Заработная плата	2 100,00 тыс. руб.
Стоимость комплекса ГНБ UNI 160x240	27 000,00 тыс. руб.
<b>Всего затрат</b>	<b>42 900,00 тыс. руб.</b>

# ГЛАВНЫЙ КРИТЕРИЙ



Такой парк техники (рис. 6–11) позволяет успешно адаптировать практически любой проект под наши возможности.

## Экономика внедрения ГНБ

Но бестраншейные технологии не только являются обязательным дополнением к строительству инженерных сетей, они и сами приносят значительную часть дохода. Как видно из анализа инвестиционной программы предприятия на период до 2025 года запланированный объем для бестраншейного строительства оценивается порядка 1 млрд рублей (рис. 12).

По технологии ГНБ нами выполняется значительный объем работ в области строительства инженерных сетей, как в количественных показателях, так и в финансовых (рис. 13). ГНБ в силу своей универсальности, технологичности является, по нашему мнению, наиболее высокодоходной частью бизнеса строительства инженерных сетей.

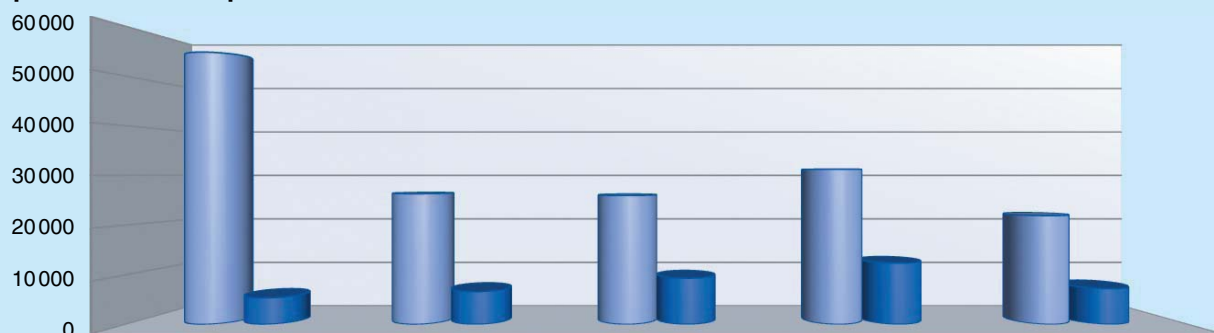
**Рис. 12.**  
ТЕХНИКА ДЛЯ БЕСТРАНШЕЙНОЙ ПРОКЛАДКИ ТРУБОПРОВОДОВ

№ п/п	Наименование	Количество
1	DITCH WITCH P80	1 шт.
2	DITCH WITCH JT-920	1 шт.
3	МНБ-50	1 шт.
4	Robbins UNI 24-30	1 шт.
5	Robbins UNI 160-240	1 шт.
6	Robbins UNI 60x70	1 шт.
7	АСР-240Б	1 шт.
8	ОР 1,5	2 комплекта
9	СВН-790	1 комплект

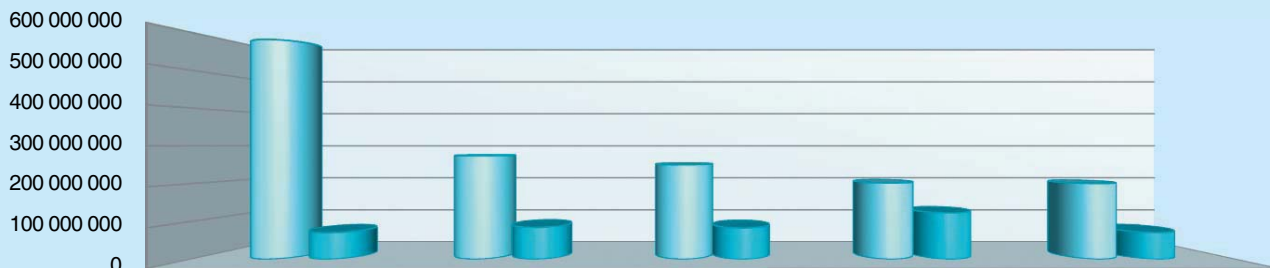
Предполагаемый объем средств по бестраншейному строительству сетей в рамках Инвестиционной программы по развитию систем водоснабжения и водоотведения городского округа Подольск на период до 2025 года составляет около 1 065 млн руб.

