



МОДЕРНИЗАЦИЯ ГОРОДСКИХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ: ОТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДО ОБОРУДОВАНИЯ

Ким В.С.
генеральный директор

Большаков Н.Ю.
канд. техн. наук,
доцент,
главный технолог

ООО «Джи-Эс-Пи Проект»

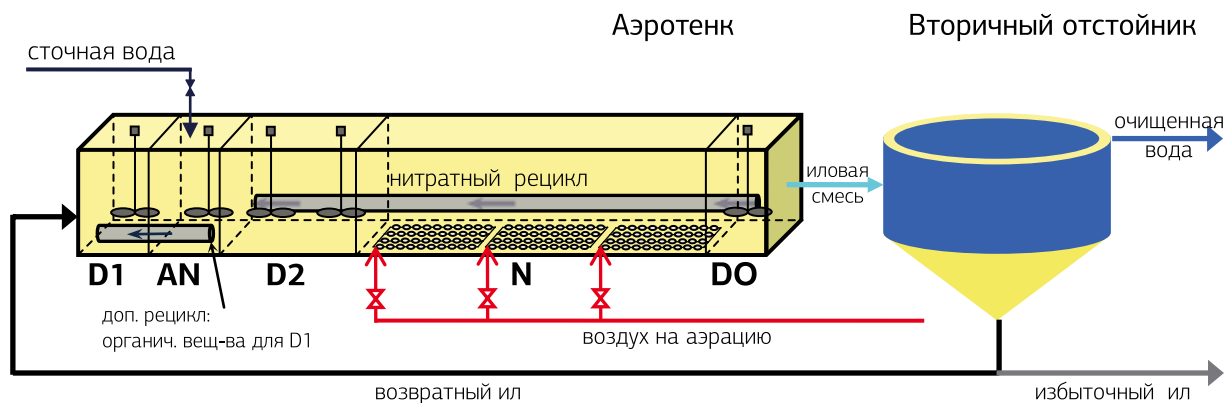
В статье рассмотрены вопросы минимизации затрат на модернизацию сооружений биологической очистки городских сточных вод. Приведены основные технологии глубокой биологической очистки городских сточных вод от органических веществ, азота и фосфора, а также необходимое для их реализации современное насосное, перемешивающее, аэрационное и воздухоподводящее оборудование. Показано, что применение новых технологий нитри-денитрификации и биологической дефосфотации без внутренней рециркуляции иловой смеси позволяет существенно сократить капитальные затраты на модернизацию и повысить энергоэффективность работы городских очистных сооружений.

Ключевые слова: городские очистные сооружения, модернизация, энергоэффективность, нитри-денитрификация, биологическая дефосфотация, осевые насосы, механические перемешивающие устройства, дисковый аэратор, аэрационная система, турбокомпрессор.

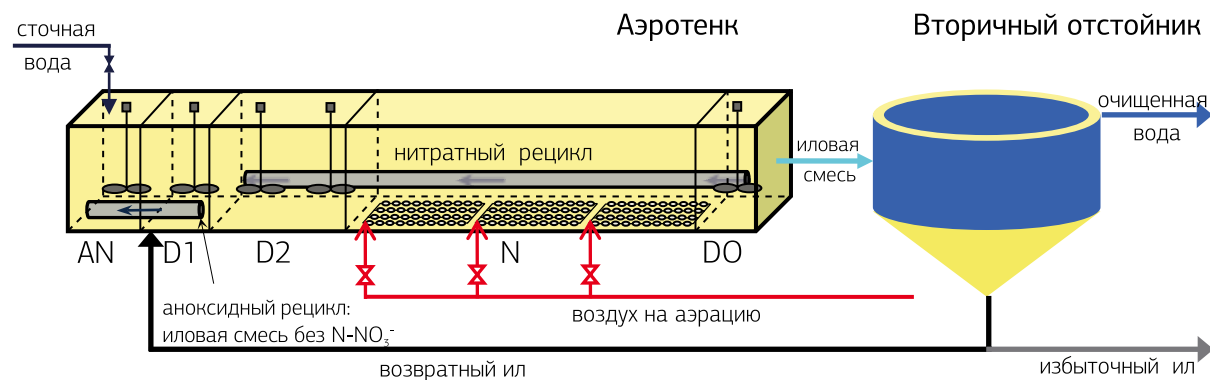
В начале 60-х гг., когда в нашей стране только начиналось внедрение технологий биологической очистки городских сточных вод, основной задачей очистки считалось изъятие и окисление органических веществ, в связи с чем при проектировании и строительстве на большинстве городских очистных сооружений (ГОС) России применялась технология аэробной биологической очистки. В конце 90-х годов приоритеты изменились и основным видом загрязнений, подлежащих удалению из сточных вод, становятся биогенные элементы – азот и фосфор. Внедрение технологий НД и БДФ совместно с применением современного оборудования дает возможность не только обеспечить глубокую очистку от органических веществ, соединений азота и фосфора, но и значительно повысить энергоэффективность работы ГОС. На сегодняшний день известно более десятка технологий НД и БДФ (НВ-процесс, УСТ-процесс, МНВ-процесс, МУСТ-процесс; VIP-процесс, процесс Bardenpho, A²/O-процесс и др.), (рис. 1) [1, 2].

