ООО «Л-Старт» и
ООО «Архитектура
водных технологий»

представляют

«Библиотечка технолога»
Выпуск №3 часть 1

Проектирование сооружений очистки сточных вод

Удаление азота и фосфора
(часть 1. Нитрификация)

www.L-Start.ru
(495) 935-73-21
info@L-Start.ru

www.watertec.ru
(495) 989-51-54
office@watertec.ru

Эксплуатация канализационных очистных сооружений является весьма сложным процессом с учетом реальной нестационарности количественных и качественных характеристик поступающих сточных вод. Для обеспечения максимальной эффективности работы существующих сооружений эксплуатационные службы очистных сооружений должны корректно контролировать биологические процессы, реализованные в сооружениях биологической очистки и оперативно реагировать на текущую ситуацию, принимая оптимальные для конкретной ситуации, технологические решения.

ООО «Л-Старт» и ООО «Архитектура Водных Технологий» продолжают серию брошюр «Библиотечка технолога», которая, как мы надеемся, поможет технологам и инженерам сооружений очистки сточных вод, а также технологам проектных организаций, в решении конкретных задач, связанных с расчетами и эксплуатацией канализационных очистных сооружений.

В выпуске #3 даны биохимические основы процессов нитрификации и принципы проектирования аэротенков, реализующих процессы нитрификации в ходе биологической очистки сточных вод.

Надеемся, Вы найдете данное руководство полезным.

Если у Вас возникли вопросы или нужна дополнительная помощь, будем рады ответить на все интересующие Вас вопросы: ООО «Л-Старт» тел.: +7 (495) 935-73-21, ООО «Архитектура Водных Технологий» тел.: +7 (495) 989-51-54.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Источники азота в городских сточных водах....3
2. Формы азота в поступающей сточной воде....4
3. Содержание азота и формы азота в городских сточных водах, мгN/л....5
4. Этапы очистки сточных вод от соединений азота....6
5. Процесс нитрификации – определение....7
6. Процесс нитрификации – базисные положения проектирования....8
7. Требования к объему биореактора....10
8. Определение минимального значения аэробного возраста активного ила....11
9. Требования к расчету кислородного режима....14
10. Эффективность аэрационных систем....16