**Рис. 13**

### Протяженность проложенных сетей водоснабжения и водоотведения за 2010–2014 гг. м



### Стоимость проложенных сетей водоснабжения и водоотведения за 2010–2014 гг., руб.



## ГЛАВНЫЙ КРИТЕРИЙ

Год	Доход, руб.	Инвестиции, руб.	Расход, руб.
2006	48 491 325,00	200 000,00	37 368 493,75
2007	77 196 173,00	13 400 000,00	59 439 385,14
2008	56 091 268,00	27 000 000,00	42 541 431,30
2009	45 906 583,00		41 614 609,25
2010	70 268 675,00		57 283 454,51
2011	84 235 533,00		68 640 714,13
2012	82 877 117,00		66 713 805,05
2013	122 584 501,00	14 000 000,00	98 461 326,81
2014	70 517 639,00		57 914 594,37
<b>Итого</b>	<b>658 168 814,00</b>	<b>54 600 000,00</b>	<b>529 977 814,31</b>

Прибыль – 73 590 999,69 руб.

Рентабельность  
(с учетом возврата инвестиций) – 12,6 %

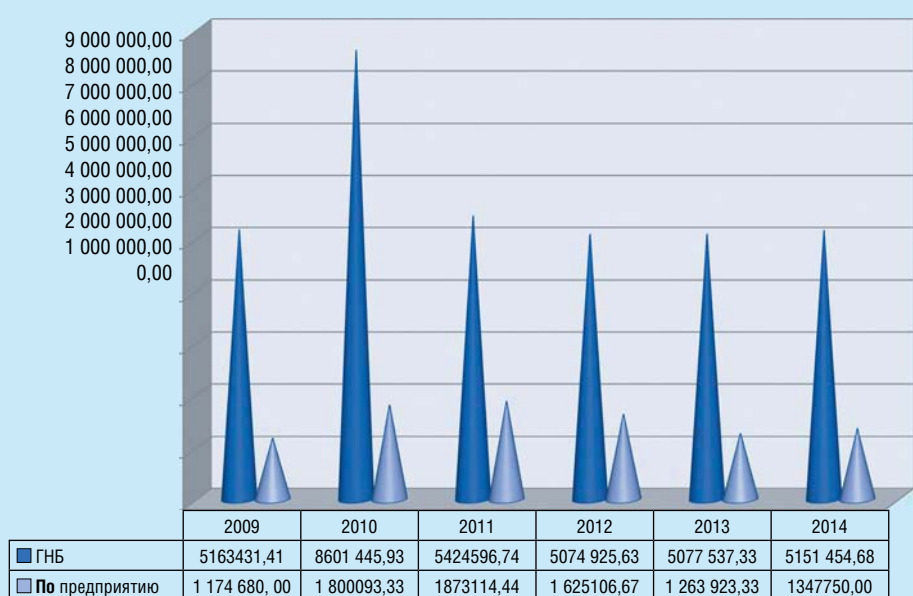
**Рис. 14.**  
**РЕНТАБЕЛЬНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ГНБ НА ПРЕДПРИЯТИИ**

На рис. 14 по годам представлены доходы и расходы от деятельности по технологии ГНБ и инвестиции в технику. Цифры показывают, что срок окупаемости (возврат инвестиций) для каждого комплекса составил около года, что достаточно хороший показатель. А рентабельность, даже с учётом возврата инвестиций, составила 12,6 %.

Доля доходов по отношению к общим доходам предприятия и доходам по основной деятельности представлена на рис. 15. Численность работников предприятия по основной деятельности составляет в среднем 900 человек. Участок ГНБ: ИТР – 6 человек, рабочие специальности – 20, всего 26 человек. Анализ данных на рис. 16 показывает экономическую эффективность овладения техникой и технологией ГНБ.

Год	Доход предприятия, тыс. руб.	Доход от основной деятельности, тыс. руб.	Доход от ГНБ, тыс. руб.	Доход ГНБ по отношению к доходу предприятия, %	Доход ГНБ по отношению к доходу от основной деятельности, %
2009	1 057 212,00	570 894,48	45 906,58	4,3	8,0
2010	1 620 084,00	680 435,28	70 268,68	4,3	10,3
2011	1 685 803,00	582 971,00	84 235,53	5,0	14,4
2012	1 462 596,00	619 295,00	82 877,12	5,7	13,4
2013	1 137 531,00	671 985,00	122 584,50	10,8	18,2
2014	1 212 975,00	722 890,00	70 517,64	5,8	9,8

