

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет»
(национальный исследовательский университет)
Институт «Архитектурно-строительный»
Кафедра «Градостроительство, инженерные сети и системы»

ВКР МАГИСТРА
ПРОВЕРЕНА
Рецензент

_____ 201__ г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой
Д.В. Ульрих

_____ 201__ г.

Удаление биогенных веществ из сточных вод г. Челябинска

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ МАГИСТРА
ЮУрГУ–08.04.01.2018.305-04.120 ПЗ ВКР

Руководитель ВКР
магистра
В.С. Сперанский

_____ 201__ г.

Автор ВКР
магистр группы АС-227
О.В. Шаповал

_____ 201__ г.

Нормоконтролер
Е.В. Николаенко

_____ 201__ г.

Челябинск 2018

РЕФЕРАТ

Шаповал О.В. Удаление биогенных веществ из сточных вод г. Челябинска. Челябинск: ЮУрГУ, АС-227, 2018.– 65 с., 21 ил., 18 табл., библиогр. список – 33 наим.

Ключевые слова: очистные сооружения канализации, удаление азота и фосфора, биологическая очистка сточных вод, нитрификация, денитрификация.

Предметом исследования является удаление биогенных веществ.

Цель работы – выбор оптимальной для условий средней полосы РФ схемы биологической очистки, рассчитанной на удаление биогенных элементов, на примере очистных сооружений канализации г. Челябинска.

Для достижения цели работы решены следующие задачи: произведен анализ литературных источников, касающийся особенностей удаления биогенных веществ из сточных вод; произведен системный анализ технологических процессов на ОСК; проведены предварительные расчеты аэротенков с зонами нитрификации и денитрификации, разработаны предложения по реконструкции очистных сооружений канализации г. Челябинска.

Работа проводилась методом системного анализа технологических процессов на очистных сооружениях города Челябинска.

В результате работы выявлена возможность внедрения на очистных сооружениях канализации города Челябинска наилучших технологий очистки. Представлены результаты теоретических исследований по выбору оптимальной схемы очистки сточных вод от биогенных веществ.

Степень внедрения – методика интенсификации процесса очистки сточных вод от биогенных веществ рекомендована к использованию для очистки сточных вод с низкими концентрациями загрязнений.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1. АНАЛИЗ МЕТОДОВ УДАЛЕНИЯ БИОГЕННЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ СТОЧНЫХ ВОД.....	9
1.1 Удаление соединений азота.....	10
1.1.1 Процесс нитрификации.....	10
1.1.2 Процесс денитрификации.....	12
1.2 Удаление соединений фосфора.....	15
1.2.1 Биологическое удаление фосфора.....	15
1.2.2 Химическое удаление фосфора.....	16
1.3 Технологические схемы удаления биогенных веществ.....	16
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 1.....	26
2. АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ Г. ЧЕЛЯБИНСКА.....	27
2.1 Историческая справка.....	27
2.2 Состав и технологическая схема очистных сооружений канализации.....	27
2.3 Категория водного объекта.....	31
2.4 Динамика изменений объемов и концентраций загрязнений поступающих стоков в течение года.....	32
2.5 Динамика изменений концентраций загрязнений очищенных стоков в течение года.....	35
2.6 Интегральная оценка качества очищенной воды.....	38
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 2.....	40
3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ СХЕМЫ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ НА ОСК Г. ЧЕЛЯБИНСК.....	41
3.1 Возможные схемы очистки.....	41
3.1.1 Очистка с биологическим удалением азота и фосфора, улучшенная с помощью ацидофикации.....	42
3.1.2 Очистка с биологическим удалением азота и биолого-химическим удалением фосфора.....	42
3.2 Определение оптимальной схемы очистки.....	43
3.2.1 Анализ методик расчета сооружений с биологическим удалением азота и фосфора.....	44
3.1.2 Поверочный расчет аэротенка с нитрификацией-денитрификацией.....	45
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 3.....	53
4 ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ.....	54
4.1 Расчет экономического ущерба от загрязнения природных водоемов.....	54
4.2 Экономические показатели внедрения новой технологии.....	56

4.3 Экономический анализ эколого-экономической эффективности использования новой технологии.....	57
4.3.2 Абсолютная эколого-экономическая эффективность.....	58
4.3.3 Относительная эколого-экономическая эффективность.....	59
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 4.....	60
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	61
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	63

ВВЕДЕНИЕ

В системе защиты окружающей среды от загрязнения очистка сточных вод является одним из основополагающих компонентов. В настоящее время в данной области наметились новые тенденции и подходы, образующие понятие «техника и технологии XXI века», направленные на решение проблем, существование которых ранее не принималось во внимание. В соответствии с современными воззрениями, основной причиной ухудшения качества вод, забираемых для питьевых нужд, является эвтрофикация поверхностных источников.

Ведущим фактором, определяющим интенсивность эвтрофикации, является поступление в водоемы со сточными водами значительного количества биогенных веществ – азота и фосфора. И если ранее основной задачей очистки считалось изъятие и окисление массы органических веществ, то сейчас основным видом загрязнений, подлежащих удалению, становятся именно биогенные вещества.

С этой точки зрения особую актуальность и значимость приобретает реконструкция очистных сооружений с внедрением наилучших технологий по удалению биогенных веществ, ведь подавляющее большинство таких сооружений в нашей стране спроектированы и построены 30-40 лет назад и не способны обеспечить современное качество очистки.

Настоящая работа направлена на комплексную оценку, развитие и совершенствование технологии удаления азота и фосфора из сточных вод.

Актуальность работы состоит в том, что только технологии биологической очистки городских сточных вод, специально предназначенные для удаления биогенных элементов, способны предотвратить эвтрофикацию водных объектов.

Исследования российских специалистов в последнее время позволили сделать значительный шаг вперед в этом направлении, однако отсутствие общепринятых методик расчета сооружений требует проведения дальнейших исследований с целью создания технологий, оптимальных для российских условий.

Цель проводимого исследования - выбор оптимальной для условий средней полосы РФ схемы биологической очистки, рассчитанной на удаление биогенных элементов.

Для достижения этой цели в работе необходимо было решить следующие задачи:

- Выявление факторов, определяющих скорость и эффективность процессов нитрификации, денитрификации и дефосфатирования, а также количественная оценка их влияния на данные процессы;
- Теоретическое изучение вопросов применения технологий биологической очистки городских сточных вод. Анализ наиболее современных и совершенных технологических схем очистки сточных вод, выявление их достоинств и недостатков;

- Проведение анализа работы существующих очистных сооружений канализации на примере г. Челябинска и определение возможности улучшения работы участка биологической очистки.

- Разработка и исследование схемы биологической очистки, имеющей преимущества по эффективности очистки по сравнению с существующей схемой.

- Проведение технико-экономического сравнения технологий биологической очистки.

- Разработка предложений по реконструкции очистных сооружений канализации г. Челябинска.

Основой практической значимости работы является подготовка ряда рекомендаций по проектированию и эксплуатации очистных сооружений канализации города Челябинска с применением новых технологий.

1 АНАЛИЗ МЕТОДОВ УДАЛЕНИЯ БИОГЕННЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ СТОЧНЫХ ВОД

Биогенные вещества – элементы, постоянно входящие в состав организмов и выполняющие определенные биологические функции. Важнейшими биогенными элементами являются кислород, углерод, водород, азот, фосфор, сера, кальций, калий, натрий, хлор. Все указанные элементы играют важную роль в биологических процессах, происходящих в окружающем нас мире, в том числе и в воде водоемов [1].

В практике очистки сточных вод выделяют два основных биогенных элемента: азот (N) и фосфор (P).

Азот в сточной воде может быть представлен несколькими соединениями: азот аммонийный (NH₄-), азот нитритов (NO₂-), азот нитратов (NO₃-), азот органический (в составе органических соединений).

Присутствие в сточной воде азотсодержащих веществ является результатом разложения белковых соединений, содержащихся в бытовых сточных водах. Белковые вещества в живом организме в процессе обмена веществ дают мочевины CO(NH₂)₂, которая под воздействием гнилостных бактерий, содержащихся в сточной воде, подвергается гидролизу с образованием азота аммонийных солей:



В этом виде, в виде углекислого аммония, азот главным образом и находится в сточных водах. В дальнейшем углекислый аммоний, разлагаясь, может давать аммиак. Образование аммиака происходит по уравнению:



Появление аммиака, нитритов, нитратов в различных количественных сочетаниях говорит о стадиях окисления белков, о работе очистных сооружений, а также является оценкой санитарного состояния водоемов.

Фосфорсодержащие соединения могут присутствовать в бытовых сточных водах в разных состояниях: в растворенном, коллоидном и взвешенном. В нерастворимом состоянии фосфор находится в основном на взвешенных частицах, в виде труднорастворимых фосфатов и белковых органических веществ. Нерастворимый фосфор связан с другими соединениями и инертен для биологического процесса очистки. В поступающих на очистку сточных водах основная доля соединений фосфора представлена в виде коллоидной и растворенной форм фосфатов и ортофосфатов и растворенных форм полифосфатов. Органический фосфор в бытовых стоках — это в основном метаболиты человека, полифосфаты органические — это нуклеиновые кислоты - продукты жизнедеятельности гидробионтов и человека. Минеральный фосфор в растворенном состоянии - это ортофосфорная кислота и ее анионы (H₂PO₄⁻, HPO₄²⁻, PO₄³⁻) [1].

При выпуске очищенных сточных вод в водоем необходимо учитывать категорию водного объекта и ПДК вредных загрязнений. В соответствии с [2]

ПДК для водных объектов рыбохозяйственного значения приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектах рыбохозяйственного значения

Показатель	Значение, мг/л
Азот аммонийный N-NH ₄	0,5
Азот нитритов N-NO ₂	0,08
Азот нитратов N-NO ₃	40,0
Фосфаты (для эвтрофных водоемов)	0,2

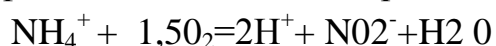
1.1 Удаление соединений азота

1.1.1 Процесс нитрификации

Нитрификация – это микробиологический процесс окисления азота аммонийных солей, в результате чего образуются сначала соли азотистой кислоты, или нитриты, а при дальнейшем окислении — соли азотной кислоты, или нитраты.

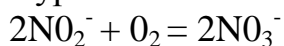
Нитрификацию осуществляют бактерии – автотрофы, которым углерод необходим в неорганической форме (углекислота, карбонаты, бикарбонаты). Нитрифицирующие бактерии (нитрификаторы) являются гомогенной группой автотрофных бактерий, характеризующихся низким приростом бактерий нитрификаторов из-за невысокого коэффициента энергии процесса окисления аммонийного и нитратного азота. Низкий прирост нитрификаторов является главной проблемой для процесса нитрификации в сооружениях биологической очистки сточных вод, работающих по классической схеме биологической очистки.

Первая стадия нитрификации может быть выражена уравнением:



Присутствие в среде органических соединений пагубно влияет на рост нитрифицирующих микроорганизмов, поэтому только после практически полного окисления углеродосодержащих соединений создаются условия для развития бактерии первой фазы нитрификации, которую осуществляют бактерии нескольких родов, в основном это - *Nitrosomonas*, *Nitrosocystis*, *Nitrosococcus*, *Nitrosolobus*.

Вторая фаза нитрификации - образование нитратов начинается при успешном завершении первой, т.к. избыток аммиака тормозит развитие бактерий второй фазы нитрификации. Вторая стадия протекает в соответствии с уравнением:



Осуществляют вторую фазу нитрификации бактерии родов *Nitrobacter*, *Nitrospina*, *Nitrococcus*, *Nitrosystis*, *Nitrospira*.

Факторами, которые оказывают влияние на процессы нитрификации, являются: концентрация субстрата, температура, концентрация растворённого кислорода, рН и токсичные компоненты.

Известно, что концентрации нитрита (NO_2^-) и нитрата (NO_3^-) оказывают влияние на максимальную скорость роста *Nitrosomonas* и *Nitrobacter* и соответственно на эффективность процессов нитрификации [3].

В диапазоне 10-20°C нитрификаторы хорошо развиваются и достигают максимальную скорость роста при температуре 30-35°C. Между 35-40°C скорость роста нитрификаторов уменьшается, а в режиме термофильной температуры (50-60°C) процесс нитрификации не происходит.

Нитрификаторы очень чувствительны к содержанию растворённого кислорода. Нитрификация может происходить при высокой концентрации кислорода, например в сооружениях очистки сточных вод, использующих чистый технический кислород (окситенки и др.), концентрация 60 г $\text{O}_2/\text{м}^3$ не ингибирует процесс нитрификации.

На практике, при проектировании аэротенков, минимальная концентрация растворённого кислорода рекомендуется 2 мг/л. На рисунке 1.1 показано влияние концентрации растворённого кислорода на скорость нитрификации.

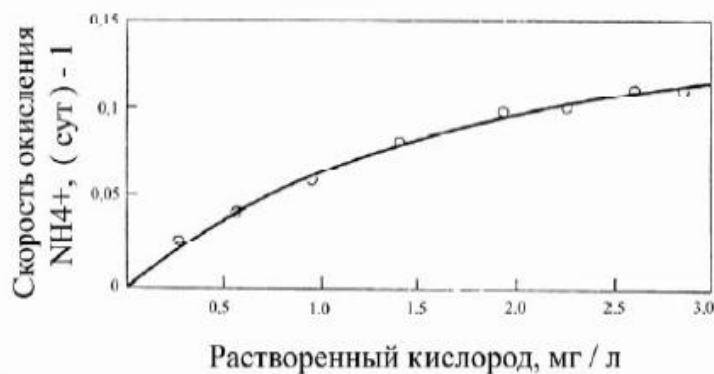


Рисунок 1.1 - Влияние концентрации растворённого кислорода на скорость нитрификации

Для оптимизации процесса нитрификации значение рН рекомендуется принимать в диапазоне от 7,2 до 8,5. На основе прироста *Nitrosomonas* отношение между эффективностью нитрификации и значением рН изображено на рисунке 1.2.

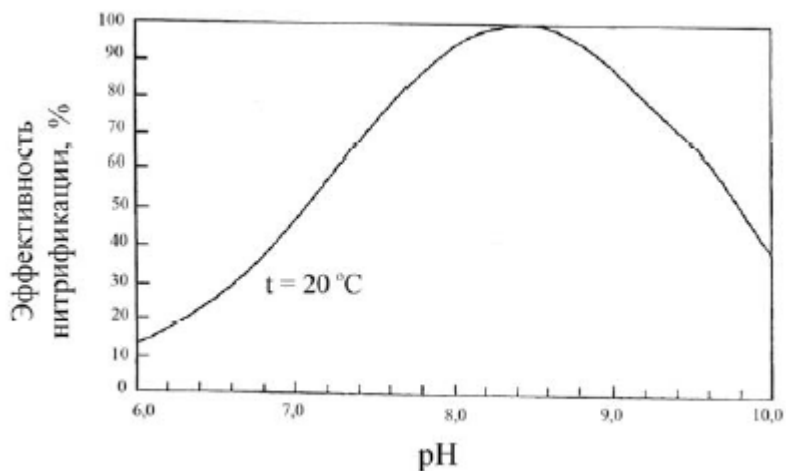


Рисунок 1.2 - Зависимость эффективности процесса нитрификации от значения pH (при температуре 20°C)

По сравнению с другими видами бактерий нитрификаторы не так чувствительны к токсичным компонентам, однако тяжёлые металлы (Cu, Ni, Cr, Zn, Co ...) и некоторые органические соединения (сернистые, анилиновые, фенольные и цианиды), могут оказывать ингибирующее влияние на процессы нитрификации [4].

При этом бактерии второй стадии нитрификации менее чувствительны к токсикантам и воспроизводятся на 50% быстрее, чем бактерии первой стадии. Поэтому первая стадия чаще всего бывает лимитирующей.

1.1.2 Процесс денитрификации

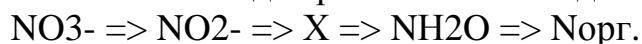
Денитрификация – процесс восстановления азота с помощью денитрификаторов в процессе дыхания в анаэробных условиях. Поскольку денитрифицирующие бактерии являются гетеротрофными микроорганизмами, то они нуждаются в органических соединениях как источнике углерода и могут расти и развиваться как в аэробных, так и в анаэробных условиях. Однако денитрификация интенсивней проходит при ограниченном доступе кислорода.

Способностью осуществлять денитрификацию обладают разные роды бактерий сточной воды: *Achromobater*, *Aerobater*, *Alkaligenes*, *Balicus*, *Flavobacterium*, *Micrococcus*, *Proteus*, *Pseudomonas* и др [3].

При денитрификации происходит восстановление окисленных форм азота (NO₃⁻). При этом реакции денитрификации могут идти по пути диссимилиации нитратов (или нитратное дыхание), т.е. разложения вещества с получением в качестве конечного продукта газообразного азота:



Либо по другому пути – ассимиляция нитрата, при которой азот не уходит из воды, а останется в ней в виде органических соединений:



Факторами, влияющими на процесс денитрификации, служат субстрат (источник углерода), температура, концентрация растворённого кислорода и рН.

Денитрифицирующие бактерии могут употреблять различные виды субстрата, который является источником углерода. Могут быть использованы неорганические источники, а также органические - органические вещества в самой сточной воде и в активном иле, так называемые внутренние источники.