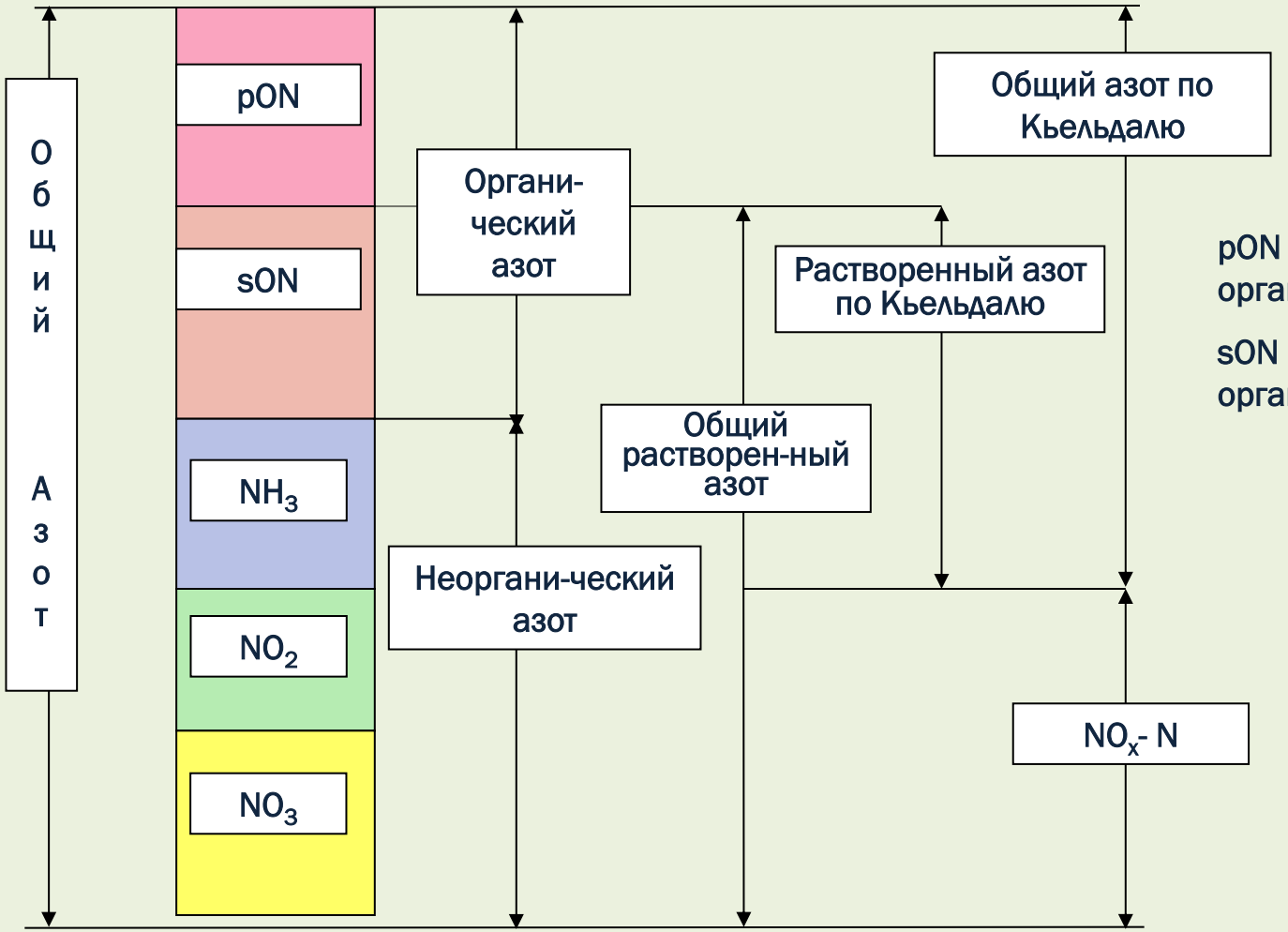
Источники азота в городских сточных водах

Загрязнения на душу населения,
грамм азота/на человека в сутки:

- общий азот .... 9 – 22 г/сут*чел
- аммонийный азот ... 5 – 12 г/сут*чел

- Большая часть аммонийного азота образуется в результате гидролиза мочевины в системе коллекторов;
- Большая часть органического азота поступает от отходов жизнедеятельности человека и пищевых отходов.