**Рис. 15.**  
**Доля доходов от ГНБ**



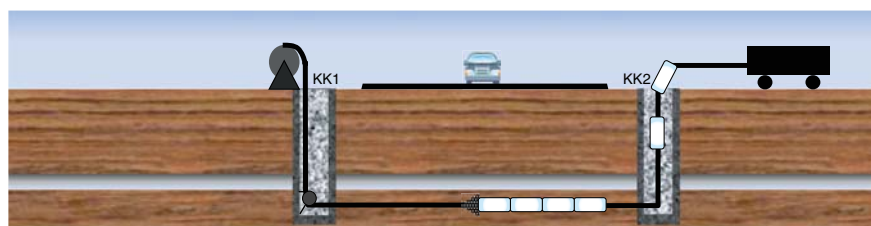
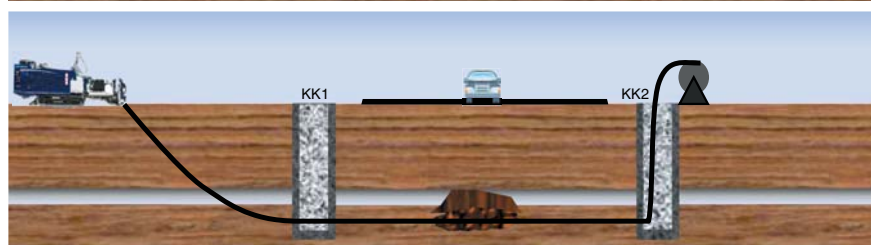
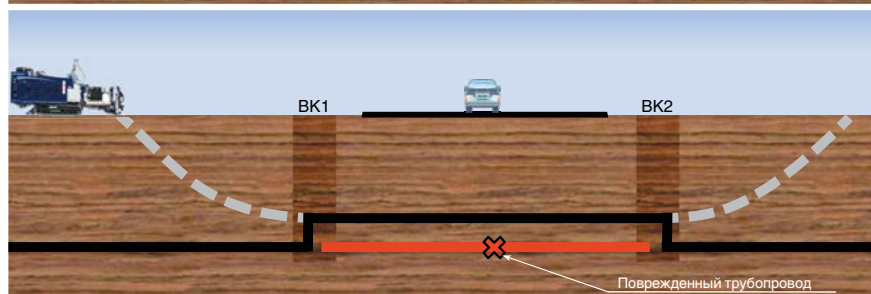
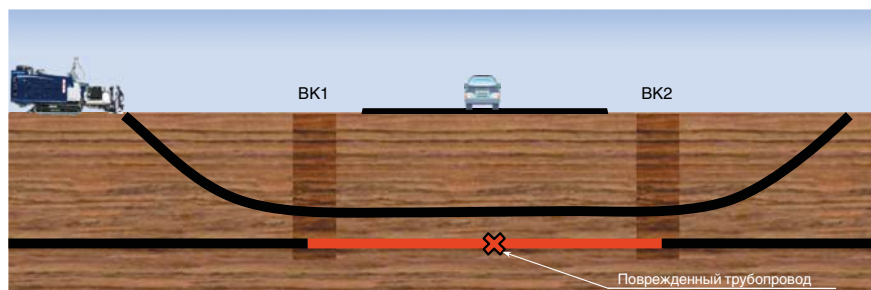
**Рис. 16.**  
**ВЫРАБОТКА ЗА ГОД, РУБ./ЧЕЛ**

## НЕ ТОЛЬКО ДЕНЬГИ

Хотелось бы подчеркнуть, что с помощью технологии ГНБ мы не только зарабатываем деньги, но и решаем свои насущные проблемы по ремонту трубопроводов, в том числе:

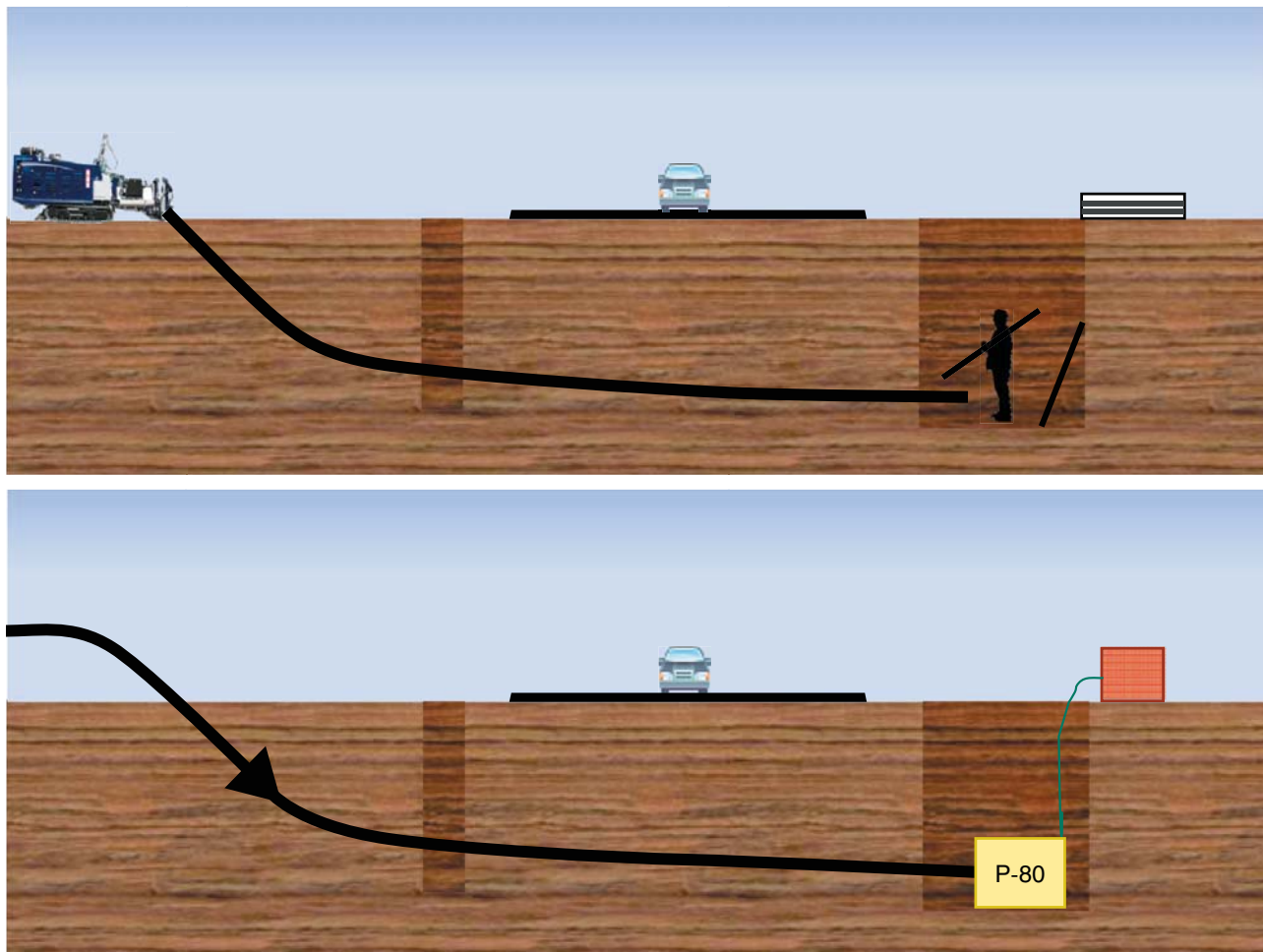
- замена участка сети водопровода без вскрытия грунта с переключением в существующих колодцах (рис. 17);

- ремонт самотечного трубопровода комбинированным методом в случае, когда из-за разрушения трубопровода невозможно заправить направляющий трос пневмопробойника. Мы эту операцию выполняем с помощью установки ГНБ (рис. 18);



**Рис. 17.**  
**РЕМОНТ АВАРИЙНОГО УЧАСТКА**  
**ВОДОПРОВОДА МЕТОДОМ ГНБ**

**Рис. 18.**  
**РЕМОНТ АВАРИЙНОГО**  
**УЧАСТКА КАНАЛИЗАЦИИ**  
**КОМБИНИРОВАННЫМ МЕТОДОМ:**  
**ГНБ + ПНЕВМОПРОБОЙНИК**



**Рис. 19.**  
**Строительство**  
**самотечной канализации**  
**комбинированным методом:**  
**ГНБ + направленный прокол**

- для прокладки самотечных сетей в условиях затруднённой утилизации бурового раствора используем комбинированный метод ГНБ и установку направленного прокола. Для более точной укладки трубопровода в профиле используется установка ГНБ с точной системой локации на этапе пилотного бурения при малых расходах бурового раствора. Затяжка трубы осуществляется установкой P-80 за счёт уплотнения грунта без использования бурового раствора (рис. 19).

В заключение необходимо подчеркнуть, что освоение технологии ГНБ требует знаний, опыта, специалистов и постоянной технической поддержки (запчасти, расходные материалы, обучение персонала, консультации). Всё это обеспечивает Международная ассоциация специалистов горизонтального направленного бурения (МАС ГНБ). ●