
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ
СТАНДАРТ
РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р
—
2026

Канализационные очистные сооружения

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ.

**Методы технологического расчета, анализа и
прогнозирования сооружений очистки сточных вод**

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
202.

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Обществом с ограниченной ответственностью «ПЛАТФОРМА» (ООО «ПЛАТФОРМА») совместно с индивидуальным предпринимателем Даниловичем Д.А. (ИП Данилович Д.А.), Обществом с ограниченной ответственностью «Группа Полипластик» (ООО «Группа Полипластик»), индивидуальным предпринимателем Канунниковой М.А. (ИП Канунникова М.А., инж. Эпов А.Н.), инж. Ивановым А.В. при участии к.б.н. Кевбриной М.В. и инж. Королева М.А..

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 393 «Услуги (работы) в сфере жилищно-коммунального хозяйства и формирования комфортной городской среды»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от « __ » _____ 202. г. № ____-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (www.rst.gov.ru)

© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 202.

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1	Область применения	1
2	Нормативные ссылки	1
3	Термины, определения и сокращения	2
4	Основные положения	11
5	Требования к методам технологического расчета КОС при предпроектных проработках и проектировании	12
6	Требования к технологическим расчетам в целях анализа работы сооружений очистки сточных вод	21
7	Требования к технологическим расчетам в целях прогнозирования работы сооружений очистки сточных вод	23
Приложение А	(справочное) Общие сведения о процессах биологической очистки с удалением азота и фосфора	24
Приложение Б	(рекомендуемое) Выработка принципиальных решений по технологической схеме и базовым техническим решениям	41
Приложение В	(рекомендуемое) Порядок и последовательность получения исходных данных для технологических расчетов	58
Приложение Г	(обязательное) Технологический расчет конструктивных параметров песколовков	75
Приложение Д	(обязательное) Расчет сооружений первичного осветления	77
Приложение Е	(рекомендуемое) Расчет ацидофикаторов	88
Приложение Ж	(обязательное) Расчет вторичных отстойников	95
Приложение И	(обязательное) Расчет удаления фосфора в процессе биологической очистки	111
Приложение К	(обязательное) Расчет процессов удаления азота через возраст ила	117

Приложение Л	(обязательное) Расчет количества кислорода, необходимого для процессов биологической очистки	144
Приложение М	(обязательное) Расчет необходимого количества воздуха, подаваемого в аэротенки	150
Приложение Н	(рекомендуемое) Расчет распределения воздуха по зонам аэрации	159
Библиография		164

Введение

Настоящий стандарт направлен на реализацию требований [1]—[8].

Современные канализационные очистные сооружения (КОС) представляют собой технологически сложные объекты, от которых требуется очистка сточных вод по семи технологически нормируемым показателям (взвешенные вещества, БПК₅, ХПК, аммонийный азот, азот нитратов, азот нитритов, фосфор фосфатов). Технологические показатели (ТП) наилучших доступных технологий (НДТ) в очищенных сточных водах могут быть обеспечены только при правильном выборе технологического процесса и соблюдении необходимых условий проведения процесса биологической очистки (возраст ила, соотношение удаляемого азота к БПК, время пребывания в соответствующих технологических зонах, величины рециклов и т.п.).

Биологическая очистка с удалением азота и фосфора является основной технологией очистки городских сточных вод. На ее основе строятся все новые очистные сооружения, а основной задачей реконструкции существующих сооружений является переход на один из вариантов такой технологии. Несмотря на прогресс в области мембранных биореакторов и прикрепленной микрофлоры, подавляющая часть современных сооружений работает и сооружается с использованием аэротенков и вторичных отстойников.

Свод правил 32.13330.2018 установил требования к технологиям очистки сточных вод, а также основным параметрам, которые должны быть рассчитаны, однако конкретные алгоритмы расчетов там отсутствуют. В соответствии с [2] это создает возможность применения различных методик расчета, выбор которых определяется проектировщиком (под его ответственность). В не действующих в настоящее время Строительных нормах и правилах СНиП 2.04.03-85 [9] имелись алгоритмы расчета, однако они относились к устаревшей технологии полной биологической очистки от органических загрязнений и не применимы к современным технологиям с удалением азота / азота и фосфора.

В своде правил СП 32.13330.2018 приведены лишь минимальные требования к фактическому существованию методик расчета: расчет должен проводиться по методикам, опубликованным в научно-технической литературе на русском языке на территории Российской Федерации не ранее 2000 г. Данные требования лишь в небольшой степени способствуют применению корректных методик.

Несмотря на большую практическую важность, до принятия настоящего стандарта требования к методам технологического расчета, анализа и

прогнозирования при проектировании и эксплуатации канализационных очистных сооружений до принятия настоящего стандарта не были стандартизированы.

В настоящий стандарт включены апробированные в России методики, ранее опубликованные в монографиях, учебниках, либо в рецензируемых журналах, основанные на математических моделях процессов, отражающих их суть.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Канализационные очистные сооружения
ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ.

Методы технологического расчета, анализа и прогнозирования

Wastewater treatment plants.

Design and operation.

Methods of technological calculation, analysis and forecasting

Дата введения — 2025—..—..

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает требования к методам технологического расчета сооружений очистки сточных вод смешанных (городских) и общесплавных централизованных систем водоотведения поселения, городского или муниципального округа (ЦСВП) [9] производительностью свыше 100 м³/сутки от технологически нормируемых веществ (веществ, для которых в [10] и [11] установлены технологические показатели наилучших доступных технологий), содержатся технологические нормативы, а также для анализа и прогнозирования их работы. Стандарт ориентирован на технологический расчет и эксплуатационные процедуры анализа и прогнозирования применительно к технологиям, отнесенным [10] к наилучшим доступным технологиям очистки сточных вод.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие документы:

ГОСТ Р 17.4.3.07–2001 Охрана природы. Почвы. Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений

ГОСТ Р 54534–2011 Ресурсосбережение. Осадки сточных вод. Требования при использовании для рекультивации нарушенных земель

ГОСТ Р 54535–2011 Ресурсосбережение. Осадки сточных вод. Требования при размещении и использовании на полигонах

ГОСТ Р 54651–2011 Удобрения органические на основе осадков сточных вод. Технические условия

ГОСТ Р 70953—2023 Канализационные очистные сооружения. Строительство и реконструкция. Основные технические решения. Требования к разработке, структуре и содержанию в целях обеспечения оптимальных капитальных затрат и

эксплуатационных показателей

ГОСТ Р 72005—2025 Канализационные очистные сооружения. Эксплуатация. Технологический регламент эксплуатации. Требования к содержанию, оформлению, разработке и утверждению

ГОСТ Р XXXXX—2026 Организация и эксплуатация систем коммунального водоснабжения и водоотведения. Канализационные очистные сооружения. Проектирование, эксплуатация. Методика определения фракций ХПК в сточных водах (тема ПНС 1.9.393-1.065.25)

СП 32.13330-2108 «СНиП 2.04.03-85 Канализация. Наружные сети и сооружения»

СП 31.13330.2021 «СНиП 2.04.02-84 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения»

П р и м е ч а н и е — При пользовании настоящим стандартом необходимо проверить действие ссылочных стандартов (сводов правил) в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный документ, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого документа с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого документа с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку. Сведения о действии сводов правил целесообразно проверить в Федеральном информационном фонде стандартов.

3 Термины, определения и обозначения

3.1 В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ 25150, ГОСТ Р 70953, ГОСТ Р 57412-2017, ГОСТ Р XXXXX —2025 (№ 1.9.393-1.065.25).

3.2 В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

АО — активированный отстойник с рециркуляцией осадка;

АУ — ацидофикатор-уплотнитель;

АС-У — ацидофикатор-смеситель с уплотнителем;

АСУ ТП — автоматизированные системы управления технологическими процессами;

БНД — Биологическая очистка с удалением азота путем нитриденитрификации;

БНДФ — Биологическая очистка с удалением азота путем нитриденитрификации и удалением фосфора (без уточнения метода);

БНДФФ — Биологическая очистка с удалением азота путем нитриденитрификации и биологическим удалением фосфора;

БНДФФ-А — Биологическая очистка с удалением азота путем нитриденитрификации и биологическим удалением фосфора, с использованием процесса ацидофикации осадка первичных отстойников;

БНДХФ — Биологическая очистка с удалением азота путем нитриденитрификации и химическим удалением фосфора;

БНДБХФ — Биологическая очистка с удалением азота путем нитриденитрификации и биолого-химическим удалением фосфора;

БПК (БПК₅) — Биохимическая потребность в кислороде (полученная при 5 сутках инкубации);

ЗВ — Загрязняющие вещества;

КОС — канализационные очистные сооружения;

КРК — Концентрация растворенного кислорода;

КЭР — Комплексное экологическое разрешение;

ЛЖК — Летучие жирные кислоты;

НДТ — Наилучшие доступные технологии;

НДС — Норматив допустимого сброса;

н.у. — Нормальные условия (для воздуха);

ОТР — основные технические решения;

ОПО — осадок первичных отстойников;

ПДК_{рыбхоз} — Предельно допустимые концентрации для водных объектов рыбохозяйственного назначения;

ПО — Первичный отстойник;

СВ — Сухое вещество;

ТП — Технологические показатели;

ХПК — Химическая потребность в кислороде;

ФАО — Фосфат-аккумулирующие (микро)организмы;

ЭЧЖ — Эквивалентное число жителей;

A2/O — Процесс удаления азота и фосфора «Анаэробик-аноксик-оксик»

AOTE — Актуальная эффективность передачи кислорода, %;

D — Денитрификация (зона денитрификации);

JNB — Процесс Йоханнесбургского университета для удаления азота и фосфора;

HRT — гидравлическое время пребывания;

MUCT— Модифицированный процесс Кейптаунского университета для удаления азота и фосфора;

N — Нитрификация (зона нитрификации);

N_{общ} — Общий азот;

P_{общ} — Общий фосфор;

PHA — полигидроксиалконаты;

SOTE — Эффективность массопереноса кислорода, полученная в стандартных условиях, %;

SRT — время пребывания сухих веществ осадка;

SSOTE — Удельное значение SOTE, приведенное в %/м глубины расположения аэратора, %/м;

UCT— Процесс Кейптаунского университета для удаления азота и фосфора.

3.3 В настоящем стандарте применены следующие обозначения

α — Коэффициент перехода от чистой воды к сточной (коэффициент качества воды, альфа-фактор);

β — Фактор, снижающий перенос кислорода в зависимости от солености воды (бета-фактор);

μ — Скорость роста микроорганизмов, 1/сутки;

ρ_0 — Плотность воздуха при нормальных условиях, кг/м³;

x — Доля расхода сточной воды в одну из зон многоступенчатого процесса нитри-денитрификации. Также обозначение доли в иных случаях;

a_i — Доза (концентрация) активного ила в аэротенке. Для многоступенчатого процесса применяется с указанием номера ступени, кг/м³;

a_{iDS} — Доза ила в денитрификаторе возвратного ила, кг/м³;

$a_{i\ step}$ — Доза (концентрация) ила в аэротенке в ступени (в многоступенчатой технологии), кг/м³;

a_{Ri} — Концентрация возвратного ила из вторичных отстойников, кг/м³;

a_{BS} — Концентрация взвешенных веществ в слое уплотненного ила, кг/м³;

b — коэффициент эндогенного отмирания гетеротрофных микроорганизмов, сут.⁻¹

$b(T)$ — Скорость отмирания микроорганизмов, 1/сутки;

B_{XX} — Массовая суточная нагрузка, кг/сутки, где XX — указание на загрязняющее вещество. Также применяются дополнительные индексы, относящие данную нагрузку к виду сточной воды и обеспеченности данных;

b_{XX} — Удельная нагрузка по загрязняющему веществу XX от одного жителя, г/человека в сутки;

BNR — Отношение БПК₅ к общему азоту;

$C_{COD\ add}$ — Добавленное количество ХПК (при нехватке органического вещества для денитрификации), мг/дм³;

COD_{BM} — ХПК образовавшейся (живой) биомассы;

$COD_{BM\ inert}$ — ХПК инертной (отмершей) части биомассы;

$C_{COD\ D\ Sa}$ — легкоразлагаемая фракция ХПК;

$C_{COD\ Si}$ — растворенное инертное ХПК, мг/дм³;

$C_{COD\ Ss}$ — растворенное биоокисляемое ХПК, мг/дм³;

$C_{COD\ Xi}$ — инертное ХПК взвешенных веществ, мг/дм³;

$C_{COD\ Xs}$ — биоокисляемое ХПК взвешенных веществ, мг/дм³;

C_{sat} — Насыщающая концентрация кислорода в реальных условиях, мг/дм³;

$C_{s\ 20}$ — Насыщающая концентрация кислорода в стандартных условиях и с учетом глубины расположения аэратора, использованной в эксперименте для определения величины SOTE, мг/дм³;

C_x — Среднее расчетное значение концентрации растворенного кислорода (КРК) в иловой смеси в аэрируемой части аэротенка, мг/дм³;

C_{XX} — Концентрация, где XX — указание на загрязняющее вещество. Также применяются дополнительные индексы, относящие данную концентрацию к виду сточной воды и разновидности данных по релевантности, мг/дм³;

$C_s(T)$ — Величина растворимости кислорода при расчётной температуре T, на уровне моря, мг/дм³;

D_m — Доза реагента, по металлу (железу, либо алюминию), г/м³;

E_D — Максимально возможная эффективность денитрификации;

E_{set} — Эффективность отстаивания;

$E_{set\ D}$ — Эффективность отстаивания применительно к концентрации

взвешенных веществ, используемой при расчете процесса денитрификации, %;

f_b - зольность взвешенных веществ;

f_c — Коэффициент пиковой нагрузки по потреблению кислорода при окислении органических веществ;

$f_{COD\ n}$ — процентная доля соответствующей фракции ХПК в поступающей воде;

f_N — Коэффициент пиковой нагрузки по потреблению кислорода при окислении аммонийного азота;

$f_{\frac{N}{C}}$ — Фактор, учитывающий влияние легко окисляемой органики при избытке органических веществ для денитрификации;

$f(XX)$ — Обозначение значения как функции от параметра XX;

F_a — Площадь аэрируемой зоны (конкретной), м²;

F_{ss} — Общая необходимая площадь отстойников, м²;

F_{s1} — Площадь единичного отстойника, м²;

F_T — Температурный коэффициент для эндогенного дыхания;

J_i — Иловый индекс, см³/г;

h_a — Глубина погружения аэратора под поверхность жидкости, м;

$h_{a\ SOTE}$ — Глубина погружения аэратора под поверхность жидкости в эксперименте по определению величины SOTE, м;

h_t — Глубина слоя уплотнения и накопления ила во вторичном отстойнике, м;

H_{hd} — Гидравлическая глубина сооружения, м;

H_{set} — Глубина осаждения в отстойнике, м;

I — Интенсивность аэрации, м³/м² в час;

K_a — Коэффициент, учитывающий плотность раскладки аэраторов;

k_{BOD} — Коэффициент, соответствующий удельной БПК₅ взвешенных веществ;

K_d — Суточный коэффициент неравномерности;

K_{dt} — Коэффициент остаточного ресурса мембран аэраторов;

K_h — Часовой коэффициент неравномерности;

k_N — Коэффициент, соответствующий удельному содержанию азота в составе взвешенных веществ;

K_{od} — Коэффициент дефицита кислорода;

k_P — Коэффициент, соответствующий удельному содержанию фосфора в составе взвешенных веществ;

K_S — Константа полунасыщения (для конкретного субстрата), мг/дм³;

K_{SF} — Коэффициент надежности при расчете аэробного возраста ила;

K_{sl} — Коэффициент, учитывающий тип илоотводящего устройства;

$K_{ss\ max}$ — Соотношение концентрации взвешенных веществ в очищенной воде из вторичного отстойника в расчетный час максимального притока к среднесуточной концентрации взвешенных веществ;

$K_{\frac{ss}{BOD}}$ — Соотношение концентраций взвешенных веществ и БПК₅;

K_{set} — Коэффициент использования объема зоны отстаивания;

K_T — Температурная поправка, учитывающая зависимость скорости растворения кислорода от температуры;

K_{gen} — Общий коэффициент неравномерности;

M_L — Необходимая масса БПК₅, подаваемая в денитрификатор ила в МУСТ процессе, кг/сутки;

M_{ND} — Общая масса азота, удаляемая в МУСТ процессе, кг/сутки;

M_{NS} — Масса азота, денитрифицируемого в денитрификаторе возвратного ила (в МУСТ-процессе), кг/сутки;

M_{OU}^N — Потребление кислорода для нитрификации, кг/сутки;

M_{OU}^D — Возврат кислорода в процессе денитрификации, кг/сутки;

M_{OU} — Суммарное расчетное потребление кислорода, кг/сутки;

M_{OU}^C — Потребление кислорода для окисления органических соединений, кг/сутки;

M_{OSH} — Необходимый расхода кислорода, подаваемый в аэрируемые зоны, кг/ч;

$M_{SS,AT}$ — Масса ила в аэробной зоне аэротенка, кг;

N_{peq} — Эквивалентная численность жителей, условных жителей;

N_{set} — Общее количество отстойников, ед.;

NBR — Отношение общего азота к БПК₅;

OV_d — возврат кислорода в процессе денитрификации (при расчете по ХПК), мг О₂/дм³;

OV_{SA} - потребность в кислороде для легко окисляемой части ХПК), мг О₂/дм³;

OV_c - потребность в кислороде на окисление всего ХПК), мг О₂/дм³;

$Q_{a,b}$ — Расход воздуха, подаваемый воздуходувками, м³/ч;

Q_{DS} — Расход сточной воды, подаваемой в денитрификатор возвратного ила (в МУСТ-процессе), м³/сутки;

Q_{iR} — Расход возвратного активного ила, м³/ч;

Q_{RD} — Расход циркуляционного потока иловой смеси из зоны нитрификации в зону денитрификации, м³/ч;

Q_{XX} — Расход. Применяется с индексами, указывающими на период, к которому относится расход, его характеристики и на величину его обеспеченности, м³/(ед. времени);

q_o — Удельный расход кислорода воздуха на окисление органических веществ, мг О₂ на 1 мг удаленной БПК₅;

q_{ssa} — Гидравлическая нагрузка на поверхность отстойника, м³/м² ч;

R_{anaer} — Рецикл в анаэробную зону, доли единицы;

R_i — Степень рециркуляции возвратного ила, доли единицы;

R_{tot} — Общая степень рециркуляции, доли единицы;

S — Концентрация загрязняющего вещества, рассматриваемого как субстрата, мг/дм³;

S_o — Объемная доля кислорода в воздухе, доли единицы;

SS_{inert} — инертные неорганические взвешенные (зольные) вещества, мг/дм³;

SP_i — Массовый прирост активного ила, кг/сутки;

sp_{BOD} — Удельный прирост активного ила при окислении органических веществ, кг/кг удаленной БПК₅;

SS_{pt} - общий прирост ила (при расчете по фракциям ХПК), кг/м³;

$SOTE_{dim}$ — Расчетное значение SOTE, %;

T_a — Расчетная температура воздуха. Применяется с индексами, обозначающими максимальное и минимальное значения, а также выражение в °С, К или °С;

$T_{1m\ min}$ — Минимальная среднемесячная температура за 3 года наблюдений, °С;

$T_{3m\ max}$ — Средняя температура за период с максимальным значением, °С;

$T_{1m\ max}$ — Максимальная среднемесячная за 3 года наблюдений, °С;

t_{anaer} — Время пребывания иловой смеси в анаэробной зоне, ч;

t_{BR} — общий возраст ила в биореакторе, определяемый с учетом анаэробной зоны, сутки;

t_{ia} — Расчетное значение аэробного возраста ила, сутки;

t_{it} — Расчетное значение общего возраста активного ила, сутки;

t_{tot} — Общее расчетное время пребывания (для периодического процесса), ч;

t_c — Общее время цикла (для периодического процесса), ч;

t_N — Время нитрификации (для периодического процесса), ч;

t_D — Время денитрификации (для периодического процесса), ч;

t_{th} — Время пребывания осевшего ила в зоне уплотнения (время уплотнения ила), ч;

V_{anaer} — Объем анаэробной зоны для биологического удаления фосфора, м³;

V_{ND} — Объем зоны нитри-денитрификации, м³;

V_D — Объем зоны денитрификации, м³;

V_{DS} — Объем зоны денитрификации возвратного ила (в МУСТ-процессе), м³;

$X_{org N bm}$ — концентрация азота в биомассе;

$X_{org N inert}$ — Содержание азота в инертной части взвешенных веществ, включая инертную часть активного ила, мг/дм³;

$X_{P bio}$ — Концентрация фосфора, который может быть удален из сточных вод в результате биологического поглощения фосфат-аккумулирующими организмами активного ила, мг/дм³;

$X_{Porg i}$ — Концентрация фосфора, потребляемого гетеротрофными микроорганизмами активного ила в ходе их прироста, мг/дм³;

X_{XX} — Концентрация вещества XX (азота или фосфора), входящего в состав биомассы ила, мг/дм³;

Y — коэффициент прироста гетеротрофных микроорганизмов, мг ХПК ила на мг ХПК окисленного.