Рисунок 1.3 - Зависимость между температурой, источником субстрата и скоростью денитрификации

Скорость денитрификации при использовании метанола и ацетата в качестве источников углерода выше, чем при использовании с этой же целью органических соединений, поступающих со сточной водой, и значительно выше, чем при использовании углерода, находящегося внутри бактериальной клетки (рисунок 1.3). В последнем случае скорость денитрификации лимитируется скоростью гидролиза клетки. Для того чтобы процесс денитрификации проходил удовлетворительно, в сточных водах должно присутствовать достаточное количество органических соединений. Если для денитрификации используется неочищенная сточная вода, отношение БПК/общий азот на входе должно быть не менее 3,5-4. В этом случае могут быть получены низкие концентрации общего азота на выходе [5].

Скорость удаления нитратов в термофильном режиме ($50 - 60^\circ\text{C}$) примерно на 50% больше, чем скорость удаления нитрата при температуре 35°C .

Оптимальное значение рН для процесса нитрификации: 7-9. Низкое значение рН (<7) оказывает влияние на конечные продукты процесса денитрификации. Когда рН уменьшается, увеличивается количество окиси азота, особенно N_2O .

Растворённый кислород ингибирует процессы денитрификации. Концентрация растворенного кислорода не должна превышать 0,3 мг/л - для высококонцентрированных по органическим соединениям сточных вод, 0,15 мг/л – для средне- и низкоконцентрированных сточных вод.

Для реализации процесса денитрификации используются различные схемы: пре-денитрификация – аноксидная зона устраивается перед зоной нитрификации, пост-денитрификация – аноксидная зона устраивается после зоны нитрификации, ступенчатая денитрификация с пульсирующей аэрацией. В последнем случае, в аноксидных/аэробных зонах устанавливаются как мешалки, так и аэраторы, работающие попеременно [6]. Схемы реализации процесса денитрификации показаны на рисунках 1.4-1.6.

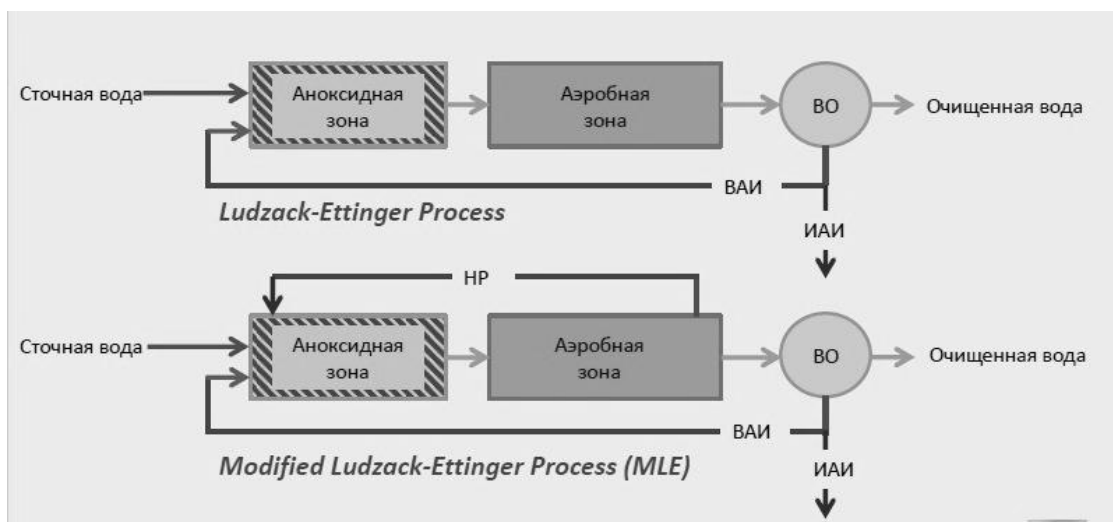


Рисунок 1.4 – Схема процесса пре-денитрификации

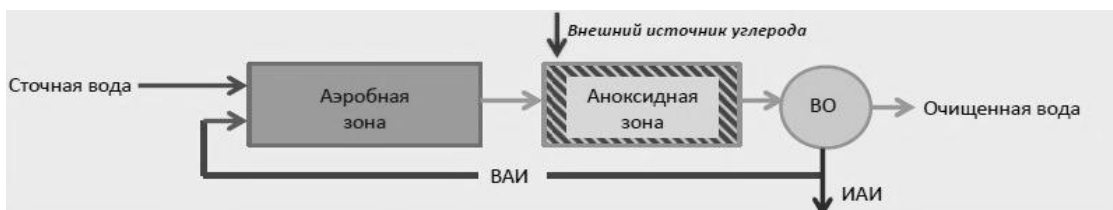


Рисунок 1.5 – Схема процесса пост-денитрификации

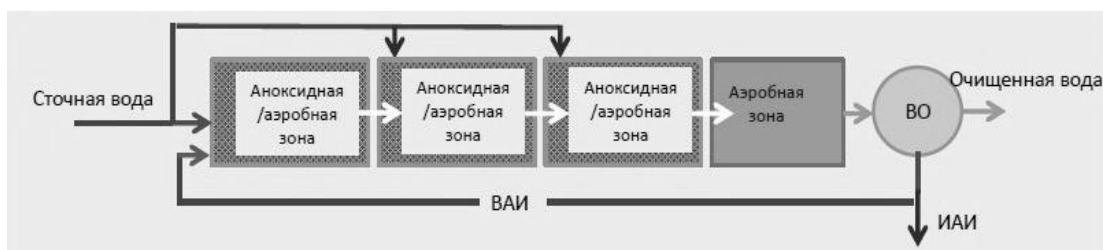


Рисунок 1.6 – Схема процесса ступенчатой денитрификации

1.2 Удаление соединений фосфора

Важность удаления фосфорсодержащих соединений обусловлена тем, что растворимый фосфор является основным лимитирующим веществом для

развития водорослевого цветения в водоеме, в большей степени воздействующим на процесс эвтрофикации. Для очистки сточных вод от соединений фосфора применяются биологические и химические методы или их комбинации [5].

1.2.1 Биологическое удаление фосфора

В процессе биологического удаления фосфора фосфаты используются микроорганизмами как источник накапливания биоэнергии (в виде АТФ). Кроме того, фосфаты могут быть использованы микроорганизмами в качестве субстратов в анаэробных условиях.

Регенерация фосфатов может происходить как в аэробных, так и в анаэробных условиях. Такой процесс может быть осуществлен многими группами бактерий, например группами бактерий *Rhodocyclus*, *Candidatus "Accumulibacter phosphatis"*, α -*Proteobacteries*, β -*proteobateries*, *Acinetobacter* и группой нитчатых "*Chloroflexi*" и *N. limicola*. Микроорганизмы, которые способны аккумулировать больше фосфора, чем это необходимо для прироста биомассы (так называемое «жадное поглощение»), называются фосфораккумуляторными бактериями – в сокращенном виде РАО (*Phosphorus accumulating organism*). Фосфораккумуляторные бактерии РАО разделяются на две группы – РАО и так называемые денитрифицирующие РАО (в сокр. виде DNPAO). Последние могут использовать регенерацию фосфатов путём использования нитратов вместо растворённого кислорода (т.е. в анаэробных условиях) [7].

Факторы, влияющие на фосфораккумуляторные бактерии (РАО), сходны с факторами, оказывающими влияние на аэробные гетеротрофные и денитрифицирующие бактерии. Тем не менее, для того, чтобы процесс аккумуляции фосфора происходил эффективно, на практике следует соблюдать два важных требования: чередование анаэробно-аэробных условий и полное отсутствие нитратов в анаэробных зонах. Чередующиеся анаэробно-аэробные условия важны для создания оптимальных условий для развития РАО. Нитраты оказывают негативное воздействие в анаэробном периоде: в процессах денитрификации они снижают концентрацию легкоразлагаемых органических веществ (например, уксусная кислота), которые важны для РАО, влияют на процессы метаболизма РАО-бактерий (ингибируют процессы накопления полифосфатов).

Изъятие органических загрязнений требует затрат энергии, которую бактерии получают за счет распада (и выброса за пределы клетки) накопленных фосфорсодержащих соединений. Изъятие органических соединений в анаэробной стадии протекает одновременно с выбросом фосфатов. Когда РАО последовательно проходят анаэробную и аэробную зоны биологической очистки, бактерии разлагают абсорбированные и адсорбированные органические соединения, одновременно с этим протекает процесс изъятия фосфатов. Для очистных сооружений с биологическим удалением фосфора требуется, чтобы избыточный ил обрабатывался по

возможности быстро. В противном случае возможно обратное выделение фосфатов и их возврат на очистные сооружения [5].

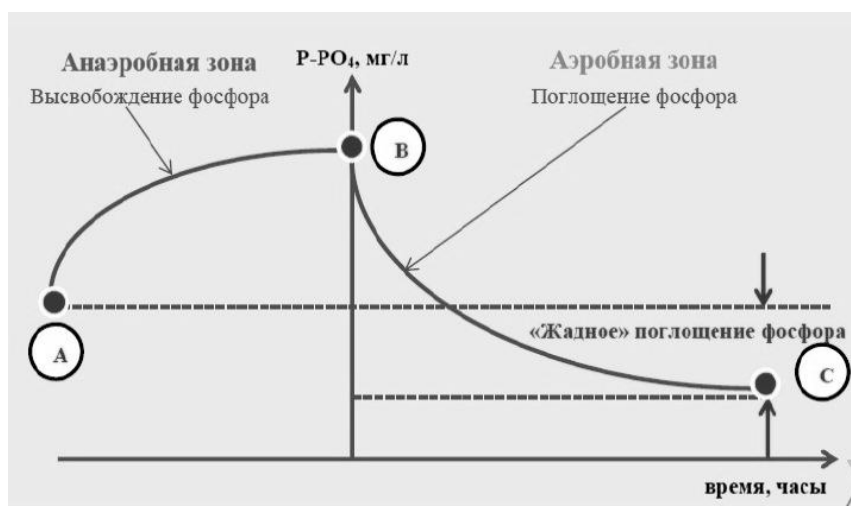
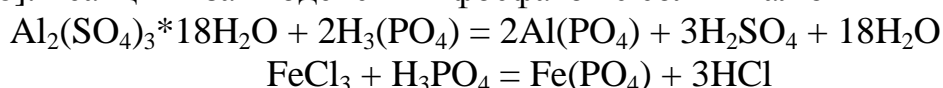


Рисунок 1.7 – Принцип биологического удаления фосфора

Количество фосфора, который может быть биологически удален, зависит от состава сточных вод, особенно от отношения БПК/Р. Для хозяйственных сточных вод с отношением БПК/Р < 25 необходимо дополнительное применение реагентов.

1.2.2 Химическое удаление фосфора

Принцип реагентного метода удаления фосфора из сточных вод основывается на добавлении химических реагентов, образовании нерастворимых фосфор-реагентных соединений, их осаждении и удалении из системы [6]. Реакции взаимодействия фосфатов с солями алюминия и железа:



При реализации технологии химического удаления фосфора важными моментами являются как выбор точки ввода реагента, так и выбор самого реагента. На рисунке 1.8 показаны возможные точки ввода реагента. В каждом конкретном случае, необходимо отталкиваться от минимизации как эксплуатационных, так и капитальных затрат. Выбор точки ввода реагента влияет на количество реагента, необходимого для достижения требуемого качества очищенной воды по фосфору.

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 количества приросшего активного ила, что ведет к увеличению объемов аноксидных и аэробных зон аэротенка [27].



Рисунок 1.8 – Возможные точки ввода реагента

Удельная расчетная доза реагента определяется с учетом требуемой концентрации фосфора в очищенной воде.

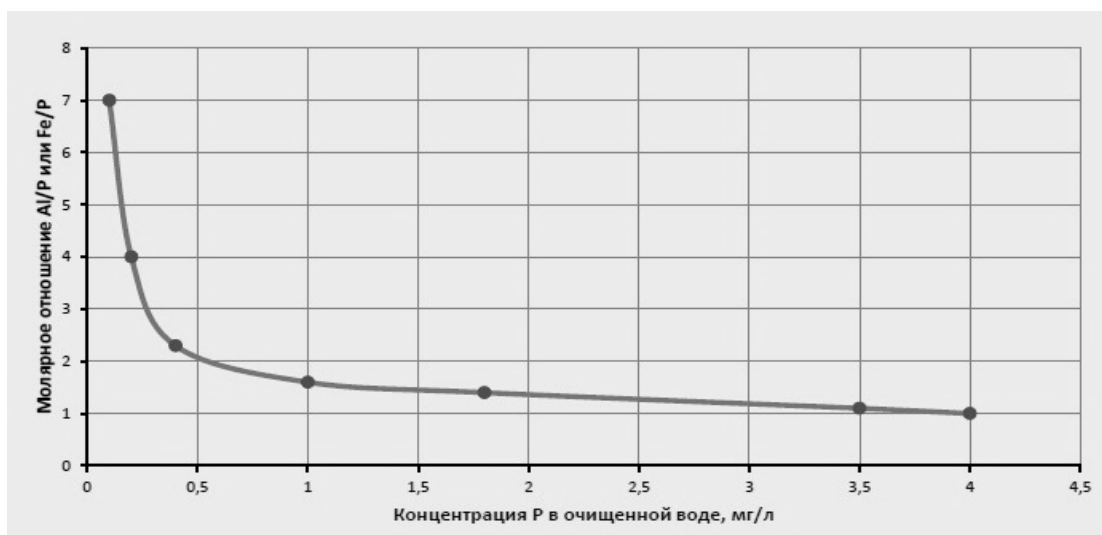


Рисунок 1.9 – Определение расчетной дозы реагента

В схемах с химическим удалением фосфора стабильно обеспечивается требуемое качества очистки, однако даже оптимально выбранная схема требует существенных затрат на закупку реагента.

1.3 Технологические схемы удаления биогенных веществ

В современной практике применяются различные способы и схемы биологического удаления азота и фосфора. Появились многочисленные вариации схем биологической очистки, направленные на индивидуальное удаление азота либо фосфора, а также на параллельное (симультанное) изъятие этих элементов [8].

Разнообразные схемы устройства блоков биологической очистки обусловлены, в первую очередь, различными требованиями к качеству

очищенной воды. Условия приемлемости схем и сооружений в значительной степени меняются при реконструкции ранее построенных очистных станций.

Технология удаления азота и фосфора включает три основных элемента: зону анаэробной обработки смеси ила и сточных вод; аноксидную зону для денитрификации; оксидную (аэробную) зону для проведения нитрификации.

В анаэробной зоне в результате жизнедеятельности факультативных и анаэробных микроорганизмов активного ила происходит ферментативный гидролиз содержащихся в сточных водах органических загрязнений с образованием летучих жирных кислот, которые в этой же зоне потребляются аккумулялирующими фосфор бактериями *Acinetobacter* и накапливаются в их цитоплазме в виде запаса полигидроксипутирата. В аноксидной зоне происходит процесс денитрификации, заключающийся в использовании бактериями активного ила (в отсутствии свободного кислорода) связанного кислорода нитратов с восстановлением последних до газообразного азота. Следующая затем аэробная зона является нитрификатором и одновременно сооружением, в котором фосфаты накапливаются микроорганизмами *Acinetobacter*, присутствующими в биоценозе активного ила. Чем больше летучих жирных кислот было произведено в анаэробной зоне, тем большее количество фосфатов бактерии *Acinetobacter* способны аккумулялировать в аэробной зоне [9].

Все технологические схемы очистки сточных вод от биогенных элементов можно условно разделить на две группы. К первой группе относятся схемы с окислительными каналами – аэротенки карусельного типа, Biotenpho-процесс, UNITANK-процесс, циклические схемы. Вторую группу представляют схемы, которые можно осуществить в обычных коридорных аэротенках. Именно эти схемы интересны с точки зрения ретехнологизации (комплекс действий по замене части существующих водоочистных технологий, морально и (или) физически устаревших, современными технологиями в целях качественного изменения показателей очистки без значительных капитальных затрат). Схемы по общему количеству зон с перемешиванием и аэрацией можно условно разделить на двух-, трех-, четырех- и пятистадийные.

Основными способами организации технологических процессов являются: АА/О (анаэробно-аноксидно-оксидный), Phoredox (Phosphorus. Redox. Oxidation), который также известен под названием Phoredox modification, УСТ-процесс (University of Cape Town), JНВ (Johannesburg) в различных модификациях и др. (рисунок 1.10).