Формы азота в поступающей сточной воде



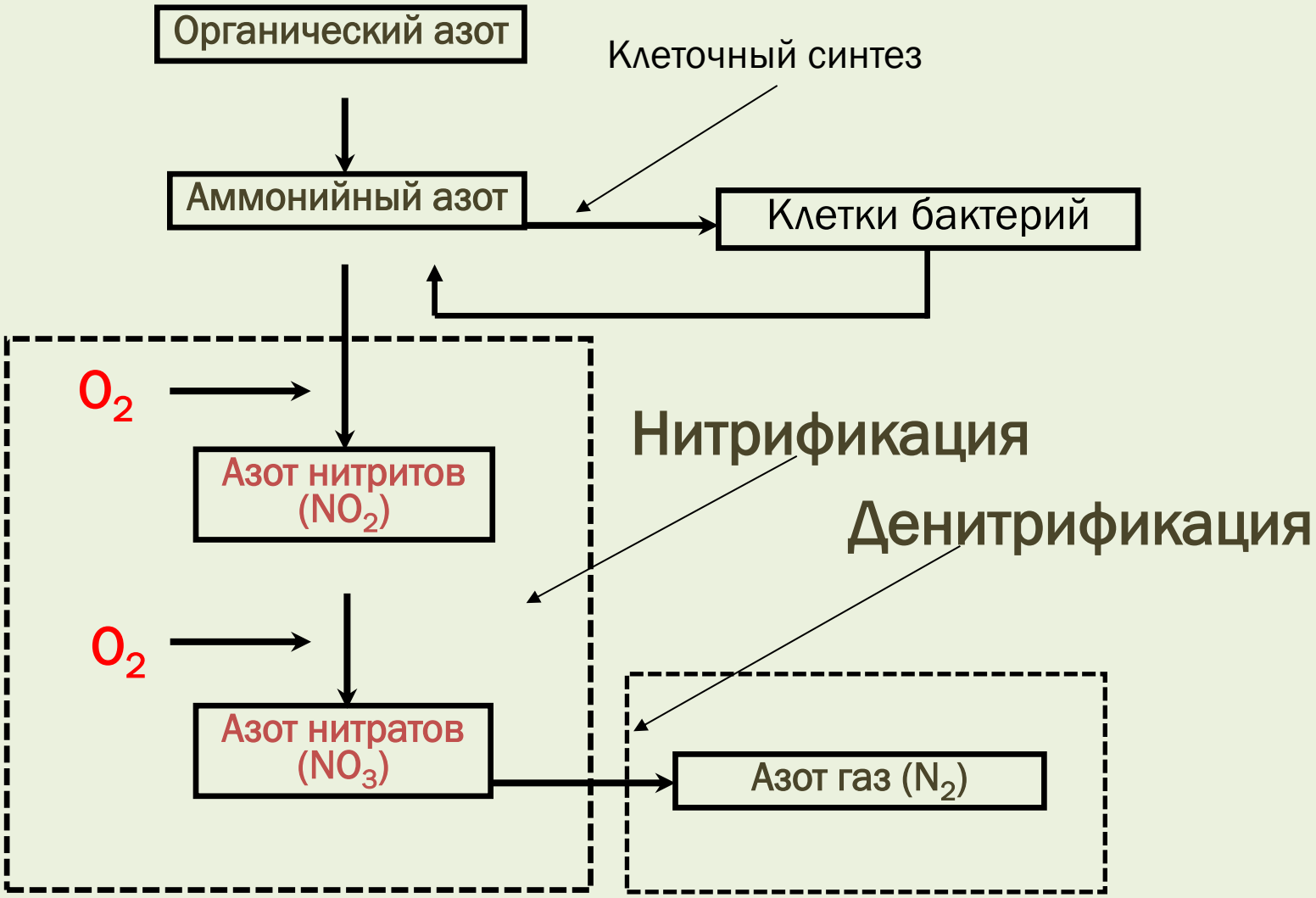
pON = нерастворенный органический азот

sON = растворенный органический азот

Содержание азота и формы азота в городских сточных водах, мг N/л

Формы азота	Тип стока		
	Концентри-рованный	Разбав-ленный	Низкоконцентри-рованный
Общий по Кьельдалю	70	40	20
Органический	40	15	8
Аммонийный	30	25	12
Нитраты/нитриты	<1	<1	<1