При перечисленных выше обозначениях дополнительно применяются индексы, придающие им уточняющий характер:

a — Относящийся к воздуху (только в индексе);

ab — Относящийся к абонентам;

ac — Относящийся к ацидофикации;

act — Фактическое (полученное при расчете) значение;

add — Дополнительно вносимое;

aer — Относящийся к аэрационной системе;

anaer — Относящийся к анаэробной зоне;

bio — Удаляемый биологическим путем;

BOD — Относящийся к БПК₅;

BR — Относящийся к биореактору в целом (включая анаэробную зону);

ch — Проверочное значение;

COD — Относящийся к ХПК;

d — Суточное значение;

D — Относящийся к денитрификации (используется при символе концентрации) или используемый при расчете объемов денитрификации (применяются иные релевантные расчетные значения, обозначаемые этим индексом);

dim — Относящийся к величине, принятой в качестве расчетной (в том числе, относящуюся к релевантному периоду года, либо выбранную из диапазона значений);

DR — Относящийся к денитрификатору внутреннего рецикла;

DS — Относящийся к денитрификатору ила;

D1, N1, DN1

D2, N2, DN2

D3, N3, DN3 — Относящийся к денитрификатору, нитрификатору и общему объему нитри-денитрификации, соответственно, первой, второй и третьей ступени (для многоступенчатых схем);

EX — Относящийся к потоку очищенной воды;

ext — Избыточное количество;

f — Относящийся к фильтрованной пробе;

JNB — Относящийся к процессу JNB;

h — Часовое значение (только в индексе);

hab — Относящийся к жителям

I — Значение в поступающей сточной воде

i — Относящий к илу. Также в выражениях, описывающих вычисления для ряда значений – символ i-го элемента;

IAT — Значение в потоке сточной воды, входящем в аэротенки;

max — Максимальное значение за период;

mid — Среднее значение за период;

mix — Относящийся к перемешиванию иловой смеси;

mnt — Наблюдаемое значение;

MUCT — Относящийся к процессу MUCT;

N — Относящийся к общему азоту. Также – в расчетах для многоступенчатых схем – относящийся к общему объему нитрификатора;

ND — Относящийся к сооружению (объему) нитри-денитрификации;

NO3 — Относящийся к азоту нитратов;

NO2 — Относящийся к азоту нитритов;

NH4 — Относящийся к аммонийному азоту;

Norg — Относящийся к органическому азоту;

opt — Оптимальный;

org — Органический;

P — Относящийся к общему фосфору;

p — Относящий к давлению (только в нижнем индексе);

phos — Относящийся к фосфору;

per — Указывающий на применение в периодическом процессе;

prec — Осаждаемый;

pr — Проектное значение;

prg — Прогнозируемое значение;

R_i , R_D , R_{tot} — Относящийся к рециркуляционным потокам: возвратного активного ила, внутренней рециркуляции, общей (суммарной) рециркуляции;

rec — Относящийся к возвратным потокам (от обработки осадка и т.п.);

S — Относящий к теплоте (летнему) сезону;

SS — Относящийся к взвешенным веществам;

set — Значение в потоке осветленной сточной воды;

step — Относящийся к многоступенчатому процессу;

tot — Относящийся к общему значению;

Y — Годовое значение;

XX — Относящийся к одному из загрязняющих веществ;

85 — Величина 85%-го процентиля;

35 — Величина 35%-го процентиля.

4 Основные положения

4.1 Технологические расчеты сооружений очистки сточных вод при создании / реконструкции и эксплуатации КОС осуществляют с целями:

- определения технологических параметров сооружений и оборудования при предпроектных проработках и проектировании;
- определения этапности выполнения работ по строительству / реконструкции КОС;
- экспертной оценки проектных (предпроектных) расчетов;
- экспертной оценки технологических параметров существующих сооружений и оборудования;
- проведения ПНР «под нагрузкой» для достижения проектных показателей;
- сравнительного анализа проектных и фактических параметров работы сооружений, а также фактических ситуаций различных периодов эксплуатации;

- определения ожидаемых параметров работы сооружений в перспективных эксплуатационных ситуациях, отличных от фактических.

5 Требования к методам технологического расчета КОС при предпроектных проработках, проектировании и экспертизе

5.1 Общие требования

5.1.1 Расчеты технологических параметров сооружений и оборудования проводят применительно к каждой конкретной технологической схеме (ее отдельной части) и типу сооружения в ходе вариантных проработок по ГОСТ Р 70953—2023, либо для выбранного оптимального технологического решения и типов сооружений, а также при разработке блочных и модульных установок.

Сведения о базовых технологических решениях для биологической очистки сточных вод приведены в приложении А (справочное).

Выбор технологической схемы (схем) очистки сточных вод КОС осуществляют в соответствии с требованиями СП 32.13330, [10], ГОСТ Р 70953—2023, а также требованиями настоящего стандарта на основе мощности КОС, требований к качеству очищенной воды [11-13], технологических исходных данных и местных условий.

Критерии выбора технических и технологических решений сооружений биологической очистки сточных вод приведены в приложении Б (рекомендуемое).

5.1.2 Определение релевантных исходных данных для технологических расчетов при предпроектных проработках и проектировании осуществляют согласно СП 32.13330, а также требований настоящего стандарта. Порядок и последовательность получения исходных данных следует принимать по приложению В. Ответственность за предоставление необходимых первичных данных производственного контроля для получения на их основе технологических исходных данных для расчетов несет заказчик. При проведении предпроектных изысканий и разработке ОТР в случае необходимости заказчик может поручить их исполнителю в качестве дополнительного объема работ проведение отборов проб и выполнение анализов.

5.1.3 Не допускается заменять расчеты разного рода пропорциональными аналогиями на основе других объектов.

5.1.4 Применяемая методика расчета и оформление его результатов должны обеспечивать возможность проверки, использованных исходных данных,

назначенных констант и принятых допущений, соответствия расчета алгоритму и формулам данной методики (методика «ручного расчета»). Расчет должен быть оформлен с указанием всех примененных формул, как с символами, так и с подстановкой численных значений и результатом по каждому вычислению (развернутый расчет).

В дополнение к развернутому расчету следует приводить сводные результаты расчетов в табличной форме. Приведение только результатов расчетов, без развернутых расчетов, не допускается.

5.1.5 Использование математических моделей в виде программных продуктов и электронных таблиц, не позволяющих оформить расчет по требованиям п. 5.1.4, не допускается рассматривать как основной расчет. Применение математического моделирования процессов допускается в дополнение к основному расчету для уточнения объемов технологических зон, других параметров сооружений, а также для проверки сооружений на обеспечение проектных показателей в расчетных диапазонах притоков и концентраций загрязняющих веществ, с представлением, наряду с условиями и результатами моделирования, материалов по настройке модели. Настоящий стандарт не предъявляет требований к математическим моделям, используемым для технологических расчетов при проектировании и предпроектных проработках.

Не допускается использование фрагментов различных расчетных алгоритмов при расчете взаимосвязанных параметров одного сооружения.

5.1.6 Выбор единичной производительности применяемого технологического оборудования должен обеспечивать экономически оптимальное число применяемых единиц (рабочих и резервных) с учетом как стоимости самого оборудования, так и здания / сооружения, необходимого для его установки, а также базовых затрат на его эксплуатацию. Количество единиц оборудования должно исключать возможный эффект необоснованного масштабирования ввиду ограниченной производительности продуктовой линейки того или иного производителя.

5.1.7 Все используемые в расчетах в составе ОТР или ПСД характеристики оборудования должны быть подтверждены письмами производителей в адрес проектной организации. Не допускается самостоятельное применение в расчетах в составе ОТР или ПСД тех или иных характеристик без их подтверждения непосредственным производителем для конкретных условий эксплуатации в данном проекте. Использование информации от дилеров и поставщиков (не производителей оборудования) в таком качестве не допускается.

Данные по оборудованию, официально получаемые от производителей, должны содержать:

- титульное название объекта,
- данные о расходе и составе технологической среды, поступающей на узел, установку либо единицу технологического оборудования (с указанием их статуса – средние, максимальные, с указанием интервала времени, в который они допустимы и т.п.);
- данные о расходе и составе (либо эффективности относительно входных данных) технологической среды, после данного узла, установки либо единицы технологического оборудования,
- требования к эксплуатации и условия применения (включая ограничения по характеристикам обрабатываемой технологической среды),
- требования к транспортировке и хранению,
- условия предоставления механической и технологической гарантии,
- перечень условий для исключения гарантийных обязательств производителя,
- готовность и гарантию подтверждения представленных характеристик, расчётов и условий в паспортах на оборудование при последующих возможных поставках на объект (поставщик/производитель выбирается на основе конкурсных процедур).

Если в проект (ОТР) закладывается комплект оборудования в котором полностью реализуется технологический процесс в объеме функционально-технологического узла или зоны, либо блочная / модульная установка, то также приводятся технологические расчёты процесса очистки согласно п.5.1.4.

5.1.8 Расчет технологических процессов и сооружений, не определенный настоящим стандартом, допускается проводить по методикам, опубликованным на территории РФ не ранее 2000 г. на русском языке, с учетом требований настоящего стандарта.

5.1.9 При разработке ОТР либо ПСД в случаях отсутствия утверждённых в Задании на разработку ОТР либо Задании на проектирование требований к качеству очистки сточных вод либо перспективе их смягчения / ужесточения, данных по неопределённым и не документированным перспективным расходам сточных вод Заказчика, требуемых к учёту в проекте, в целях их последующего определения на этапе сбора Исходных данных и обеспечения возможности их полноценного ввода в эксплуатацию (включая вопросы организационно-финансовые мероприятий по пусконаладочным работам согласно ГОСТ 72113) по этапам, проектирование

реконструкции либо строительства очистных сооружений следует вести с выделением этапов строительства с возможной корректировкой Задания на проектирование. Последовательные этапы могут включать как различные требования к качеству очистки (от менее жёстких к более жёстким), так и производительность (от меньшей к большей).

Внутри этапов допускается разделение на очереди строительства при условии отсутствия влияния очередей на процедуру ввода в эксплуатацию.

5.1.10 При выборе технологической схемы по сгущению и обезвоживанию осадков выбор решений производится согласно ГОСТ 70953 с соответствующим многофакторным технико-экономическим обоснованием стадий обработки осадков с учётов возможного влияния на основные процессы очистки сточных вод.

Примечание - при проведении реконструкции допускается использование действующих емкостных сооружений (стабилизаторы, уплотнители, сгустители) для оптимизации (в том числе снижения) производительности и эффективности оборудования обезвоживания с минимизацией капитальных затрат без ущерба для влажности обезвоженного осадка.

Для новых очистных сооружений проводится сравнение капитальных затрат на обустройство нового аэрируемого стабилизатора (включая увеличение производительности воздухоудельного отделения) и его эксплуатационных расходов в сравнении с альтернативными технологическими решениями по стабилизации осадка согласно СП 32.13330, а также ГОСТ Р 17.4.3.07 и ГОСТ Р 54651 (при использовании в качестве органических удобрений), ГОСТ Р 54534 ГОСТ и Р 54535–2011 (при использовании в качестве почвогрунтов, рекультивантов, инертного материала для биологической и технической рекультивации нарушенных земель), включая утилизацию и размещение избыточного активного ила без стабилизации и реализацию решений по предотвращению выбросов дурнопахнущих веществ (реагентный метод, локализация и очистка газозооочистка и т.д.).

5.2 Требования к расчету сооружений механической очистки

5.2.1 Расчет сооружений предварительного процеживания следует производить по гидравлической пропускной способности оборудования (с учетом работы со слоем уловленных грубодисперсных включений) с учетом указаний СП 32.13330-2018.

Допускается в составе ПСД не проводить расчёты технологического процесса для сооружений процеживания с приведением разработчиком проектно-сметной документации официальных технических данных от производителей в объёме согласно п.5.1.6 и 5.1.7.

5.2.2 Расчет песколовков следует проводить на задержание песка заданной гидравлической крупности. Основной целью расчета являются габариты песколовков. В ходе расчета определяются также иные параметры, характеризующие сооружение и технологический процесс.

Технологический расчет песколовков следует производить в соответствии с приложением Г.

5.2.3 Решение о необходимости проведения расчета первичных отстойников принимают с учетом рекомендаций приложения Б по принципиальной целесообразности / нецелесообразности его использования с учетом задачи удаления азота в ходе последующей биологической очистки, а также возможного применения процесса ацидофикации осадка. Расчет первичного осветления следует проводить в соответствии с приложением Д. На основании результатов расчета и с учетом других факторов принимают обоснованное решение о применении первичного осветления в технологической схеме или отказа от него.

5.2.4 Решение о необходимости проведения расчета ацидофикаторов и их типа принимают в соответствии с рекомендациями приложения Б по целесообразности /нецелесообразности его применения. Расчет ацидофикаторов допускается проводить в соответствии с приложением Е. На основании результатов расчета и с учетом других факторов принимают обоснованное решение о применении ацидофикаторов в технологической схеме или отказа от них.

5.3 Требования к расчету процесса биологической очистки

5.3.1 Настоящий стандарт определяет требования к расчетам процессов биологической очистки, производимых в биореакторах с активным илом (аэротенках), с последующим седиментационным илоразделением (во вторичных отстойниках). Данные требования (в отношении процессов, протекающих в биореакторе) допускается применять к технологиям, в которых используется илоразделение, осуществляемое с помощью мембран или иным способом, отличным от илоразделения во вторичных отстойниках.

5.3.2 Ввиду высокой взаимосвязанности аэротенков и сооружений гравитационного следует осуществлять первым шагом расчет сооружений илоразделения (как правило – вторичных отстойников), а затем, получив значение

дозы ила, которую могут обеспечить рассчитанные отстойники, на втором шаге производить расчет биореактора. При необходимости изменить полученный объем биореактора следует повторить цикл расчета, изменив параметры вторичных отстойников.

При использовании мембранного илоразделения вначале назначается рабочая доза ила в биореакторе, соответствующая применяемым мембранным блокам илоразделения.

5.3.3 Требования к расчету вторичных отстойников

5.3.3.1 Значение расчетного илового индекса J_i устанавливают согласно СП 32.13330.

При реконструкции сооружений биологической очистки, на которых уже используется процесс биологического удаления азота и фосфора, без его изменения, следует принимать расчетное значение илового индекса по данным производственного контроля за три предшествующих года равным максимальному среднему за месяц значению. При фактической дозе ила в аэротенках превышающей $3,5 \text{ кг/м}^3$, величину илового индекса следует определять с предварительным разбавлением ила до $2\text{--}3 \text{ кг/м}^3$.

При использовании методов улучшения седиментационных свойств ила допускается принимать иные значения илового индекса.

5.3.3.2 Расчет вторичных отстойников, используемых после аэротенков, производят применительно к конкретному типу сооружения и принятой системы илоудаления по двум взаимосвязанным показателям:

- гидравлической нагрузке на поверхность, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$, с учетом глубины зоны отстаивания (проточной части отстойника), коэффициента использования объема сооружения, илового индекса и концентрации ила в аэротенке. Расход возвратного ила при расчете нагрузки на поверхность не учитывается;

- необходимой глубине отстойника, обеспечивающей совокупность расчетных значений глубины проточной части отстойника и глубины зоны уплотнения ила, которая определяется с учетом гидравлической нагрузки на поверхность, степени рециркуляции возвратного ила, концентрации ила в аэротенке, концентрации ила после уплотнения и времени пребывания ила в зоне уплотнения. При применении вертикальных отстойников необходимую глубину следует определять с учетом конической формы дна сооружения.

Расчет вторичных отстойников следует проводить по приложению Ж.

5.3.4 Расчет биореактора

5.3.4.1 Расчет процесса удаления фосфора в ходе биологической очистки производится для принятого технологического решения (биологическое, химическое, либо биолого-химическое удаление), либо вариантно для последующего выбора оптимального решения. При использовании биолого-химического удаления следует дополнительно рассчитывать форсированный расход реагентов при нарушении эффективности процесса биологического удаления.

Расчет удаления фосфора в процессе биологической очистки следует проводить по приложению И.

5.3.4.2 Расчет процессов удаления азота осуществляют с использованием уравнений ферментативной кинетики (через обеспечение минимального аэробного возраста ила, определенного по кинетическим уравнениям, либо через скорости процессов). Расчет процессов удаления азота и соответствующих зон биореактора через возраст ила следует проводить по приложению К.

Учитывая трудность определения концентрации нитрификаторов в активном иле, допускается при расчете процесса нитрификации использовать величину ее удельной скорости, отнесенной к общей концентрации активного ила. В этом случае величину удельной скорости следует принимать по результатам экспериментального моделирования на данной сточной воде при расчетной температуре, либо по результатам фактической эксплуатации сооружений нитрификации на сточной воде близкого состава (по концентрации аммонийного азота, БПК и взвешенных веществ) и температуры и при соблюдении на них близкой нагрузки на ил по БПК₅. При расчете по скоростям процесса также следует определять значение аэробного возраста ила, соответствующее расчетному объему биореактора.

При любом соотношении ХПК/БПК₅ допускается, а при его значении свыше 2,5 – рекомендуется осуществлять расчет биореакторов на основе фракций ХПК. Порядок их определения приведен в приложении В. Особенности рекомендуемого расчета биореакторов удаления азота по фракциям ХПК приведены в приложении К, особенности расчета первичных отстойников и ацидофикаторов с получением данных по фракциям ХПК – в приложениях Д и Е, соответственно.

5.3.4.3 Расчет необходимого количества кислорода производят с учетом потребления кислорода на окисление органических веществ и аммонийного азота, а также частичного возврата кислорода при денитрификации. При определении расчетного часового потребления кислорода следует учитывать факторы неравномерности нагрузки как по органическим веществам, так и по аммонийному азоту. При расчете удельной потребности в кислороде на окисление БПК следует

учитывать температуру в биореакторе и возраст ила. Расчет необходимого количества кислорода следует производить по приложению Л. Особенности расчета на основе фракций ХПК, приведенные в данном приложении, являются рекомендуемыми.

5.3.4.4 Расход воздуха, требуемый для очистки сточных вод в аэротенках при использовании пневматической аэрации, производят на основании ранее определенной потребности процесса в кислороде, удельной эффективности растворения кислорода воздуха используемыми аэраторами, глубины аэротенка, температуры сточных вод, коэффициента качества сточных вод (альфа-фактор), с учетом соотношения площадей аэрируемой зоны и аэротенка, минимально допустимого расхода на перемешивание. Расчет необходимого количества воздуха следует производить по приложению М.

5.3.4.5 Распределение воздуха по зонам аэрации (при применимости) следует осуществлять на основании оценки гидродинамической структуры аэротенка (количество псевдоячеек смешения). Допускается расчет количества псевдоячеек смешения и распределения воздуха по зонам аэрации производить по приложению Н.

5.3.5 Расчет и подбор мембранных блоков иlorазделения

5.3.5.1 Все указываемые проектировщиком характеристики сооружений с использованием мембранных технологий должны быть подтверждены официальными справочными данными от производителей согласно п.5.1.6 и 5.1.7. Не допускается самостоятельное применение Проектировщиком тех или иных характеристик по удельной производительности/расходу и средней проницаемости мембраны без подтверждения данных характеристик непосредственным производителем для конкретных проектных условий эксплуатации.

Примечание: одним из основных критериев работы ультрафильтрации любого типа (погружные полимерные мембраны, напорные полимерные мембраны, погружные керамические мембраны, напорные керамические мембраны) в системах мембранных биореакторов является качество получаемого фильтрата, которое может нормироваться по одному из двух, или обоим основным параметрам – количество взвешенных веществ, мутность. Данные показатели должны регламентироваться техническим заданием на проектирование.

5.3.5.1 Все рабочие параметры системы ультрафильтрации, в том числе удельная производительность 1 м² мембраны, рабочее давление системы, трансмембранное давление, гидравлический КПД системы, должны подбираться и предоставляться производителем согласно техническим характеристикам

используемой мембраны, а также требований проекта, в котором будет применяться определенный тип мембран.

5.3.5.2 Расчет мембранных блоков илоразделения должен включать в себя, как минимум:

- расчёт удельной производительности для среднесуточного расхода, максимально суточного расхода, максимально часового расхода и для условий вывода одной мембранной линии на промывку на период до одних суток на минимальную температуру и с учетом типа и качества сточных вод, дозы активного ила и значения рецикла возвратного активного ила;

Примечание: при выборе максимально допустимой удельной производительности следует учитывать повышение энергозатрат на откачку пермеата. Не допускается заведомое завышение удельной производительности при условии завышения энергозатрат

- расчёт средней проницаемости мембраны (с заданием условий – температуры и значения проницаемости (например при условиях 20°C и 51 л/м² в час), л/м² в ч на 1 бар давления, задаваемой в качестве максимальной для новой кассеты/мембраны.

- расчёт снижения средней проницаемости мембраны по мере эксплуатации до необходимости промывки либо замены при неэффективности промывки.

5.3.5.3 В расчетах следует учитывать резервирование системы ультрафильтрации, обеспечивающее при необходимости вывода одной установки из работы, остальное оборудование должно обеспечивать полную проектную производительность системы в целом.

5.4. Требования к расчету сооружений доочистки сточных вод

5.4.1 Необходимость и состав сооружений доочистки следует определять на основании СП 32.13330 с учетом приложения Б.

5.4.2 Расчет сооружений доочистки и обеззараживания, реализуемых на основе оборудования заводской готовности, проводят как определение количества рабочих и резервных единиц данного оборудования.

Расчетный максимальный расход на сооружения доочистки допускается определять с возможным байпасом части потока. Допустимый расход байпаса следует определять расчетом на основе эксплуатационных характеристик установок доочистки с тем, чтобы максимальные расчетные значения концентраций загрязняющих веществ в смеси потока доочищенной воды и байпасного потока не превышали заданных показателей качества. При использовании технологических показателей НДТ следует учитывать повышающие коэффициенты к среднегодовым

значениям технологических показателей НДТ для очистных сооружений смешанных (городских) сточных вод, учитывающих различные факторы неравномерности, приведенные в СП 32.13330-2018.

Для сооружений доочистки указываются условия и эффективность промывок. При использовании на сооружениях отдельных либо совмещённых методов сорбции, хемосорбции и/или катализа предоставляется расчёт насыщения сорбционной ёмкости и срока службы до промывки и утилизации, эффективности промывок / продувок, эффективности регенерации/реактивации при проведении таковых.

Количество рабочих единиц оборудования определяют как отношение максимального расчетного расхода к производительности единицы оборудования, определяемой производителем с учетом условий применения на данном объекте. При наличии у оборудования нескольких режимов производительности (стандартный, форсированный) следует применять их с учетом допустимых промежутков времени применения данных режимов.

Число резервных установок доочистки, работающих по принципу фильтрации через мембрану, сетку или ткань (микрофильтров), механических фильтров различных конструкций, а также зернистых фильтров с непрерывной промывкой следует принимать – один при четырех рабочих фильтрах и менее, и два – при более четырех рабочих фильтрах.

Допускается не проводить расчёты технологического процесса доочистки каждого конкретного аппарата или совокупности аппаратов при условии приведения разработчиком проектно-сметной документации официальных технических данных от производителей в объёме согласно п.5.1.6 и 5.1.7.

5.4.3 При использовании мембранной доочистки применяются требования, изложенные в п. 5.3.5.