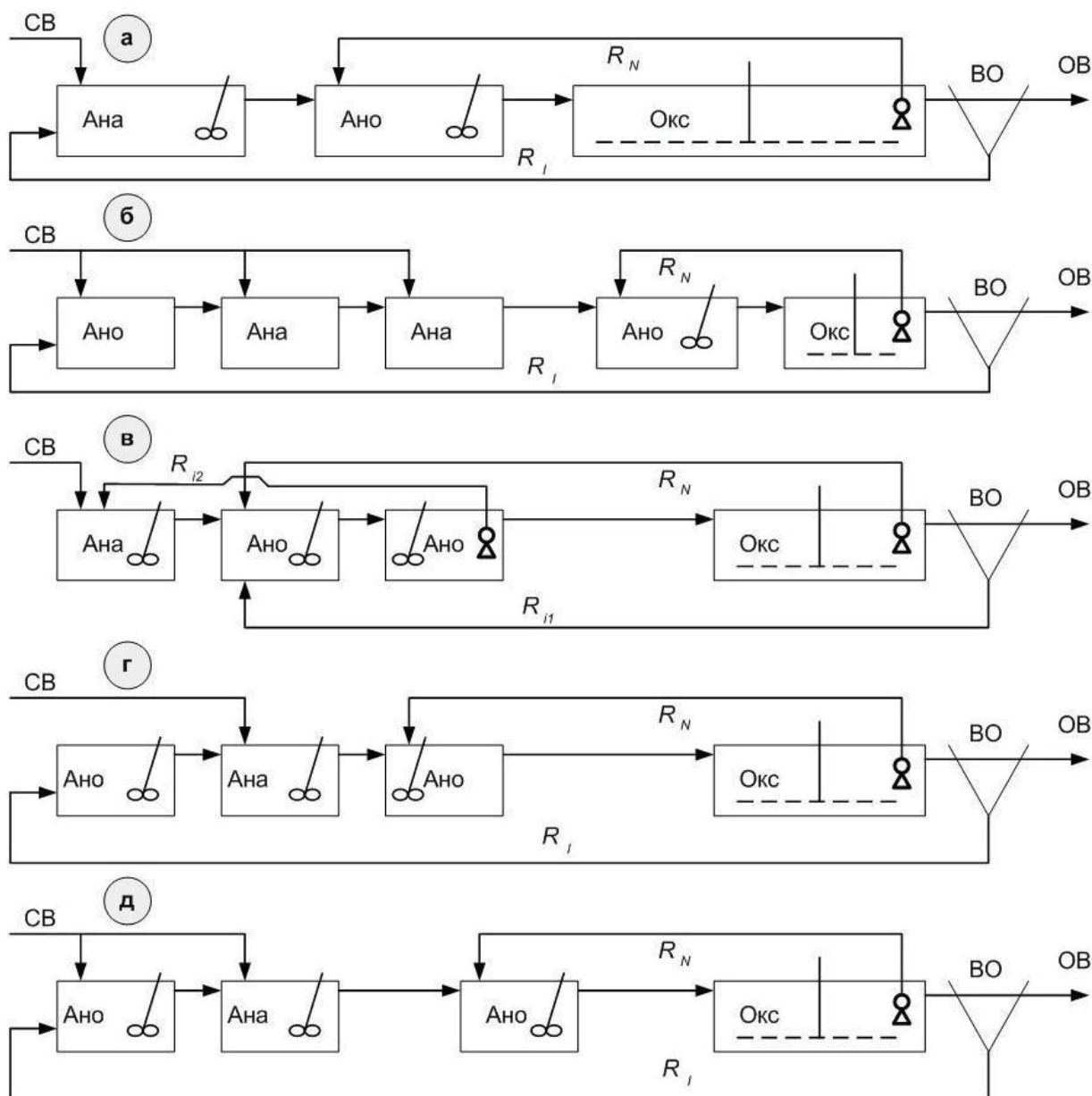


Рисунок 1.10 - Технологические схемы блоков биологического удаления соединений азота и фосфора из сточных вод: а - АА/О; б - Phoredox modification; в- UCT; г - JNB; д - JNB modification; Ана- анаэробная часть; Ано- аноксидная часть; Окс- оксидная часть; ВО - вторичный отстойник; СВ- подача сточных вод; ОВ - очищенная вода; R_i -рециркуляция активного ила; R_N -рециркуляция нитратсодержащей иловой смеси.

Основу технологии очистки составляет трехзонаная система Анаэробно-Аноксидно-Оксидной (АА/О) (в некоторых странах она имеет название Phoredox) обработки.

Недостатком схемы является низкая эффективность биологического удаления фосфора, так как в анаэробную зону поступает активный ил, не прошедший денитрификацию.



Рисунок 1.11 – Схема АА/О

Испытание такой схемы проводилось на исследовательской производственной установке Красносельской станции аэрации г. Санкт-Петербурга производительностью до 3600 м³ /сут. Технологические параметры схемы АА/О – процесса и результаты испытаний приведены в табл. 2 (в скобках даны технологические показатели схемы процесса АА/О, соответствующие качественным показателям выходной сточной воды, полученным в результате экспериментов на опытной установке и приведенным в нижней половине таблицы) [10].

Наличие растворенного кислорода в рециркулируемой нитратсодержащей смеси также негативно влияет на денитрификацию в аноксидной зоне. Поэтому стараются провести предварительную денитрификацию возвратного ила, которую выполняют различными способами [8].

Таблица 1.2 – Технологические параметры схемы процесса АА/О

Технологический показатель	Значение
Нагрузка по илу, гБПК ₅ в сутки	0,15-0,25
Возраст ила, сут	4-27 (10-15)
Доза ила, г/л	2-4 (2,1-2,5)

Профессор Барнард и др. (ЮАР) предложили схему четырехступенчатого процесса Bardenpho (Barnard, Denitrification, Phosphorus), по которой очистка происходит путем последовательного прохождения сточных вод через денитрификатор и нитрификатор первой ступени и денитрификатор и нитрификатор второй ступени. Кроме того, из конца

первого нитрификатора в начало сооружения предусмотрена рециркуляция иловой смеси [10].

Следует отметить, что во второй аноксидной зоне денитрификация осуществляется за счет вне- и внутриклеточных накоплений неокисленных органических веществ. Для интенсивной вторичной денитрификации необходимо достаточное количество субстрата, и поэтому эту и подобные схемы целесообразно применять при наличии большого количества веществ, которые медленно окисляются или примесей промышленного происхождения, которые требуют продолжительной трансформации перед биодеструкцией [7].

Развитием данной схемы является схема модифицированного процесса Bardenpho (рисунок 1.12).



Рисунок 1.12 - Схема Bardenpho

Принципиальным отличием этой схемы от предыдущей является устройство анаэробной зоны перед аноксидной. Вследствие большой продолжительности очистки сточных вод (до 23 часов) здесь предполагается глубокое окисление аммонийного азота и значительная денитрификация [8]. Технологические параметры работы этой схемы приведены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 - Технологические параметры схемы процесса Bardenpho

Технологический показатель	Значение
Нагрузка по илу, гБПК ₅ в сутки	0,1-0,2
Возраст ила, сут	10-40
Доза ила, г/л	2-5
Время пребывания, ч	9,5-23,0
Рецикл ила, % от расхода	50-100

В схеме ЖВ возвратный активный ил подается в аноксидную зону, расположенную до анаэробной части. В первой аноксидной зоне нитраты восстанавливаются за счет накопленных в иле загрязнений и не мешают высвобождению фосфатов. Вторая перекачка ила, применяемая в системе УСТ, ликвидирована [11].

Более глубокой схема ЖВ становится, когда денитрификация возвратного ила осуществляется при добавке части сточных вод в предденитрификатор.

Технологические схемы процесса ЖВ представлены на рисунке 1.10.

Поскольку фосфаты и нитраты осуществляют взаимное ингибирующее влияние в анаэробной зоне, возникает необходимость в удалении нитратов из рециркулирующего активного ила. Такой вариант схемы был разработан Кейптаунским университетом и получил название УСТ (University of Cape Town) – процесс (рисунок 1.13)[10].

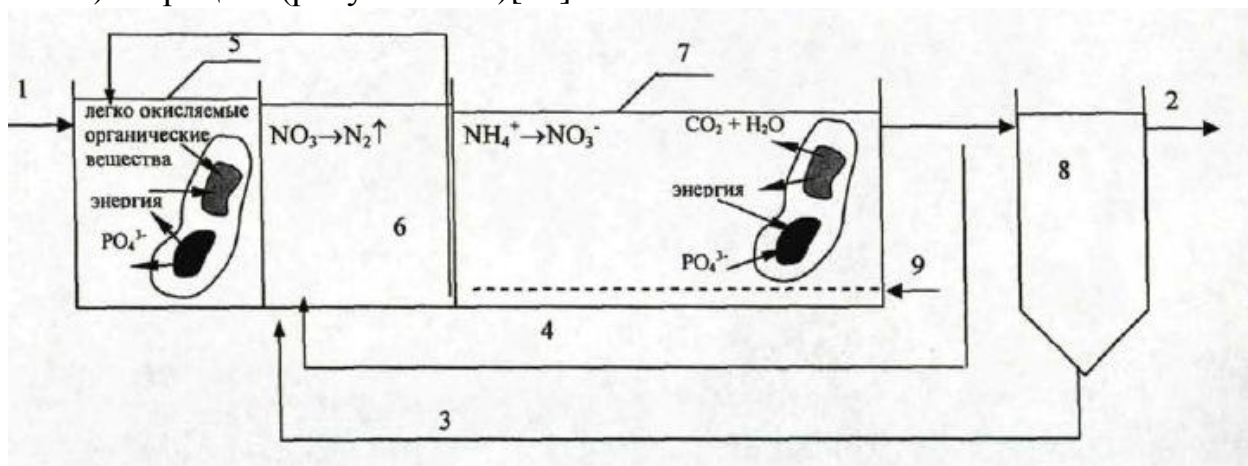


Рисунок 1.13 – Схема УСТ

1 – исходные сточные воды; 2- очищенные сточные воды; 3- возвратный активный ил, 4 – циркуляционный расход нитрифицированной иловой смеси; 5 – анаэробная зона (дефосфатор); 6- аноксидная зона (денитрификатор); 7 – аэробная зона (аэротенк – нитрификатор); 8- вторичный отстойник; 9- подача воздуха; 10- циркуляция иловой смеси из аноксидной в анаэробную зону.

По этой схеме возвратный активный ил направляется в аноксидную зону (3), где осуществляется частичная денитрификация, и дальше, с помощью рецикла (10) перекачивается в анаэробную зону. В аноксидную зону возвращаются нитраты из аэробной (4).

Рассмотренная схема была испытана на исследовательской промышленной установке Красносельской станции аэрации г. Санкт-Петербурга производительностью до 3600 м³/сутки. Технологические параметры схемы УСТ – процесса и результаты испытаний приведены в таблице 1.4 (в скобках даны технологические показатели схемы процесса АА/О, соответствующие качественным показателям выходной сточной воды, полученным в результате экспериментов на опытной установке и приведенным в нижней половине таблицы).

Основным преимуществом схемы является эффективность и стабильность проведения процесса биологического удаления фосфора за счет поступления в анаэробную зону протденитрифицированной иловой смеси. Основной недостаток - сложность, как в исполнении, так и в технологической эксплуатации.

Таблица 1.4- Технологические параметры схемы процесса УСТ

Технологический показатель	Значение
Нагрузка по илу, гБПК ₅ в сутки	0,1-0,2
Возраст ила, сут	5-10 (6-40)
Доза ила, г/л	1,5-3,0 (1,5-3,8)
Прирост ила г/м ³	(0,04-0,14)
Иловой индекс см ³ /г	(70-150)
Время пребывания, ч	4,5-8,0
Рецикл ила, % от расхода	50-100 (50-100)
Внутренний рецикл, % от расхода	200-400
Нитратный рецикл, % от расхода	(50-100)
Рециркуляция денитрифицированной иловой смеси в анаэробной зоне, % от расхода	(55-70)

Основным преимуществом схемы является эффективность и стабильность проведения процесса биологического удаления фосфора за счет поступления в анаэробную зону протденитрифицированной иловой смеси. Основной недостаток - сложность, как в исполнении, так и в технологической эксплуатации.

В дальнейшем схема была усовершенствована за счет деления аноксидной зоны на две части. Схема процесса модификации УСТ показана на рисунке 1.14.

По этой схеме возвратный активный ил направляется в первую аноксидную зону, где осуществляется удаление нитратов из иловой смеси (денитрификация ила). Далее ил, лишенный значительного количества нитратов перекачивается в анаэробную зону, в которой происходит освобождение фосфора без ингибирующего влияния нитратов. Вторая аноксидная зона служит денитрификатором нитритов и нитратов, которые возвращаются в составе иловой смеси из аэробной части [12]. Технологические параметры работы этой схемы приведены в таблице 1.5.



Рисунок 1.14 - Схема процесса МУСТ

Таблица 1.5 - Технологические параметры схемы процесса МУСТ

Технологический показатель	Значение
Нагрузка по илу, гБПК ₅ / г б. в сутки	0,1-0,2
Возраст ила, сут	10-30
Доза ила, г/л	2-5
Время пребывания, ч	9-22
Рецикл ила, % от расхода	50-100
Нитратный рецикл, % от расхода	100-600

Сравнительная характеристика схем представлена в таблице 1.6.

Таблица 1.6 - Преимущества и недостатки технологий удаления азота и фосфора

Схема	Преимущества	Недостатки
AA/O	<ol style="list-style-type: none"> 1. Возможность удаления как азота, так и фосфора; 2. Эксплуатация достаточно проста; 3. Невысокие энергозатраты за счет окисления основной части органических соединений в ходе процесса денитрификации и наличия только 2-х рециклов. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. В анаэробную зону поступает активный ил, не прошедший денитрификацию, что снижает эффективность биологического удаления фосфора; 2. Эффективность процесса денитрификации лимитирована расходом нитратного рецикла.
Bardenpho	<ol style="list-style-type: none"> 1. Возможность удаления как азота, так и фосфора; 2. Дает возможность достигать качества очищенной воды по общему азоту до 2,5-5,0 мг/л. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. В анаэробную зону поступает активный ил, не прошедший денитрификацию, что снижает эффективность биологического удаления фосфора; 2. Требуемые объемы сооружений больше, чем для AA/O процесса.
ЖНВ	<ol style="list-style-type: none"> 1. В анаэробную зону поступает частично проленитрифицированный активный ил, что позволяет добиться большей эффективности биологического удаления фосфора по сравнению с процессами AA/O и Bardenpho; 2. Высокая эффективность удаления азота. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Эффективность биологического удаления фосфора - средняя; 2. Требуется дополнительный объем для денитрификации возвратного активного ила.
УСТ	<ol style="list-style-type: none"> 1. В анаэробную зону поступает проденитрифицированная смесь, что позволяет эффективно и стабильно вести процесс биологического удаления фосфора; 2. Высокая эффективность удаления азота, в том числе и азота нитритов; 3. Большие возможности технологического управления процессами удаления фосфора и азота. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Достаточно сложная схема, как в исполнении, так и для технологической эксплуатации; 2. Схема более энергозатратная по сравнению с AA/O за счет дополнительного рецикла иловой смеси.
МУСТ	<ol style="list-style-type: none"> 1. Отдельный денитрификатор возвратного активного ила позволяет снизить концентрацию нитратов в 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Достаточно сложная схема, как в исполнении, так и для технологической эксплуатации;

	<p>нем практически до нуля перед его подачей в анаэробную зону и как результат, - высокая эффективность и стабильность биологического удаления азота, в том числе на низкоконцентрированных сточных водах;</p> <p>2. Высокая эффективность удаления азота, в том числе и азота нитритов;</p> <p>3. Большие возможности технологического управления процессами удаления фосфора и азота.</p>	<p>2. Схема более энергозатратная по сравнению с АА/О за счет дополнительного рецикла иловой смеси.</p>
--	---	---

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 1

1. Основные факторы, влияющие на эффективность процесса нитрификации в аэротенках: температура, концентрация растворенного кислорода, рН среды, наличие или отсутствие ингибирующих веществ.
2. Основные факторы, влияющие на эффективность процесса денитрификации в аэротенках: температура, рН среды, количество органических соединений, концентрация растворенного кислорода в аноксидной зоне.
3. При биологическом удалении фосфора необходимо чередование анаэробно-аэробных зон и полное отсутствие нитратов в анаэробных зонах. Реализация схем биологического удаления фосфора позволяет исключить или существенно снизить затраты на реагенты.
4. При химическом удалении фосфора важными факторами являются: точка ввода реагента, выбор самого реагента.
5. Имеющаяся научная информация показывает перспективность и целесообразность применения для очистки сточных вод методов ступенчатой биологической очистки. Однако, для практической реализации данной технологии необходимо проведение специальных исследований, направленных на создание эффективной технологии биологической очистки городских сточных вод, в полной мере учитывающей особенности природных и антропогенных условий.
6. Наиболее эффективными и применяемыми на сегодняшний день схемами биологического удаления азота и фосфора являются: АА/О процесс, процесс Bardenpho, УСТ процесс, МУСТ процесс. Основные преимущества многоступенчатых систем – это высокое качество очищенной воды, глубокое удаление взвешенных частиц, большая окислительная мощность, позволяющие интенсифицировать процессы нитрификации и денитрификации.
7. Выбор конкретной схемы удаления азота и фосфора для реализации в аэротенках зависит, в первую очередь, от качественного состава поступающих на биологическую очистку сточных вод и требований к качеству очищенной воды.
8. 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.