Для реализации технологий НД и БДФ осуществляют модификацию процесса аэробной биологической очистки путем включения стадий

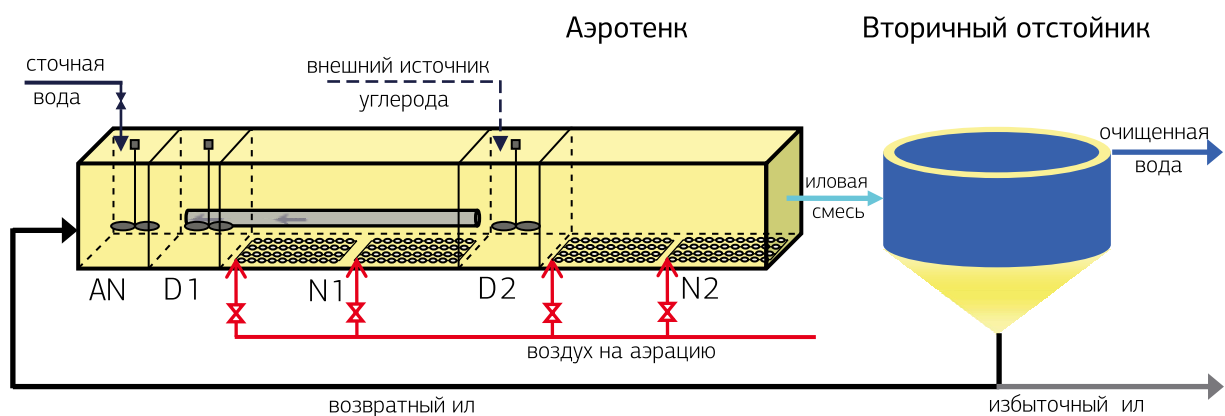
аноксидной и анаэробной обработки активного ила. Во всех технологиях нитри-денитрификации и биологической дефосфотации условно можно выделить два блока: «блок для удаления азота» и «блок для удаления фосфора». Так как смысл технологии биологической дефосфотации состоит в чередовании аэробных и анаэробных условий с последующим выводом накопивших фосфор в аэробной зоне фосфор-аккумулирующих организмов с избыточным илом, «блок для удаления фосфора» в процессах МНВ и МУСТ включает в себя собственно анаэробную зону AN, а также требуемую для ее «защиты» от нитратов аноксидную зону D1. Функциональное назначение зоны D1 заключается в удалении нитратного азота из возвратного ила перед его поступлением в анаэробную зону, где химически связанный кислород (нитраты) должен отсутствовать. В свою очередь «блок для удаления азота» (зоны D2-N-DO в технологиях МНВ и МУСТ) представляет не что иное, как технологию нитри-денитрификации «Modified Ludzack-Ettinger Process» (MLE-процесс) Модифицированный процесс Людзака-Эттингера. Именно в этом блоке при помощи нитратной рециркуляции иловой смеси происходит основная очистка от азота. Для реализации нитратной



а)



б)



Условные обозначения:

- AN – анаэробная зона;
- D – аноксидная зона (зона денитрификации);
- N – аэробная зона (зона нитрификации);
- DO – деоксидная зона.

в)

Рисунок 1

Реализация в системе биологической очистки аэротенк-вторичный отстойник технологий нитриденитрификации и биологической дефосфатации:

- а) Модифицированный Йоханнесбургский процесс (MJNB);
- б) Модифицированный УСТ-процесс (МУСТ);
- в) 5-и зонный процесс Барденфо (MBardenpho).