6. Требования к технологическим расчетам в целях анализа работы сооружений очистки сточных вод

6.1 Анализ работы сооружений очистки сточных вод, находящихся в эксплуатации, осуществляется в соответствии с технологическим регламентом эксплуатации, который разрабатывается в соответствии с ГОСТ 72005. Анализ работы сооружений очистки сточных вод на стадии ПНР «под нагрузкой» осуществляется в случаях, предусмотренных ГОСТ 72113 и с учетом его положений.

6.2 Технологические расчеты проводят для двух основных целей:

- текущий анализ при надлежащей работе сооружений (в условиях эксплуатации),
- анализ при нарушении регламентного качества очистки (в том числе – в аварийных ситуациях) и при недостижении проектных показателей качества очистки в ходе ПНР «под нагрузкой».

6.3 Для целей текущего анализа проводят расчеты:

- рецикла возвратного активного ила;
- возраста ила (общего и аэробного).

В качестве исходных данных для расчетов для целей текущего анализа принимают данные за период времени (месяц, квартал, год).

6.4 Для целей анализа при нарушении регламентного качества очистки и иных технологических параметров процесса проводят (по применимости и с учетом проблем с нарушением качества очистки) следующие технологические расчеты:

- достаточности органического вещества для проведения денитрификации (при нарушении по азоту нитратов);
- фактического и минимального необходимого аэробного возраста ила (при нарушении по аммонийному азоту и азоту нитритов);
- расчетного прироста ила (при нарушении по аммонийному азоту и азоту нитритов или по фосфору фосфатов);
- расчетного удаления фосфора биологическим путем (при нарушении по фосфору фосфатов);
- расчетного времени уплотнения ила во вторичных отстойниках (при нерегламентных значениях массового баланса вторичных отстойников, нарушений по взвешенным веществам и азоту нитритов);
- потребности процесса биологической очистки в кислороде и в воздухе (при недостаточной концентрации растворенного кислорода в аэротенках при регламентной подаче воздуха).

Примечание: под расчетным здесь подразумевается значение, полученное по расчетным формулам для данных конкретных условий эксплуатации.

При расчетах для целей анализа при нарушении регламентного качества очистки и иных технологических параметров процесса следует использовать массив исходных данных, относящихся к периоду нарушения. При необходимости реализуют программу дополнительного отбора и анализа проб. Используются средневзвешенные за рассматриваемый период величины, если иное не требуется целями расчета.

При необходимости проводят сравнительный анализа проектных и фактических (расчетных) параметров работы сооружений, а также фактических ситуаций различных периодов эксплуатации.

6.5 Расчет достаточности органического вещества проводят по формулам разделов К3 и К4 приложения К.

Расчет минимального необходимого аэробного возраста ила прироста ила проводят по формулам раздела К2 приложения К.

При определении расчетного значения возраста ила для данных сооружений и дозы ила величину прироста ила определяют по разделу К5 приложения К, при определении фактического значения данную величину принимают как фактический массовый расход выводимого активного ила по данным производственного контроля.

Расчет удаления фосфора проводят по приложению И.

Расчеты, связанные со вторичными отстойниками, проводят по приложению Ж, расчет потребности в кислороде – по приложению Л, в воздухе – по приложению М.

6.6 Для целей анализа работы сооружений очистки сточных вод, прогнозирования их работы (см. раздел 7) и выдачи рекомендаций технологу допускается использование математических моделей, кастомизированных и верифицированных для данных сооружений, использующих принцип самообучения с накоплением эксплуатационных данных.

7. Требования к технологическим расчетам в целях прогнозирования работы сооружений очистки сточных вод

7.1 При планируемых существенных изменениях в работе КОС проводят технологические расчеты в целях прогнозирования работы сооружений очистки сточных вод и определения ожидаемых параметров работы сооружений.

Примечание. К таким ситуациям относят, в том числе: расширение или уменьшение бассейна водоотведения КОС, присоединение крупного абонента, оказывающего значительное воздействие на характеристики поступающих, начало сброса в систему водоотведения осадка станции водоподготовки, изменение состава сооружений очистки сточных вод на КОС (вывод части сооружений из работы, ввод в эксплуатацию дополнительных сооружений).

7.2. Расчеты для целей прогнозирования проводят аналогично расчетам при проектировании, в соответствии с разделом 5.

Приложение А

(справочное)

Общие сведения о процессах биологической очистки с удалением азота и фосфора

Приводимые в настоящем приложении сведения имеют своей целью краткое описание основных понятий, приемов, технологических схем биологической очистки, необходимое для применения положений настоящего стандарта. Для получения более детальной информации рекомендуется пользоваться публикациями в научно-технической литературе.

Согласно [10] при биологической очистке сточных вод для подавляющего большинства ситуаций должно осуществляться биологическое удаление азота, а также удаление фосфора биологическим, химическим, либо биолого-химическим способом.

Далее единый по своей сути процесс биологической очистки, осуществляемый в аэротенках и отстойниках для удобства изложения информации описан отдельно для процессов в аэротенках (биореакторах), отдельно – во вторичных отстойниках.

А1. Очистка сточных вод с удалением азота методом биологической нитри-денитрификации

Технология биологической нитри-денитрификации (БНД) основана на использовании в одном сооружении трех микробиологических процессов:

- аэробное окисление органических загрязнений растворенным кислородом;
- аэробное окисление аммонийного азота до нитритов и далее нитратов (нитрификация);
- аноксидное окисление органических загрязнений с использованием нитритов и нитратов, с восстановлением нитратного азота до молекулярного (денитрификация).

Условием проведения денитрификации является отсутствие в иловой смеси в течение необходимого времени растворенного кислорода либо очень малая его

концентрация (до 0,5 мг/л) при одновременном присутствии органических веществ. Условиями проведения нитрификации являются:

- достаточная концентрация растворенного кислорода (при отдельном проведении процесса это 2 мг/дм³),
- поддержание достаточного возраста ила, превышающего минимально необходимое значение для данной температуры и условий поступления нагрузки.

Для проведения двух групп процессов, характеризующихся разными потребностями в растворенном кислороде, используют следующие основные приемы:

- физическое разделение процессов путем выделения специальных зон нитрификации и денитрификации (зоны N и D);
- разделение процессов во времени в одном и том же объеме сооружения за счет чередования фаз нитрификации и денитрификации;
- комбинированное использование физического и временного разделения процессов;
- одновременный (симультанный) процесс, проводимый при контролируемой невысокой концентрации растворенного кислорода (до 1 мг/дм³).

Бактерии, осуществляющие нитрификацию и денитрификацию, существуют в единой иловой смеси, функционируя в соответствующих зонах (временных интервалах) либо в единой зоне с промежуточными условиями. Бактерии-нитрификаторы рассматриваются как автотрофы, не требующие для роста органического субстрата. Процесс денитрификации осуществляют гетеротрофные бактерии, те же, которые производят окисление органических веществ в аэробных условиях, однако, в бескислородных условиях они переходят на нитратное дыхание.

Обязательным условием деятельности бактерий-денитрификаторов является наличие органического вещества, которое они могут потреблять в процессе восстановления нитратов при окислении органических загрязнений. Поскольку нитрификация заканчивается, когда все основные органические загрязнения удалены, для проведения денитрификации в схемах с использованием различных зон применяется такой технологический прием, как рециркуляция иловой смеси, содержащей нитраты, в зону денитрификации, куда поступает органический субстрат.

Эта рециркуляция может осуществляться различными способами:

- перекачкой потока рецикла с помощью погружных насосов,
- путем создания горизонтально ориентированными мешалками бесконечного потока («карусель») иловой смеси между зонами,
- с помощью эрлифтов (рационально только на малых установках).

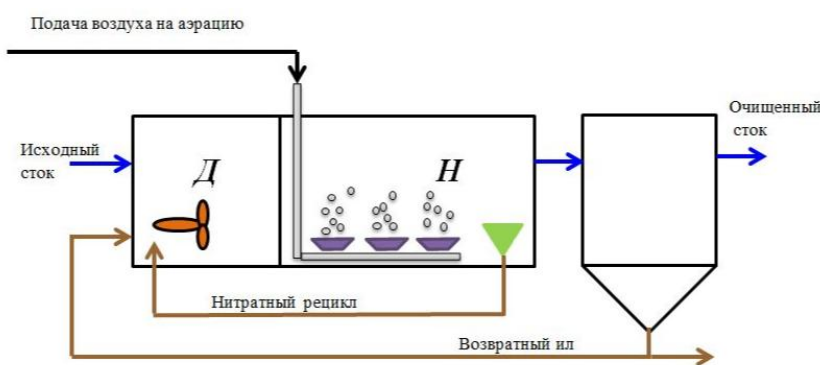
Способы аэрации зон (периодов) нитрификации могут быть различными, однако на практике, как правило, применяют пневматическую аэрацию. Отдельные зоны денитрификации либо общий объем аэротенка в период отсутствия аэрации) должны перемешиваться для предотвращения расслоения иловой смеси и для массообмена. В качестве базового метода перемешивания используются мешалки, как погружные (с горизонтальным валом), так и с надводным расположением электродвигателя (с вертикальным валом).

Выбор системы перемешивания и конкретное техническое решение по ее реализации основываются на минимизации затрат энергии и количества единиц оборудования.

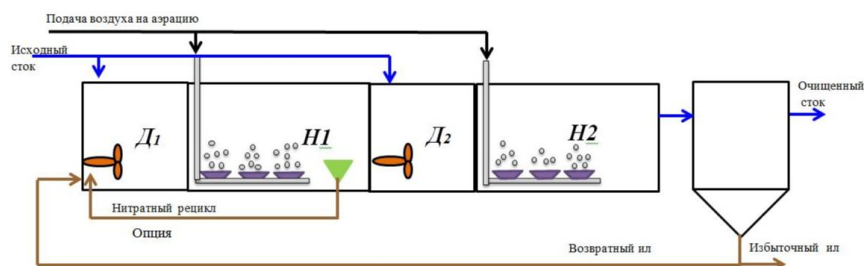
Возвратный активный ил подается в начало зоны денитрификации либо в единый объем аэротенка (при других рассмотренных решениях по проведению процесса).

Удаление азота в процессе одноступенчатой биологической очистки в аэротенках не является единственно доступным вариантом. Могут быть использованы схемы с нитрифицирующими и денитрифицирующими биофильтрами, в том числе с добавлением органического субстрата для денитрификации (данные схемы здесь не рассматриваются).

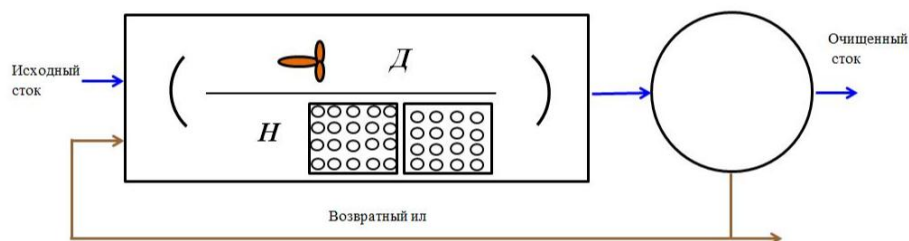
Основные применяемые технологические схемы нитри-денитрификации приведены на рисунке А1.



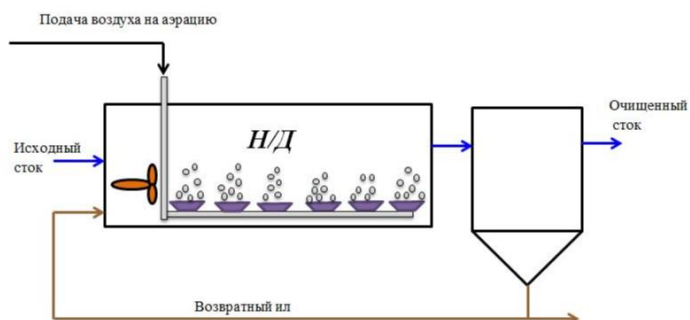
а) Модифицированный процесс Лудзака –Эттингера, он же процесс с предвключенной денитрификацией



б) Ступенчатый процесс (на рисунке – опция с 2-мя ступенями)



в) «Карусельный процесс»



г) Периодический и симультанный процесс

Рисунок А1 – Варианты технологического процесса нитри–денитрификации в аэротенках

Сравнение технологических схем нитри–денитрификации приведено в таблице А1.

Таблица А1 – Сравнение технологических схем нитри–денитрификации

Технологическая схема	Преимущества	Недостатки
Модифицированный процесс Лудзака – Эттингера (предвключенная денитрификация)	Глубокое удаление аммонийного азота. Автоматизация рецикла из зоны N в зону D значительно снижает энергозатраты на его реализацию. Простота применения при реконструкции	Значительный рецикл из зоны нитрификации. Ограниченные возможности для изменения соотношения зон N и D
Ступенчатый процесс	Не требуется внутренний рецикл. Минимальное время пребывания за счет повышенной концентрации активного ила. Возможно достигнуть более эффективного удаления азота и более глубокой нитрификации. Удобно применять при реконструкции аэротенков с рассредоточенным впуском	Усложненная схема, содержащая 4–6 зон. Малые возможности для изменения соотношения зон N и D. Схема не совместима с биологическим удалением фосфора (кроме процесса JNB), т.к. сток распределяется между ступенями денитрификации, что приводит к нерациональному распределению потока легко окисляемого субстрата
«Карусельный» процесс	Широкие возможности для изменения соотношения зон N и D. Минимальные энергозатраты на перемешивание. Уменьшение на 10 % затрат на аэрацию	Увеличенные затраты на изменение строительных конструкций при реконструкции. Требуется автоматизация

Технологическая схема	Преимущества	Недостатки
Периодический процесс	Максимальная простота конструкции (может быть использован единый объем и схема циклического реактора (SBR-реактора). Максимальные возможности для управления процессом	Увеличенные затраты на аэрационную систему. Работает только в условиях автоматизации. При небольшом времени обработки воды возможно повышенное содержание аммонийного азота в очищенной воде (реактор- смеситель)
Симультанный процесс	Те же. Минимальные затраты на аэрацию (работа при пониженной концентрации растворенного кислорода). Возможно глубокое удаление общего азота	Те же. Несколько увеличенный объем сооружения. Потенциальные проблемы со вспуханием ила. Значительные проблемы с концентрацией нитритов

A2. Очистка сточных вод с удалением азота и фосфора

В основе удаления азота в этих технологиях лежат приемы, описанные в 1.1. Однако, в сочетании с приемами удаления фосфора их применение может существенно модифицироваться. Группа технологий с удалением азота и фосфора в дальнейшем именуется БНДФ.

Различают три основных способа удаления фосфора:

- химическое, оно же реагентное (БНДХФ),
- биологическое (БНДБФ),
- биолого-химическое (БНДБХФ).

Для реагентного удаления, как правило, используются соли железа и алюминия, те же, что применяются как коагулянты (хотя их функция в данном применении иная). Реагенты могут вводиться, начиная от точки перед первичным отстаиванием (предосаждение), на стадии биологической очистки (одновременное, или симультанное, осаждение), в точке перед фильтрами (или иными сооружениями) доочистки (постосаждение), а также в возвратные потоки от сооружений обработки осадка.

При любом методе реагентного удаления фосфора основной стадией, определяющей его эффективность и затраты, является формирование нерастворимых соединений (взвесей), включающих в себя фосфаты. При добавлении солей железа и алюминия происходит образование нерастворимых солей (фосфатов) металлов и гидроксидов металлов. Несмотря на то, что основной реакцией для удаления фосфора считается образование солей металлов, вторая реакция так же имеет существенное значение – образовавшиеся гидроксиды металлов активно участвуют в процессах коагуляции и флокуляции, а также часть фосфатов может сорбироваться на хлопьях гидроксидов.

Концентрация растворимого фосфора после осаждения контролируется так называемым стехиометрическим избытком реагента – превышением количества реагента относительно необходимого молярного соотношения. В процессе осаждения нерастворимые фосфаты образуют очень мелкие устойчивые коллоидные частицы, имеющие отрицательный заряд. При симультанном осаждении данные частицы в дальнейшем, аналогично взвешенным веществам сточных вод, сорбируются флокулами активного ила и в результате этого эффективность удаления общего фосфора определяется также эффективностью работы вторичного отстойника и зависит от его конструкции, расчетных параметров и свойств ила.

Следует учитывать, что активный ил аэротенков, в которых тем или иным способом удалили фосфор, имеет высокую концентрацию биологически или химически связанного фосфора. Даже при хорошо работающих вторичных отстойниках (вынос взвешенных веществ 10 ± 3 мг/л) концентрация общего фосфора, выносимого с илом, составляет $0,44 \pm 0,18$ мг/л.

При наличии возвратных потоков, высоко загрязненных фосфором (в основном после обезвоживания, особенно сброженных осадков), добавление реагента в данные потоки - весьма экономичный метод, так как вследствие высоких концентраций фосфора высокая эффективность его удаления достигается без стехиометрического избытка. При этом необходимо предусматривать мероприятия по предотвращению выделения фосфора в процессе обработки осадка.

Далее рассмотрено добавление реагентов в сооружения биологической очистки (симультанное осаждение), которое происходит непосредственно в сооружениях биологической очистки. Добавление реагента на стадии предосаждения в первичных отстойниках не рассматривается, т.к. соотношение БПК₅ и азота в городских сточных водах российских населенных пунктов, как правило, невелико и не располагает к применению такого метода. Однако, если оно применяется как

самостоятельный прием или в сочетании с симультанным осаждением, следует учитывать следующие аспекты:

- увеличивается эффективность удаления органических веществ по БПК₅ в первичных отстойниках в среднем с 30 до 50%. При этом концентрация БПК должна оставаться достаточной для удаления азота, т.е. отношение БПК₅ к удаляемому азоту должно быть не менее 4;

- уменьшается прирост избыточного активного ила и необходимый объем аэротенка;

Добавление реагентов при симультанном осаждении возможно:

- непосредственно в иловую смесь т.е. в аэротенк или перед вторичными отстойниками, обеспечивая требуемые условия смешения, например в зону с интенсивной аэрацией, в зону действия горизонтального потока мешалки, в интенсивно аэрируемый канал сбора иловой смеси перед отстойниками.

- в возвратный активный ил – при этом легче организовать смешение в смесителе типа сопла или лотка Вентури, а также при добавлении непосредственно в напорные трубы насосов возвратного ила.

Использование реагентов не изменяет вышеописанных принципов технологий группы БНД. Однако прирост ила при этом увеличивается, что следует учитывать в расчете.

Доза реагента пропорциональна количеству удаляемых фосфатов, однако, ниже определенной остаточной концентрации коэффициент пропорциональности возрастает. Кроме того, в расчете необходимо учитывать щёлочность и требуемую концентрацию фосфора. Необходимая доза существенно возрастает относительно обычных значений, когда нужно обеспечить максимальную глубину удаления.

Биологическое удаление фосфора (здесь и далее под ним понимается нижеописанный процесс, а не потребление фосфатов на прирост избыточного активного ила) происходит в результате деятельности фосфатаккумулирующих организмов (ФАО), для развития которых в активном иле созданы технологические условия. Эти бактерии способны потреблять в качестве органического субстрата только летучие жирные кислоты (ЛЖК). В условиях отсутствия в среде как свободного кислорода, так и нитратов, т.е. в анаэробных условиях (что не позволяет бактериям осуществлять окисление субстрата) они производят поглощение ЛЖК с преобразованием их во внутриклеточное органическое полимерное соединение. На поглощение и биохимическую трансформацию ЛЖК расходуется энергия, которая запасается в полифосфатных соединениях и выделяется при их распаде в

анаэробных условиях. При распаде полифосфатных связей в жидкую фазу выделяются фосфаты. Окисление запасенного в анаэробных условиях органического вещества происходит при попадании иловой смеси в аэробные и аноксидные условия. При этом часть получаемой энергии расходуется ФАО на формирование молекул полифосфатов (что сопровождается поглощением фосфатов из жидкой фазы) и восстановление запаса запасенного внутриклеточного органического веществ. Таким образом, специфический механизм запасаения энергии ФАО работает за счет накопления в них полифосфатов в количествах до 20 % — 30 % фосфора от сухого вещества клеток данных бактерий и до 5 — 7 % от сухого вещества ила в целом. Выведение избыточного активного ила из системы при таком содержании в нем фосфора и приводит к удалению фосфора из сточных вод.

От группы технологий БНД технологии с биологическим удалением фосфора (БНДБФ) принципиально отличаются наличием еще одной технологической зоны — так называемой анаэробной. Эта зона часто называется зоной биологического удаления фосфора, хотя сущность процессов в ней прямо противоположна и удаление фосфора производится в других зонах. Однако именно наличие в схеме анаэробной зоны принципиально необходимо для биологического удаления фосфора.

Данная зона может являться частью объема аэротенка, либо может быть выделена в отдельную емкость, называемую фосфорным бассейном. В циклических реакторах вместо анаэробной зоны используется анаэробная стадия процесса, реализуемая в едином объеме сооружения.

При нарушении анаэробных условий ФАО начинают окислять ЛЖК с использованием в качестве акцептора электронов растворенного кислорода или нитратов (т.е. в процессе аэробного окисления или денитрификации). При этом выделение фосфатов не происходит, и следовательно, их потребление для восстановления концентрации внутриклеточных полифосфатов в аноксидных и аэробных условиях микроорганизмам также не требуется.

Кроме того, в аэробных и аноксидных условиях ЛЖК становятся доступны не только для ФАО, но и для всех гетеротрофных микроорганизмов, в результате чего существенно снижается прирост ФАО. Таким образом соблюдение анаэробных условий в соответствующей зоне является ключевым фактором для успешного удаления фосфора.

Примечание: Следует отметить, что терминология, исторически сложившаяся в сфере БНДФ в международном сообществе специалистов, далека от совершенства с точки зрения лексики, особенно

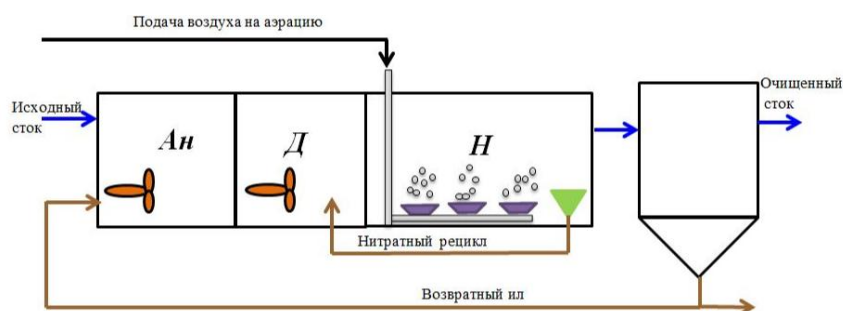
русского языка. Понятие «анаэробный» по своему лексическому смыслу обозначает «безвоздушный». Однако, в рассматриваемой сфере это понятие применяется к зоне, которая должна не иметь не только воздуха (т.е. растворенного кислорода), но и окислителей вообще (т.е. нитратов).