2 АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ УДАЛЕНИЯ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ Г. ЧЕЛЯБИНСКА

2.1 Историческая справка

Система городской канализации в городе Челябинск начала развиваться в начале 30-х годов прошлого столетия в годы первых пятилеток с появлением в городе крупной промышленности и начала массового жилищного строительства. Однако война и послевоенные годы разрухи отодвинули строительство очистных сооружений почти на два десятилетия. Только в 1958 году строительство очистных сооружений канализации удалось завершить. Это были сооружения механической очистки производительностью 48 тысяч кубометров в сутки. В таком виде сооружения работали до 1974 года. В 1975 году были введены в действие первые два блока биологической очистки, а уже в начале восьмидесятых годов строится вторая очередь ОСК с полной биологической очисткой воды.

Новые сооружения были построены по проекту института «Гипрокоммунводоканал» – головным институтом по проектированию систем ВиК для крупных российских городов. Проект был экспериментальным и его выбору послужили компактность, простота, экономичность и, что особенно было важно, сжатые сроки реализации. В дальнейшем, по мере освоения сооружений, специалистами ОСК и учеными ВиК ЧПИ (ныне ЮУрГУ (НИУ)) было внесено много технических предложений по улучшению проекта и технологического режима работы сооружений. Все это было учтено при проектировании и строительстве блоков очистки №3 и №4, которые были введены в действие в 1981 и 1986 годах.

Общая производительность ОСК к концу 80-х годов достигла 650000 м³ в сутки. Было начато строительство 5 блока для достижения производительности до 760 000 м³ в сутки, однако с прекращением финансирования строительство блока было приостановлено. В дальнейшем надобность в этом блоке отпала.

2.2 Состав и технологическая схема очистных сооружений канализации

Канализационные очистные сооружения располагаются на северной окраине города. Общая площадь очистных составляет 130,4105 га.

В геоморфологическом отношении территория приурочена к надпойменной террасе левого берега реки Миасс, открытой к востоку. Рельеф территории относительно ровный, общий уклон местности восточный.

Для большей части площадки характерны подземные воды типа грунтовых, ненапорные, питающиеся атмосферными осадками.

Трассы самотечных и напорных коллекторов канализации города Челябинска расположены в двух участках: в Северо-Восточном и Северо-Западном районах города. Северо-Восточный участок находится частично в Центральном и Тракторозаводском районах города. Северо-Западный участок трассы берет свое начало в районе плодовоовощной станции, проходит западнее Северо-Западного района города Челябинска и заканчивается на

очистных сооружений. Расположение объектов станции показано на рисунке 2.1.

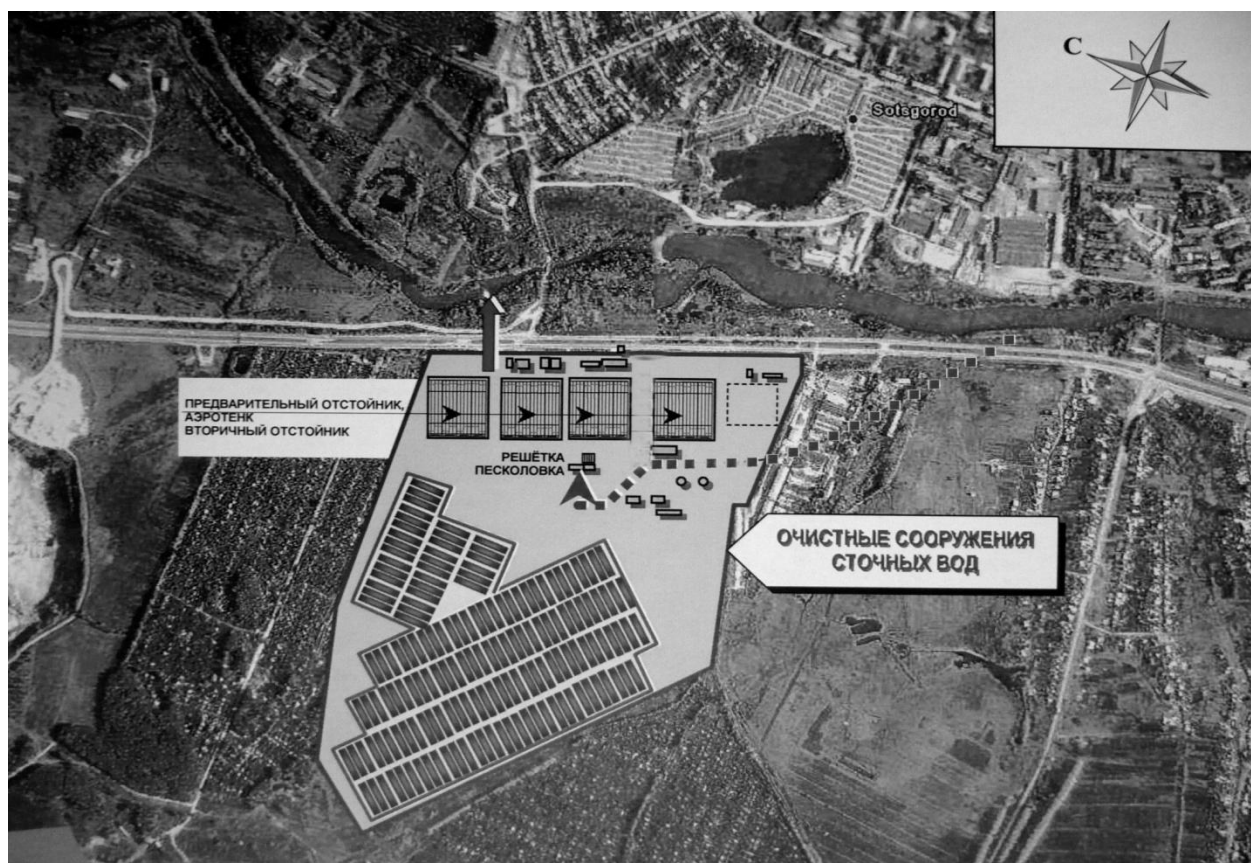


Рисунок 2.1– Географическое расположение объектов ОСК г. Челябинска

Значительная часть объектов и строений станции очистки стоков, построенной между 1974 и 1986 годами, отражает уровень техники, и технологии своего времени, за прошедшие 20-30 лет только незначительная часть машин и оборудования была обновлена.

Большая часть стоков коммунального происхождения, в настоящий момент наблюдается снижение поступления промышленных сточных вод до 10% от общего расхода. Источниками промышленных сточных вод являются птицефабрика, завод красок и металлургическая промышленность, выпускающая стоки с низким содержанием органических веществ.

Основные процессы технологии очистки стоков и обработки осадков отражены на рисунке 2.2.

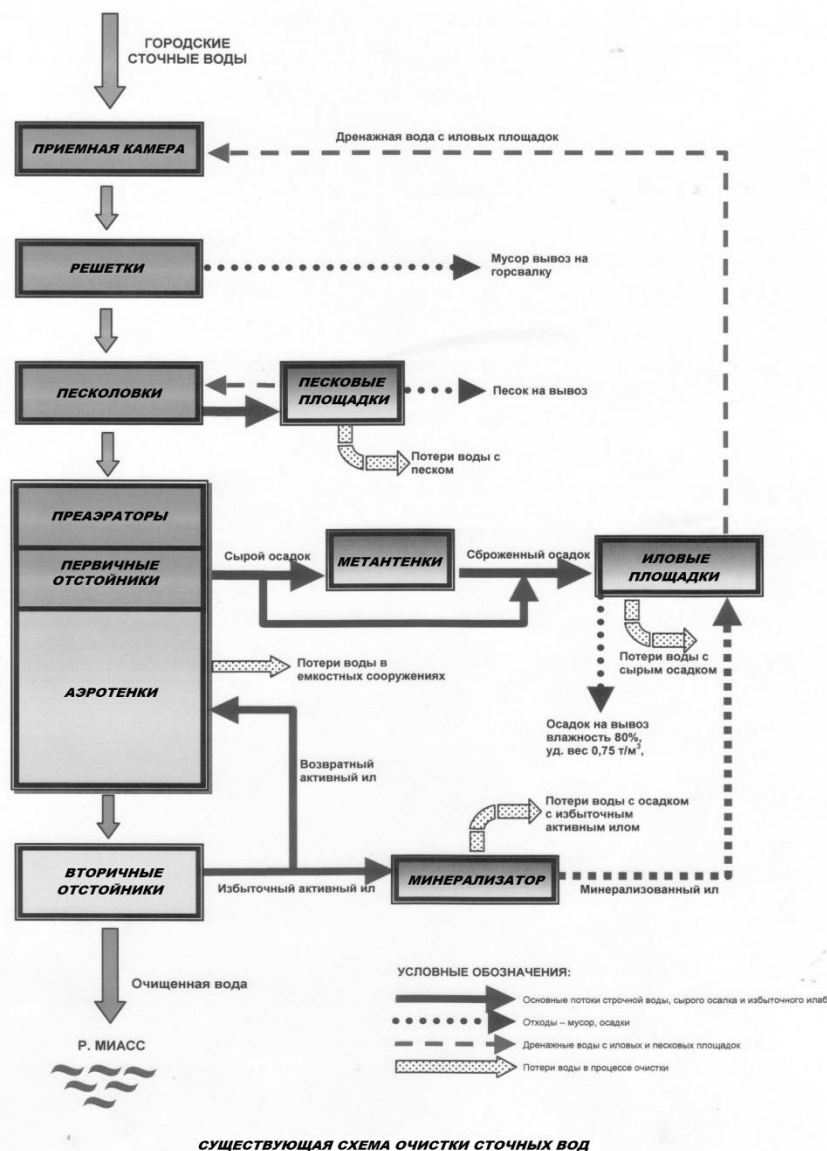


Рисунок 2.2 - Существующая схема очистки сточных вод

В состав сооружений механической очистки входят: приемная камера, сороудерживающие решетки, песколовки и песковые площадки, измерительные и распределительные камеры, преаэраторы, первичные отстойники.

Полная биологическая очистка сточных вод осуществляется в аэротенках, с последующим осветлением их во вторичных отстойниках.

Аэротенки представляют собой резервуары, в которых очищаемая сточная вода и активный ил перемешиваются и насыщаются воздухом. Первый коридор – регенератор активного ила. Остальные коридоры раньше работали по принципу смешения. В данный момент все три коридора переведены на режим вытеснения, благодаря чему значительно улучшилось качество очистки сточных вод, так как окислительная мощность в аэротенках вытеснителях больше, чем в аэротенках смесителях.

Сооружения биологической очистки работают на повышенных дозах ила (3,5 мг/л), что не сказывается на работе вторичных отстойников. Доза ила в регенераторе по расчетным данным в 1,7-1,9 раза больше, чем в аэротенке, что

является необходимым условием для обеспечения глубокого доокисления сложноокисляемых соединений.

В соответствии с нагрузкой на ил меняется и потребность активного ила в кислороде. У входа в аэротенк нагрузка на ил существенно выше, чем на выходе из него, в соответствии с этим потребность в кислороде в начале сооружения выше, чем в конце. Потребность в кислороде по длине аэротенка падает также в связи с возрастанием удельного веса трудноокисляемых органических веществ либо в сточной воде за счет более быстрого устранения легкоокисляемых веществ в начале аэротенка, либо в самом активном иле в процессе изъятия и накопления в нем определенного запаса питательных веществ. В реальных условиях невозможно обеспечить полное соответствие подачи кислорода скорости его потребления. Поэтому в отличие от системы аэрации аэротенка-смесителя, в этой модификации осуществляется ступенчатое регулирование подачи воздуха по длине аэротенка, более и менее приближающееся к потребностям процесса очистки в кислороде, что позволяет существенно повысить экономическую эффективность работы системы аэрации.

В результате процессов аэрации происходит растворение в иловой смеси кислорода воздуха и его потребление микроорганизмами ила. В результате технологического процесса происходит сорбция на иле и окисление органических загрязнений. Окисляемые органические соединения трансформируются в углекислоту и воду. В результате питания и деления микроорганизмов активного ила, а также сорбции ими загрязняющих веществ, происходит прирост активного ила.

Подача возвратного ила в регенератор осуществляется из илового лотка через 2 шибера. Аэротенки 4-х коридорные с 25% регенерацией.

При обеспечении достаточного количества воздуха и наличии достаточного времени пребывания в аэротенках развивается дополнительный процесс биологического окисления аммонийного азота - нитрификация.

Активный ил подается в начало первого коридора. В начале второго коридора (одного из 15 аэротенков) находится зона денитрификации, однако на общий результат очистки наличие ее не влияет. В зоне денитрификации применяются механические мешалки, в остальных зонах аэрация выполняется с применением трубчатых аэраторов АКВА-ПРО-М либо с применением дисковых аэраторов AP-300M.

Схема денитрификатора представлена на рисунке 2.3.

Очистка сточных вод от соединений фосфора не предусмотрена.

Регулирование процесса очистки сточной жидкости осуществляется путем поддержания дозы активного ила и растворенного кислорода, на основании данных лабораторных анализов.

Вторичные отстойники горизонтального типа предназначены для осветления сточных вод, прошедших биологическую очистку, то есть для отделения очищенной воды от активного ила. Для сокращения времени пребывания ила в анаэробных условиях, вторичные отстойники оборудованы двумя приямками. Скорость движения воды – 0,005-0,006 м/с. Время пребывания воды в сооружении 1,5-2 ч.

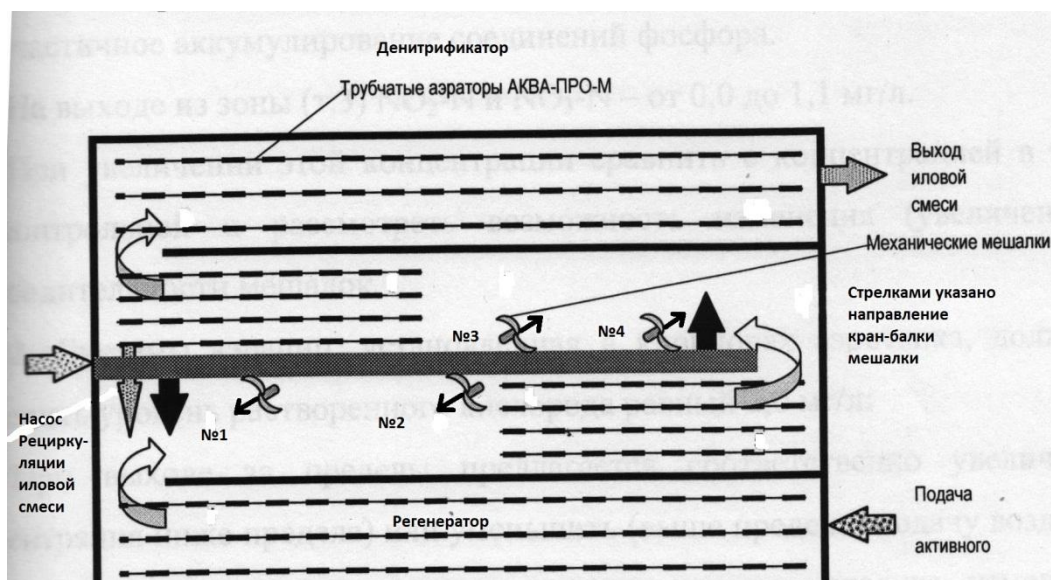


Рисунок 2.3 - Схема денитрификатора

Активный ил возвращается в аэротенк эрлифтами, избыточный активный ил отводится из илового лотка системой насосов на аэробную стабилизацию в минерализатор. Очищенная вода отводится через контактный канал системой коллекторов Ду 1250 и Ду 1750 в реку Миасс.

2.3 Категория водного объекта

Для достижения максимальной эколого-экономической эффективности реконструкции очистных сооружений определение наилучшей технологии для данного объекта необходимо осуществлять в увязке с оценкой состояния водного объекта, куда осуществляется сброс обрабатываемой сточной воды. Данная увязка должна обеспечить применение технологии, оптимально соответствующей экологическому состоянию водного объекта [15].

Ранжирование водных объектов осуществляется следующим образом:

Категория А. Наиболее охраняемые или наиболее уязвимые водные объекты — группа, требующая самых эффективных технологий. К данной категории должны быть отнесены особо охраняемые водные объекты.

Категория Б. Основная группа водных объектов.

Категория В. Экологически устойчивые водные объекты.

Категория Г. Объекты с особо низким содержанием азота и фосфора, допускающие по соображениям сохранения продуктивности экосистемы как основы для рыбного промысла, при обосновании, применение биологической очистки без глубокого удаления азота и фосфора (удаление в пределах 30 %) [16].

Названия и предложения по разграничению объектов по категориям приводятся в справочнике [16] условно. Правила отнесения водных объектов к категориям водных объектов для целей установления технологических показателей НТД утверждаются Правительством РФ. В 2016 году утвержден ГОСТ-Р [17] по определению этих категорий.

В соответствии с [17] все водные объекты (кроме особо охраняемых водных объектов (участков водных объектов), а также водных объектов в зоне международных конвенций) для определения наилучшей технологии должны рассматриваться как объекты категории Б.

Таким образом, река Миасс, в которую производится сброс сточных вод с очистных сооружений канализации города Челябинска, относится к категории Б.

2.4 Динамика изменений объемов и концентраций загрязнений поступающих стоков в течение года

На основании данных по поступающей сточной воде за 2015-2017 годы анализировались следующие показатели: суточный расход сточных вод, БПК, азот аммонийный и фосфаты.