Этапы очистки сточных вод от соединений азота



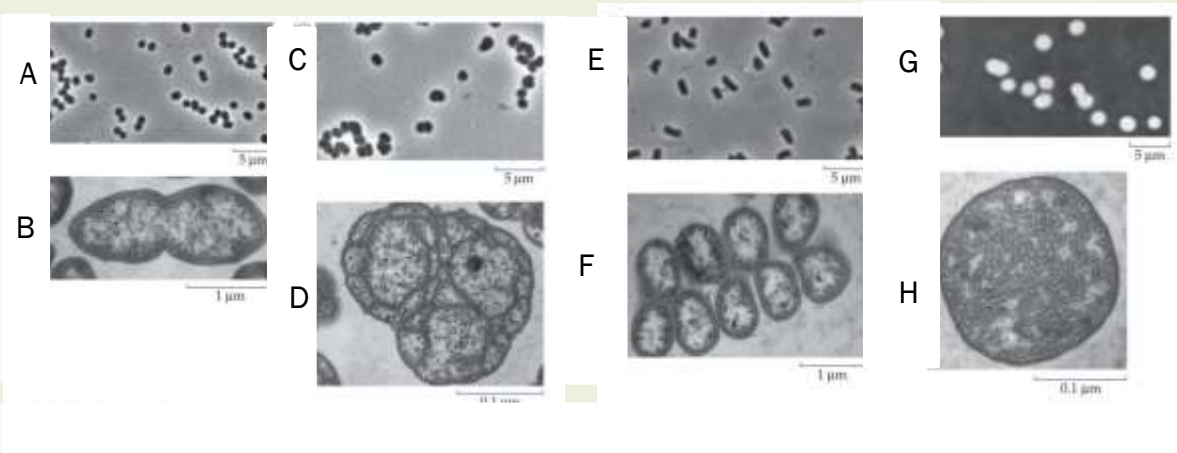
Процесс нитрификации - определение

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.

Аммоний → Нитриты:

Нитриты → Нитраты:

В ходе процесса нитрификации, аммоний (NH_3 или, в зависимости от pH, NH_4+) аммоний-окисляющими бактериями (AOB - ammonia-oxidizing bacteria) окисляется до нитритов (NO_2), а затем нитрит- окисляющие бактерии (NOB - nitrite oxidizing bacteria) окисляют нитриты до нитратов (NO_3).



(AOB) бактерии:
(A,B) Nitrosomonas, (C,D) - Nitrosolobus

(NOB) бактерии:
(E, F) Nitrospira; (G, H) Ntirococcus

Процесс нитрификации – базисные положения проектирования

Процесс нитрификации представляет собой двухстадийный процесс:

$$2\,NH_4^+ + 3\,O_2 \xrightarrow{AOB} 2\,NO_2^- + 2\,H_2O + 4\,H^+ + \text{прирост}$$

$$2\,NO_2^- + O_2 \xrightarrow{NOB} 2\,NO_3^- + \text{прирост}$$

Основные положения при проектировании сооружений, реализующих процессы нитрификации:

<u>pH</u> – оптимальное значение pH для реализации процесса нитрификации 7,0-8,5. При pH ниже 6,0 и выше 9,5 ингибирование процесса нитрификации.

<u>Щелочность</u> - при окислении 1 мг $N\text{-}NH_4$ до $N\text{-}NO_3$ щелочность (как $CaCO_3$) снижается на 7,14 мг. Минимальное значение щелочности в - 50 мг/л (как $CaCO_3$).

<u>Пример</u>: для окисления 21 мг $N\text{-}NH_4$ щелочность поступающей сточной воды должна быть:
7.14 x 21 +50 ~ 200 мг/л.

<u>Концентрация растворенного кислорода</u> - кислород является акцептором электрона в реакции нитрификации, что требует обеспечение концентрации растворенного кислорода реакторе не менее 2,0 мг/л, чтобы предотвратить дефицит кислорода.

<u>Ингибирующие вещества</u> - наличие тяжелых металлов и некоторых углеводородов ингибируют процессы нитрификации, вплоть до полной блокировки процесса.

<u>Температура</u> – зависимость скорости процесса нитрификации от температуры в диапазоне температур 10-23 °C описывается уравнением :$\mu NH.T = \mu NH,max,20\ (1,123)^{(T-20)}$. При температурах 28-32 °C скорости процессов постоянны, при повышении температуры более 37°C скорость резко падает, и при температуре 40°C скорость равна 0.

Процесс нитрификации – базисные положения проектирования

Аэробный возраст активного ила является базисным критерием расчета аэротенков, реализующих процессы нитрификации.

Аэробный возраст ила θ_{NH} представляет собой отношение количества активного ила, находящего в аэробных условиях в системе, к количеству отводимого активного ила:

$$\theta_{NH} = \frac{N \cdot V_{aer} \cdot X_{aer}}{X_{WAS} \cdot Q_{WAS}} ,$$

где N – количество аэротенков; Vaer – объем аэробной зоны одного аэротенка, м³; X_{aer} - доза активного ила в аэробной зоне аэротенка, г/л или кг/м³; X_{WAS} - доза избыточного активного ила, г/л или кг/м3;
Q_{WAS} - расход избыточного активного ила, м³/сут.