Весьма важно, что процессы удаления азота и фосфора взаимосвязаны, прежде всего за счет описанного влияния нитратов на удаление фосфора. При существенном ухудшении денитрификации в большинстве описанных ниже процессов это повлечет за собой также срыв биологической дефосфотации. Применяемые для удаления фосфора схемы классифицируются по степени защиты анаэробной зоны от воздействия нитратов, находящихся в возвратном иле.

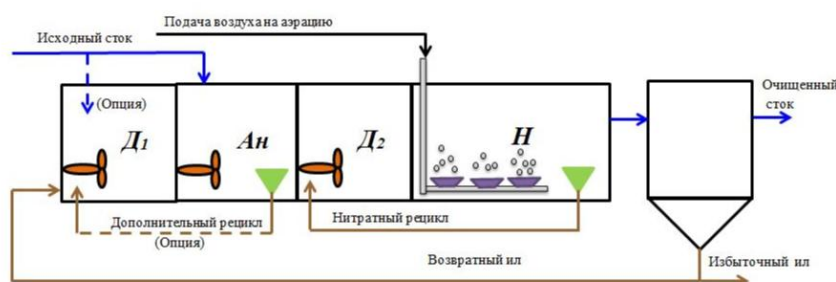
Ниже рассмотрены основные технологические процессы биологического удаления фосфора при нитри-денитрификации.

А. A^2/O -процесс

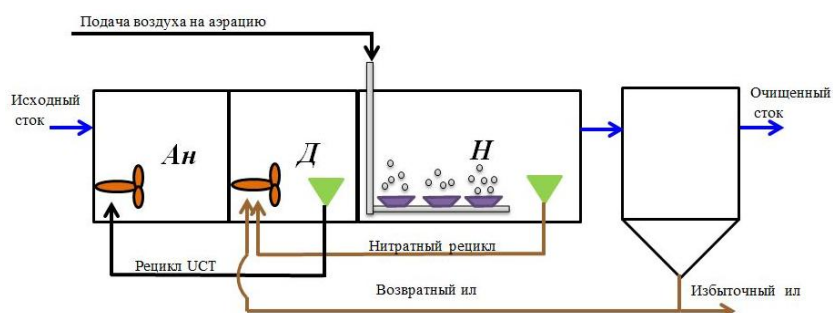
В A^2/O -процессе (anaerobic/anoxic/oxic) – см. рисунок А2а, возвратный ил поступает непосредственно в анаэробную зону.



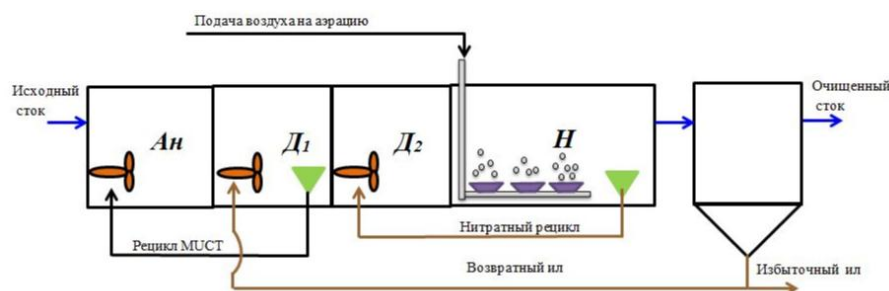
а). A^2/O -процесс



б) JNB-процесс



в) Процесс УСТ



г) Процесс МУСТ

Ан – анаэробная зона, Д – зона денитрификации, Д₁ – первая отдельная зона денитрификации, Д₂ – вторая отдельная зона денитрификации, Н – общая зона нитрификации (зона аэрации), Н₁ – первая отдельная зона нитрификации, Н₂ – вторая отдельная зона нитрификации

Рисунок А2 – Принципиальные технологические схемы основных процессов биологического удаления азота и фосфора

A²/O - наиболее простой процесс, очевидным недостатком которого является то, что анаэробная зона наименее защищена от воздействия нитратов. В такой технологии возникновение анаэробных условий обеспечивается после потребления всех поступивших нитратов в условиях денитрификации и анаэробность достигается за счет избытка органических веществ, в первую очередь легко окисляемой органики, по отношению к поступающему с рециклом ила азоту нитратов. В условиях, как правило, невысокой концентрации БПК в сточных водах в России и, соответственно, невысокого содержания ЛЖК, вышеописанная технология с подачей возвратного ила сразу в анаэробную зону в основном показала неудовлетворительные результаты. Для более успешного применения A²/O-процесса требуется отказ от первичного осветления, что сопряжено с целым рядом недостатков (см. приложение Б).

Б. Йоханнесбургский процесс и его модификации

В данном процессе, также называемом JHB-процесс (Johannesburg process), анаэробная зона дополнительно защищена путем введения денитрификатора возвратного ила, располагаемого перед анаэробной зоной. В простом процессе JHB в зону денитрификации поступает только возвратный ил, при этом денитрификация проходит медленно в условиях эндогенного дыхания. Эффективность удаления нитратов в основном достигается за счет более высокой концентрации ила в возвратном потоке по сравнению с дозой ила в аэротенке. Модификации этого процесса заключаются в подаче части сточной воды в денитрификатор (реже рецикла

из анаэробной зоны). Смысл подачи части воды в денитрификатор возвратного ила заключается в том, что для процесса удаления фосфора в анаэробной зоне используется только легко окисляемая органика – около 30% ХПК, а для процесса денитрификации может использоваться вся биоокисляемая часть ХПК около 70%. Т.е. направляя часть стока в денитрификатор, используют максимум потенциала имеющихся в ней органических веществ для денитрификации, а легко окисляемая органика, содержащаяся в части потока, направляемого в анаэробную зону, используется для роста фосфат-аккумулирующих бактерий. Такая схема удаления фосфора хорошо подходит для реконструкции сооружений с регенераторами и/или рассредоточенным выпуском стоков. Также она позволяет несложными конструктивными решениями обеспечивая высокую гибкость системы в регулировании соотношения зон, вплоть до перевода анаэробной зоны в денитрификатор (если не хватает органики на биологическое удаление фосфора). Однако глубина биологического удаления фосфора уменьшается пропорционально доле стока, направленной в денитрификатор ВАИ, что в условиях низкоконцентрированных стоков может потребовать применения реагента, или увеличения его дозы.

Другая модификация процесса JNB предусматривает рецикл иловой смеси после анаэробной зоны в начало денитрификатора ила. Смысл этой модификации заключается в том, что, во-первых, иловая смесь после анаэробной зоны содержит значительное количество биоокисляемой органики, а, во-вторых, органические вещества, потребленные ФАО, так же будут использоваться при денитрификации возвратного ила. Исходя из баланса масс, следует рециркулировать в денитрификатор от 20 до 50% ила (от поступающего расхода). Нет информации об использовании такого решения на отечественных объектах.

В. Процессы UCT и MUCT

В процессе UCT (University of Cape Town) возвратный активный ил поступает в зону денитрификации, куда так же попадает иловая смесь из анаэробной зоны. Эта иловая смесь содержит как органические вещества, используемые для удаления азота нитратов, так и активный ил, содержащий ФАО, уже накопившие внутриклеточные органические вещества, которые так же используются при денитрификации.

В анаэробную зону направляется рецикл иловой смеси после денитрификатора, содержащий минимум нитратов. Таким образом в данных

процессах достигается высокая защищенность анаэробной зоны от воздействия нитратов.

Наибольшая защита анаэробной зоны от воздействия связанного при нитратах кислорода достигается в процессах, построенных по технологии МУСТ. Модифицированный УСТ-процесс (modified UCT), в отличие от ранее рассмотренного УСТ, включает отдельную зону денитрификации возвратного ила, куда поступает только этот поток и иловая смесь из анаэробной зоны. В результате денитрификация возвратного ила в МУСТ-процессе является приоритетной и более надежной.

Большая часть схем удаления фосфора реализуется с выполнением стадий нитри- и денитрификации по предвключенной технологии, «карусельной» (циркуляционной) или симультанной технологии. Организация процесса БНД, аэрация и перемешивание производятся аналогично приведенному выше их описанию. Анаэробную зону перемешивают только мешалками. Присутствие растворенного кислорода в анаэробной зоне недопустимо.

Процессы БНДБФ не могут быть эффективно применены на любой городской сточной воде. Необходимым условием является наличие минимально необходимого соотношения в этой сточной воде величин БПК, азота и общего фосфора. При меньших, чем необходимо (см. приложение Б), значениях сточная вода не будет содержать достаточно органического вещества, чтобы его хватило и для денитрификации, и для роста ФАО. Весьма важно также содержание ЛЖК. При недостаточной концентрации на него можно влиять. Наиболее экономичный способ – группа вспомогательных технологических процессов, называемых ацидофикацией, направленных на производство ЛЖК в результате гидролиза взвешенных веществ и ацидогенеза растворенных загрязнений (процесс БНДБФ-А). Также применимо прямое добавление ЛЖК (например, технической уксусной кислоты) как реагента.

Используют следующие разновидности ацидофикации (перечислены по возрастанию эффективности, но и сложности реализации):

- эксплуатация первичных отстойников с повышенными уровнями накопления осадка;
- то же с рециркуляцией 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 использованием некоторого количества сточной воды с подачей сливной воды перед аэротенками;

- ферментация осадка в отдельных ацидофикаторах с последующим уплотнением и подачей сливной воды перед аэротенками (в Российской Федерации пока не применяется).

Кроме того, находит применение ферментация иловой смеси в анаэробной зоне, в отсутствии перемешивания (с эпизодическим перемешиванием). Однако, данный метод весьма негативно влияет на фактический возраст ила и может быть применен только на сооружениях со значительным избытком объема аэротенков.

При дальнейшей обработке избыточного активного ила с повышенным содержанием фосфора не должно допускаться образование в нем анаэробных условий, и в особенности, при наличии доступного органического вещества, так как в этом случае ФАО в соответствии со своим метаболизмом быстро выделяют фосфор в жидкую фазу.

Сравнение основных известных и применяемых в России процессов БНДФ приведено в таблице А2.

Таблица А2 – Сравнительная характеристика основных технологических схем нитри- и денитрификации с биологическим удалением фосфора

Процес с	Преимущества	Недостатки	Рекомендации по применению технологической схемы*
А ² /О	Наиболее простая и хорошо проверенная в странах Европы технология. Низкие капитальные и эксплуатационные затраты, в том числе минимальные затраты электроэнергии на рециркуляцию	Возвратный ил содержит нитраты, поступающие в анаэробную зону, что на низкоконтентрированных стоках практически блокирует улучшенное удаление фосфора.	При величине соотношения БПК ₅ /Общий азот* более 4,5
JNB	Хорошо подходит для реконструкции аэротенков с рассредоточенным впуском (или при использовании соответствующих типовых проектов). В основных вариантах не требует дополнительных рециклов. Хорошее удаление азота.	До 30% легкоокисляемой органики теряется при денитрификации. Требуется грамотной регулировки потоков. Концентрацию азота нитратов после зоны пред-денитрификации рекомендуется поддерживать на уровне 0,5- 1 мг/л, управляя долей сточной воды, направляемой в эту зону	При величине соотношения БПК ₅ /Общий азот более 4,0

Процес с	Преимущества	Недостатки	Рекомендации по применению технологической схемы*
УСТ	Эффективное удаление фосфора и из низкоконцентрированных сточных вод. Хорошее удаление азота	Требуется дополнительная система рециркуляции. Концентрация иловой смеси в анаэробной зоне снижена, что приводит к меньшим скоростям потребления ЛЖК, гидролиза и ацидогенеза в анаэробной зоне.	При величине соотношения БПК ₅ /Общий азот менее 4,0 для очистных сооружений с обслуживаемым ЭЧЖ 50 – 100 тыс.
МУСТ	Более адаптирована к работе при низком соотношении БПК ₅ /Общий азот и поэтому более надежна. Хороший опыт эксплуатации.	Аналогично УСТ. Также: повышенная сложность процесса, в том числе, управления путем изменения соотношения аэрируемых и аноксидных зон	При величине соотношения БПК ₅ /Общий азот менее 4,0 для очистных сооружений с обслуживаемым ЭЧЖ более 100 тыс.

* см. примечание к таблице Б1 относительно определения величины БПК₅/Общий азот и относительности ее количественных значений

При многих преимуществах биологического удаления это процесс не является постоянно гарантированным, особенно при необходимости снижения концентрации фосфора фосфатов ниже 1 мг/дм³, так как зависит от многих факторов, в том числе свойств поступающей сточной воды. Это определило применение технологий биолого-химического удаления фосфора (БНДБХФ), которые представляют собой технологии группы БНДБФ, усиленные добавлением реагента для дополнительного осаждения фосфора. При использовании таких технологий очень важно с экономической точки зрения добиваться максимальной доли удаления биологическим способом и минимизации доли химического осаждения. Важно понимать, что осаждение фосфата может уменьшать возможности для развития ФАО и при неправильном проектировании и/или эксплуатации процесс БНДБХФ может превратиться в БНДХФ, в котором роль биологического удаления будет минимальна, что приведет к многократному росту затрат на реагент.

Для того, чтобы не допустить развития такой нежелательной ситуации, доза реагента должна соответствовать удалению остаточной концентрации фосфора, а не всего имеющегося в поступающей воде, т.е. не превышать 30-50% от дозы

необходимой для чисто физико-химического удаления. Согласно НДТ 14г ИТС10 [10] «Применение ресурсосберегающих технологий, позволяющих удалять фосфор из сточных вод преимущественно за счет биологических процессов, обеспечивающих расход реагентов, при условии выполнения технологических нормативов, не более установленных в таблице 5.21», затраты реагентов на удаление фосфора из сточных вод на очистных сооружениях, начиная с крупных (с притоком свыше 40 тыс. м³/сутки) не должны превышать 1,5 кг Fe или 0,7 кг Al/кг удаленного фосфора. При этом для сооружений, начиная с больших (с притоком свыше 10 тыс. м³/сутки) должны использоваться системы автоматического управления расходом реагентов.

При реконструкции существующих КОС, на которые поступают низкоконцентрированные сточные воды, может сложиться ситуация, когда имеющиеся в стоках органические вещества способны обеспечить удаление менее половины фосфора, который необходимо удалять. В этой ситуации оптимальным может быть выбор Йоханнесбургского процесса, с двухступенчатой нитриденитрификацией и добавлением реагента. Эта технология обеспечит минимальное требуемое время обработки сточных вод и позволит сократить потребление реагентов на дефосфотацию по отношению с процессом БНДХФ.

Оценка и рекомендации по группам технологий удаления фосфора приведены в таблице А3.

Таблица 1.3 – Оценка технологий удаления фосфора

Технологии	Преимущества	Недостатки	Целесообразность применения
Реагентное удаление	Процесс, управляемый в высокой степени. Не усложняется процесс обработки осадка	Максимальные затраты на реагенты. Необходимость эксплуатации реагентного хозяйства. Увеличение затрат на удаление осадка. Влияет на прирост ила и требует дополнительного объема аэротенка	Рекомендуется на КОС до 10 тыс. м ³ /сутки

		или дозы ила. Может негативно влиять на свойства ила	
Биологическое удаление	Полностью безреагентный процесс	Зависит от качества поступающей воды. Эффективность может снижаться в результате колебании концентраций в исходной воде и неправильной эксплуатации. Налагает специальные требования на обработку избыточного активного ила	Без ацидофикации осадка рекомендуется на КОС мощностью свыше 10 тыс. м ³ /сутки при допустимой концентрации фосфора фосфатов на сбросе до 1 мг/дм ³ . С ацидофикацией – при допустимой концентрации фосфора фосфатов на сбросе до 0,7 мг/дм ³
Биолого-химическое удаление	Процесс, управляемый в высокой степени	Затраты на реагенты. Необходимость эксплуатации реагентного хозяйства	Без ограничений по мощности при допустимой концентрации фосфора фосфатов на сбросе до 0,2 мг/дм ³

В целом к аэротенкам (биологическим реакторам) предъявляются следующие общие требования, соблюдение которых необходимо как для достижения расчетных параметров качества, так и для обеспечения экономичности процесса:

- хороший массоперенос кислорода в аэробных зонах и возможность его эффективного регулирования,
- достаточное перемешивание для предотвращения осаждения ила, как в неаэрируемых, так и в аэрируемых зонах,
- хорошее управление технологическим процессом, в том числе автоматизированное, как с целью снижения энергозатрат и затрат реагентов, так и с

целью получения заданного качества очистки в условиях значительной неравномерности нагрузок и условий работы в течение года.

А3. Процесс вторичного отстаивания

Процесс илоразделения во вторичных отстойниках призван решать следующие задачи:

- наиболее эффективное удержание частиц взвешенных веществ активного ила для обеспечения минимального выноса взвешенных веществ в очищенной воде,
- работа при поступлении возможно более высокой концентрации иловой смеси при обеспечении решения первой задачи,
- обеспечение возможно более высокой концентрации возвратного активного ила, при обеспечении минимально возможного коэффициента рециркуляции возвратного ила.

Эти цели в большой степени противоречат друг другу, что налагает требования к расчету как собственно вторичных отстойников, так и в целом системы аэротенки-вторичные отстойники.

В отстойнике происходят три процесса – флокуляция, разделение ила и его уплотнение. Условия образования хлопка ила в аэротенках, и тем более в трубопроводах и распределительных системах (каналах, камерах) как правило, не оптимальны по градиенту скоростей для получения хорошо оседающего хлопка. Укрупнение хлопка (флокуляция) происходит в распределительных устройствах самих отстойников. Существующие конструкции распределительных устройств отстойников (особенно радиальных) длительное время совершенствовались с целью получения хорошего хлопка ила и максимальной эффективности использования объема. Поэтому использование типовых конструкций, как правило, обеспечивает прохождение данного процесса.

Разделение ила контролируется так называемой фазой стесненного осаждения. В фазе стесненного осаждения частицы ила создают дополнительное сопротивление процессу осаждения, влияя друг на друга, но не соприкасаясь. Скорость стесненного осаждения меньше, чем скорость для отдельной частицы, поэтому образуется слой осадка, для которого скорость осаждения постоянна, а концентрация ила близка к концентрации в иловой смеси, поступившей в отстойник. При этом скорость осаждения ила обратно пропорциональна его концентрации, что объясняется снижением проницаемости системы для отделяемой жидкости при увеличении концентрации ила. Чем выше доза ила в иловой смеси, тем меньшие

нагрузки на зеркало отстойника должны применяться для получения требуемого выноса ила.

В фазе уплотнения концентрация ила растёт, частицы, соприкасаясь, максимально влияют друг на друга. Считается, что уплотнение происходит как под действием силы тяжести, влияющей на отдельную частицу, так и под действием веса частиц ила, находящихся в слое выше. Фаза уплотнения контролируется временем уплотнения и высотой слоя.

Таким образом, скорость осаждения при стеснённом осаждении зависит от концентрации ила и его свойств, концентрация ила, получаемая в фазе уплотнения, зависит от времени уплотнения, высоты слоя и свойств ила.

Свойства ила при расчетах описываются через иловый индекс (объем, занимаемый одним граммом ила после 30 минут отстаивания в цилиндре).

Примечание:

Поскольку результаты данного теста используется при математическом описании как стесненного осаждения, так и уплотнения, то в ходе теста должны присутствовать обе фазы. При постановке теста со значением илового индекса до 120 – 150 мг/дм³ и дозы ила до 2 г/дм³ эти условия обеспечивались практически всегда. При увеличении дозы ила объем ила в цилиндре при постановке теста на иловый индекс после осаждения увеличивается и стадия уплотнения оказывает большее влияние на результат теста. В результате значение илового индекса существенно завышается. Чтобы этого избежать, используют величину илового индекса в разведении (DSVI). Если объем осевшего ила после получасового осаждения превышает 250 мл/л исходной иловой смеси, то измерение илового индекса следует проводить с разбавлением очищенной водой, так чтобы объем осевшего ила был в диапазоне 100-250 мл/л, с последующим учетом соотношения разведения при расчете илового индекса. В отечественной практике понятие илового индекса в разведении было введено в СНиП 2.04.03-85 [1], где оговаривалось (п.6.146) что иловый индекс следует определять при концентрации ила 1 г/л, когда достигается оптимальное соотношение процессов стесненного осаждения и уплотнения. Так же следует отметить, что иловый индекс следует определять в цилиндрах объемом 1000 мл (допустимо 500 мл). При использовании цилиндров меньшего объема иловый индекс завышается из-за влияния пристенных эффектов.

Иловый индекс J_i , отражающий седиментационную способность активного ила, является важнейшим параметром для расчета вторичных отстойников. Он является величиной, назначаемой исходя из прогнозируемого значения, определяемого как технологическим процессом, так и местными условиями.

На состав и свойства активного ила, выражающиеся, в том числе, в значении илового индекса, может оказывать влияние целый ряд не до конца исследованных факторов. Так, повышенный иловый индекс формируют:

- высокая доля легко биологически разлагаемых веществ, содержащихся в

промышленных сточных водах;

- низкие концентрации растворенного кислорода, характерные для выбранного технологического процесса;
- низкие (менее 100 мг БПК₅/г сухого вещества ила сутки) и слишком высокие (более 600 мг БПК₅/г сухого вещества ила в сутки) нагрузки на ил;
- гидродинамическая структура потока, приближенная к смесителю;
- наличие первичных отстойников, удаляющих хорошо оседающие взвешенные вещества, изначально присутствующие в стоках.