Два раза за год природные условия резко увеличивают расход сточных вод. В апреле из-за весеннего паводка происходит возрастание количества сточных вод. Менее значительный рост в октябре (максимальное количество дождевых вод). Влияние антропогенных факторов сказывается в июле-августе, так как пик отпусков снижает бытовой сток.

Расход сточных вод на очистных сооружениях канализации за 2015-2017 гг. представлен в таблице 2.1.

Диаграмма расхода сточных вод за 2015-2017 гг. представлена на рисунке 2.4.

Таблица 2.1 – Расход сточных вод (тыс.м³/сут) на очистных сооружениях канализации за 2015-2017 гг.

Год	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	Среднее
2015	328,7	322,4	334,6	345,8	377,3	337,3	312,3	312,4	312,3	331,3	338,9	334,1	332,3
2016	320,8	323,2	332,2	366,8	324,8	315,1	300,4	286,1	309,9	318,9	314,7	312,7	318,8
2017	304,1	300,3	318,7	330,9	295,3	276,1	275,9	275,1	283,3	308,1	318,1	314,5	300,1

Концентрации загрязнений в городских сточных водах в течение года подвержены незначительным колебаниям. Концентрации загрязнений за период 2015-2017 годы представлены в таблицах 2.2-2.4 соответственно.

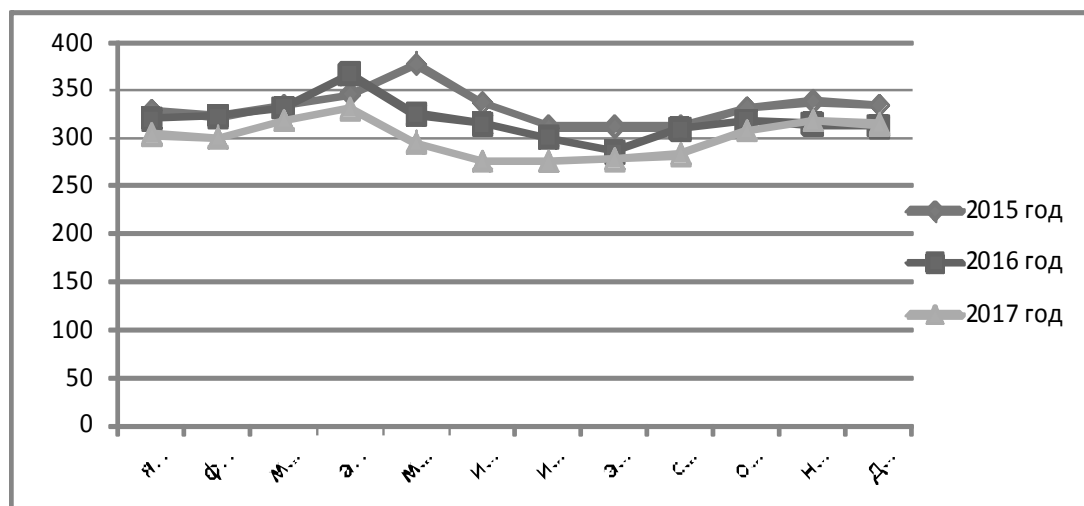


Рисунок 2.4 – Диаграмма расходов сточных вод за период 2015-2017 ГОДЫ

Таблица 2.2 - Показатели качества поступающей сточной воды на ОСК г. Челябинска за 2015 г.

Показатели	Поступающая вода												
	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	Среднее значение
Взв. вещ. мг/л	184	214	219	245	235	206	230	233	207	213	227	201	217,8
БПК _{полн}	290	380	281	392	356	349	307	425	328	375	294	336	342,8
NH ₄ (N), мг/л	21,5	21,5	31,5	28,9	28,7	26,2	26,8	30,4	31,0	28,5	29,7	35,7	28,4
PO ₄ , мг/л	2,4	2,7	2,5	2,2	2,1	2,1	1,8	2,3	2,5	2,4	2,4	2,5	2,3

Таблица 2.3 - Показатели качества поступающей сточной воды на ОСК г. Челябинска за 2016 г.

Показатели	Поступающая вода												
	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	Среднее значение
Взв. вещ. мг/л	220	230	250	260	230	220	260	270	370	400	390	407	292,2
БПК _{пол}	353	410	387	463	429	278	381	395		539	602	653	407,5
NH ₄ (N), мг/л	36,0	35,0	35,0	32,0	35,0	33,0	33,0	33,0	35,0	33,0	31,0	32,0	34
PO ₄ , мг/л	2,35	2,49	2,16	1,83	2,55	2,13	1,72	2,4	2,7	3,0	3,0	3,4	2,48

Таблица 2.4 - Показатели качества поступающей сточной воды на ОСК г. Челябинска за 2017 г.

Показатели	Поступающая вода												
	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	Среднее значение
Взв. вещ. мг/л	343	437	390	380	293	228	297	257	268	232	190	210	294
БПК _{пол}	573	695	695	658	414	302	499	436	470	437	319	369	489
NH ₄ (N), мг/л	32,7	32,7	34,0	34,0	35,2	38,6	35,6	33,8	39,6	37,5	35,2	33,6	35,2
PO ₄ , мг/л	2,76	3,09	2,67	2,4	2,42	2,32	2,81	2,40	3,00	2,78	2,40	2,77	2,65

Изменение концентрации фосфатов в течение года связано с температурными сезонными колебаниями и антропогенным воздействием. Минимальные значения концентрации фосфатов отмечены в апреле - 81,5% от средней величины. Максимальное значение достигается в октябре - 114,3%.

Анализируя полученные данные, очевидно, что в большинстве случаев при уменьшении притока сточных вод концентрация фосфатов идёт вверх, а при увеличении притока сточных вод концентрация загрязнений будет уменьшаться.

Динамика изменения аммонийного азота обратно пропорциональна расходу стоков в течение всего года, кроме летнего периода и конца года. Данное явление имеет место из-за содержания аммонийного азота в промышленных водах. В период отпусков и в конце года отношение бытового

стока к промышленному падает, и определяющим фактором для этого вида загрязнения» становится промышленность.

2.5 Динамика изменений концентраций загрязнений очищенных стоков в течение года

Анализ материалов лабораторного контроля (таблицы 2.5-2.7) работы очистных сооружений за период 2015-2017 гг. свидетельствует о недостаточной глубине процесса нитрификации: после очистки наблюдается многократное превышение ПДК_{рыбх} по нитратам, также низкая эффективность очистки имеется по нитритам. Превышение ПДК по фосфатам обуславливается отсутствием их очистки.

Таблица 2.5 - Показатели качества очищенной сточной воды на ОСК г. Челябинска за 2015 г.

Показатели	Очищенная вода												
	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	Среднее значение
Взв. вещ. мг/л	17	17	15	17	16	14	15	13	14	15	14	15	15
БПК _{пол}	7	6	12	8	10	9	6	7	7	8	7	7	8
NH ₄ (N), мг/л	0,17	0,14	0,27	0,43	0,29	0,37	0,30	0,22	0,45	0,20	0,11	0,26	0,27
NO ₂ , мг/л	0,18	0,19	0,22	0,26	0,24	0,31	0,26	0,19	0,24	0,25	0,19	0,23	0,23
NO ₃ , мг/л	84,2	63,3	68,0	64,6	65,7	63,5	67,3	60,2	62,0	67,8	66,4	66,2	66,6
PO ₄ , мг/л	1,21	1,34	1,26	1,13	1,11	1,33	1,09	1,21	1,19	1,33	1,26	1,40	1,24

Таблица 2.6 - Показатели качества очищенной сточной воды на ОСК г. Челябинска за 2016 г.

Показатели	Очищенная вода												
	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	Среднее значение
Взв. вещ. мг/л	16	12	16	11	11	10	11	11	12	10	12	11	12
БПК _{пол}	8	4	6	5	5	5	6	5		6	5	5	5
NH ₄ (N), мг/л	0,27	0,43	0,32	0,44	0,4	0,36	0,43	0,24	0,24	0,47	0,37	0,2	0,35
NO ₂ , мг/л	0,23	0,19	0,21	0,17	0,17	0,15	0,17	0,11	0,17	0,18	0,2	0,16	0,17
NO ₃ , мг/л	72,0	68,0	69,0	55,0	50,0	53,0	55,0	55,0	56,0	58,0	57,0	59,0	59
PO ₄ , мг/л	1,34	1,14	1,2	0,94	0,82	0,85	0,79	0,92	0,88	0,8	0,78	0,904	0,95

Таблица 2.7 - Показатели качества очищенной сточной воды на ОСК г. Челябинска за 2017 г.

Показатели	Очищенная вода												
	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	Среднее значение
Взв. вещ. мг/л	14	11	11	12	11	11	10	10	10	10	11	11	11
БПК _{пол}	5	7	7	6	6	7	6	6	6	7	7	7	6
NH ₄ (N), мг/л	0,32	0,14	0,27	0,5	0,42	0,49	0,5	0,47	0,5	0,5	0,49	0,5	0,426
NO ₂ , мг/л	0,17	0,17	0,22	0,14	0,14	0,17	0,12	0,22	0,2	0,21	0,21	0,22	0,183
NO ₃ , мг/л	58,9	60,3	60,0	58,0	51,2	60,0	55,8	59,1	60,0	53,7	60,0	59,0	58,0
PO ₄ , мг/л	0,95	0,93	0,9	0,86	0,82	0,97	0,88	0,95	0,87	0,92	0,9	0,9	0,9

В ходе анализа загрязнений очищенных стоков в течение года выявлено, что в период 2015-2017 гг. сбросы сточных вод не осуществлялись в пределах ПДК_{рыбхоз} по нитратам и фосфатам.

Кроме того, из данных табл. следует вывод о том, что эффективность очистки фосфатов в 2016 и 2017 годах повысилась, но не достигла ПДК.

Диаграммы изменений концентраций нитратов и фосфатов в очищенных сточных водах в период 2015-2017 гг. приведены на рисунках 2.5, 2.6 соответственно.

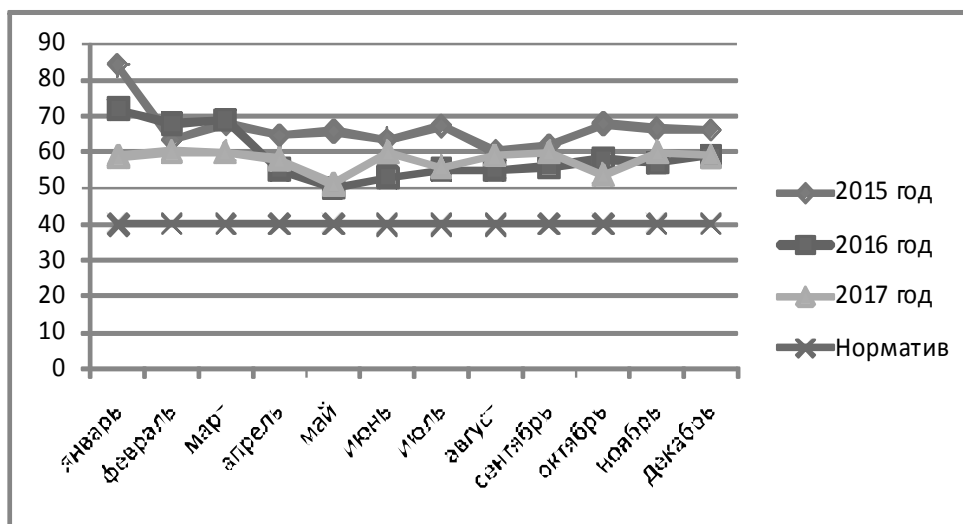


Рисунок 2.5 – Диаграмма изменений концентрации нитратов в очищенных сточных водах за 2015- 2017 годы

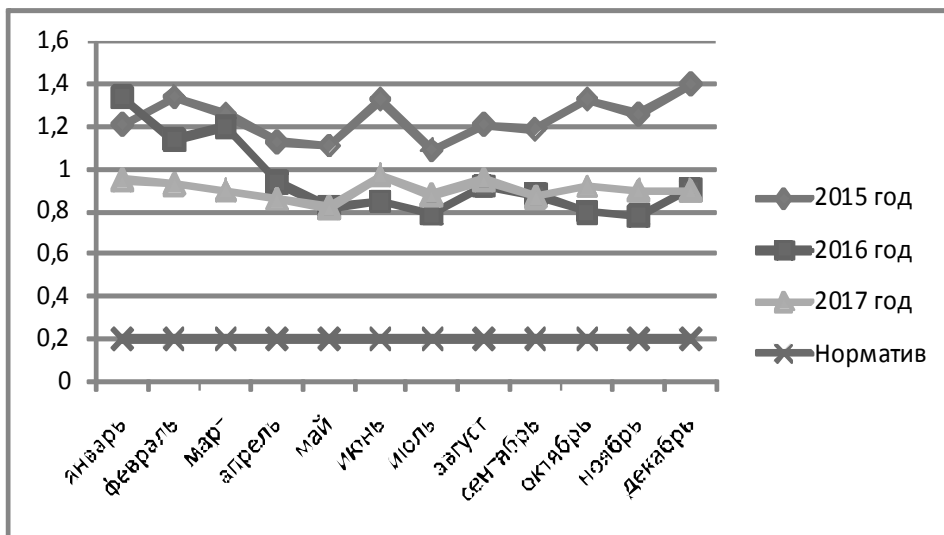


Рисунок 2.6 – Диаграмма изменений концентраций фосфатов в очищенных сточных водах за 2015- 2017 годы

2.6 Интегральная оценка качества очищенной воды

В качестве критерия соответствия существующих очистных сооружений требованиям перехода на наилучшие доступные технологии необходимо применять систему интегральной оценки качества очищенной воды. В этом качестве удобно использовать сумму отношений концентраций загрязнений C_i

(фактического либо проектного) к целевым технологическим показателям (ЦТП). Этот параметр аналогичен по принципу расчета «показателю антропогенной нагрузки» (ПАН), предложенному в работах Российского научно-исследовательского института комплексного использования и охраны водных ресурсов (РосНИИВХ). Физический смысл величины ПАН (согласно позиции его разработчиков) — сумма условной кратности разбавления чистой водой для достижения целевой величины по каждому из использованных показателей, отражающему определенный вид негативного воздействия.

В справочнике [16] подобный критериальный параметр применяется под названием «интегральный показатель качества очистки (ИПКО)». В отличие от параметра ПАН, ИПКО определяется по ограниченному перечню показателей - взвешенные вещества, БПК₅, ХПК, азот аммонийных солей, азот нитратов, азот нитритов, фосфор фосфатов.

ЦТП представляют собой технически целесообразный предел технологических возможностей очистки сточных вод, определенный методом экспертной оценки [18]. Однако для определения эколого-экономической эффективности значения ПДК_{рыбхоз} являются ориентиром для совершенствования технологических процессов (по технологическим показателям биологической очистки), поэтому при расчете ИПКО в качестве базы сравнения использованы величины ПДК для рыбохозяйственного водопользования, которые по ряду показателей ниже ЦТП. По ХПК использована ПДК СанПиН 2.1.5.980-00 для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения [18]. Рассчитанные таким образом величины называются ИПКО_{рх}.

Целевых технологические показатели (ЦТП) целесообразно применять для оценки эмиссий в условиях сброса в наиболее защищаемые водные объекты (ИПКО_{цтп}).

Для каждой конкретной пробы сточной воды или (по средним данным) для конкретного объекта:

$$\text{ИПКО}_{\text{рх}} = \frac{C_i}{C_{\text{рх}i}}$$
$$\text{ИПКО}_{\text{рх}} = \text{ИПКО}_{\text{рх}i}$$

Расчет показателя ИПКО_{цтп} позволяет разделить очистные сооружения на следующие категории:

- менее 7 — современные ОС, построенные (реконструированные) по технологиям удаления азота и фосфора;
- 7–10 — ОС, достаточно хорошо работающие (как минимум с денитрификацией);
- 10–15 — нереконструированные (либо реконструированные недостаточно удачно) ОС, работающие хорошо, превышающие значения ЦТП немногим более чем в 2 раза;
- 15–30 — ОС, работающие удовлетворительно по технологии полной биологической очистки;
- свыше 30 — ОС, работающие плохо.

Очистные сооружения, имеющие ИПКО свыше 15, обязаны переходить на наилучшие технологии первоочередным образом [16].

Величины $ИПКО_{рх}$ для ОСК г. Челябинска рассчитанные по среднегодовому значению концентрации загрязняющих веществ в очищенной сточной воде за 2017 год, приведены в таблице 2.8.

Таблица 2.8 - Величины $ИПКО_{рх}$ для ОСК г. Челябинска

Загрязняющие вещества	Содержание в исходной сточной воде, мг/л	$ИПКО_{рхСВ}$ (для исходной сточной воды)	Концентрация в очищенной воде мг/л	$ИПКО_{рхОСВ}$ (для очищенной воды)	$ПДК_{рыбхоз}$, мг/л
Взвешенные вещества	294	29,4	11,0	1,1	10
$БПК_{полн}$	489	104,0	6,0	1,3	4,7
ХПК	529	35,0	26,0	1,7	15
Азот аммонийных солей	35,2	70,4	0,426	0,8	0,5
Азот нитритов	-	-	0,183	3,3	0,08
Азот нитратов	-	-	58,0	1,45	40,0
Фосфор фосфатов	2,65	13,25	0,9	4,5	0,2
		252,0		15,15	

Таким образом, исходя из данных таблицы, очистные сооружения города Челябинска являются первоочередными для перехода на наилучшие доступные технологии, однако относятся к категории очистных сооружений, работающих удовлетворительно по технологии полной биологической очистки.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 2

1. Очистные сооружения г. Челябинска работают по классической схеме полной биологической очистки с аэротенками. Очистные сооружения по своему уровню относятся к технологиям 1960-х годов и не обеспечивают удаление азота и фосфора. Очевидна возможность внедрения более эффективных технологий для удаления биогенных элементов без строительства дополнительных емкостей.