При проектировании очистных сооружений минимальный аэробный возраст активного ила определяется как величина, обратная расчетному значению скоростей роста нитрифицирующих микроорганизмов: $\theta_{NH} = \frac{1}{\mu_{NH,real}}$

Если реальный аэробный возраст в аэротенках более минимального θ_{NH}(min), то нитрификации имеет место, при значении реального аэробного возраста ила менее θ_{NH}(min), нитрификация не идет.

Нитрифицирующие микроорганизмы более чувствительны, чем гетеротрофные организмы, участвующие в процессе окисления органических соединений, поэтому при проектировании аэротенков, реализующих процессы нитрификации, лимитирующим фактором при определении объемов аэротенков является обеспечение минимального аэробного возраста при минимальной температуре, рассчитанного на достижение требуемого качества очищенной воды по азоту нитритов.

Процесс нитрификации – базисные положения проектирования

Требования к объему биореактора.

Объем биореактора для реализации процесса нитрификации является базисным критерием расчета аэротенков, реализующих процессы нитрификации.

Концепт минимального аэробного возраста ила очень важен!

Основные параметры, определяющие размеры аэротенка:

1. Расчетное минимальное значение аэробного возраста активного ила.
2. Качественные и количественные характеристики сточной воды, поступающей на биологическую очистку.
3. Принятое значение дозы активного ила, заложенное в расчет аэротенков.

Процесс нитрификации – базисные положения проектирования

1. Определение минимального значения аэробного возраста активного ила:

1. Расчет всегда основывается на минимальной температуре сточных вод. При наличии достаточной базы данных температуры поступающих сточных вод, в расчет закладывается средняя температура за неделю с минимальными значениями температуры.

2. Расчет минимального возраста активного ила при расчетной минимальной температуре проводится на требование к качеству очищенной воды как по аммонийному азоту θ_{NH}, так и по нитритному азоту θ_{NO}. В расчет принимается наименьшее из полученных значений.

3. Минимальные значения аэробного возраста активного ила и при расчете на требуемую концентрация аммонийного азота, и на требуемую концентрацию нитритного азота определяются из формул:

$$\theta_{NH}=\frac{1}{\mu_{NH,real}} \quad \text{и} \quad \theta_{NO}=\frac{1}{\mu_{NO,real}},$$

где $\mu_{NH,real}$ и $\mu_{NO,real}$ - реальные скорости процессов нитрификации первой и второй стадий соответственно.

4. Расчетное минимальное значение возраста активного ила зависит также и от концентрации растворенного кислорода в аэробной зоне аэротенка.

Процесс нитрификации – базисные положения проектирования

2. Качественные и количественные характеристики сточной воды, поступающей на биологическую очистку

1. Качественные характеристики поступающих на биологическую очистку сточных вод влияют на скорости роста нитрифицирующих микроорганизмов при прочих равных условиях – pH, щелочность поступающих сточных вод, наличие ингибирующих веществ и их концентрации могут обеспечить или не обеспечить оптимальные условия реализации процесса нитрификации.

2. Нитрифицирующие микроорганизмы при реализации процесса нитрификации на городских сточных водах в аэротенках со взвешенным активным илом составляют не более 5% от общего количества биомассы активного ила.

3. Одним из основных факторов, влияющих на размеры аэробной зоны аэротенка является концентрация взвешенных веществ и значение БПКполн.

4. При расчете объема аэробной зоны при реализации процесса нитрификации следует ориентироваться на максимальные месячные расходы сточных вод - при отсутствии реальных данных по динамике расходов поступающих сточных вод, обычно значение максимального месячного расхода принимается как:

$$1{,}2 * Q_{ср.сут}$$

Процесс нитрификации – базисные положения проектирования

3. Принятое значение дозы активного ила, заложенное в расчет аэротенков

Оптимальной, с точки зрения суммарных объемов аэротенков и вторичных отстойников, является доза активного ила 2,5-3,5 г/л.