На стадии уплотнения ила во вторичном отстойнике, с одной стороны, требуется достигать максимально высоких концентраций в возвратном потоке, чтобы обеспечивать высокие дозы ила при минимальном коэффициенте рециркуляции. Но, с другой стороны, для предотвращения повторного растворения фосфатов и образования плавающего ила в результате нежелательной денитрификации время пребывания осажденного ила в зоне уплотнения и удаления ила должно жестко ограничиваться. Конструкция вторичного отстойника и, в частности, системы удаления ила оказывает на эти процессы существенное влияние. Современные вторичные отстойники при реализации процессов нитри-денитрификации (и нитри-денитрификации с удалением фосфора) оснащаются дополнительно системой сбора всплывающего ила с возвратом его в поток на вход отстойника, эвольвентными илоскребами (у которых скребки расположены по кривой, именуемой эвольвентой) или илососами с контролируемой и регулируемой откачкой ила от отдельных сосунов, что позволяет одновременно получать максимально высокие концентрации ила в возвратном потоке и не допускать попадания всплывающего ила в очищенную воду.

Примечание: следует различать ил, всплывающий в результате денитрификации и частично гидрофобную пену, формирующуюся при развитии процесса пенообразования в аэротенках. Однако системы сбора всплывающего ила призваны удалять и подобную пену.

Схема потоков жидкости во вторичном отстойнике приведена на рисунке А3. В соответствии с процессами, происходящими во вторичных отстойниках, в них выделяют следующие функционально обусловленные зоны:

- зона чистой воды/возвратного потока,
- зона свободного осаждения ила/возвратного потока,
- зона стесненного осаждения и накопления ила,
- зона уплотнения и удаления ила.

Деление на функциональные зоны во многом схематично, в реальности эти процессы не протекают в горизонтально расслоенных зонах, но скорее смешиваются

и проникают один в другой. В области впуска и выпуска отстойника существуют дополнительные зоны гидравлических возмущений.

Зона чистой воды призвана компенсировать влияние ветрового нагона, неравномерности поверхностного распределения иловой смеси и других факторов. В области впуска вводится и распределяется иловая смесь, в этой области зоны свободного осаждения и стесненного осаждения и накопления неразделимы. Вне области впуска над зоной стесненного осаждения и накопления находится зона возвратного потока, и часть потока жидкости с низкой концентрацией взвешенных веществ движется в направлении впускного отверстия. Этот поток также протекает и в зоне чистой воды.

Ил в зоне стесненного осаждения и накопления движется к внешнему краю отстойника. При увеличении расхода поступающей иловой смеси (например, при поступлении ливневых стоков) зона стесненного осаждения и накопления расширяется.

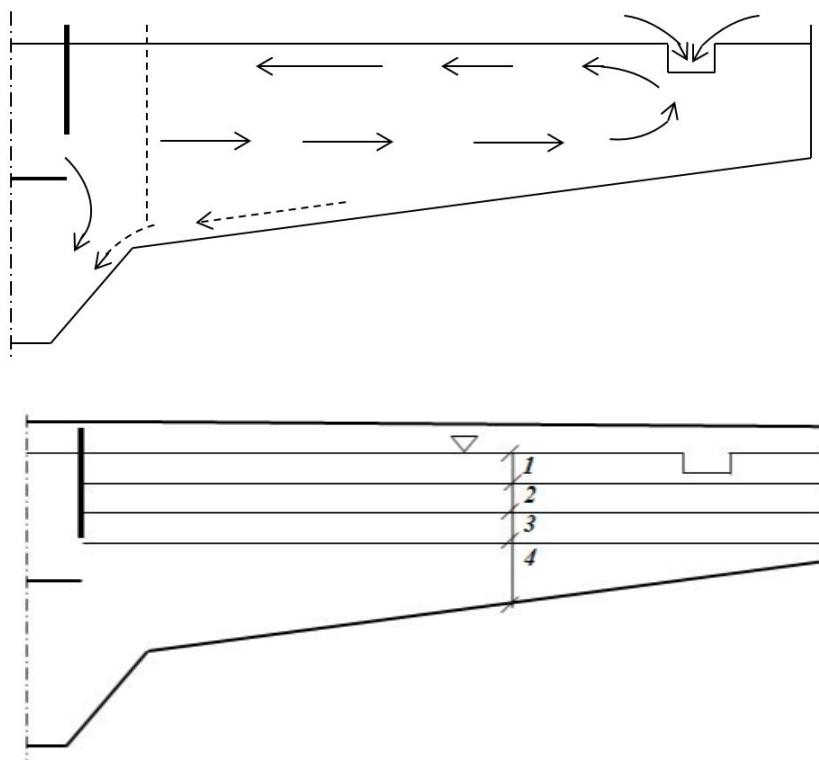


Рисунок А3 – Основные направления потоков и функциональные зоны вторичных отстойников. 1 – зона чистой воды/возвратного потока, 2 – зона свободного осаждения ила/возвратного потока, 3 – зона стесненного осаждения и накопления ила, 4 – зона уплотнения и удаления ила

Поток возвратного ила состоит из потока уплотненного ила и проскока менее концентрированного ила из зоны над слоем уплотнения. Расход проскока зависит от

конструкции системы удаления ила и расхода удаляемого ила.

Сумма необходимых глубин данных зон обуславливает общую глубину отстойника.

Приложение Б

(рекомендуемое)

Выработка принципиальных решений по технологической схеме очистки сточных вод и базовым техническим решениям

1 Общие рекомендации

На выбор технических и технологических решений проектируемых сооружений очистки сточных вод оказывает влияние множество факторов. Кроме параметров поступающих сточных вод и требований к качеству очистки, к ним относятся:

- для существующих сооружений – их конструкция и техническое состояние,
- ограничения по площади сооружений,
- уровень грунтовых вод на промплощадке,
- условия рельефа на площадке,
- расстояние до жилья и аналогичных по статусу объектов,
- принятая или планируемая технология обработки осадка.

Однако наибольшее влияние на выбор технических решений оказывает мощность объекта. Выбор следует производить в соответствии с указаниями СП 32.13330-2018, а также рекомендациями табл. Б1 для различных диапазонов мощности сооружений, исходящими из достижения ТП НДТ, в основном ориентированными на новое строительство.

Таблица Б1 – Общие рекомендации по техническим решениям при проектировании сооружений очистки сточных вод

Рекомендуемые особенности проектирования	1-я группа (сверхмалые и малые)	2-я группа (средние и небольшие)	3-я группа (большие и крупные)	4-я группа (крупнейшие и сверхкрупные)
Расход поступающих сточных вод, тыс. м ³ /сутки	До 1	1 -10 тыс.	10 -200	Свыше 200
Механическая очистка	В целях исключения потенциального затопления и выхода из строя сооружений механической очистки и подтоплений при расчёте сооружений процеживания не допускается применение одноступенчатого процеживания с использованием устройств с прозором фильтрации 5мм и менее без официального подтверждения Заказчиком наличия в эксплуатации устройств процеживания с более крупным прозором на вышестоящем потоке (в КНС, усреднителе и т.д.).			
Наличие	Не рекомендуется	Допускается отказ при допустимой по расчету		

первичного осветления	на новых объектах	эффективности осветления ниже 25%, а также необходимость соблюдения малой санитарно-защитной зоне, также по ряду других причин		
Использование процесса ацидофикации	Нет необходимости	По обоснованию, при использовании первичных отстойников и биологического удаления фосфора	Рекомендуется при соотношении БПК ₅ /Азот общий менее 4*	
Тип вторичных отстойников	Вертикальные	Вертикальные или горизонтальные	Горизонтальные или радиальные, применение радиальных отстойников рекомендуется при производительнос ти более 20 тыс. м ³ /сутки	Радиальные
Удаление фосфора (если требуется)	Химическое	Химическое. Свыше 5 тыс. м ³ /сутки рекомендуется рассматривать биолого- химические методы	Биолого- химическое и биологическое	Биологическое и биолого- химическое
Использование доочистки (третичной очистки)	Не обязательно при любой категории водного объекта при применении технологического нормирования (значения ТП НДТ для КОС такой мощности могут быть достигнуты	Для средних – аналогично малым и сверхмалым. Для небольших – аналогично большим и более мощным	Безальтернативно при сбросах в водные объекты категории А (кроме использования мембранных биореакторов). Опционально в других ситуациях при технологическом нормировании. В том числе доочистка на двумерных фильтрах может применяться для сокращения объемов сооружений биологической очистки в основном при реконструкции существующих	

	без использования доочистки). Необходимо при более жестких требованиях к качеству очищенных сточных вод		сооружений. Необходимо при более жестких требованиях к качеству очищенных сточных вод
--	--	--	---

* в настоящем стандарте используется понятие соотношения БПК₅/Общий азот (БПК₅/N_{общ}).

При отсутствии производственного контроля общего азота его величину следует определять расчетом на основе концентраций аммонийного азота и взвешенных в соответствии с СП 32.13330-2018. Также следует учитывать, что приведенные в данной таблице и в стандарте в целом значения соотношения БПК₅/Общий азот относятся к средней концентрации аммонийного азота в входящем стоке, равной 30 мг/л и, в любом случае, являются ориентировочными, а принятие решения о целесообразности связанного с ними технологического решения следует осуществлять на основе расчетов, выполненных в соответствии с настоящим стандартом.

При достаточном количестве органических веществ в сточной воде использование биологического удаления фосфора, особенно при применении ацидофикации осадка, может позволить удалять фосфор весьма глубоко без применения реагента, как по расчету, так и на практике. Однако, при необходимости достижения концентрации фосфора фосфатов в очищенной воде менее 1 мг/дм³ по среднегодовому значению настоятельно рекомендуется применение биолого-химического удаления, с применением реагентов. Оно может потребоваться как эпизодическое, при срывах процесса биологического удаления фосфора, которые нельзя исключить.

При выборе базовых технологических решений следует также ориентироваться на формулировки и количественные требования НДТ [10] в соответствии с диапазоном мощности не только в части технологии очистки, но также в части обработки осадка, энергосбережения и т.п. При наличии расхождений между требованиями [10] и СП 32.13330 следует руководствоваться последними.

2. Использование первичного осветления

В дополнение к таблице Б1 следует учитывать, что:

- отказ от первичных отстойников облегчает решение задачи удаления азота нитратов, а также фосфора за счет увеличения соотношений БПК/азот и БПК/фосфор, и, кроме того, может частично решить проблему стабилизации осадка сточных вод. Но, это решение до 1,5 раз увеличивает объемы сооружений биологической очистки

и потребление электроэнергии. Таким образом, при решении задачи реконструкции ОС в существующих объемах основных сооружений отказ от первичных отстойников может привести к несоблюдению минимально необходимых условий для протекания процесса нитрификации;

- использование первичных отстойников с оптимальной эффективностью осветления (если таковая достижима для конкретной загрязненности данных сточных вод) позволяет оптимизировать объемы сооружений биологической очистки при поддержании необходимого качества очистки;

- в части энергозатрат на работу КОС первичное осветление не только снижает подачу воздуха на аэротенки, но и позволяет, при включении в состав КОС метантенков и мощностей по генерации энергии из биогаза, дополнительно снизить внешнее энергопотребление на 50% и более;

- первичное осветление в принципе может быть реализовано не только в первичных отстойниках, но и в механических сетчатых фильтрах.

При проектировании реконструкции КОС с использованием существующих сооружений следует учитывать, что в подавляющем большинстве ситуаций возникает необходимость уменьшения числа существующих первичных отстойников. Это происходит сразу по нескольким причинам:

- фактический расход на КОС обычно гораздо ниже проектного;
- требования к максимально допустимому эффекту осветления для поддержания необходимого соотношения БПК₅/Общий азот для сточной воды большинства российских КОС существенно ниже, чем проектные показатели существующих отстойников;
- для поддержания данного соотношения в течение суток отстойники должны быть рассчитаны не на максимальный часовой приток, как ранее, а на среднечасовой (см. приложение XX).

Дополнительные рекомендации по целесообразности использования первичного осветления в зависимости от величины притока сточных вод и значения соотношения БПК₅/Общий азот приведены в таблице Б2 (с учетом примечания к табл. Б1).

Таблица 2.4 – Факторы, влияющие на целесообразность использования первичного осветления сточных вод

Строительное состояние КОС	Приток сточных	Значение соотношения	Рекомендации по использованию ПО
----------------------------	----------------	----------------------	----------------------------------

	вод, м³/сутки	БПК ₅ /N _{общ}	
Новое строительство или реконструкция КОС, на которых нет первичных отстойников	Менее 1000	Любое	Не рекомендуется
		Менее 4	Не рекомендуется
		4- 4,5	Рекомендуется рассматривать
		Более 4,5	Рекомендуется применение
	Свыше 5000	Менее 3,5	Не рекомендуется
		3,5-4,5	Рекомендуется рассматривать
		Более 4,5	Рекомендуется применение
Реконструкция КОС, на которых имеются первичные отстойники с пригодным для эксплуатации состоянии строительных конструкций	До 1000	Менее 4	Рекомендуется отказ от первичного осветления и переоборудование емкостей отстойников в ацидофикаторы (как вариант: проточные емкости с периодическим перемешиванием, без выгрузки сырого осадка, но без подачи в них возвратного ила). Возможно также использование в качестве аноксидных зон
		Более 4	Рекомендуется при необходимости рассматривать, в зависимости от имеющегося объема аэротенков, использование емкостей первичных

			отстойников как части аноксидных зон для денитрификации
	Более 1000	Менее 3,5	Аналогично существующим объектам с притоком менее 1000 м³/сутки и БПК ₅ /N _{общ} менее 4
		3,5 - 4	Для объектов с притоком 1000 - 5000 м³/сутки рекомендуется при необходимости рассматривать, в зависимости от имеющегося объема азротенков, переоборудование емкостей первичных отстойников для использования как части аноксидных зон для денитрификации. Для объектов с притоком более 5000 м³/сутки рекомендуется рассматривать опции применения первичных отстойников с процессом ацидофикации и отказа от ПО, с переоборудованием емкостей первичных отстойников для использования как аноксидных и анаэробных емкостей для

			биологического удаления фосфора.
		4 - 4,5	Рекомендуется рассматривать продолжение эксплуатации первичных отстойников, но в режиме ацидофикации с рециркуляцией осадка и эффективностью осветления до соотношения $BPK_5/N_{общ}$ не менее 4.
		Более 4,5	Рекомендуется рассматривать продолжение эксплуатации первичных отстойников с эффективностью осветления, обеспечивающей до соотношения $BPK_5/N_{общ}$ не менее 4.

Для принятия решения по первичным отстойникам с использованием таблицы 2.4 необходимо:

- осуществить обработку исходных данных согласно приложения В,
- произвести расчеты концентраций BPK_5 и $N_{общ}$ в осветленной воде по формулам СП 32.13330-2018;
- учесть требования СП 32.13330-2018.

Наряду с рекомендациями таблицы Б2 по использованию емкостей первичных отстойников в случае полного отказа от них вполне вероятна ситуация с прекращением эксплуатации как минимум половины их в результате расчета на новые исходные данные. В этом случае рекомендуется рассмотреть использование высвободившихся емкостей как уплотнителей-ацидофикаторов осадка, с перекачкой на их вход всего расхода осадка, выгружаемого из оставшихся отстойников (отстойники-осветлители), с удалением из них уплотненного осадка на обработку.

Расчет ацидофикаторов – см. приложение Е.

3. Использование доочистки (третичной очистки)

В зависимости от требований к качеству очистки сточных вод, на сооружения доочистки могут возлагаться следующие задачи:

- обеспечение требуемого качества, которое не может быть обеспечено на сооружениях биологической очистки,
- основное или дополнительное удаление фосфора реагентным путем;
- оптимизация общих объемов сооружений и эксплуатационных затрат.

При использовании достаточной площади вторичных отстойников ТП НДТ по взвешенным веществам и БПК₅, установленные как среднегодовые, могут быть достигнуты без использования сооружений фильтрационной доочистки.

Однако, возможно использование методов доочистки для того, чтобы уменьшить объемы сооружений биологической очистки сточных вод за счет увеличения дозы ила в аэротенках и/или сокращения площади вторичных отстойников, с увеличением выноса взвешенных веществ и компенсацией этого за счет фильтрационной доочистки, а также в ситуации со значительными сезонными колебаниями притока сточных вод. В этом случае рекомендуется использование технических решений, обеспечивающих двумерную фильтрацию, или близких к ней (дисковые, либо ворсистые фильтры и т.п.), но не зернистых фильтров. Такие решения могут быть наиболее обоснованы при реконструкции сооружений или при стесненных условиях строительства.

Достижение содержания взвешенных веществ 5 мг/дм³ и БПК₅ 3 мг/дм³ (ТП НДТ для сброса в водные объекты категории А [14]), также как и НДС, основанных на ПДК_{рыбхоз}, однозначно требует использования доочистки от взвешенных веществ. В этой ситуации возможно применение как двумерной, так и объемной фильтрации (зернистых фильтров).

Также требуется доочистка от взвешенных веществ, БПК и ХПК для достижения нормативов сброса в экологическую систему озера Байкал [15]. По взвешенным веществам и БПК технологические решения могут быть аналогичны достижению НДС, основанных на ПДК_{рыбхоз}. Для достижения норматива по ХПК (20 мг/л) следует рассматривать целесообразность дополнительного применения окислительной или сорбционной доочистки, мембранной фильтрации, либо их комбинации.

Значения ТП НДТ для любых условий сброса не требуют использования двухступенчатого удаления аммонийного азота и азота нитритов. Их наиболее

жесткие концентрации, равные 1 мг/дм^3 и $0,1 \text{ мг/дм}^3$, соответственно, могут быть достигнуты в одноступенчатом биореакторе и являться его целевыми расчетными показателями.

При необходимости запроектировать очистные сооружения на более низкие значения концентраций соединений азота и фосфора рекомендуется учитывать следующее.

ПДК_{рыбхоз} по фосфору фосфатов может быть достигнута как при симультанном осаждении, при соответствующем увеличении дозы реагента (см. приложение И), так и с дополнительным осаждением на стадии доочистки. Достижение ПДК_{рыбхоз} по азоту аммонийному ($0,4 \text{ мг/дм}^3$) вполне достижимо и с использованием только аэротенков, однако, потребует существенного увеличения аэробного возраста ила. Достижение ПДК_{рыбхоз} по азоту нитритов ($0,02 \text{ мг/дм}^3$) с использованием только аэротенков требует чрезмерного увеличения аэробного возраста ила соответствующего увеличения объема аэробной зоны аэротенка. На практике ПДК_{рыбхоз} по нитритам достигается только на сильно недогруженных новых сооружениях, в которых объем аэротенков не соответствует фактическому притоку и за счет этого обеспечивается очень большой аэробный возраст ила. Достижение ПДК_{рыбхоз} и других требуемых значений, находящихся ниже ТП НДТ в двухступенчатой схеме с использованием доочистки в биофильтрах на второй ступени недостаточно изучено.

5. Разработка принципиальной технологической схемы

На основе исходных данных (см. приложение В) и решений, принятых с учетом разделов 1-3 настоящего приложения, и, при необходимости, предварительных расчетов, следует осуществить выбор типа процесса биологической очистки, обеспечивающего требуемые показатели качества очистки, из рекомендованных в [10], либо иных нормативных значений, и разработать принципиальную технологическую схему КОС в целом, включая обработку осадка. Выбранное решение может потребовать изменить частные решения по отдельным узлам, принятые ранее. Итоговое решение по технологической схеме должно взаимоувязывать применение (или отказ от применения), в совокупности с основными решениями по биологической очистке, таких опциональных стадий, как усреднение, первичное осветление, ацидофикация, применение реагентов для осаждения фосфатов, доочистка, обработка возвратных потоков.

После выбора типа процесса биологической очистки следует предварительно определить конкретный процесс биологической очистки с удалением азота и

фосфора, как из числа описанных в приложении А, так и иных решений. Предварительный выбор процесса необходим до проведения основного технологического расчета, т.к. рекомендуемый алгоритм расчета учитывает особенности отдельных процессов.

Параллельно с выбором конкретного технологического процесса следует предварительно определить гидравлический и аэрационный режим биореактора (т.к. эти особенности оказывают влияние на некоторые коэффициенты технологического расчета), а именно, сделать выбор между:

- вытеснителем и смесителем, либо их комбинациями,
- «карусельным» или насосным способами организациями внутреннего рецикла нитрифицированной иловой смеси,
- разделением аэрируемых и перемешиваемых зон, либо их совмещением с организацией периодического чередования аэрации и перемешивания.

Сделанный выбор определит принципиальные решения по компоновке. Оценка вариантов гидравлического и аэрационного режима биореактора приведена в таблице Б3.

Таблица Б3 – Оценка вариантов принципиальных решений по выбору гидравлического и аэрационного режима биореактора

Компоновка	Преимущества	Недостатки	Применимость
Единый объем, оснащенный по всей площади как аэрацией, так и перемешиванием, с включением и выключением аэрации по времени и/или показаниям датчиков	Максимально гибкое регулирование процесса	Высокий иловый индекс (реактор полного перемешивания).	Применима только при химическом удалении фосфора. Удобна на сооружениях небольшой мощности
«Карусель» с выделенной зоной аэрации	Минимальные затраты на перемешивание не аэрируемых зон, возможность изменять соотношение аноксидной и аэрируемой зоны в процессе эксплуатации.	Плохо контролируемый заброс кислорода в зону денитрификации. Также повышенный иловый индекс	Может быть рекомендована как принцип перемешивания отдельной зоны для любых сооружений, в том числе аэробных зон с недостаточной интенсивностью аэрации, и как зона нитри-

	Обеспечивает перемешивание иловой смеси в условиях недостаточной интенсивности аэрации.		денитрификации при управлении концентрацией кислорода или при соотношении $\text{БПК}_5/\text{N}_{\text{общ}}$ более 4 и требовании к концентрациям аммонийного азота на сбросе не менее 1 мг/л
Выделенные зоны нитрификации и денитрификации, с внутренним рециклом	Конфигурация на основе вытеснителя (с учетом влияния рецикла) влияет на иловый индекс в сторону снижения, а также обеспечивает более высокую допустимую нагрузку на аэротенк (концентрация субстрата в реакторе существенно выше концентрации на выходе). Наиболее просто используется в технологиях с биоудалением фосфора	Негибкость в условиях изменения соотношения $\text{БПК}_5/\text{N}_{\text{общ}}$ в поступающем стоке и/или температуры	Может быть рекомендована для КОС, работающих в относительно стационарных условиях
Выделенные зоны нитрификации и денитрификации, с промежуточной зоной, которая может использоваться как для нитри-, так и для денитрификации, и с	Более высокая гибкость в изменяющихся условиях (как по сезонам, так и на неизвестную перспективу)	Усложнение конструктивных решений. Гибкость повышается, но в определенных пределах. Кроме того, изменение назначения зоны может	Может быть рекомендована для КОС, работающих в условиях существенной сезонной разницы нагрузки и температур, а также с

внутренним рециклом		использоваться как сезонное решение, но не в текущей эксплуатации	учетом возможных существенных изменений состава стока, либо его малой изученности
Выделенные зоны нитрификации и денитрификации, с промежуточной регулируемой зоной, «карусельной» зоной, которая может использоваться как для нитри-, так и для денитрификации. Внутренний рецикл не обязателен (с подтверждением расчетом)	Решение сочетает в себе достаточно высокую гибкость и преимущества частичного вытеснителя. Также возможен отказ от рецикла денитрификации	Сложнее сочетается с биоудалением фосфора (проблема изменяющейся точки отбора рецикла денитрифицированной иловой смеси в анаэробную зону)	Может быть рекомендована для КОС, начиная с крупных по мощности

Приложение В

(рекомендуемое)

Порядок и последовательность получения исходных данных для технологических расчетов

В1. Общие указания

В1.1. Получение исходных данных для технологических расчетов следует осуществлять в соответствии с указаниями СП 32.13330-2018 и положениями настоящего приложения, дополняющими их.