3. Наблюдается высокий износ основных фондов: моральная и физическая изношенность существующего оборудования и сооружений (по оценке специалистов, некоторые железобетонные конструкции находятся в состоянии, которое можно назвать аварийным).

4. Наблюдается также и недостаток финансирования: организация ВКХ не может выделять средства на реконструкцию сооружений, средства региона на развитие ВКХ весьма ограничены, частные инвестиции фактически также невелики, при этом иностранные инвестиции отсутствуют.

5. Река Миасс, в которую производится сброс сточных вод относится к водным объектам категории Б – Основные водные объекты.

6. Наблюдается циклическое изменение расходов и концентраций загрязнений в сточных водах г. Челябинска по сезонам года. Часты случаи негативного воздействия на очистные сооружения промышленных сточных вод, сбрасываемых без предварительной очистки.

7. Очистные сооружения г. Челябинска являются первоочередными для перехода на наилучшие доступные технологии (для сточных вод г. Челябинска интегральный показатель качества воды свыше 15).

8. Необходимость совершенствования очистки на существующих очистных сооружениях требует разработки технологических схем с удалением биогенных элементов, обеспечивающих реконструкцию этих сооружений с внедрением современных технологий.

3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ СХЕМЫ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ

3.1 Возможные схемы очистки

Применительно к очистным сооружениям канализации, начиная с больших, выделены наилучшие доступные технологии биологической очистки сточных вод. Данные технологии перечислены в [табл. 5.8,16] с учетом условий применимости.

Отобранные технологии отнесены к определенным условным группам водных объектов, исходя из соображений эколого-экономической эффективности инвестиций во избежание нерациональных затрат и потребления ресурсов.

Для очистных сооружений городских сточных вод, начиная с больших, со сбросом в водные объекты категории Б, предусмотрены две технологии:

- Очистка с биологическим удалением азота и фосфора с ацидофикацией (БНДФФ-А);

- Очистка с биологическим удалением азота и биолого-химическим удалением фосфора (БНДБХФ).

Что не противоречит п. 9.2.5.6 [33], который указывает, что для очистных сооружений с нагрузкой свыше 50 тыс. ЭЧЖ следует использовать биологическое или биолого-реагентное удаление фосфора.

Данные технологии основываются на технологии с биологическим удалением азота и фосфора (БНДФФ): ацидофикация осадка и добавление реагента являются дополнительными для повышения качества удаления фосфора.

Технологические показатели очищенной воды (среднегодовые значения) после сооружений биологической очистки для данных технологий приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 - Технологические показатели для технологий БНДФФ-А, БНДБХФ

Технологический показатель	Значение для БНДФФ-А, БНДБХФ, не более, мг/л
Взвешенные вещества	10
БПК _{полн}	4
ХПК	20
Азот аммонийных солей	0,2
Азот нитритов	0,1
Азот нитратов	9

Фосфор фосфатов	0,3
-----------------	-----

3.1.1 Очистка с биологическим удалением азота и фосфора, улучшенная с помощью ацидофикации

Для возможности надежного осуществления биологического удаления фосфора в условиях недостаточной концентрации ЛЖК разработана группа технологий, которые при взаимодействии с технологией биологического удаления азота и фосфора существенно повышают ее эффективность и надежность.

Дешевым источником ЛЖК является выработка их из органического вещества поступающей сточной воды в результате процесса ацидофикации (обеспечения кислотами). Другая также актуальная задача, решаемая при ацидофикации, — увеличение соотношения БПК/азот для проведения денитрификации до необходимой глубины.

Используют следующие разновидности ацидофикации:

- рециркуляция осадка в первичных отстойниках, с подачей выведенного осадка снова в распределительную камеру отстойников. При этом ЛЖК, образовавшиеся в результате биохимических процессов, поступают в воду и далее с осветленной водой — в анаэробную зону аэротенков;
- уплотнение осадка первичных отстойников с подачей сливной воды перед аэротенками;
- ферментация осадка в отдельных ацидофикаторах с последующим уплотнением и подачей сливной воды перед аэротенками (в Российской Федерации не применяется);
- ферментация иловой смеси в анаэробной зоне, в отсутствие перемешивания.

Данная технология очистки повышает надежность удаления фосфора фосфатов на уровне 0,2–0,7 мг/л, а также поддержания азота нитратов на уровне ниже 9 мг/л.

Ввиду выделения дурнопахнущих веществ из сооружений ацидофикации осадка рекомендуется их перекрывать с очисткой отводимого воздуха [16].

Технология хорошо изучена и применяется на многих объектах за рубежом. В России известен удачный опыт применения (в режиме длительных производственных испытаний) двух вариантов технологии на Люберецких очистных сооружениях для повышения эффективности технологии БНДБФ. Положительные результаты в течение нескольких месяцев также были получены по технологии ферментации иловой смеси в анаэробной зоне на ОС г. Кириши.

3.1.2 Очистка с биологическим удалением азота и биолого-химическим удалением фосфора

Биологическое удаление фосфора возможно только на высококонцентрированных по органическим соединениям сточных водах. Даже на городских сточных водах процесс биологического удаления фосфора не всегда идет стабильно и требует постоянного внимания и корректировки технологов эксплуатационных служб и, в конечном итоге, установки системы резервного дозирования реагентов для химического удаления фосфора в периоды срывов процесса биологического удаления фосфора. При этом реализация процессов биологического удаления фосфора требует высокой квалификации и определенного опыта технологов, эксплуатирующих сооружения.

Да же в случае, когда предлагается одна из технологических схем биологического удаления фосфора (например УСТ, МУСТ и т.д.), она просто не будет работать при низких отношениях органических соединений в сточных водах к требуемому количеству удаляемого фосфора [29].

Поэтому, в дополнение к тому или иному варианту технологии с биологическим удалением азота и фосфора для повышения глубины и надежности удаления фосфора в дополнение к биологической дефосфотации используются реагенты (коагулянты), аналогично технологии с химическим удалением фосфора.

Если разновидность технологии биоудаления фосфора применена правильно и служба эксплуатации уделяет должное внимание биологической составляющей процесса удаления, то на долю химического удаления приходится от 0 % до 25 % общего удаления фосфора. При ошибках в выборе процесса и ненадлежащей эксплуатации доля реагентного удаления достигает 80 %.

3.2 Определение оптимальной схемы очистки

Варианты процесса биологического удаления азота и фосфора, применяемые в России: процесс АА/О, процесс Кейптаунского университета (УСТ), модифицированный процесс УСТ (МУСТ).

Анализ литературных данных позволяет сделать вывод, что для большинства существующих станций очистки сточных вод характерно наличие сооружений, обладающих вместимостью, достаточной для реализации современных технологических схем с биологическим удалением азота и фосфора (первичные отстойники, аэротенки и вторичные отстойники) [28]. При этом лимитирующим фактором для внедрения таких схем является низкая концентрация органических веществ в исходной сточной воде, что характерно для сточных вод населенных пунктов нашей страны (в отличие от стоков городов Западной Европы, для которых, в большинстве случаев разработаны данные схемы). В то же время применение описанных выше схем само по себе не гарантирует достижения определенного качества очистки сточных вод от соединений азота и фосфора. Чтобы определить ожидаемое качество очистки, требуется проведение экспериментальных исследований и математическое моделирование процесса.

3.2.1 Анализ методик расчета сооружений с биологическим удалением азота и фосфора

Актуализированный СНиП [33] разрешил для расчета сооружений с биологическим удалением азота и фосфора применять любую, в том числе зарубежную методику расчета. С 2012 года в СНиП утверждено использовать для расчета современные математические модели. Выбор того или иного метода расчета определяется проектировщиком под его ответственность. На практике, в основном, применяется немецкая методика ATV-DVWK-A 131E, упрощенная методика расчета аэротенков, математическая модель GPS-X (модель «Биосим» («Эко-Полимер»)).

В основе методики расчета, применяемой в Германии – ATV-DVWK-A 131E, лежит определение необходимого возраста ила. Для определения общего объема аэротенков в условиях удаления азота и фосфора к объему аэробной зоны добавляется объем денитрификатора и анаэробной зоны. Объем денитрификатора рассчитывается по отношению удаляемого нитратного азота и поступающего БПК₅. Количество удаляемого азота нитратов рассчитывается по полному балансу азота: общий азот на входе минус азот нитратов на выходе минус азот аммонийный на выходе минус азот органический на выходе минус азот, включенный в биомассу. В отечественной практике провести данный расчёт достаточно сложно, так как на большинстве сооружений не определяется общий азот, а так же органический азот на выходе.

Другим методом относительно несложного расчета, где используется нагрузка на ил, является методика Treatment Waste Water TWW «ООО Домкопстрой», предназначенная для предварительных расчетов сооружений перед математическим моделированием. Для разработки методики наряду с литературными данными, использованы данные математического моделирования действующих станций. Простой метод расчета основанный на использовании графиков. В основе метода лежит выбор аэробного, анаэробного и общего возраста активного ила. Аэробный возраст ила рекомендуется принимать для температуры воды 15 °С, которая по наблюдениям является наиболее низким значением температуры воды, фиксируемым на средних и крупных станциях в условиях раздельной системы канализации, принятой в России. Так же учитывается необходимость достижения глубокой нитрификации до концентраций азота аммонийного менее 0,4 мг/л. При этом величина аэробного возраста рекомендуется 7,5 суток. Поправки к возрасту ила для других температур следует делать по графикам. Общий возраст ила в соответствии с типичными результатами моделирования для обеспечения оптимального прохождения процессов удаления, как азота, так и фосфора рекомендуется в диапазоне 14 – 16 суток [32].

Применение математического моделирования наиболее актуально при проектировании крупных и средних станций. Применение математического моделирования позволяет наиболее полно отражать влияние промстоков, гидродинамики и конфигурации процесса, работы системы автоматики,

наиболее точно вычислять значение прироста ила, необходимого аэробного и общего возраста ила и объемы зон сооружений. [30].

Метод расчета аэротенков с применением программного комплекса GPS-X является одним из наиболее совершенных программных продуктов для расчёта сооружений очистки сточных вод. С использованием данного программного комплекса в России рассчитано более 20 объектов с общей производительностью до 7 млн. м³/сут.

3.2.2 Поверочный расчет аэротенка с нитрификацией-денитрификацией

В качестве основной методики расчета была принята методика Treatment Waste Water TWW «ООО Домкопстрой».

Расчеты проводятся с целью выбора оптимальной технологической схемы. В качестве проработки рассматривались две схемы: УСТ процесс и модифицированный УСТ процесс, как наиболее оптимальные схемы для очистных сооружений города Челябинска, исходя из сравнительной характеристики технологических схем (подраздел 1.3).

На основании проведенных предварительных расчетов возможность внедрения имеет технологическая схема УСТ процесса. Расчет основных параметров представлен ниже.

Поверочный расчет сооружений сводится к определению:

- нитрификатора, денитрификатора;
- требуемого объема воздуха для аэротенка и нитрификатора;
- требуемого количества питательного субстрата для восстановления окисленной формы азота (NO_3^-) до элементарного (N_2);
- сухого вещества и объема избыточного ила, образующегося в аэротенках, нитрификаторах, денитрификаторах в результате изъятия из сточной жидкости органических загрязнений и азота [20].

Для выделения в аэротенках анаэробной, аноксидной и аэробных зон рассчитаем необходимый объем нитрификатора и денитрификатора.

Расход сточных вод на один аэротенк составляет: 20007 м³/сут (833 м³/ч).

Продолжительность обработки сточной воды в денитрификаторе:

$$t_{\text{ден}} = \frac{(C_{\text{N-NO}_2})_{\text{ВХОД}}^{\text{ден}} - (C_{\text{N-NO}_2})_{\text{ВЫХОД}}^{\text{ден}}}{a_{\text{ден}}(1 - S)\rho_{\text{ден}}} \cdot \frac{20}{T}, \quad (1)$$

где $(C_{\text{N-NO}_2})_{\text{ВХОД}}^{\text{ден}}$ – концентрация нитратов на входе в денитрификатор, мг/л;

$(C_{\text{N-NO}_2})_{\text{ВЫХОД}}^{\text{ден}}$ – концентрация нитратов на выходе из денитрификатора, мг/л;

$a_{\text{ден}}$ – доза ила в денитрификаторе, г/л (принимается 2,5 г/л);

$\rho_{\text{ден}}$ – скорость восстановления нитратов, принимается в зависимости от начального значения нитратов по таблице [21, с.303], принимаем 7,5 мг/(г·час);

T – температура сточной воды для самого неблагоприятного холодного времени года, °С (на ОСК г. Челябинска составляет 18 °С).

Значение азота нитратного в сточной воде, поступающей в денитрификатор с учетом рециркуляционного потока:

$$(C_{N-NO_3})_{\text{Вход}}^{\text{ден}} = \frac{C_{N-NO_3} \cdot Q + (C_{N-NO_3})_{\text{ц}} \cdot Q_{\text{ц}}}{Q + Q_{\text{ц}}}, \quad (2)$$

где C_{N-NO_3} – концентрация азота нитратного в исходной сточной воде, составляет 0 мг/л;

$(C_{N-NO_3})_{\text{ц}}$ – концентрация азота нитратного в циркулирующем иле, мг/л;

$Q_{\text{ц}}$ – расход циркулирующего ила, м³/сут.

Расход циркулирующего ила:

$$Q_{\text{ц}} = Q \cdot R, \quad (3)$$

где требуемая степень рециркуляции активного ила R определяется из уравнения материального баланса по азоту:

$$C_{N-NO_3}^{\text{ПДК}} + \Delta N + C_{N-NH_4}^{\text{ПДК}} = \frac{C_{N-NH_4} + C_{N-N_{\text{орг}}}}{1 + R}, \quad (4)$$

где ΔN – количество азота, пошедшее на синтез клеток микроорганизмов в денитрификаторе и аэротенке, мг/л;

C_{N-NH_4} – концентрация азота аммонийного в исходной сточной воде, 35,2 мг/л;

$C_{N-N_{\text{орг}}}$ – концентрация азота органического в сточной воде, составляет 2 мг/л.

Количество азота, пошедшее на синтез клеток микроорганизмов в денитрификаторе и аэротенке:

$$\Delta N = P \cdot M \cdot m(1 - S), \quad (5)$$

где P – прирост активного ила, мг/л;

M – доля микроорганизмов в активном иле, принимается равной 0,2-0,3;

m – доля азота в клетках микроорганизмов в пересчете на сухое вещество, принимается равной 0,05-0,15.

Принимаем среднее значение прироста активного 135,2 мг/л.

$$\Delta N = 135,2 \cdot 0,25 \cdot 0,1(1 - 0,28) = 2,4 \text{ мг/л}$$

Принимаем степень рециркуляции 0,5 и по формуле (4) рассчитаем значение нитратов в очищенной воде.

$$C_{N-NO_3}^{\text{очищ}} = \frac{35,2 + 2}{1 + 0,5} - 2,4 - 0,4 = 22 \text{ мг/л}$$

Полученное значение ниже ПДК для нитратов, поэтому корректировки расчетов не требуется. Расход циркулирующего ила по формуле (3) при суточном расходе сточных вод по фактическим данным:

$$Q_{\text{ц}} = 20007 \cdot 0,5 = 10\,003 \text{ м}^3/\text{сут}$$

Значение азота нитратного в сточной воде, поступающей в денитрификатор с учетом рециркуляционного потока по формуле (2):

$$(C_{N-NO_3})_{\text{вход}}^{\text{ден}} = \frac{0 + 22 \cdot 10\,003}{20\,007 + 10\,003} = 7,33 \text{ мг/л}$$

Продолжительность обработки сточной воды в денитрификаторе по формуле (1):

$$t_{\text{ден}} = \frac{7,33 - 0}{2,5(1 - 0,28)7,5} \cdot \frac{20}{18} = 0,6 \text{ час.}$$

Объем денитрификатора:

$$W_{\text{ден}} = q \cdot t_{\text{ден}} (1 + R) = 833 \cdot 0,6(1 + 0,5) = 750 \text{ м}^3$$

Требуемая продолжительность нахождения сточной воды в нитрификаторе:

$$t_{\text{нит}} = \frac{C_{N-NH_4} + C_{N-N_{\text{орг}}} - \Delta N - C_{N-NH_4}^{\text{ПДК}}}{a_{\text{нит}}(1 - S)\rho_{\text{нит}}K_{\text{pH}}} \cdot \frac{20}{T}, \quad (6)$$

где $a_{\text{нит}}$ – доза ила в нитрификаторе, принимаем 2,5 г/л;

$\rho_{\text{нит}}$ – скорость окисления азота аммонийного, принимается согласно рекомендациям [16, с.302], принимаем 3,83 мг/(г·ч);

K_{pH} – коэффициент, учитывающий влияние pH, определяется по таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Значения коэффициента K_{pH} , зависящего от pH

параметр	pH							
	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5
K_{pH}	0,14	0,28	0,48	0,73	0,95	1,0	0,87	0,68

Методом интерполяции находим значение $K_{\text{pH}} = 0,77$

$$t_{\text{нит}} = \frac{35,2 + 2 - 2,4 - 0,4}{2,5(1 - 0,28)3,83 \cdot 0,77} \cdot \frac{20}{18} = 5,6 \text{ час.}$$

Требуемый объем нитрификатора:

$$W_{\text{нит}} = q \cdot t_{\text{нит}} = 833 \cdot 5,6 = 4\,665 \text{ м}^3$$

Общий объем нитрификатора-денитрификатора составляет 5415 м³.