Рисунок 2
Насосы нитратной рециркуляции иловой смеси Sulzer ABS.

рециркуляции иловой смеси требуется установка высокопроизводительных энергоэффективных насосов, выделение специальной зоны DO для предотвращения попадания растворенного кислорода и прокладка соответствующих трубопроводов. Погружные осевые насосы Sulzer ABS (рис. 2) идеально подходят для этих целей, т.к. рассчитаны на большую подачу и низкий напор.

Основные преимущества насосов Sulzer ABS:

- компактная конструкция;
- высокий КПД;
- высокая надежность;
- простота в обращении.

Понятно, что чем больше нитратов возвращается в аноксидную зону, тем больше их может быть потенциально в ней удалено, поэтому правильно говорить об общем коэффициенте нитратной рециркуляции, который является суммой коэффициента нитратной рециркуляции и коэффициента рециркуляции возвратного ила. Для эффективной очистки от нитратного азота по технологии MLE, минимальный коэффициент нитратной рециркуляции, т.е. отношение расхода возвращаемой нитратным рециклом иловой смеси к расходу поступающей на очистку в аэротенк сточной воды обычно предусматривается от 1,3 или от 130%. На практике потребная степень нитратной рециркуляции определяется не только

количеством подаваемых в аноксидную зону нитратов, но и количеством поступающих в зону денитрификации органических веществ (обеспеченностью процесса денитрификации органическими веществами), а кроме того – количеством биомассы в аноксидной зоне, *pH* и температурой сточных вод. Чем выше кратность нитратной рециркуляции, тем ниже содержание органических веществ в аноксидной зоне, т.к. возврат иловой смеси нитратным рециклом с выхода аэротенка, где практически отсутствуют органические вещества, существенно снижает содержание органических веществ в начале аэротенка. В результате, начиная с определенного значения, увеличение кратности нитратной рециркуляции уже не приводит к увеличению эффективности очистки от нитратов: процесс денитрификации оказывается лимитирован по органическим веществам. В связи с этим, максимальная кратность нитратной рециркуляции обычно ограничивается диапазоном 1,3÷2,0 (130÷200%). Таким образом, MLE-процесс имеет объективное ограничение по эффективности очистки от нитратного азота. Данное ограничение тем более актуально для некоторых наших городов, в которых зачастую принята общесплавная система канализования, что определяет относительно низкое содержание органических веществ в городских сточных водах.

В приведенной на рисунке 1 пятизонной технологии Барденфо, обеспечивающей наиболее высокую эффективность удаления азота, «блок удаления азота» реализован как за счет исполь-

зования технологии MLE, так и за счет чередования зон нитрификации и денитрификации. С нашей точки зрения такое технологическое решение для «блока удаления азота» в технологиях НД и БДФ является весьма перспективным, т.к. при сохранении эффективной очистки по азоту, за счет отсутствия нитратной рециркуляции снижаются эксплуатационные расходы и капитальные затраты на реконструкцию ГОС.

Новые биотехнологии нитри-денитрификации и биологической дефосфатации были разработаны в GSP-Project Ltd (рис. 3). Семизонная технология нитри-денитрификации и биологической дефосфатации позволяет полностью отказаться от аноксидной и нитратной рециркуляции иловой смеси. Возможность регулирования

объема различных зон в условиях неравномерности характеристик поступающих на очистку сточных вод позволяет обеспечить повышенную эффективность и стабильность биологической очистки от органических веществ, соединений азота и фосфора, при этом сокращаются капитальные затраты на модернизацию (реконструкцию), строительство новых сооружений биологической очистки, снижаются эксплуатационные расходы на очистку сточных вод. Использование семизонной технологии (патент на изобретение RU 2636708) и технологии МУСТ-GSP (патент на изобретение RU 2636707) позволяет минимизировать затраты на модернизацию: использование данных технологий позволяет либо полностью отказаться, либо минимизировать затраты на