В1.2. Следует использовать различные алгоритмы получения исходных данных для ситуаций:

- наличие первичных данных производственного контроля параметров поступающих сточных вод, которые могут быть использованы;
- отсутствие данных производственного контроля или их недостаточная достоверность.

В2. Сущестующий поток сточных вод, для которого имеются данные производственного контроля

В2.1 Для принятия решения о возможности использования данных производственного контроля поступающих сточных вод следует осуществлять анализ и верификацию первичного массива данных в соответствии с указаниями СП 32.13330-2018 с целью подтверждения возможности использования их для выработки расчетных исходных данных либо отклонения. В случае принятия решения о невозможности использования исходных данных производственного контроля следует получать их согласно раздела 3 настоящего приложения.

В2.2 Следует получать и использовать для технологического расчета исходные данные согласно таблицы В1

Таблица В1 – Исходные данные для технологического расчета

Группа исходных данных	№№ пп	Наименование данных	Ед. изм	Обозначение	Выражение (способ получения)	Назначение в расчете
Расход (приток) сточных вод	1	Среднесуточный	м ³ /сутки	$Q_{d\,mid}$	Среднее за 3 года отношение суммарного годового притока на ОС к числу дней в данных	Для отнесения ОС к диапазону мощности, для расчета зоны

					годах	удаления азота из возвратного ила в процессах JNB, УСТ, МУСТ
2	Среднесуточный за расчётный период	м³/сутки	$Q_{d\ mid\ dim}$	Среднее за расчетный период		Для расчёта прироста ила
3	Суточный 85-го процентиля	м³/сутки	$Q_{d\ 85}$	Определяется в электронных таблицах по массиву данных ежесуточных измерений расхода за 3 года		Использование для расчета часовых притоков в данные сутки
4	Суточный расход 85-го процентиля обеспеченности за период года, принятый в качестве расчетного	м³/сутки	Общее обозначение - $Q_{d\ dim\ 85}$ Для целей расчета концентрации применяется величина $Q_{d\ dim\ 85}^C$ определяемая на ином массиве данных	Для расчета потребности в воздухе всех сооружений, начиная с крупных, на которых летняя нагрузка по БПК5 не превышает 90% от зимней следует получать отдельные данные по расходам 85-го процентиля как для холодного и теплого - см. п. 11 данной таблицы. Данные для теплого периода обозначаются индексом -S. Для расчета ОС для летних курортов рекомендуется получать весь набор данных для летнего сезона.		Вычисление расчетных значений концентраций загрязняющих веществ, расчёта среднего часового расхода в сутки с притоком 85-го процентиля, расчет потребности в кислороде, вычисление $Q_{h\ mid\ 85}$

	5	Максимальный суточный	м³/сутки	$Q_{d \max}$	Максимальный расход за три года (расход 99,7-го процентиля)	Для расчета максимального часового расхода
	6	Средний часовой расход в сутки с притоком 85-го процентиля	м³/ч	$Q_{h \text{ mid } d85}$	$\frac{Q_{d \ 85}}{24}$	Для расчета первичных отстойников
	7	Максимальный часовой расход в сутки с притоком 85-го процентиля	м³/ч	$Q_{h \max \ d85}$	$\frac{Q_{d \ dim \ 85}}{24} * K_h$	Для расчета значений концентраций загрязняющих веществ на основе данных по нагрузкам. Для расчета площади поверхности вторичных отстойников и внутренних рециклов
	8	Максимальный часовой расход в сутки с максимальным притоком	м³/ч	$Q_{h \max}$	$\frac{Q_{d \max}}{24} * K_h$	Для гидравлических расчетов всех сооружений, расчета вторичных отстойников и их, системы илоудаления (илоразделения на мембранах, при их использовании)

						, а также возвратного ил
Коэффици- енты неравно- мерности	9	Общий – K_{gen}			По фактическим данным измерения часовых и суточных притоков. При отсутствии или недостаточности данных - по СП 32.13330 и СП 31.13330	Для получения расчётных суточных и часовых значений расходов в отсутствии фактических данных
		Суточный – K_d				
		Часовой – K_h				
Суммарн- ая годовая нагрузка по загрязня- ющим вещества- м	10	По взвешенным веществам, БПК ₅ , ХПК, общему азоту, общему фосфору	т/сутки	B_{XXY}	Среднее из трех значений (за каждый из 3-х лет наблюдений) годовой нагрузки, определяемых как $B_{XXY} = \frac{365 \sum B_{XXi}}{n}$ где B_{XXi} – i-е значение произведения результата анализа концентрации ЗВ XX в пробе на величину притока сточной воды в день отбора данной пробы, n – число проб, отобранных по ЗВ XX в течение года	Применяется в расчетах общего количества образующегося осадка, а также удельных значений по затратам электроэнергии реагентов и др., используемых для расчетов технических экономических параметров КОС
Расчетны- е суточные нагрузки ¹⁾ по загрязня- ющим вещества- м (85-го проценти- ля)	11	по взвешенным веществам	кг/сутки	$B_{SS\ dim}$	Определяется в электронных таблицах по массиву данных величин B_{XXi} , полученных за три наиболее холодных (по температуре поступающих сточных вод) месяца, взятых за 3 последних года эксплуатации ²⁾ Для расчета потребности	Для расчета релевантных значений концентраций загрязняющих веществ
		по БПК ₅		$B_{BOD\ dim}$		
		по ХПК		$B_{COD\ dim}$		
		по общему азоту (N _{общ}) ¹⁾		$B_N\ dim$		
		по общему фосфору (P _{общ}) ¹⁾		$B_P\ dim$		

					аэротенков в кислороде и воздухе на ОС, начиная с крупных, следует получить и использовать в параллельном расчете аналогичный набор данных, усредненных по данным 3-х лет наблюдения, для одного месяца в каждом году, характеризующегося наибольшей температурой сточных вод. Этот набор данных обозначается как $B_{BOD \dim S}$	
Средне- довые концентр ации	12	Взвешенные вещества, БПК ₅ , ХПК, общий азот, общий фосфор	мг/дм ³ (г/м ³)	$C_{XX \mid y}$	Среднее из трех (за 3 года наблюдений) отчетных годовых (средневзвешенных ³⁾) значений	Применяется в расчетах общего количества образующегося осадка, а также удельных значений по затратам электроэнергии, реагентов и др.
Соотнош ение концентр аций	13	Соотношение БПК ₅ /N _{общ} ²⁾	-	$\frac{BOD}{N} \mid mid$	Средняя за 3 года величина отношения среднегодовых значений БПК ₅ и N _{общ}	Для выбора технологическ их решений
	14	Соотношение БПК ₅ /N _{общ} ²⁾ для расчета процесса денитрификаци и		$\frac{BOD}{N} \mid dim$	Величина 30-го процентиля для совокупности значений отношений БПК ₅ /N _{общ} , рассчитанных для каждого дня	Для расчета процесса денитрификаци и

					наблюдений за 3 года, взятых для значений, определенных в одной пробе. Для параллельного расчета для летних условий определяется величина $\frac{BOD}{N} \dim S$, для выборки данных, описанных в п. 11 данной таблицы	
	15	ХПК/БПК ₅	-	$\frac{COD}{BOD}$	Средняя за 3 года величина отношения среднегодовых значений ХПК и БПК ₅	Определение порядка расчетов потребления кислорода
Расчетная концентрация загрязняющих веществ ⁵⁾	16	Взвешенные вещества, БПК ₅ , ХПК, общий азот, общий фосфор	мг/л (г/м ³)	$C_{XX \dim}$	Определяется как $\frac{B_{XX \dim}}{Q_{d \dim 85}^c}$ где XX – соответствующее загрязняющее вещество Для расчета потребности аэротенков в кислороде и воздухе на ОС, начиная с крупных, рекомендуется определение двух наборов расчетных концентраций, как для холодного периода, так и для наиболее теплого (по температуре сточных вод) месяца. Расчетные концентрации для теплого сезона обозначаются	Применяется в расчетах

					индексом S	
Концентрации для расчета процесса денитрификации	17	Концентрация БПК ₅	мг/л (г/м ³)	$C_{BOD D}$	Определяется как $\frac{BOD}{N} dim * C_{N dim}$	Расчёт соотношения объемов нитри- и денитрификации. Для параллельного расчета для летних условий также применяются $C_{BOD D S}$ и $C_{SS D S}$
	18	Концентрация взвешенных веществ	мг/л (г/м ³)	$C_{SS D}$	Определяется как $\frac{B_{SS dim}}{B_{BOD dim}} * C_{BOD D}$	
Температура сточной воды	19	Минимальная среднемесячная	°C	$T_{I min dim}$	Среднее за 3 года наблюдений значение средней температуры за месяц, в месяцы с минимальным ее значением	Для расчета биореактора по обычному алгоритму
	20	Средняя за период с максимальным значением		$T_{I max dim}$	Минимальное за 3 года наблюдений среднее за 3 месяца каждого года, имеющие максимальные значения температуры	Для расчета биореактора для условий летних курортов.
	21	Максимальная среднемесячная		$T_{I max aer}$	Максимальная среднемесячная за 3 года наблюдений	Для расчета аэрационной системы

¹⁾ В отсутствие данных по нагрузке по общему азоту и общему фосфору, возможно использовать в качестве исходных данных нагрузки по азоту аммонийных солей и фосфору фосфатов с повышающими коэффициентами, принятыми по СП 32.13330-2018;

²⁾ для летних курортов применяется иной порядок – см. ниже в данной приложении;

³⁾ необходимо убедиться, что значения производственного контроля для средней за год концентрации ЗВ являются именно средневзвешенными по расходу (т.е. результатом деления суммы произведений концентраций на притоки на суммарный годовой приток), а не среднеарифметическими для массива значений концентраций. Если же отчетные данные средневзвешенными не являются, то их надо рассчитать самостоятельно как отношение годовой нагрузки по данному веществу $B_{XX Y}$ к годовому притоку сточных вод

В2.3 При использовании усреднителя расхода необходимо определять расчетный расход с учетом этого. Для расчета усреднителя следует использовать

данные о почасовом притоке на сооружения.

В2.4 Наряду с релевантными концентрациями загрязняющих веществ, используемых в расчете сооружений биологической очистки, определяют значения годовых нагрузок по ним, кг/год (т/год), применяемые для следующих целей:

- расчеты суммарных за год эксплуатационных показателей, таких как общее количество образующегося осадка, общее годовое потребление электроэнергии, а также удельных значений по затратам электроэнергии, реагентов и др.;
- расчеты удельных показателей энергопотребления и использования реагентов, если требуется подтверждение соответствия проекта технологическим показателям НДТ по этим параметрам.

В2.5 При необъяснимо высоком содержании взвешенных веществ в сточных водах (среднее значение - свыше 150% от концентрации БПК₅) следует проанализировать данные по зольности осадка первичных отстойников, а при их отсутствии - провести несколько определений. Исключением являются ситуации, когда в систему канализации принимаются промывные воды и осадки станций водоподготовки, что однозначно приводит к повышению концентрации взвешенных веществ и их зольности. При высоких (свыше 40%) значениях зольности эксплуатирующей организации следует произвести поиск возможных разрушенных участков, в которых происходит размывание грунта в сеть, а также возможных неразрешенных сбросов в канализацию отработанных глинистых растворов от щитовой подземной проходки.

В2.6 При слишком низком содержании БПК₅ и взвешенных веществ в сточной воде (менее 100 мг/л в неосветленной воде по каждому из параметров), одновременно с зафиксированным неорганизованным притоком в канализацию (количество непроданной воды), превышающем 25%, эксплуатирующей организации следует определить причину попадания значительных количеств грунтовой или иной природной воды в систему водоотведения.

В2.7 Если годовые данные показывают выраженные периодические изменения органической нагрузки и/или отношения органической нагрузки к нагрузке по азоту, то необходимо изучить причины этих нагрузок и принять решение о целесообразности или нецелесообразности использования данных за эти периоды в качестве расчетных.

В2.8 Величина ХПК не является обязательной в расчетах сооружений биологической очистки, хотя для ряда расчетов ХПК может быть использована в качестве альтернативы БПК₅, с соответствующими коэффициентами пересчета,

также возможен расчет биореактора и ряда других параметров через фракции ХПК. Поскольку стандартный анализ не показывает биоразлагаемой и небиоразлагаемой частей ХПК, расчет остаточной ХПК в очищенной воде не возможен, если не определялись фракции ХПК. Если расчет велся с использованием фракционированного ХПК, то ХПК очищенной воды может быть определено как сумма концентрации фракции растворенного инертного ХПК, остаточной величины растворенного биоокисляемого ХПК (6-8 мг/л) и ХПК выноса ила (удельная ХПК ила может быть принята равной 1,6 г/г беззольного вещества взвешенных веществ).

ХПК входит в число технологически нормируемых показателей. Данные по входящей ХПК также следует относить к исходным. Они могут быть применены для расчета соотношения ХПК/БПК₅, на основании которого можно судить о биоокисляемости стока, а также о влиянии на его образование промстоков с высоким ХПК.

При ХПК/БПК₅ более 2,7 для технологических расчетов рекомендуется использовать фракционированную ХПК – см. В4. Расчет по ХПК применим и при меньших значениях данного соотношения.

В2.9 При наличии в населенном пункте одного или нескольких крупных предприятий, на которых, наряду со сточными водами, образуются отходы, высококонцентрированные по органическим загрязнениям, либо биогенным веществам, следует получить информацию о реальной ситуации с переработкой (утилизацией) этих отходов, осуществляется ли, и как часто, их сброс в систему водоотведения. Следует учитывать, что такие сбросы могут носить выраженный сезонный характер и/или зависеть от работоспособности заводских сооружений (систем) по переработке (утилизации) этих отходов.

В качестве возможных вариантов решения проблемы чрезмерной нагрузки на КОС от сбросов промышленного предприятия согласно [16] допускается рассматривать не только требование о создании и надлежащей эксплуатации ЛОС предприятия, но и договорные отношения с абонентом, предусматривающие вне тарифную (но не штрафную) оплату за прием повышенных концентраций загрязняющих веществ, если они могут быть удалены на КОС при соблюдении нормативов сброса, либо заключение с абонентом договора о софинансировании реконструкции КОС.

При решении проблемы сбросов вышеуказанных предприятий следует учитывать фактические значения загрязненности сточных вод по БПК и азоту и при неблагоприятном для денитрификации соотношении БПК₅/общий азот не только не

препятствовать сбросу абонентами повышенных концентраций органических загрязнений, но и способствовать таковому, при условии достаточной равномерности и соблюдении заданных пределов. В противном случае обеспечение качества очистки по азоту нитратов, а также эффективное биологическое удаление фосфора не будут достигнуты.

Решение о включении или не включении повышенной нагрузки от абонента (абонентов) в расчетную для КОС принимается на основе вышеизложенного анализа.

В2.10 Следует учитывать, что существенным фактором нагрузки на КОС может быть сброс в систему водоотведения осадка от сооружений водоподготовки. Этот фактор, а также планы по реализации такого сброса, должны быть учтены при подготовке исходных данных для проектирования. Важно отметить, что такой сброс приводит к увеличению необходимого для нитрификации объема аэротенков, т.к. увеличивает прирост активного ила, причем, как правило почти 100% сброшенных веществ водопроводного осадка являются бионеразлагаемыми.

В2.11 При подготовке реконструкции существующих сооружений, работающих с первичным осветлением, с переводом на технологию с удалением азота и фосфора не следует ориентироваться на существующий уровень загрязненности осветленной воды на входе в аэротенки (это параметр, которым можно и нужно управлять при изменении технологического процесса), а также на прирост избыточного ила и иловый индекс (эти параметры существенно изменятся в результате изменения технологии).

В2.12 При определении исходных данных для проектирования очистных сооружений следует учитывать расходы и массовые нагрузки по загрязняющим веществам, содержащимся в возвратных потоках от сооружений обработки осадков сточных вод, от промывных вод сооружений глубокой очистки, дренажей и т. п.

Рекомендуется в ходе предпроектного обследования определить фактические нагрузки по загрязняющим веществам с возвратными потоками, поступающими «в голову» ОС и/или в аэротенки (если такие данные у службы эксплуатации отсутствуют).

При отсутствии более точных данных допускается принимать возвратные потоки по табл. В2.

Таблица В2 – Дополнительная нагрузка по загрязняющим веществам с возвратными потоками от сооружений обработки осадка

Процесс, в результате которого образуются возвратные потоки	Дополнительная нагрузка по загрязняющим веществам, % от приходящей со сточной
---	---

	водой			
	Взвешенные вещества	БПК ₅	Азот общий	Фосфор общий
При химическом (реагентном) удалении фосфора из сточных вод				
Обезвоживание сырых осадков и ила	3	5	2	2
Обезвоживание сброженных осадков	4	6	18/23	6/8
При биологическом удалении фосфора из сточных вод				
Обезвоживание сырых осадков и ила	3	5	2	3
Обезвоживание сброженных осадков	4	6	18/23	15/20
Обезвоживание сброженного сырого осадка и несброженного ила*	3,5	5,5	7/9	4/6

*При соблюдении рекомендаций по недопущению условий выделения фосфора из активного ила

** перед чертой – при использовании мезофильного сбраживания, после черты – при использовании термофильного сбраживания, без промывки и уплотнения перед обезвоживанием (исходные данные по влиянию термофильного сбраживания на рецикл биологически удержанного фосфора гораздо менее представительные). Также при применении методов интенсификации сбраживания следует использовать повышающий коэффициент, соответствующий повышению распада органического вещества осадка в результате использованной интенсификации.

Следует учитывать, что при использовании процесса ацидофикации формируется дополнительная нагрузка по БПК₅, не учитываемая при расчете сооружений осветления. Данная нагрузка должна учитываться в соотношении БПК₅/Общий азот при расчетах денитрификации. Также эта нагрузка должна быть учтена при расчете прироста ила в результате удаления фосфора биологическим способом и при расчете расхода воздуха.

При использовании биолого-химического удаления фосфора возможно принимать среднее значение между соответствующими графами для биологического и химического удаления.

Прием вод от промывки фильтров доочистки различных конструкций допускается не учитывать как возвратный поток, если они направляются в аэротенки, что настоятельно рекомендуется.

В случае, если промывная вода от сооружений доочистки по факту направлена в голову сооружений, рекомендуется при реконструкции изменить это.

Объемный расход возвратных потоков от процессов обработки осадка может быть принят равным 2%. Объемный расход от сооружений доочистки должен учитываться в расчетах сооружений биологической очистки и приниматься по данным расчета сооружений доочистки.

В2.13 Обработку исходных данных, связанных с нагрузками и концентрациями загрязняющих веществ следует проводить по алгоритму, приведенному в табл. В3.

Таблица В3 – Последовательность получения исходных данных по концентрациям и нагрузкам по загрязняющим веществам при обработке первичных данных производственного контроля

№№ шага обработки данных	Определяемые параметры	Обозначение определяемых величин	Строка табл. В1
1	Среднегодовые концентрации	$C_{XX \text{ mid } Y}$	12
2	Соотношение БПК ₅ /Общий азот	$\frac{BOD}{N} \text{ mid}$	13
3	Массивы значений нагрузок по ЗВ, соответствующим конкретным дням отбора проб	$B_{XX i}$	-
4	Суммарные годовые нагрузки по ЗВ	$B_{XX Y}$	10
5	Расчетные суточные нагрузки по ЗВ (85-го, 87-го или 95-го перцентилей, в зависимости от количества обрабатываемых данных)	$B_{XX \text{ dim}}$	11
6	Нагрузки от проектируемых возвратных потоков и дополнительных потоков в бассейне канализования	$B_{XX \text{ rec prg}}$	-
7	Нагрузки на КОС с учетом возвратных потоков	$B_{XX \text{ dim prg}}$	-
8	Расчетные концентрации ЗВ	$C_{XX \text{ dim}}$	16
9	Соотношение БПК ₅ /Общий азот для расчета процесса денитрификации	$\frac{BOD}{N} D$	14
10	Концентрация БПК ₅ для расчета денитрификации	$C_{BOD D}$	17

11	Концентрация взвешенных веществ для расчета денитрификации	C_{SSD}	18
----	--	-----------	----

В3. Поток сточных вод, для которого не имеется достаточных данных по загрязненности

В3.1 При отсутствии на момент разработки ОТР / проектной документации потока сточных вод, либо представительных данных по нему (или нецелесообразности их получения для небольших КОС) для получения корректных релевантных значений нагрузок по загрязняющим веществам расчетную нагрузку следует определять на основе численности жителей в канализуемом населенном пункте (пунктах) согласно СП 32.13330-2018.

Расчет показателей входной загрязненности по численности жителей следует производить на основании данных по численности населения в канализованных районах населенного пункта и расходам сточных вод от промышленных абонентов. При этом важно учитывать, хотя бы по оценочным данным, численность не только зарегистрированного, но и временно проживающего населения.

В3.2 При наличии представительных, но кратких по периоду получения данных контроля загрязненности (например, при наличии заслуживающих доверия данных за период менее одного года, либо данных собственных детальных обследований КОС), следует сопоставлять эти данные с расчетными и принимать решение по результатам сопоставления.