Более высокие дозы ила могут быть заложены в проект очистных сооружений, но это требует существенного увеличения площади поверхности вторичных отстойников, чтобы справиться в повышенными нагрузками по взвешенным веществам.

!!! При расчете вторичных отстойников необходимо учитывать, что при реализации процессов нитри-денитрификации значение илового индекса увеличивается до 160-180 см3/г.

Процесс нитрификации – базисные положения проектирования

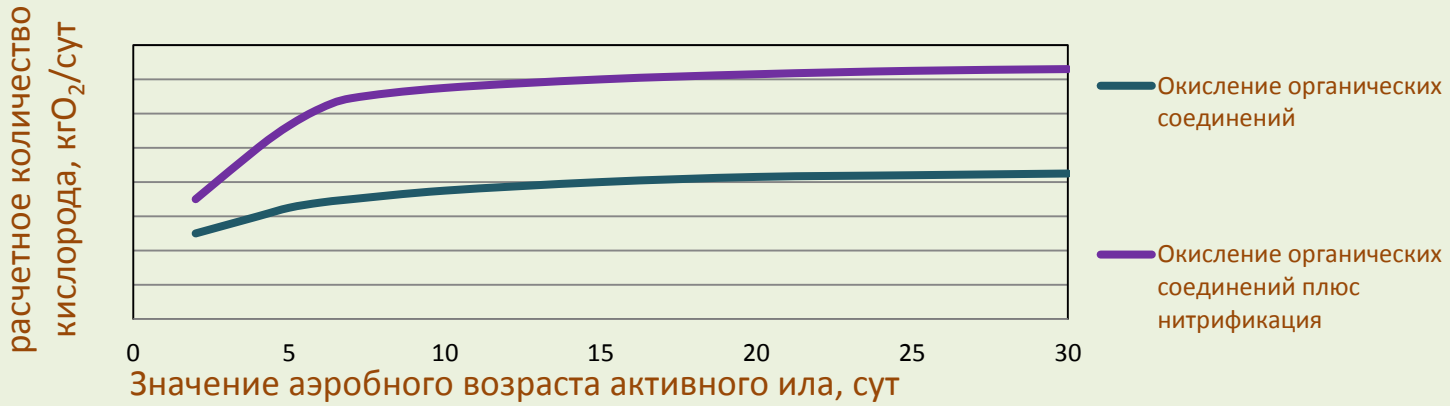
Требования к расчету кислородного режима

Аэрация в аэробной зоне аэротенка выполняет 2 основные функции:

1. Обеспечение необходимого количества кислорода для реализации аэробных биохимических процессов (окисление органических соединений, нитрификация, эндогенное дыхание);
2. Перемешивание иловой смеси. Для перемешивания иловой смеси минимальные требования:

- для механических аэраторов – 5 W/м^3 сооружения
- для пневматической аэрации - расход воздуха - 0,3 л/с на 1 м^3 сооружения

Зависимость необходимого количества кислорода на биохимические процессы от аэробного возраста активного ила (при 20°C)



Процесс нитрификации – базисные положения проектирования

Дополнительные требования к расчету аэрационной системы:

1. При расчете требуемого количества воздуха на аэробные процессы необходимо учитывать возвратные потоки с сооружений обработки осадка.

2. Расчет требуемого количества воздуха необходимо рассчитывать на максимальную суточную нагрузку по органическим соединениям и аммонийному азоту.

3. Расчет требуемого количества воздуха на биохимические процессы необходимо сверять с требуемым количеством воздуха на перемешивание и в проект закладывать минимальное из этих значений. В первую очередь, это касается последних зон аэротенков.