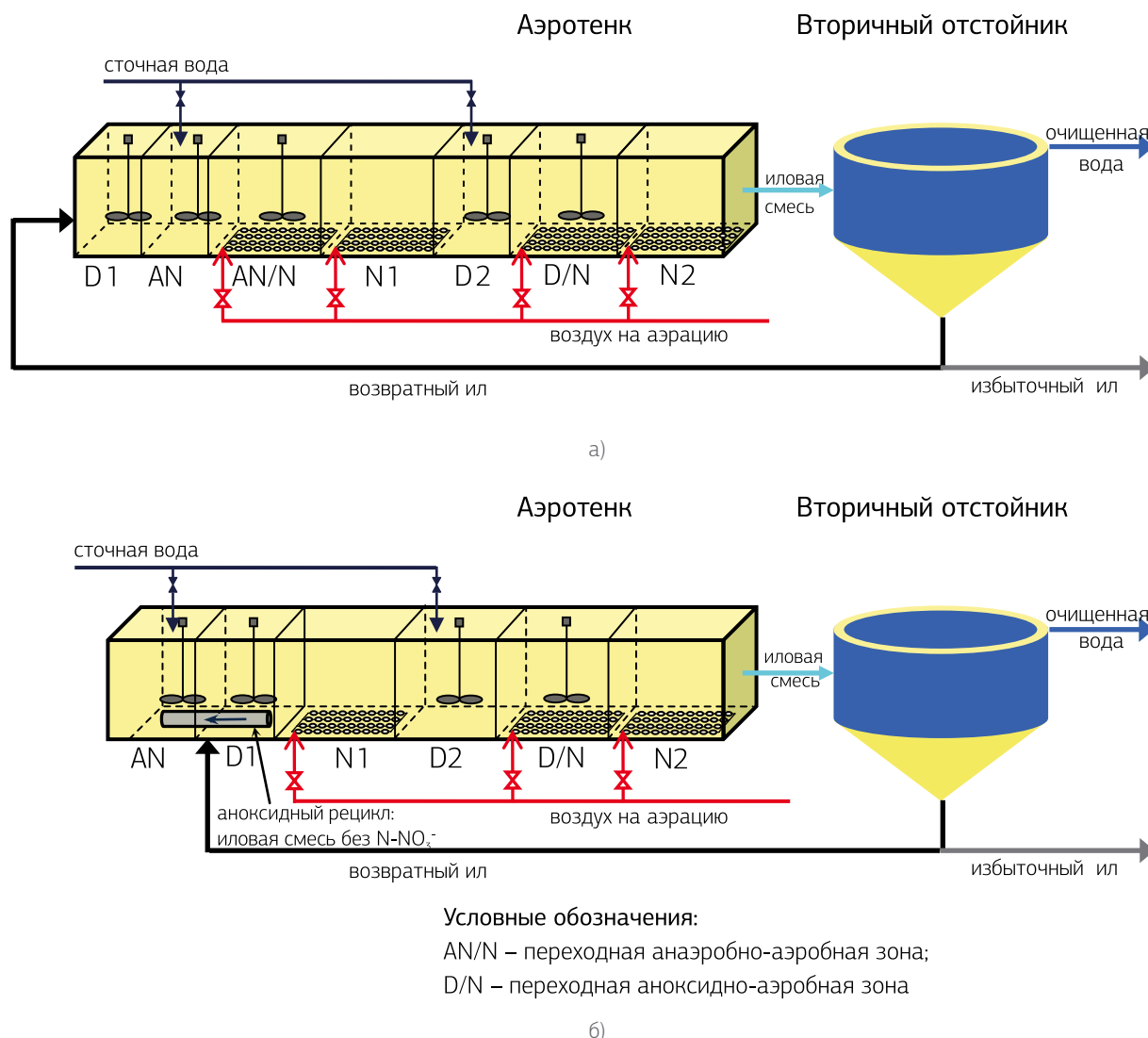


Рисунок 3

Новые биотехнологии НД и БДФ, разработанные в GSP-Project Ltd:

а) семизонная технология одновременного глубокого удаления органических веществ, азота и фосфора (НД и БДФ) безнитратной и аноксидной рециркуляции иловой смеси;

б) биотехнология МУСТ-GSP безнитратной рециркуляции иловой смеси (с переходной зоной D/N).



установку насосов внутренней рециркуляции иловой смеси; соответственно и необходимость прокладки соответствующих трубопроводов либо полностью отсутствует, либо сводится к минимуму. По сравнению со ставшими уже классическими технологиями НД и БДФ (МЈНВ, МЈНВ и др.), разработанные GSP-Project Ltd биотехнологии позволяют обеспечить даже более эффективную очистку по органическим веществам, соединениям азота и фосфора, т.к. предусматривают новые возможности по регулировке технологического процесса очистки за счет управления составом микробного ценоза активного ила.