Последовательность расположения зон нитрификации и денитрификации зависит от содержания в сточной воде азота в различных формах. При содержании преимущественно нитратов целесообразно вначале предусмотреть зону денитрификации, в которой органический субстрат будет окисляться за счет нитратов, а в конце – аэрацию для окончательного окисления органики.

Распределение объемов сооружения между денитрификатором и нитрификатором показано на рисунке 3.1.

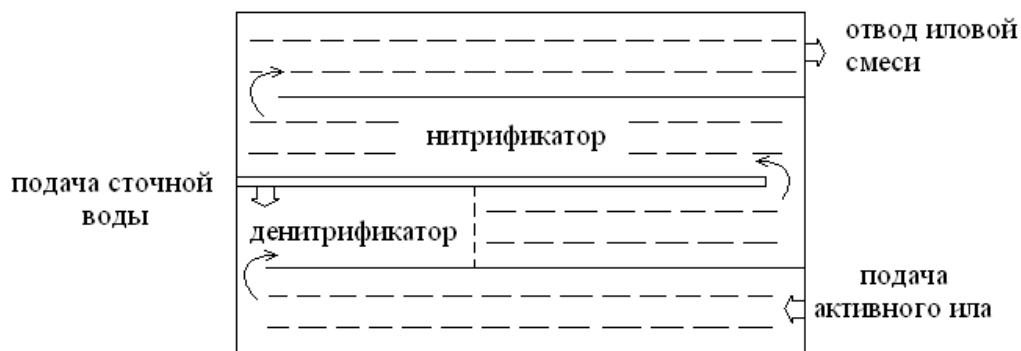


Рисунок 3.1 – Распределение объемов сооружения между денитрификатором и нитрификатором

Количество азота нитратов, поступивших в денитрификатор из вторичного отстойника с рециркуляционным потоком:

$$A_{N-NO_3} = \frac{C_{N-NO_3}^{очищ} \cdot Q \cdot R}{10^6} = \frac{22,0 \cdot 20007 \cdot 0,5}{10^6} = 0,22 \text{ т/сут}$$

Количество загрязнений по БПК_{полн}, затраченных в денитрификаторе на восстановление азота нитратного:

$$(A_L)_{вос} = K_i^{ден} \cdot A_{N-NO_3},$$

где $K_i^{ден}$ – коэффициент, равный 4 для обеспечения полного восстановления нитратов до элементарного азота.

$$(A_L)_{вос} = 4 \cdot 22 = 0,88 \text{ т/сут}$$

Количество загрязнений по БПК_{полн}, поступающих в денитрификатор:

$$(A_L)_{ден} = \frac{L_{пост} \cdot Q}{10^6} = \frac{200 \cdot 20007}{10^6} = 4,0 \text{ т/сут}$$

Количество загрязнений по БПК_{полн}, поступающих в аэротенк:

$$(A_L)_a = (A_L)_{ден} - (A_L)_{вос} = 4,0 - 0,88 = 3,12 \text{ т/сут}$$

Значение БПК_{полн} в сточной жидкости, поступающей в аэротенк:

$$(L_{пост})_a = \frac{(A_L)_a \cdot 10^6}{Q} = \frac{3,12 \cdot 10^6}{20007} = 155,9 \text{ мг/л}$$

Требуемый удельный расход воздуха в аэротенке-нитрификаторе:

$$D = \frac{q_o [(L_{пост})_a - L_{очищ}] + (L_{пост}^{ЭКВ} - L_{очищ}^{ЭКВ})}{K_1 K_2 K_T K_3 (C_a - C_o)}, \quad (7)$$

где $L_{\text{пост}}^{\text{ЭКВ}}$ – количество кислорода, необходимое для полного окисления азота, находится по формуле:

$$L_{\text{пост}}^{\text{ЭКВ}} = (C_{\text{N-NH}_4} + C_{\text{N-N}_{\text{орг}}} - \Delta N) 3,43 = (35,2 + 2 - 2,4) 3,43 = 119,4 \text{ мг/л}$$

где $L_{\text{очищ}}^{\text{ЭКВ}}$ – количество кислорода, необходимое для окисления оставшегося азота, находится по формуле:

$$L_{\text{очищ}}^{\text{ЭКВ}} = 3,43 \cdot C_{\text{N-NH}_4}^{\text{ПДК}} = 3,43 \cdot 0,5 = 1,7 \text{ мг/л}$$

Значения коэффициентов K_1 , K_2 , K_3 , удельный расход кислорода воздуха и растворимость кислорода в сточной воде C_a при заданной температуре принимаем 1,68, 2,48, 1,06, 10,1 соответственно.

Значение коэффициента K_3 принимаем 0,85 для городских бытовых стоков.

Требуемый удельный расход воздуха в аэротенке-нитрификаторе:

$$D = \frac{1,1((155,9 - 5,6) + (119,4 - 1,7))}{1,68 \cdot 2,48 \cdot 1,06 \cdot 0,85(10,1 - 2)} = 1,6 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

Для расчета интенсивности аэрации определим время пребывания воды в аэрируемой части аэротенка, то есть в аэротенке-нитрификаторе и регенераторе. Время пребывания воды в аэротенке-нитрификаторе определяем по формуле (8), при этом объем денитрификатора не учитывается:

$$t_a = \frac{W}{qR}, \quad (8)$$

где W – объем коридоров, м^3 ;

q – часовой расход воды, $\text{м}^3/\text{ч}$;

R – степень рециркуляции активного ила с очищенными стоками.

$$t_a = \frac{8593,3}{833(1 + 0,5)} = 6,8 \text{ ч.}$$

По расчетным данным для протекания процессов нитрификации необходимо 3,7 часа, поэтому в дальнейших расчетах принимаем $t_a = 3,7$ ч.

Время пребывания воды в регенераторе по формуле (9):

$$t_p = \frac{W_p}{Rq}, \quad (9)$$

где W_p – объем регенератора, м^3 .

$$t_p = \frac{3288,6}{0,5 \cdot 833} = 7,8 \text{ ч.}$$

Тогда время пребывания воды в аэрируемой части аэротенка по формуле (10):

$$t = (1 + R)t_a + Rt_p \quad (10)$$

$$t = (1 + 0,5)6,8 + 0,5 \cdot 7,8 = 13,9 \text{ ч.}$$

Интенсивность аэрации по формуле (11):

$$J = \frac{D \cdot H}{t}, \quad (11)$$

где H – глубина аэротенка, м.

$$J = \frac{1,6 \cdot 4,2}{13,9} = 0,48 \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{ч})$$

Рассчитываем интенсивность аэрации на первой половине аэротенка-нитрификатора и регенератора по формуле (12):

$$J_1 = 1,33 \cdot J \quad (12)$$

$$J_1 = 1,33 \cdot 0,48 = 0,64 \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{ч})$$

Интенсивность аэрации на второй половине аэротенка и регенератора по формуле (13):

$$J_2 = 0,67 \cdot J \quad (13)$$

$$J_2 = 0,67 \cdot 0,48 = 0,32 \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{ч})$$

Суточное количество избыточного ила по сухому веществу:

$$A_i = \frac{\Delta P \cdot Q}{10^6} = \frac{125,2 \cdot 20007}{10^6} = 2,5 \text{ т/сут}$$

Доза ила в регенераторе по формуле (14):

$$a_p = a_a \left(\frac{1}{2R} + 1 \right) \quad (14)$$

$$a_p = 2,5 \left(\frac{1}{2 \cdot 0,5} + 1 \right) = 5 \text{ г/л}$$

Средняя доза ила в системе денитрификатор-нитрификатор-регенератор по формуле (15):

$$a_{cp} = \frac{(1 + R)t_a a_a + Rt_p a_p}{t} \quad (15)$$

$$a_{cp} = \frac{(1 + 0,5)6,8 \cdot 2,5 + 0,5 \cdot 7,8 \cdot 5}{13,9} = 3,2 \text{ г/л}$$

Нагрузка на ил N , мг БПК_{полн} на 1 г беззольного вещества ила в сутки в аэротенке-нитрификаторе по формуле (16):

$$N = \frac{24(L_{\text{пост}} - L_{\text{очиш}})}{a_{cp}(1 - S)t} \quad (16)$$

$$N = \frac{24(200 - 5,6)}{3,1(1 - 0,28)13,9} = 150,5 \text{ мг} \cdot \text{БПК}_{\text{полн}} / (\text{г} \cdot \text{сут})$$

Окислительная мощность аэротенка с зонами нитрификации и денитрификации по формуле (18):

$$G = \frac{24a_{\text{ср}}(1 - S)\rho}{1000}, \quad (17)$$

где $a_{\text{ср}}$ – средняя доза ила г/дм³.

$$G = \frac{24 \cdot 3,1(1 - 0,28)10,7}{1000} = 0,57 \text{ кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{сут})$$

Прирост активного ила по формуле (19):

$$P = 0,8C_{\text{вз.в.}} + K_{\text{п}}L_{\text{пост}}, \quad (18)$$

где $K_{\text{п}}$ – коэффициент прироста, для городских сточных вод равен 0,3.

$$P = 0,8 \cdot 94 + 0,3 \cdot 200 = 135,2 \text{ мг}/\text{л}$$

Возраст активного ила по формуле (19):

$$\text{ВИ} = \frac{a_{\text{ср}} \cdot t}{24P} \cdot 1000 \quad (19)$$

$$\text{ВИ} = \frac{3,1 \cdot 13,9}{24 \cdot 135,2} \cdot 1000 = 7,9 \text{ сут.}$$

Недогрузка сооружений позволяет реализовать их переход на технологии с удалением азота и фосфора, требующие существенно большего времени обработки сточной воды.

Вариант с реконструкцией, однако, накладывает существенные ограничения на сроки модернизации очистных сооружений и качество очистки на них по следующим причинам:

- его необходимо реализовывать в несколько этапов (очередей), так как в период проведения СМР на одной части сооружений сточные воды должны очищаться на оставшейся части;
- как правило, до начала выполнения основных работ требуется выполнение вспомогательных, таких как прокладка новых каналов, устройство новых насосных станций и т. п.

Для минимизации перегрузки оставшихся частей станции реконструкция должна проводиться не менее чем в три очереди. Однако недогрузка очистных сооружений на 50% позволяет осуществлять реконструкцию в две очереди.

Общий срок реконструкции крупных объектов в две (три) очереди, с учетом разработки и согласования проекта (до 2 лет), вспомогательных и

пусконаладочных работ даже при достаточном финансировании, может составить до 10 лет, что выходит за установленную 219-ФЗ продолжительность срока перехода на наилучшие доступные технологии.

После окончания реконструкции очереди ее проектная производительность (по новой технологии) уже не будет превышать, как правило, 50 % — 65 % от первоначальной величины (по классической технологии). В результате даже при разбиении работ по реконструкции ОС на 2 очереди при производстве работ на 2-й, последней очереди первая, ранее реконструированная, будет перегружена до 2 раз. Это приведет к ухудшению качества очистки воды в период реконструкции не только по отношению к новым проектным показателям, но и к качеству до реконструкции.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 3

1. Применительно к очистным сооружениям канализации, начиная с больших, выделены наилучшие доступные технологии биологической очистки сточных вод: очистка с биологическим удалением азота и фосфора с ацидофикацией, очистка с биологическим удалением азота и биолого-химическим удалением фосфора.
2. Оптимальной схемой для данных очистных сооружений является технология с биологическим удалением азота и фосфора (процесс UCT) с двойным чередованием зон. Предварительный расчет (по методике Treatment Waste Water TWW «ООО Домкопстрой») показал возможность внедрения ее в существующие сооружения.
3. Недогрузка емкостей на 50 % позволяет осуществить реконструкцию в два этапа, однако общий срок реконструкции может достигать до 10 лет даже при достаточном финансировании.
4. На данном этапе работы очистных сооружений, учитывая возможность недостатка финансирования, целесообразно внедрить технологию с биологическим удалением азота и фосфора, а в дальнейшем в дополнение к биологической дефосфотации использовать реагенты и перейти на технологию с биологическим удалением азота и биолого-химическим удалением фосфора. Ввод реагента рекомендуется осуществлять непосредственно в аэробную зону аэротенка, что позволяет отказаться от строительства дополнительных сооружений для механического удаления осадка.

4 ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ВНЕДРЕНИЯ НОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ

4.1 Расчет экологического ущерба от загрязнения природных водоемов

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 ВХК реконструкция очистных сооружений может рассматриваться как возможность минимизировать экологические платежи и выполнить современные требования законодательства РФ.

В соответствии со статьей 16 Закона «Об охране окружающей среды» загрязнение окружающей среды рассматривается как причинение ей имущественного вреда. За такой вред устанавливаются платежи, определяемые на основе базовых нормативов за нормативное и сверхнормативное загрязнение окружающей среды [22]. Это относится и к водным объектам. Такие нормативы были установлены Постановлением № 255.

Основной целью охраны водного объекта от загрязнения сточными водами является сохранение и по возможности снижение уровня загрязнения. Для достижения этой цели каждому водопользователю предлагается процедура расчета нормативно допустимых сбросов (НДС) загрязняющих веществ со сточными водами, исходя из условия недопустимости превышения предельно допустимых концентраций (ПДК) вредных веществ в водных объектах. Загрязнения в рамках ПДК для водоемов не наносят ущерб рыбному хозяйству [23].

Сточные воды после очистных сооружений выпускаются в реку Миасс и оказывают существенный урон.

Расчет ущерба в этом случае производится в несколько этапов [24].

Ущерб от годового сброса сточных вод вычисляется по формуле:

$$Y = 400 \cdot K_3 \cdot M, \quad (20)$$

где 400 – средний удельный ущерб, руб./усл. т;

K_3 – коэффициент экологической ситуации и экологической значимости состояния водных объектов по бассейнам основных рек, для Челябинской области принимается 1,1.

M – приведенная масса годового сброса примесей данным источником загрязнения, усл. т/год.

Приведенная масса годового сброса примесей определяется по следующей формуле:

$$M = \sum_{i=1}^N A_i m_i, \quad (21)$$

где A_i - относительная опасность i -го загрязняющего вещества, усл. т/т, определяемая как:

$$A_i = \frac{1}{\text{ПДК}_i}, \quad (22)$$

где ПДК_i – предельно допустимая концентрация i -ого вещества в водоеме;
 m_i - приведенная масса годового сброса загрязняющих веществ, усл. т/год:

$$m_i = C_i Q, \quad (23)$$

где C_i – концентрация i -ой примеси в сточной воде, г/м³;
 Q – расход сточных вод, м³/сут. (по данным за сентябрь 2017 года принимаем 283 300 м³/сут).

Расчет ведется по четырем загрязняющим веществам, содержащимся в стоках.

По формуле (22) определяем относительную опасность для каждого загрязняющего вещества:

- 1) для $\text{NH}_4(\text{N})$ $A = 2,5$ усл. т/т при $\text{ПДК} = 0,4$ мг/л;
- 2) для NO_2 $A = 12,5$ усл. т/т при $\text{ПДК} = 0,08$ мг/л;
- 3) для NO_3 $A = 0,025$ усл. т/т при $\text{ПДК} = 40$ мг/л;
- 4) для PO_4 $A = 5$ усл. т/т при $\text{ПДК} = 0,2$ мг/л;

По формуле (23) определяем массу годового сброса каждого загрязняющего вещества при старой схеме:

- 1) для $\text{NH}_4(\text{N})$ $m = 51,7$ т/год при концентрации 0,5 мг/л;
- 2) для NO_2 $m = 20,7$ т/год при концентрации 0,2 мг/л;
- 3) для NO_3 $m = 6\,204,3$ т/год при концентрации 60,0 мг/л;
- 4) для PO_4 $m = 89,9$ т/год при концентрации 0,87 мг/л;

По формуле (22) определяем приведенную массу годового сброса каждого загрязняющего вещества при старой схеме:

- 1) для $\text{NH}_4(\text{N})$ $M = 129,2$ усл. т/год;
- 2) для NO_2 $M = 258,7$ усл. т/год;
- 3) для NO_3 $M = 155,1$ усл. т/год;
- 4) для PO_4 $M = 449,5$ усл. т/год.

$$M = 992,5 \text{ усл. т/год.}$$

По формуле (20) ущерб от годового сброса сточных вод при старой схеме очистки составляет 436 700 усл. руб./год.

Для расчета ущерба от годового сброса сточных вод при новой схеме очистки условно принимаем расход сточных вод как значение за сентябрь 2017 года – 283 300 м³/сут. Концентрации загрязняющих веществ принимаются по таблице 3.1.