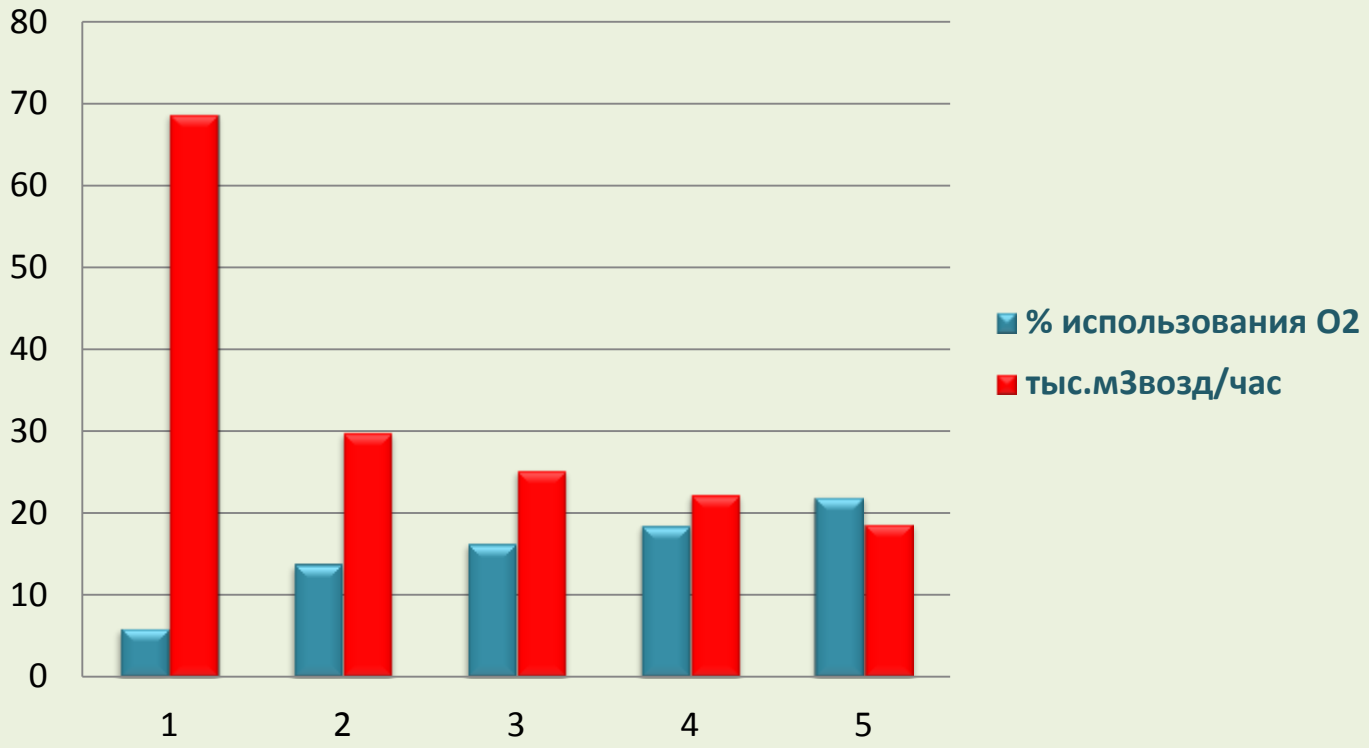
4. Следует учитывать тот факт, что в первые 2-3 года эксплуатации эффективность аэрационных систем (эффективность использования кислорода воздуха) снижается на 15-40% от первоначальных значений, что требует расчета аэрационных систем не с учетом начальной эффективности использования кислорода воздуха, а с учетом динамики снижения данной характеристики.

5. При очистке промышленных сточных вод с высоким содержанием нефтепродуктов рекомендуется использовать силиконовые аэрационные системы.