Существенное влияние на стоимость проводимой модернизации оказывает способ реализации в аэротенке аноксидных и анаэробных зон. На практике аноксидные и анаэробные условия создаются заменой аэрации на механическое перемешивание, обеспечивающее поддержание активного ила во взвешенном состоянии. С точки зрения капитальных вложений на модернизацию, механическое перемешивание является наиболее затратным вариантом. Наряду с этим, механическое перемешивание энергетически выгоднее аэрации и позволяет достичь максимальной эффективности биологической очистки по соединениям азота и фосфора. Для перемешивания иловой смеси на ГОС чрезвычайно выгодным решением является использование высокоэффективных погружных мешалок Sulzer ABS (рис. 4) компании Sulzer, Швейца-

рия — мирового лидера по производству оборудования для очистки сточных вод. На данный момент работа Sulzer в России ведется несколькими дочерними российскими компаниями, среди которых не только офисы продаж, но и сервисные центры и производства. Компания GSP-Project Ltd является официальным партнером Sulzer. Погружные мешалки типа ABS XRW применяются на ГОС малой и средней производительности. Лопасти пропеллеров мешалок ABS обладают высокой способностью к самоочистке, что обеспечивает оптимальные эксплуатационные характеристики при низком энергопотреблении, в частности при использовании в процессах денитрификации и удаления фосфатов.

Для действующих аэротенков, работающих в традиционном аэробном режиме, внедрение биотехнологий НД и БДФ при сохранении производительности по стокам требует интенсификации работы аэробных зон. Повышение скорости аэробных процессов, включая нитрификацию и биоокисление органических веществ, позволяет сократить объем аэробной зоны и выделить в существующем аэротенке аноксидные и анаэробные зоны. Интенсификация аэробной очистки позволяет обойтись без строительства новых емкостных сооружений и достигается применением эффективных аэраторов с созданием в аэротенке широкой аэрируемой полосы. Обычно мелкопузырчатые диффузоры могут существенно увеличить общую эффективность передачи воздуха в смешанную жидкость. Так, например,



Рисунок 4

Мешалки Sulzer ABS для поддержания ила во взвешенном состоянии в аноксидных и анаэробных зонах:

а) ускоритель потока типа ABS XSB; б) погружные мешалки типа ABS XRW.

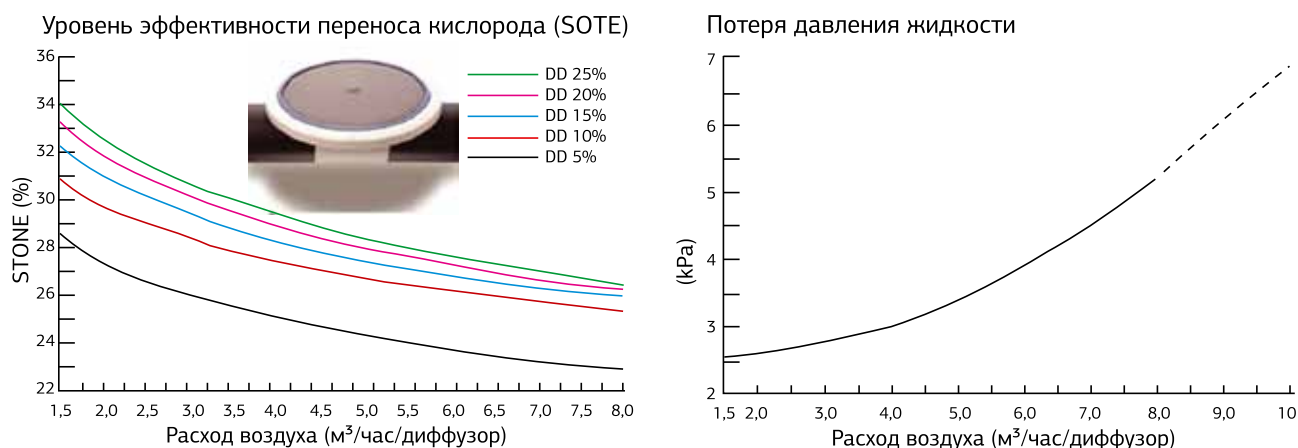


Рисунок 5

Характеристика аэрационной системы Sulzer ABS NOPON (PIK 300).