На объектах, на которых отсутствует штатное измерение расхода, рекомендуется проведение хотя бы кратковременных измерений расхода сточных вод, подаваемых (поступающих) на очистные сооружения с использованием накладных расходомеров, других измерительных устройств, либо по работе насосов, с обязательным контролем давления в напорном трубопроводе.

В3.3 Процедуры по определению массовых и концентрационных исходных данных, необходимых согласно таблице В1, следует проводить в порядке, описанном в таблице В4.

Таблица В4 – Последовательность получения исходных данных по концентрациям и нагрузкам по загрязняющим веществам при отсутствии верифицированных первичных данных производственного контроля

№№ шага	Определяемые параметры	Обозначение определяемых	Источник данных
---------	------------------------	--------------------------	-----------------

обработки данных		величин	
1	Расчетные суточные нагрузки по ЗВ (15% обеспеченности)	$B_{XX\ dim}$	Расчет согласно СП 32.13330-2018
2	Нагрузки от проектируемых возвратных потоков	$B_{XX\ rec\ prg}$	-
3	Нагрузки на ОС с учетом возвратных потоков	$B_{XX\ dim\ prg}$	
4	Расчетные концентрации ЗВ	$C_{XX\ dim}$	Деление $B_{XX\ I}$ на величину, составляющую 0,8 от расчетного максимального суточного расхода
5	Соотношение БПК ₅ /Общий азот	$\frac{BOD}{N} mid$	Отношение соответствующих величин, полученных на шаге 4
6	Соотношение БПК ₅ /Общий азот для расчета процесса денитрификации	$\frac{BOD}{N} D$	Допускается принять как 0,85 от $\frac{BOD}{N} mid$
7	Суммарные годовые нагрузки по ЗВ	$B_{XX\ Y}$	Допускается принять как $365 * 0,7 B_{XX\ dim}$
10	Концентрация БПК ₅ для расчета денитрификации	$C_{BOD\ D}$	По строке 17 табл. В1
11	Концентрация взвешенных веществ для расчета денитрификации	$C_{SS\ D}$	По строке 18 табл. В1

В4. Исходные данные для расчета сооружений на основании фракций ХПК

В4.1. Общие понятия

В поступающей воде выделяют 4 основных фракции ХПК:

- $C_{COD\ Si}$ - растворенное инертное ХПК;
- $C_{COD\ Ss}$ – растворенное биоокисляемое ХПК;
- $C_{COD\ Xs}$ - биоокисляемое ХПК взвешенных веществ;

- C_{CODXi} - инертное ХПК взвешенных веществ.

Так же в поступающей воде присутствуют инертные неорганические взвешенные (зольные) вещества, не влияющие на величину ХПК - SS_{inert} , определяемые по формуле

$$SS_{inert} = C_{ss} f_b \quad (B-1)$$

где

C_{ss} - концентрация взвешенных веществ,

f_b - зольность взвешенных веществ (при отсутствии данных может быть принята равной 0,3 для исходной сточной воды, 0,2 для осветленных сточных вод).

При этом концентрация органических взвешенных веществ в поступающей воде связана с их ХПК выражением:

$$C_{ss\ org} = (C_{CODXs} + C_{CODXi}) / 1,6 \quad (B-2)$$

где 1,6 – удельная ХПК органических взвешенных веществ (беззольного вещества ила).

Концентрация взвешенных веществ соответствует:

$$C_{ss} = \frac{C_{ss\ org}}{(1-f_b)} \quad (B-3)$$

Расчет по фракционированному ХПК основан на балансе ХПК в поступающей воде и в процессе биологической очистки. Баланс фракций ХПК представлен на рис В1.

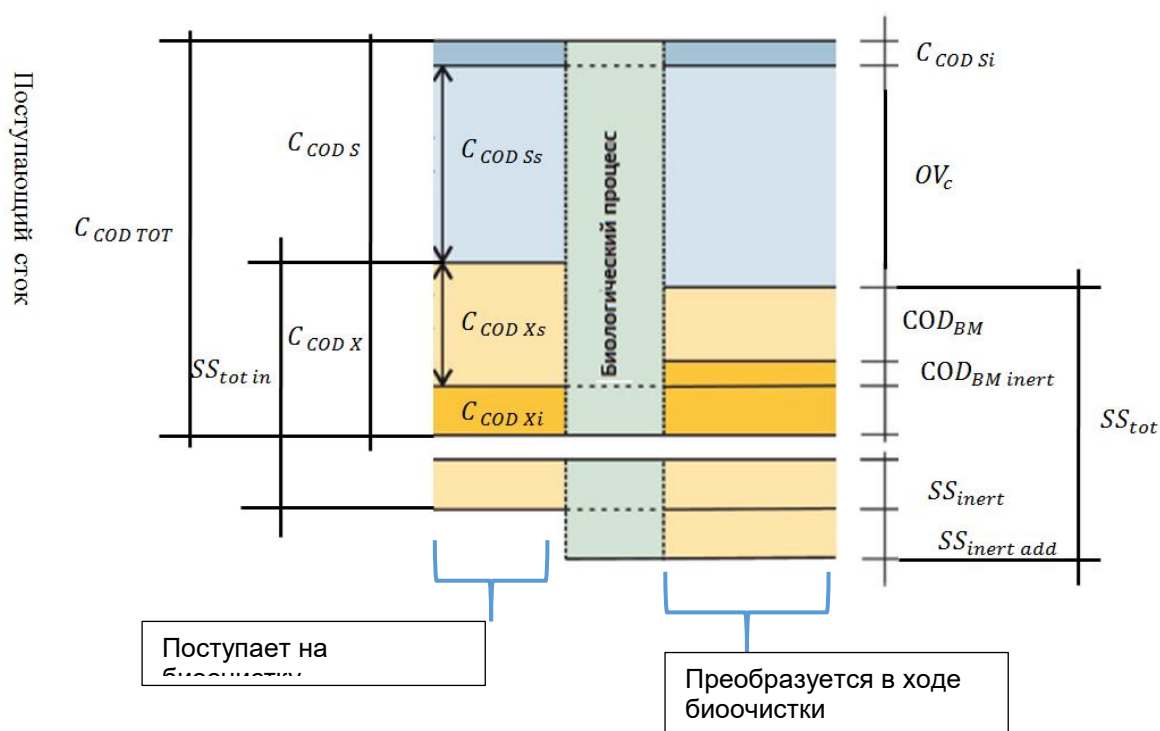


Рис .В1 Схема баланса поступления и потребления фракций ХПК в сточных водах.

В процессе биологической очистки при высоком возрасте ила, соответствующем развитым процессам нитрификации, концентрацией биоокисляемого ХПК в очищенном стоке $C_{COD\,ss\,ex}$ можно пренебречь (биоокисляемые органические вещества окисляются практически полностью). Тогда сумма фракций ХПК $C_{COD\,ss\,in}$ и $C_{COD\,xs\,in}$ равна сумме потребности в кислороде и прироста ила по ХПК.

ХПК прироста ила подразделяют на ХПК биомассы, образовавшейся в результате окисления субстрата (включая процесс самоокисления) COD_{bm} и ХПК инертной фракции ила возникшей в результате самоокисления биомассы $COD_{bm\,inert}$.

В состав инертной части ила кроме инертной фракции взвешенных веществ SS_{inert} при удалении фосфора также входят неорганические взвешенные вещества, возникшие дополнительно при биологическом удалении фосфора и внесении регентов.

В4.2 Определение фракций ХПК

Для расчёта по фракциям используется общая концентрация ХПК $C_{COD\,dim}$ определенная согласно В2 и В3.

Определение % фракций для расчёта ХПК следует производить в соответствии с ГОСТ Р XXXXX – 2026 (1.9.393-1.065.25).

Для расчёта процессов очистки сточных вод используются значения фракций ХПК, описанные в В4.1. Их определение производится путем умножения $C_{COD\,dim}$ на долю соответствующей фракции $f_{COD\,n}$ по формулам типа

$$C_{COD\,dim\,n} = C_{COD\,dim} * \left(\frac{f_{COD\,n}}{100}\right) \quad (B4)$$

Где $f_{COD\,n}$ процентная доля соответствующей фракции ХПК в поступающей воде.

Для расчёта процессов денитрификации следует использовать величины, относящиеся к минимальной допустимой обеспеченности процессов денитрификации органическим субстратом, рассчитанные на основе $C_{COD\,D}$. Величина $C_{COD\,dim\,D}$ рассчитывается как

$$C_{COD\,D} = C_{COD\,dim} * \frac{C_{BOD\,D}}{C_{BOD\,dim}} \quad (B5)$$

Фракции ХПК для расчёта денитрификации и биоудаления фосфора рассчитываются по формулам, аналогичным (B1):

$$C_{COD\,D\,n} = C_{COD\,D} * \left(\frac{f_{COD\,n}}{100}\right) \quad (B6)$$

Кроме основных 4-х фракций, также выделяют легкоразлагаемую фракцию

$C_{COD\ D\ Sa}$, имеющую большое значение для денитрификации и повышенного биологического удаления фосфора. Аналитическое определение данной фракции вызывает значительные сложности, поэтому эта фракция определяется следующим образом:

$$C_{COD\ D\ Sa} = (C_{COD\ D\ Ss} + C_{COD\ D\ Xs}) * f_{Sa} \text{ (B-7)}$$

где f_{Sa} – доля легкоразлагаемой фракции

При составе, характерном для городских сточных вод величину f_{Sa} можно принять в диапазоне от 0,15 до 0,25. Меньшая величина соответствует сточным водам с наименьшим временем пребывания в системе транспортировки, а также в усреднительных емкостях, наибольшее значение – для ситуаций с высокими значениями.

Так же концентрацию легко окисляемых веществ $C_{COD\ Sa}$ можно ориентировочно определить как разницу между концентрацией ХПК пробы фильтрованной через фильтр 0,1 мкм и фильтр 0,45 мкм.

Приложение Г

(обязательное)

Технологический расчет конструктивных параметров песколовок

Г1. Расчет конструктивных параметров горизонтальных и аэрируемых песколовок заключается в определении их поперечного сечения и длины. Расчет производится с учетом требований СП 32.13330-2018

Площадь живого сечения одного отделения песколовок, m^2 , составит

$$F_{hd} = \frac{Q_{h\max}}{v n} \quad (\Gamma-1)$$

где v – продольная скорость движения воды, принимаемая в зависимости от расчетного диаметра улавливаемых частиц (табл. Г1);

n – количество отделений песколовок.

Длину песколовок, m , определяют по формуле

$$L = \frac{K_{tr} h_{hd\max} v}{u_0} \quad (\Gamma-2)$$

где

$h_{hd\max}$ – максимальная (при максимальном притоке) гидравлическая глубина проточной части песколовки, m ;

u_0 – гидравлическая крупность песка расчетного диаметра, m/c ;

K_{tr} – коэффициент, учитывающий влияние турбулентности потока.

Величина K_{tr} определяется по формуле

$$K_{tr} = \frac{u_0}{(u_0^2 - \omega^2)^{0,5}} \quad (\Gamma-3)$$

где ω – вертикальная турбулентная составляющая продольной скорости, принимаемая равной $0,05 v$.

Таблица Г1 – Расчетные параметры песколовок

Диаметр частиц песка, мм	Гидравлическая крупность u_0 , мм	Продольная скорость движения воды в песколовках, м/с	
		Горизонтальные	Аэрируемые
0,1	5,9	0,1-0,15	0,02-0,05
0,15	13,2	0,15-0,2	0,05-0,1
0,20	18,7		

Г2. Расчет вертикальных и тангенциальных песколовок производят из условия

задержания частиц с расчетной гидравлической крупностью $v < u_0$. Площадь зеркала песколовки в плане, m^2 , составит:

$$F_s = \frac{Q_{h\max}}{u_0 n} \quad (\Gamma-4)$$

Высоту цилиндрической части песколовки, м, определяют по формуле

$$h_c = t v \quad (\Gamma-5)$$

где $v = u_0$,

t – продолжительность пребывания воды в песколовке, принимаемая равной 120-180 с.

Приложение Д (обязательное)

Расчет сооружений первичного осветления

Д1. Определение эффективности осветления, обеспечивающего последующее эффективное протекание денитрификации

Д1.1 При расчете биологической очистки по БПК₅

Д1.1.1 Поскольку концентрация БПК₅ после осветления непосредственно влияет на соотношение БПК₅/Общий азот (отношение BOD/N, далее для удобства в формулах обозначается символом BNR, для осветленной сточной воды - BNR_{set}), определяющее соотношение объемов денитрификатора и аэротенка, расчёт эффективности отстаивания (осветления) следует производить, используя значение концентрации загрязняющих веществ C_{SSD} , предназначенное для расчета процесса денитрификации, полученное согласно пункта 18 таблицы XX. В этом случае данная величина будет обозначаться как $BNR_{set D}$.

В приложении XX в качестве предельного (для обеспечения удаления азота) значения величины BNR для сточной воды, поступающей в аэротенки, установлена величина 0,15, соответствующая соотношению объема зоны денитрификации к общему объему зон нитри- и денитрификации $\frac{V_D}{V_{ND}} = 0,5$, задаваемом как максимальное возможное значение для расчета.

Д1.1.2 На первом шаге следует, задаваясь значениями эффективности осветления по взвешенным веществам $E_{set D i}$ от 20 до 50%, с шагом 5% рассчитать соответствующие им значения $C_{SSD set i}$ по формуле

$$C_{SSD set i} = \frac{C_{SSD} (100 - E_{set D i})}{100} \quad (Д-1)$$

Затем определить величины $C_{BOD D set i}$ и $C_{N set i}$, соответствующие каждому i -му значению эффективности осветления:

$$C_{BOD D set i} = C_{BOD D} - k_{BOD} (C_{SSD} - C_{SSD set i}) \quad (Д-2)$$

$$C_{N D set i} = C_{N dim} - k_N (C_{SSD} - C_{SSD set i}) \quad (Д-3)$$

Значения коэффициентов k_{BOD} , k_N , k_{phos} (будет применен ниже), а также рекомендации по их уточнению приведены в приложении С.

Затем следует посчитать величины $BNR_{set D i}$ для осветленной воды для каждого значения эффективности осветления как:

$$BNR_{set D i} = \frac{C_{BOD D set i}}{C_{N set i}} \quad (Д-4)$$

Таким образом, получаются численные значения зависимости $BNR_{set D} = f(E_{set D})$.

Д1.1.3 Далее для каждого значения $C_{BOD D set i}$, полученного в данном расчете для каждой величины эффективности отстаивания $E_{set D i}$, вычисляется соотношение концентраций БПК₅ и общего азота $BNR_{set D min i}$, минимально необходимое для полной (требуемой) денитрификации при соотношении объема зоны денитрификации к общему объему зон нитри- и денитрификации $\frac{V_D}{V_{ND}} = 0,5$, задаваемом как максимальное возможное значение для расчета:

$$BNR_{set D min i} = \frac{1}{NBR_{set D max i}} \quad (Д-5)$$

где $NBR_{set D max i}$ - значения максимально возможных на входе в аэротенк соотношений общего азота к БПК₅, соответствующих значениям $E_{set D i}$

Величины $NBR_{set D max i}$ вычисляются по формуле

$$NBR_{set D max i} = \frac{0,5 \cdot q_o}{3,87} + \frac{C_{NO3 EX} + C_{NH4 EX} + 1}{C_{BOD D set i}} + 0,045 \quad (Д-6)$$

где:

q_o - удельный расход кислорода воздуха, мг на 1 мг удаленной БПК₅, принимаемый по таблице 5.10 для возраста ила 15 суток и расчетной температуры, с учетом интерполяции при необходимости,

$C_{NO3 EX}$ - расчетная концентрация азота нитратов в очищенной воде

$C_{NH4 EX}$ - расчетная концентрация аммонийного азота в очищенной воде.

$C_{BOD D set i}$ - текущее значение из полученного ряда концентрации БПК₅ в воде после первичных отстойников при заданной эффективности отстаивания $E_{set D i}$.

Таким образом, получаются численные значения зависимости $BNR_{set D min} = f(E_{set D})$.

Д1.1.4 Оптимальная эффективность отстаивания $E_{set D}$, %, обеспечивающую прохождение денитрификации при максимальной эффективности осветления, и, соответственно, при минимальном значении прироста ила далее может быть определена графическим методом, как точка пересечения графиков зависимости соотношений БПК₅ и азота после отстаивания от эффективности осветления $BNR_{set D} = f(E_{set D})$ и требуемого соотношения БПК₅ и азота для денитрификации после отстаивания $BNR_{set D min} = f(E_{set D})$.

Рекомендуется округлять полученную величину с точностью до 5%, по правилам округления величин. Далее по формуле (Д-1) с подстановкой в нее

полученной величины $E_{set D}$ рассчитывается $C_{SS D set}$ - концентрация взвешенных веществ в осветленной сточной воде, соответствующая обеспечению денитрификации в аэротенке органическим веществом

$$C_{SS D set} = \frac{C_{SS D} (100 - E_{set D})}{100} \quad (Д-7)$$

Пример графического определения оптимальной эффективности отстаивания представлен на рисунке Д2.

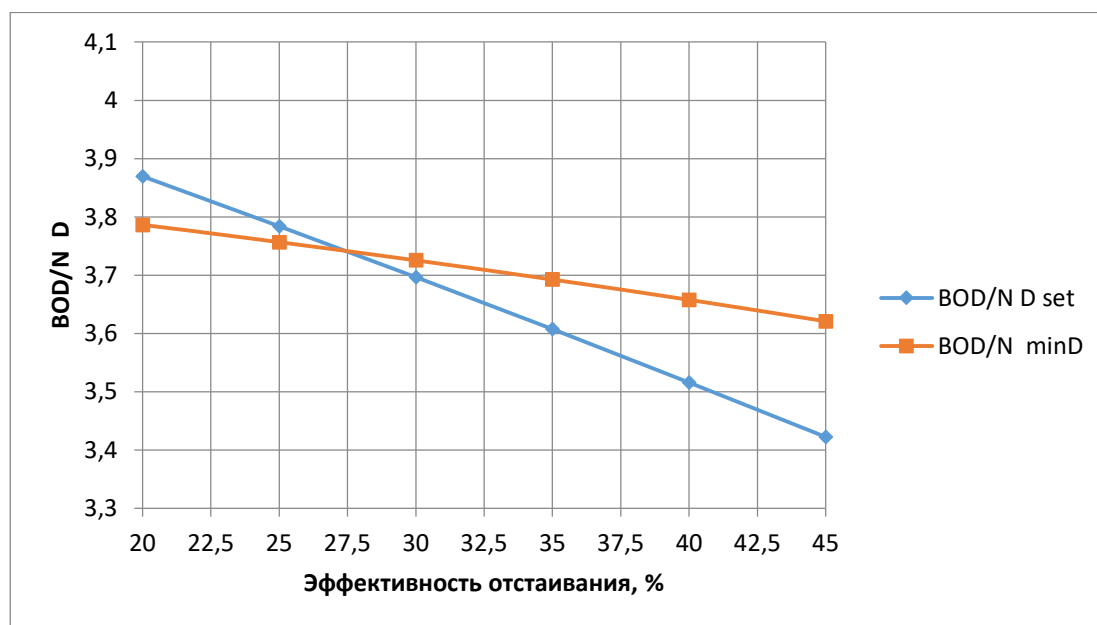


Рис. Д2 – Графическое определение оптимальной эффективности отстаивания (на рисунке показан пример, не является рекомендуемым значением).

В данном примере эффективность отстаивания для дальнейших расчетов рекомендуется принимать 30%.

Д1.1.5 При реконструкции КОС с имеющимися первичными отстойниками при полученной расчетной эффективности отстаивания ниже 20% следует рассмотреть возможность использования их объемов как части биореактора. Если эта опция не оптимальна с технологической или строительной точек зрения, рекомендуется эксплуатировать использовать существующие первичные отстойники с высокими уровнями стояния осадка, обеспечивающими невысокую эффективность отстаивания и протекание процесса ацидофикации. При этом необходимо учитывать сезонный фактор значимости нагрузки по взвешенным веществам со сточной водой: в холодный период, когда аэробный возраст ила (см. приложение К) будет приближаться к расчетным значениям, даже 20%-я эффективность осветления может быть значимой, тогда как в теплый сезон процесс нитрификации не пострадает даже при полном отказе от осветления. Для вновь создаваемых КОС нецелесообразно применение

первичных отстойников по расчетной эффективности отстаивания ниже 25%.

Д1.2 При расчете биологической очистки по ХПК

Расчёт требуемой эффективности первичного отстаивания в данном случае предполагает что соотношение объемов денитрификатора и общего объема нитри-денитрификации принимается максимальным, а эффективность первичного отстаивания выбирается исходя из требуемой концентрации биоокисляемого органики при этом соотношении. Общее биоокисляемое ХПК, требуемое для денитрификации, C_{CODDr} является суммой растворенного биоокисляемого ХПК, рассчитанного для режима денитрификации и взвешенного биоокисляемого ХПК:

$$C_{CODDr} = C_{CODDss} + C_{CODDxsr} \quad (Д-8)$$

Величина C_{CODDr} рассчитывается исходя из потребности в кислороде, покрываемой при денитрификации OV_{cd} по формуле

$$C_{CODDr} = \frac{OV_{cd}}{1 - Y \left(\frac{1}{1 + b t_{it} F_t} + 0,2 \frac{b t_{it} F_t}{1 + b t_{it} F_t} \right)} \quad (Д-9)$$

Y

Величина OV_{cd} рассчитывается как

$$OV_{cd} = \frac{OV_d - 0,75 OV_{SA} \left(1 - \left(\frac{V_d}{V_{at}} \right)^{0,68} \right)}{0,75 \left(\frac{V_d}{V_{at}} \right)^{0,68}} \quad (Д-10)$$

Учитывая, что соотношение $\left(\frac{V_d}{V_{at}} \right)$ при данном расчёте принимается максимальным равным 0,5 формула преобразовывается как

$$OV_{cd} = \frac{OV_d - 0,282 OV_{SA}}{0,468} \quad (Д-11)$$

OV_d – кислородный эквивалент азота при использовании нитратов, рассчитываемый по приложению К.

Величина OV_{SA} – потребность в кислороде для легко окисляемых веществ рассчитывается как

$$OV_{SA} = C_{CODDsa} (1 - Y) \quad (Д-12)$$

Далее полученный результат C_{CODDr} сравнивается с имеющимся значением биоокисляемого ХПК для денитрификации и определяется требуемое значение биоокисляемого ХПК взвешенных веществ.