Процесс нитрификации – базисные положения проектирования

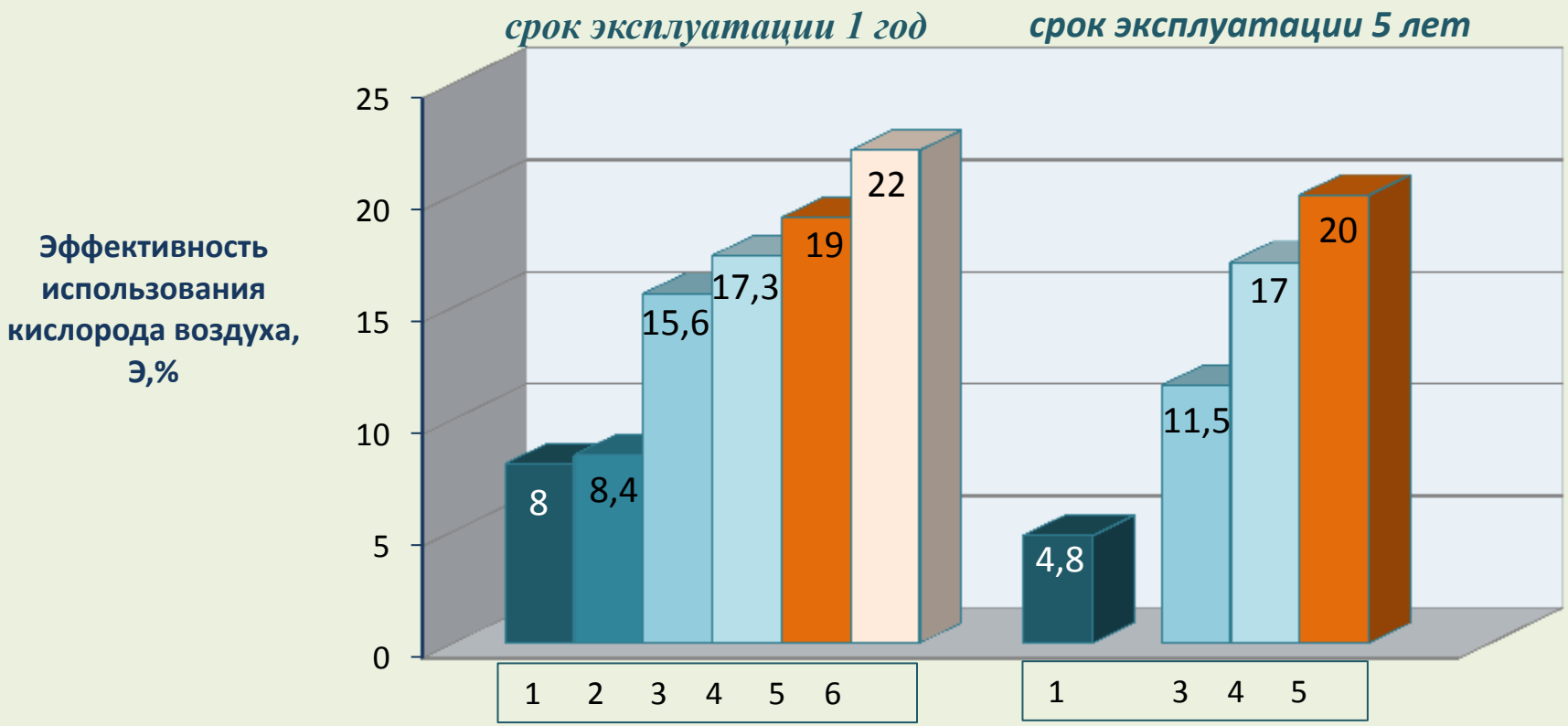
Эффективность аэрационных систем

Зависимость требуемого расхода воздуха на реализацию процесса полной нитрификации от эффективности аэрационной системы представлена на рисунке ниже. На рисунке даны требуемые расходы воздуха для обеспечения в аэротенке производительностью 100 000 м^3/сут полной нитрификации при использовании различных типов аэрационных систем различных производителей



Процесс нитрификации – базисные положения проектирования

Эффективность аэрационных систем

На рисунке ниже представлены данные по эффективности аэрационных систем различных производителей в начальный момент и через 5 лет эксплуатации

Экспериментальные значения эффективности систем аэрации различных производителей, установленных в аэротенках