при переходе с пристеночной среднепузырчатой аэрации на дисковую мембранную мелкопузырчатую аэрационную систему с широкой аэрируемой полосой, требуемое количество воздуха на аэрацию сокращается в $2,5 \div 3,0$ раза [3]. Не рекомендуется установка аэрационных элементов, относящихся к типу незащищенных, т.е. в поры может проникать песок, взвешенные частицы и организмы активного ила. К таким аэраторам относятся пористые трубчатые аэраторы, которые работают эффективно не более 4-5 лет. Защищенными считаются дисковые аэраторы с подвижной мембраной, которая смыкается при прекращении подачи воздуха, тем самым предупреждая засорение пор. Аэрационная система Sulzer ABS NOPON, состоящая из дисковых мембранных аэраторов PIK 300 (рис. 5), является хорошо апробированной и имеет длительный срок эксплуатации. Так, например, на КОС г. Сестрорецк ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» ее эксплуатация производится уже в течение 11 лет. Данная аэрационная система может быть рекомендована к применению при модернизации других ГОС.

Широкий диапазон требуемого расхода воздуха на аэрацию в значительной мере определяется суточными и сезонными колебаниями расхода и состава поступающих на биологическую очистку сточных вод. В настоящее время на ГОС применяются два основных типа регулируемых воздуходувок. В воздуходушках первого типа, предназначенных в основном для больших ГОС, на входе/выходе установлены автоматически регулируемые поворотные лопатки,

которые регулируют производительность воздуходувки («Siemens HV-Turbo»). Другой тип – воздуходувки с жестко установленным рабочим колесом, которое вращается с большой скоростью. В таких воздуходушках нередко применяются магнитные подшипники, т.е. отсутствуют изнашиваемые детали (воздуходувки «Sulzer ABS HST»). Как правило, воздуходувки «Sulzer ABS HST» применяются на средних по мощности ГОС. Номинальный КПД регулируемых турбокомпрессоров «Siemens» и «Sulzer ABS HST» (до 86% [4]) превышает КПД наиболее широко распространенных в России турбокомпрессоров серии ТВ (КПД $51 \div 73\%$ [5]), а также роторных нагнетателей (КПД $50 \div 61\%$) [4]. Как и система аэрации NOPON, две воздуходувки «Sulzer ABS HST» уже 11 лет эксплуатируются на ГОС г. Сестрорецк ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга».

Способность регулировать скорость нагнетания, а, соответственно – подачу воздуха в систему аэрации в широком диапазоне расхода, позволяет оптимизировать процесс аэрации в зависимости от множества показателей. Система управления частотным преобразователем способна принимать как аналоговые, так и цифровые сигналы для управления производительностью всей системы. Таким образом, применение регулируемых турбокомпрессоров с высокоскоростными электродвигателями на магнитных подшипниках является на сегодняшний день оптимальным инженерным решением для реализации энергоэффективных технологий очистки стоков при проектировании новых и реконструкции существующих очистных сооружений.



Выводы

- Затраты на модернизацию и энергоэффективность работы ГОС в значительной мере будут определяться принятой в проекте технологией биологической очистки сточных вод.
- Использование новых биотехнологий НД и БДФ без внутренней рециркуляции иловой смеси, наряду с обеспечением глубокого биологического удаления органических веществ, азота и фосфора, позволяет минимизировать затраты на модернизацию ГОС: данные технологии не требуют установки насосов нитратной и аноксидной рециркуляции иловой смеси, а также прокладки соответствующих трубопроводов. Кроме того, отсутствуют эксплуатационные расходы, связанные с обслуживанием и ремонтом указанного оборудования.
- Установка современного оборудования (в первую очередь - механических перемешивающих устройств, дисковых аэраторов и регулируемых воздухоподогревателей) позволяет добиться максимальной энергоэффективности работы ГОС и значительно снизить эксплуатационные расходы после проведения модернизации.

Литература:

1. Большаков Н.Ю. Очистка от биогенных элементов на городских очистных сооружениях. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. – 112 с.
2. Хенце М. Биологическая очистка сточных вод. – М.: Мир, 2004. – 480 с.
3. Ким В.С., Большаков Н.Ю. Оптимизация подачи воздуха в аэротенк как основа повышения энергоэффективности работы КОС // Водочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2016/2 (98). – с. 56-64.
4. Березин С.Е. Выбор способа регулирования воздухоподогревателей для аэрации сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2012. № 11. – с. 59-64.
5. Баженов В.И., Эпов А.Н. Энергосбережение – как критерий выбора воздухоподогревателя // НДТ. Сентябрь 2012. – с. 64-76.