По формуле (23) определяем массу годового сброса каждого загрязняющего вещества при новой схеме:

- 1) для $\text{NH}_4(\text{N})$ $m = 20,6$ т/год при концентрации 0,2 мг/л;
- 2) для NO_2 $m = 10,3$ т/год при концентрации 0,1 мг/л;
- 3) для NO_3 $m = 930,6$ т/год при концентрации 9 мг/л;
- 4) для PO_4 $m = 31,0$ т/год при концентрации 0,3 мг/л;

По формуле (22) определяем приведенную массу годового сброса каждого загрязняющего вещества:

- 1) для $\text{NH}_4(\text{N})$ $M = 51,5$ усл. т/год;
- 2) для NO_2 $M = 128,7$ усл. т/год;
- 3) для NO_3 $M = 23,3$ усл. т/год;
- 4) для PO_4 $M = 155,0$ усл. т/год.

$$M = 358,5 \text{ усл. т/год.}$$

По формуле (20) ущерб от годичного сброса сточных вод при новой схеме составляет 157 740 усл. руб./год.

Таким образом, выгода при использовании новой схемы очистки составляет 278 960 усл. руб./год.

4.2 Экономические показатели внедрения новой технологии

Экономические аспекты перехода на наилучшие доступные технологии тесно связаны с понятием «доступность» технологий. В определении НДТ, в европейском понимании, понятие «доступные» технологии означает возможность приобрести эту технологию на профессиональном рынке отраслевых услуг, т.е. ее апробированность и не уникальность [25].

Можно выделить следующие экономические аспекты:

- стоимость перехода на НДТ;
- доступность внедрения НДТ для организации ВХК.

В таблице 6.1 [16] приведена информация по стоимости мероприятий по переходу на НДТ, собранная на основании анкет, а также из открытых источников. Анализ был проведен отдельно для нового строительства и реконструкции по следующим разделам: очистка сточных вод, доочистка, обеззараживание, обработка осадка, энергосбережение. Выборка информации по реконструкции очистных сооружений биологической очистки приведена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 - Данные по стоимости мероприятий по переходу на НДТ

Технология и состав сооружений	Фактический приток сточных вод, тыс. м ³ /сут	Год реализации	Стоимость, млн. руб.	Удельные затраты тыс. руб./м ³ в сутки
Сооружения биологической очистки (БНДФ)	240	2014-2019	270	1,1
Сооружения биологической очистки (БНДФ)	458	2014-2015	476	1,04
Сооружения биологической очистки (БНДФ)	600	2012-2014	12000	20

Однако полученный по анкетам объем информации недостаточен для определения влияния производительности ОС на стоимость внедрения основных НДТ [25]. Поэтому однозначно определить стоимость перехода на новую технологию возможно только при наличии проектной документации.

Переход на новые технологии не только требует значительных капитальных вложений, но и приводит к существенному росту эксплуатационных затрат.

Поэтому, реконструкция очистных сооружений с переходом на НДТ (в данном случае на технологию с биологическим удалением азота и фосфора) доступна для организации ВХК только при привлечении дополнительного финансирования, например, собственных внетарифных источников (плата за подключение новых абонентов, плата за негативное воздействие на водные объекты). Однако наличие таковых не может быть гарантировано. Поэтому в данном случае необходимо говорить о повышении тарифов для населения [26].

В Челябинской области с 01.01.17 тарифная ставка составляет 15,67 руб/м³. Потребность в увеличении тарифа для перехода на технологию удаления азота и фосфора (применительно к процессу БНДБХФ) приблизительно составит 15%.

Важно отметить, что объективное увеличение затрат далеко не во всех случаях находит отражение в новых тарифах, в результате чего предприятия бывают вынуждены в лучшем случае компенсировать возросшие затраты на модернизированных объектах сокращением необходимых минимальных затрат на других участках производства [16].

4.3 Экономический анализ экологической эффективности использования новой технологии

Оптимальным инструментом для экономической оценки НДТ является эколого-экономическая эффективность (ЭЭЭ) затрат жизненного цикла. Под этим термином подразумевается отношение экономических затрат на сокращение сбросов в водные объекты к экологическому результату, выраженному в комплексных единицах (интегральному показателю качества очистки, ИПКО или иному комплексному критерию). Наиболее точный результат для ЭЭЭ даст отношение затрат жизненного цикла к снижению величины ИПКО.

Эколого-экономическая эффективность определяется двумя способами:

- как абсолютная;
- как относительная.

Разница величин $ИПКО_{рх}$ соответствует приведенной (интегральной) массе удаленных загрязнений. По физическому смыслу величина ЭЭЭ показывает стоимость удаления 1 кг массы условных загрязнений.

4.2.1 Абсолютная эколого-экономическая эффективность

Абсолютная $\text{ЭЭЭ}_{\text{абс}}$ - отношение разницы между ИПКО_{рх} исходной сточной воды (ИПКО_{рхСВ}) и ИПКО_{рх} очищенной воды для данной технологии (ИПКО_{рхОСВ}), в усл. кг, к стоимости очистки по этой технологии, тыс. руб.

$$\text{ЭЭЭ}_{\text{абс}} = \frac{\text{ИПКО}_{\text{рхСВ}} - \text{ИПКО}_{\text{рхОСВ}}}{\text{стоимость очистки 1 м}^3}$$

Абсолютная эколого-экономическая эффективность для существующей технологии (полная биологическая очистка):

Значения ИПКО_{рхСВ} и ИПКО_{рхОСВ} рассчитаны в таблице 2.8.

Стоимость очистки 1 м³ сточной воды принимается по [табл. 6.7, 16] как часть эксплуатационных затрат – 0,59 тыс. руб. /м³.

$$\text{ЭЭЭ}_{\text{абс}} = \frac{401,25 - 27,73}{0,59} = 633$$

Абсолютная эколого-экономическая эффективность для технологии с биологическим удалением азота и фосфора:

Значения ИПКО_{рхСВ} аналогично, рассчитано в таблице 2.8, ИПКО_{рхОСВ} рассчитано исходя из значений таблицы 3.1.

Таблица 4.2 - Величины ИПКО_{рх} для новой технологии

Загрязняющие вещества	Содержание в исходной сточной воде, мг/л	ИПКО _{рхСВ} (для исходной сточной воды)	Концентрация в очищенной воде мг/л	ИПКО _{рхОСВ} (для очищенной воды)	ПДК _{рыбхоз} , мг/л
Взвешенные вещества	294	29,4	10	1	10
БПК ₅	489	104,0	4	0,8	4,7
ХПК	529	35,0	20	1,3	15
Азот аммонийных солей	35,2	70,4	0,2	0,4	0,5
Азот нитритов	-	-	0,1	1,25	0,08
Азот нитратов	-	-	9	0,2	40,0
Фосфор фосфатов	2,65	13,25	0,3	1,5	0,2
		252,0		6,45	

Стоимость очистки 1 м³ сточной воды принимается [табл. 6.7, 16] как часть эксплуатационных затрат – 0,9 тыс. руб. /м³.

$$\text{ЭЭЭ}_{\text{абс}} = \frac{252,0 - 6,45}{0,9} = 273$$

Величины $\text{ЭЭЭ}_{\text{абс}}$ отличаются незначительно, несмотря на более высокую стоимость применения технологии БНДФ. Это объясняется гораздо большим абсолютным экологическим эффектом БНДФ по сравнению с классической биологической очисткой. Таким образом, для стадии биологической очистки, при любой примененной в ней технологии, существует пропорциональность между инвестициями и экологическим эффектом: чем больше вложено средств в реконструкцию этих сооружений, тем больший экологический эффект достигается.

4.3.2 Относительная эколого-экономическая эффективность

Относительная, $\text{ЭЭЭ}_{\text{отн}}$ (относительно предыдущей по глубине очистки технологии), что позволяет выяснить, какой экологический эффект имеет углубление качества очистки с переходом от менее эффективной технологии к следующей, более эффективной.

$$\text{ЭЭЭ}_{\text{отн}} = \frac{\text{ИПКО}_{\text{рх технологии (N-1)}} - \text{ИПКО}_{\text{рх технологии N}}}{\text{стоимость очистки по технологии N} - \text{стоимость очистки по технологии (N - 1)}}$$

$$\text{ЭЭЭ}_{\text{отн}} = \frac{15,15 - 6,45}{0,9 - 0,59} = 28$$

Таким образом, новая технология имеет экологический эффект в 28 раз выше.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 4

1. Недостаточно очищенные сточные воды оказывают негативное влияние на качество воды в реке. Ущерб от годовичного сброса сточных вод при использовании новой технологии значительно ниже, чем при использовании существующей технологии.
2. Реконструкция очистных сооружений доступна для организации ВХК только при привлечении дополнительного финансирования, например, собственных внетарифных источников (плата за подключение новых абонентов, плата за негативное воздействие на водные объекты), либо за счет повышения тарифов для населения.
3. Оптимальное значение эколого-экономической эффективности достигается при использовании наиболее эффективных технологий биологической очистки в аэротенках с удалением азота и фосфора.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе научно обоснованы, обобщены и показаны пути улучшения качества очистки сточных вод и биологического удаления соединений азота и фосфора.

В соответствии с целью настоящей работы рассмотрены и решены следующие задачи:

1) изучена литература по очистке бытовых сточных вод от соединений азота и фосфора;

2) изучена литература по устройству и работе очистных сооружений канализации г. Челябинска;

3) в существующих условиях подтверждена возможность проведения нитрификации и денитрификации;

4) предложено заменить существующую классическую схему полной биологической очистки на технологию с биологическим удалением азота и фосфора;

5) проведен расчёт аэротенков с зонами нитрификации и денитрификации.

В результате анализа существующей схемы очистки, качества и количества сточных вод, поступающих на ОСК, можно сделать вывод о том, что применяемые технические решения на канализационных очистных сооружениях г. Челябинска являются не эффективными и не обеспечивают удаления соединений азота и фосфора до нормативно допустимых концентраций для сброса в водоём.

Для интенсификации процессов очистки от соединений азота и фосфора предложено выделить в аэротенке зоны нитрификации и денитрификации в соответствии со схемой УСТ, разработанной Кейптаунским университетом, для достижения показателей качества очищенных сточных вод до уровня ПДК рыбохозяйственных водоёмов.

На основании выполненного литературного обзора и анализа известных методов и технологических схем, показаны преимущества схемы УСТ. Рассчитано и показано распределение зон денитрификации и нитрификации в существующих сооружениях. Обоснован выбор наиболее рационального конструктивного оформления процесса нитри-денитрификации городских сточных вод.

На данном этапе работы очистных сооружений, учитывая возможность недостатка финансирования, целесообразно внедрить технологию с биологическим удалением азота и фосфора, а в дальнейшем в дополнение к биологической дефосфотации использовать реагенты и перейти на технологию с биологическим удалением азота и биолого-химическим удалением фосфора.

Предлагаемая технология процесса глубокой очистки городских сточных вод обеспечивает достижение ПДК в очищенной воде по всем формам соединений азота ($N-NH_4 = 0,5$ мг/л, $N-NO_2 = 0,08$ мг/л, $N-NO_3 = 40,0$ мг/л) и фосфора (0,2 мг/л).

Внедрение новых технологий позволит снизить ущерб от годового сброса сточных вод, а также достичь оптимального значения эколого-экономической эффективности биологической очистки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Яковлев, С.В. Водоотведение и очистка сточных вод/ С.В. Яковлев, Ю.В. Воронов. – М.: АСВ, 2006. – 704 с.
2. Приказ Федерального агентства по рыболовству от 18 января 2010 г. № 20 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения»
3. Гогина, Е.С. Удаление биогенных элементов из сточных вод: Монография/ ГОУ ВПО Моск. гос. строит. ун-т.- М.: МГСУ, 2010. – 120 с.
4. Guisasola, A. Inorganic carbon limitations on nitrification: Experimental assessment and modeling/ A. Guisasola et. al.// Water research.-2007.- V. 412.- P/77-286.
5. Степанов, А.С. Исследование и оптимизация процессов удаления биогенных элементов из городских сточных вод: Автореферат/Сам. гос. арх-строит. ун-т.- С.:СГАСУ, 2009.- 36с.
6. Архитектура водных решений [электронный ресурс]. – URL: <http://watertec.ru/> (дата обращения: 05.10.2017).
7. Данилович, Д.А. Результаты работы крупномасштабных сооружений биологической очистки от соединений азота и фосфора/ Д.А Данилович, М.Н. Козлов, О.В. Мойжес, К.В. Шотина, Б.А. Ершов // Сб. статей и публикаций МГУП Мосводоканал. – М., 2008. – с.101-119.
8. Соловьева, Е.А. Очистка сточных вод от азота и фосфора: Монография/ ЗАО «Водопроект-Гипрокоммунводоканал.- СПб, 2012.-100 с.
9. Карюхина, Т.А., Контроль качества воды/ Т.А. Карюхина, И.Н. Чурбанова. М.: Стройиздат, 1977. - 358 с.
10. Василенко, А.А., Грабовский П.А., Ларкина Г.М., Полищук А.В., Прогульный В.И. Реконструкция и интенсификация сооружений водоснабжения и водоотведения: Учебное пособие. – Киев – Одесса, КНУСА, ОГАСА, 2007. – 307с
11. Алексеев, М.И. Особенности биологической очистки городских сточных вод с учетом требований к азоту и фосфору/ М.И. Алексеев, Б.Г. Мишуков, Е.А. Соловьева// Вестник гражданских инженеров. - 2015. - №1. – 124-132 с.
12. Щетинин, А.И. Особенности реконструкции городских сооружений канализации в настоящий период// Вода и экология. – 2002. - №2. - с. 22-28.

13. Zhang, F. Simultaneous nitrification and denitrification/ F. Zhang, Z. He// Biotechnol. - 2012. – v 87.
14. Janssen, P.M.J. Biological Phosphorus removal// SNOWA 2015. – v.210.
15. Данилович, Д.А. Категорирование водных объектов для целей установления технологических показателей НТД// Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. – 2018. - №2. - с.2-11.
16. ИТС 10-2015 «Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов» Москва, бюро НДТ. - 2015. - 377 с.
17. ГОСТ-Р 56828.12-2016. Наилучшие доступные технологии. Классификация водных объектов для технологического нормирования сбросов сточных вод централизованных систем водоотведения поселений. Москва, Стандартинформ, 2016.
18. Данилович, Д.А. Экологическая эффективность использования НДТ на очистных сооружениях: экономический анализ// Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. – 2017. - №1. - с.6-11.
19. Гогина, Е.С. Подходы к созданию методологии реконструкции очистных сооружений // Вестник МГСУ. - 2012. – №10. - с 199-205.
20. Очистные сооружения канализации: методические указания (часть 5 – расчет нитрификатора-денитрификатора) / сост. Г.Т. Амбросова, О.П. Цветкова, О.В.Ксенофонтова, Н.М. Гребенникова, Т.А. Бойко. – Новосибирск: Сибстрин, 2005. – 34 с.
21. Справочник проектировщика. Канализация населенных мест и промышленных предприятий. / под ред. В.Н. Самохина. – М.: Стройиздат, 1981. – 639 с.
22. Постановление Правительства Российской Федерации от 03 марта 2017 г. - № 255 «Об исчислении и взимании Платы за негативное воздействие на окружающую среду»
23. Приказ от 17 декабря 2007 г. N 333 «Об утверждении методики разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей».
24. Соколов, Л. И. Плата за загрязнение водных объектов: учебное пособие / Л.И. Соколов. – Вологда: ВоГТУ, 2006. – 64 с.
25. Данилович, Д.А. Экономические аспекты внедрения НДТ на городских очистных сооружениях// Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. – 2016.- №6. - с. 46-53.

26. Будницкий, Д.М. Ожидаемые перемены в нормировании работы городских очистных сооружений и абонентов систем водоотведения. // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. – 2016.- №4.- с. 6-13.
27. Харьков, С.В. Реализация технологий удаления азота и фосфора из сточных вод: роль проектирования и эксплуатации. // С.В. Харьков, О.В. Харькина. Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. – 2014.- №1.- с. 4-15.
28. Есин, М.С. Опыт реконструкции очистных сооружений с применением технологии нитри-денитрификации// М.С. Есин Водоснабжение и канализация. – 2016. - №1. – с. 5-15.
29. Харьков, С.В. Выбор корректного технико-экономического предложения: мифы и реальность // С.В. Харьков, О.В. Харькина. Вода Magazine. – 2016. - №5. – с. 18-23.
30. Эпов, А.Н. Сравнение методик расчета сооружений с биологическим удалением азота и фосфора и применение математического моделирования// А.Н. Эпов, М.А. Канунникова. Вода и экология. Проблемы и решения. – 2016. - №1. – с. 20-35.
31. GPS-X 5.0 Technical Reference. Copyright 1992-2006 Hydromantis, Inc.
32. Морозова, К.М. Принципы расчета систем биологической очистки сточных вод/ Журнал ВСТ. - 2009. - 1. - С. 26-31.
33. Свод правил СП 32.13330.2012. Канализация. Наружные сети и сооружения/ Актуализированная редакция СНиП 2.04.03-85. М. - 2012. - С. 1-92.