Примечание: *принято допущение, что величина растворенного ХПК при отстаивании не меняется и регулировка ХПК будет происходить за счёт уменьшения взвешенного ХПК*

$$C_{CODDxsr} = C_{CODDr} - C_{CODDss} \quad (Д-13)$$

Требуемая эффективность отстаивания определяется как

$$E_{set\ r} = \frac{C_{COD\ D\ Xs} - C_{COD\ D\ Xs\ r}}{C_{COD\ D\ Xs}} * 100\% \quad (Д-14)$$

Если полученная величина $E_{set\ r}$ отрицательна, то требуется либо добавка дополнительного субстрата рассчитываемого как $C_{COD\ D\ dob} - C_{COD\ D\ Xs\ r} - C_{COD\ D\ Xs}$ либо проведение процесса ацидофикации.

Если полученная величина эффективности меньше 20%, то технологический процесс очистки сточных вод следует проектировать либо без первичного отстаивания, либо с применением ацидофикации.

Если полученная величина меньше предварительно принятой 30%, но больше 20% то величину эффективности первичного отстаивания следует принимать 25%.

Если полученная величина эффективности больше 30% эффективность первичных отстойников следует принимать в соответствии с расчётом, округляя цифру до 5%.

Формулы (Д-8) – (Д-14) являются рекомендуемыми.

Д2. Расчет объемов первичных отстойников

Д2.1 Для полученного в Д1 значение эффективности по отношению к $C_{ss\ D}$ проводится расчет первичных отстойников, если принято решение об их включении в технологическую схему. При этом не рекомендуется использовать значения эффективности отстаивания, полученные при расчете, превышающие 50% (т.е. в этом случае надо принимать 50% как расчетное значение).

Вначале следует определить расчетное значение гидравлической крупности при температуре 20 °C u_0^{lab} , мм/с, по формуле

$$u_0^{lab} = \frac{1000 \cdot H_{set} \cdot K_{set}}{t_{set} \cdot \left(\frac{K_{set} \cdot H_{set}}{h_1} \right)^{n_2}} \quad (Д-8)$$

где H_{set} – глубина проточной части отстойника, м. Рекомендуется принимать равной гидравлической глубине отстойника, уменьшенной на 0,4 м.

K_{set} – коэффициент использования проточной части отстойника;

t_{set} – продолжительность отстаивания в цилиндре для получения необходимой эффективности осветления,

$h_1 = 0,5$ м (высота цилиндра 500 мм);

n_2 – показатель степени, зависящий от агломерации взвеси в процессе осаждения, определяемый по графику на рисунке Д2.

Время отстаивания t_{set} в лабораторном цилиндре, необходимое для получения заданного эффекта осветления, рекомендуется определять для конкретной сточной

воды на основании седиментационных тестов. При отсутствии такой возможности, а также для объектов мощностью не выше средних, можно использовать данные, приведенные в таблице Д1.

Таблица 4.1 – Данные по продолжительности отстаивания в цилиндре 500 мм (на основе данных [4])

Эффективность осветления, %	Продолжительность отстаивания t_{set} , с, в слое 500 мм при концентрации взвешенных веществ, мг/л						
	100	150	200	250	300	400	500
20	600	450	300	230			
25	750	585	420	330			
30	900	720	540	430	320	290	260
35	1110	853	595	490	385	355	325
40	1320	985	650	550	450	420	390
45	1610	1193	775	660	545	483	420
50	1900	1400	900	770	640	545	450
55	2850	1950	1050	928	805	685	565

Примечание: нужное значение продолжительности отстаивания для конкретной концентрации взвешенных веществ следует получать с помощью интерполяции.

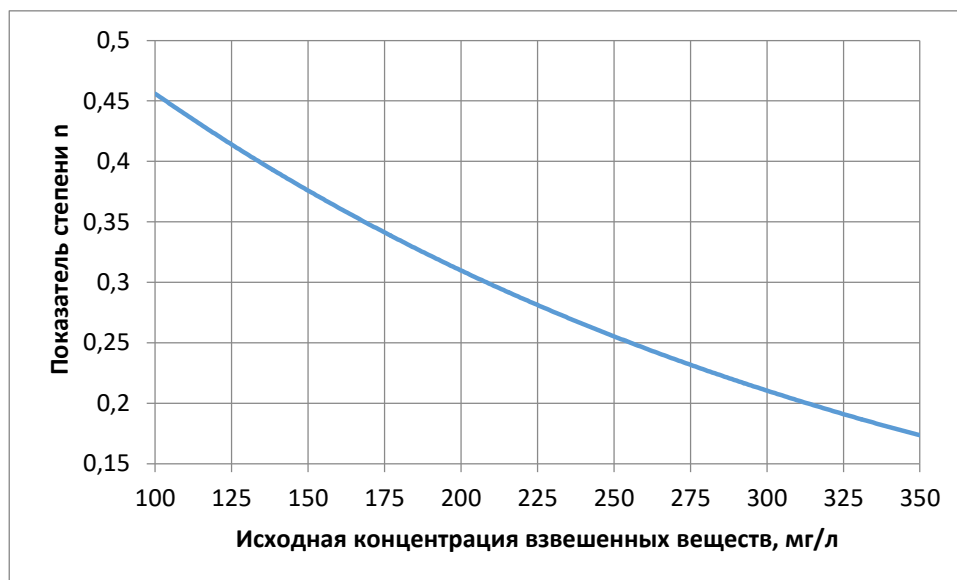


Рисунок Д2 – Зависимость показателя степени от исходной концентрации взвешенных веществ в городских сточных водах

При значениях эффективности осветления менее 50% также рекомендуется принимать данные рисунка Д2. Значение эффективности осветления свыше 50%, как уже отмечалось, не рекомендуется.

Д2.2 Далее следует учесть поправку на расчетную температуру сточных вод, определив расчетное значение гидравлической крупности при минимальной температуре u_0^t по формуле

$$u_0^t = u_0^{lab} \frac{\mu_{pr}}{\mu_{lab}} \quad (Д-9)$$

где

μ_{pr} – вязкость воды при минимальной среднемесячной температуре сточных вод;

μ_{lab} – вязкость воды при температуре 20°C.

Коэффициент $\frac{\mu_{pr}}{\mu_{lab}} = k_\mu$ можно принимать по таблице Д2.

Таблица Д2 – Значение коэффициента $\frac{\mu_{lab}}{\mu_{pr}}$ (по [20]).

Расчётная температура	10	15	20	25	30
k_μ	0,77	0,88	1	1,11	1,25

Д2.3 Производительность одного отстойника q_{set} , м³/ч, рекомендуется определять по формулам [1]

- для радиального или вертикального отстойника:

$$q_{set} = 2,8 K_{set} (D_{set}^2 - d_{en}^2) (u_0^t - v_{tb}) \quad (Д-10)$$

- для горизонтального отстойника:

$$q_{set} = 3,6 K_{set} L_{set} B_{set} (u_0^t - v_{tb}) \quad (Д-11)$$

- для отстойника с нисходяще-восходящим потоком

$$q_{set} = 1,41 K_{set} D_{set} u_0^t \quad (Д-12)$$

где

K_{set} – коэффициент использования проточной части отстойника, принимаемый для горизонтального отстойника равным 0,5, для радиального – 0,45, для вертикального – 0,35 и для отстойника с нисходяще-восходящим потоком – 0,65;

D_{set} – диаметр отстойника, м;

d_{en} – диаметр впускного устройства, м;

B_{set} – ширина отстойника,

L_{set} – длина отстойника,

v_{tb} – турбулентная составляющая.

Значение турбулентной составляющей рекомендуется принимать равным 0,025

мм/с, что соответствует скорости рабочего потока v_w 7,5 мм/с.

Д2.4 Требуемое количество отстойников рассчитывается по формуле

$$n = \frac{Q_{h mid d15}}{q_{set}} \quad (Д-13)$$

В качестве расчетного расхода следует принимать среднечасовой расход в сутки с расходом 85-го процентиля. Использование именно среднечасового расхода объясняется необходимостью поддерживать соотношение БПК/азот на необходимом уровне, добиваясь эффективности осветления по БПК не ниже максимально допустимой.

Количество отстойников рекомендуется принимать не менее 3-х, если это технически возможно. При получающемся по расчету меньшем количестве отстойников рекомендуется изменить их геометрические параметры и провести расчет по формулам Д-10 – Д-13 еще раз.

Д2.5 Завершив расчет первичных отстойников, необходимо определить три группы данных для последующего расчета биологической очистки:

- концентрацию БПК₅ для расчета процесса денитрификации (величину $C_{BOD D set}$);

- расчетные (85-го процентиля) концентрации загрязняющих веществ $C_{XX set}$.

Значение $C_{BOD D set}$ следует рассчитать по формуле (Д-2), подставив вместо $C_{ss D set i}$ определенное значение $C_{ss D set}$. Аналогично значение $C_{N D set}$ определяется по формуле (Д-3).

Если определение $E_{set D}$ производилось не графическим путем, а в таблицах Excel, то величины $C_{BOD D set}$ и $C_{N D set}$ в них уже должны присутствовать.

Аналогично для общего фосфора

$$C_{P D set} = C_{P dim} - k_{phos}(C_{ss D} - C_{ss D set}) \quad (Д-14)$$

Далее во всех расчетах, в которых используются концентрации общего азота и общего фосфора в осветленной воде, следует применять полученные на этой стадии значения $C_{N D set}$ и $C_{P D set}$. Это объясняется тем, что эти значения получены, исходя из меньшего абсолютного количества осажденных взвешенных веществ и, таким образом, несколько выше, чем значения $C_{N set}$ и $C_{P set}$, рассчитанные для концентраций взвеси 85-го процентиля. Для надежности обеспечения расчетного качества очистки предпочтительно использовать более высокие значения в сточной воде, поступающей в аэротенки.

Д.2.6 Получение расчетных (85-го процентиля) концентрации загрязняющих

веществ $C_{XX\text{ set}}$ требует учета того факта, что значение C_{SSD} , соответствующее величине C_{BODD} , ощутимо ниже $C_{SS\text{ dim}}$, являющейся величиной 85-го перцентиля. Поэтому результат первичного осветления сточной воды с $C_{SS\text{ dim}}$ будет иным, а именно: эффективность осветления $E_{\text{set dim}}$ будет выше $E_{\text{set D}}$ использованной в проведенном для C_{SSD} расчете, концентрация в осветленной воде $C_{SS\text{ dim set}}$ – также выше, но не настолько, как с $E_{\text{set D}}$.

Величину $E_{\text{set dim}}$ следует определять на основании массива полученных тестовых зависимостей эффективности осветления от времени отстаивания в цилиндре. При отсутствии таких данных возможно использовать таблицу Д1 и рисунки Д3 и Д4, также полученные путем интерполяции данных [4]. Для того, чтобы определить эффект отстаивания при $C_{SS\text{ dim}}$, следует провести на рисунке Д3 или Д4 (соответствующем по диапазону концентрации взвешенных веществ в сточной воде) линию параллельно оси X при времени отстаивания, выбранном ранее по таблице Д1, соответствующем $E_{\text{set D}}$ и с помощью интерполяции между кривыми, соответствующими ближайшим к $C_{SS\text{ dim}}$ значениям концентраций взвешенных веществ определить эффект отстаивания $E_{\text{set dim}}$.

На основании полученной величины E_{set} далее следует определить расчетную (85%-го перцентиля) концентрацию загрязняющих веществ $C_{SS\text{ set}}$ по формуле, аналогичной (Д-1), с использованием вместо C_{SSD} величину C_{SS} , а вместо $E_{\text{set D}}$ – E_{set}

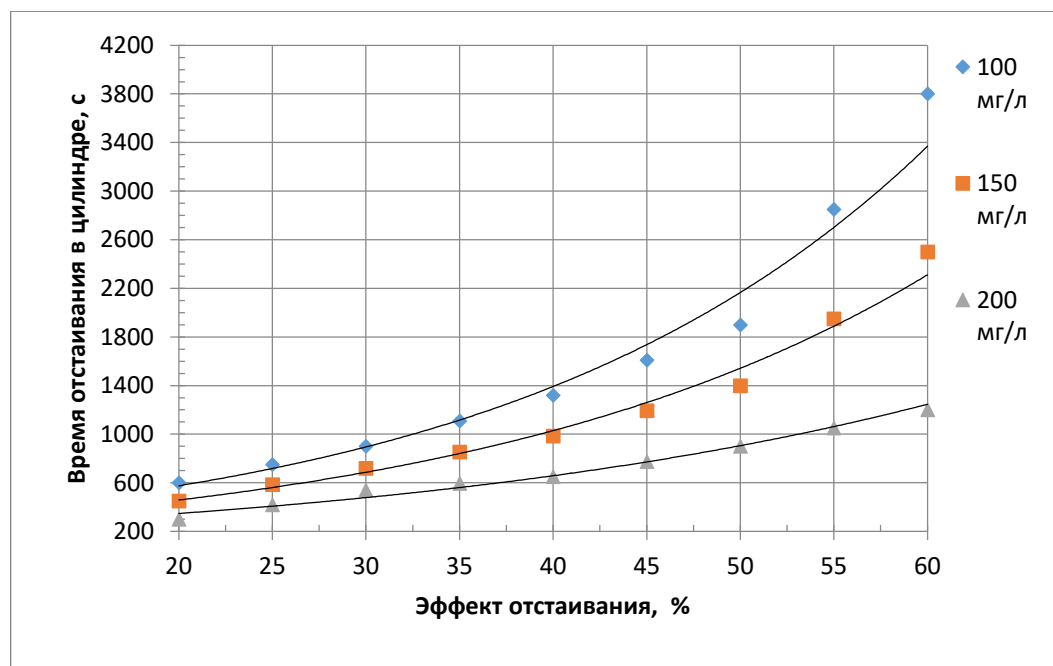


Рисунок Д3 – Зависимость времени отстаивания от эффекта отстаивания в цилиндре при концентрациях взвешенных веществ до 200 мг/дм³

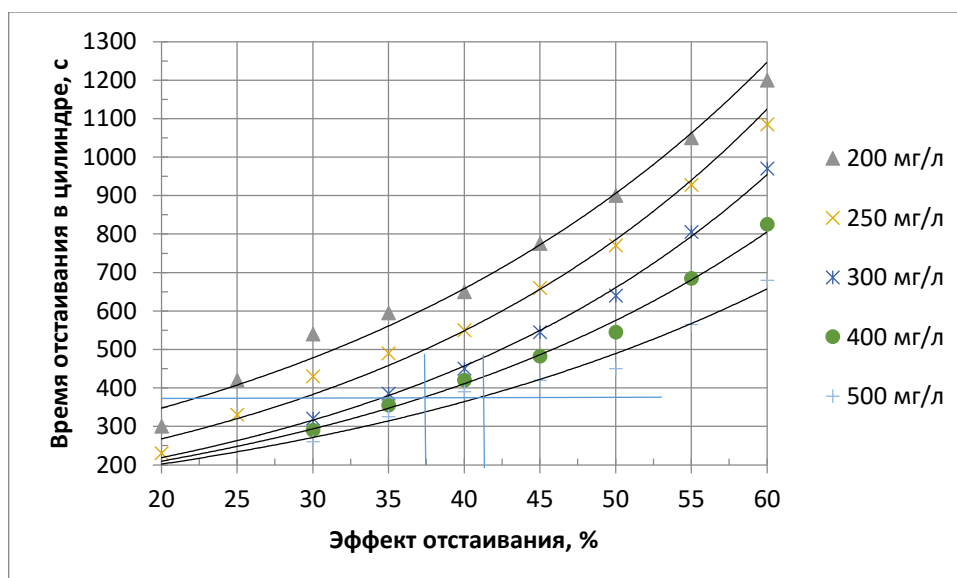


Рисунок Д4 – Зависимость времени отстаивания от эффекта отстаивания в цилиндре при концентрациях взвешенных веществ свыше 200 мг/дм³

Пример

$C_{ss D} = 370 \text{ мг/дм}^3$, а $C_{ss dim} = 430 \text{ мг/л}$. Требуемая для обеспечения требований к соотношению БПК₅/Общий азот на входе в аэротенки эффективность отстаивания $E_{set D}$, соответствующая $C_{ss D}$, составляет 35%. Соответствующее этому значению время отстаивания в цилиндре по таблице Д1 составит $385 - (385 - 355) \cdot 70/100 = 364 \text{ с}$.

При данном времени отстаивания в цилиндре эффект отстаивания по графику на рисунке Д3 оценивается при концентрации 400 мг/дм³ равным 37,5%, а при концентрации 500 мг/л - 42 %. При концентрации 430 мг/л эффект E_{set} рассчитывается методом интерполяции как $37,5 + (42 - 37,5) \cdot 30/100 = 38,9 = 39\%$.

В данном примере расчетная концентрация взвешенных веществ в осветленной сточной воде $C_{ss set}$ (соответствующая входному значению $C_{ss dim}$, равному 430 мг/дм³) составит 262 мг/дм³. Количество взвеси, удаленной при отстаивании, составит 168 мг/дм³.

Концентрация в осветленной воде, применяемая для расчета денитрификации $C_{ss D set}$ (соответствующая входному значению $C_{ss dim}$, равному 370 мг/дм³) составит 240 мг/дм³. Количество взвеси, удаленной при отстаивании, составит 130 мг/дм³.

Таким образом, в продемонстрированном примере различие в снижении при отстаивании двух различных релевантных концентраций взвешенных веществ в осветленной сточной воде составило около 23%, причем меньшее значение характерно для величины, применяемой для расчета денитрификации. Учитывая, что

по формулам (Д-2) и (Д-15) снижение концентрации БПК₅ в осветленной воде пропорционально снижению содержания взвеси, полученная разница весьма существенна. Ее игнорирование и использование всего одной релевантной концентрации взвешенных веществ приведет к недопустимым искажениям дальнейшего расчета аэротенков.

Д2.7 Другие расчетные концентрации загрязняющих веществ $C_{XX\ set}$ (концентрации 15% обеспеченности) рассчитываются по следующим формулам:

- для БПК₅:

$$C_{BOD\ set} = C_{BOD\ dim} - k_{BOD} (C_{ss\ dim} - C_{ss\ set}) \quad (Д-1)$$

- для общего азота:

$$C_{N\ set} = C_{N\ dim} - k_N (C_{ss\ dim} - C_{ss\ set}) \quad (Д-2)$$

- для общего фосфора:

$$C_{P\ set} = C_{P\ dim} - k_{phos} (C_{ss\ dim} - C_{ss\ set}) \quad (Д-3)$$

- для ХПК:

$$C_{COD\ set} = C_{COD\ dim} - k_{COD} (C_{ss\ dim} - C_{ss\ set}) \quad (Д-4)$$

Следует обратить внимание, что, если величины $C_{ss\ set}$ и $C_{BOD\ set}$ далее используются для расчета прироста ила, а величина $C_{BOD\ set}$ – также для расчета потребности в кислороде, то величины $C_{N\ set}$, $C_{P\ set}$ и $C_{COD\ set}$, как уже отмечалось выше, применимы только для составления массового баланса для концентраций 85-го перцентиля, если в таком будет необходимость.

Формулы (Д15) – (Д18) также могут быть применены для других расчетов, например, при планируемом существенном изменении условий работы первичных отстойников на КОС.

Основные конструктивные параметры отстойников следует принимать в соответствии с СП32-13330-2018.

При использовании процесса ацидофикации расчет следует проводить по приложению Е.

Приложение Е
(рекомендуемое)

Расчет ацидофикаторов осадка первичных отстойников

Е1 Общие положения

Е1.1 При установленном расчетом дефиците органического вещества в осветленной сточной воде для проведения денитрификации, а также для улучшения биологического удаления фосфора допускается предусматривать ацидофикацию осадка первичных отстойников.

Для проведения ацидофикации допускается использовать:

- активированные отстойники с рециркуляцией осадка (АО),
- активированные отстойники с рециркуляцией осадка через биореактор ацидофикации (ААО),
- ацидофикаторы-уплотнители (АУ),
- технологию ацидофикации в перемешиваемых реакторах с последующей промывкой и уплотнением ацидофицированного осадка в отдельных уплотнителях (ацидофикаторы-смесители с уплотнителями - АС-У);

Также допускается совместное применение АО и АУ. Решение по применению ацидофикации и выбору технологии следует принимать по результатам технико-экономического сравнения вариантов (включая вариант без ацидофикации) в ходе ОТР.

Е1.2 Технологический процесс в АО отличается от обычной эксплуатации ПО подачей части выгружаемого осадка в поток сточной воды перед отстойниками. Это обеспечивает:

- увеличение времени пребывания осадка в отстойнике и, за счет этого, протекание процессов ацидофикации;
- за счет более высокой нагрузки по сухому веществу (СВ) осадка на отстойник уменьшается эффективность осветления
- промывку части выгруженного осадка, за счет чего образовавшиеся ЛЖК и другие растворенные органические вещества попадают в жидкую фазу (ацидофикат) и с ней в осветленную сточную воду.

Достоинство метода — возможность использования с минимумом дополнительного оборудования. Недостаток — снижение эффективности отстаивания от полученной по расчёту и минимальный выход ЛЖК по сравнению с другими методами. Так же для минимизации распространения запахов требуется полностью

перекрывать отстойники

Е1.3 Технологический процесс с АУ предусматривает использование двух типов сооружений: обычные ПО и ацидофикаторы-усреднители (АУ). Конструктивное исполнение и технологическая схема должны обеспечивать возможность взаимозаменяемости обычных ПО и АУ.

ОПО из ПО выгружается в АУ. Туда же поступает часть сточной воды. Сливная вода (ацидофикат) с АУ поступает на смешение с осветленной сточной водой. Осадок, выгружаемый из АУ, частично рециркулируется перед ними. В качестве базового решения используется рециркуляция перед АУ (внутренняя рециркуляция). Наряду с ней может использоваться также рециркуляция перед ПО (внешняя рециркуляция). Последняя имеет своей целью распространить проведение процесса также на ПО, переводя их в режим АО.

Е1.4 Технологический процесс с ацидофикаторами-смесителями с уплотнителями (АС-У) предусматривает эксплуатацию ПО с повышенным расходом выводимого разбавленного ОПО, с подачей его в отдельные АС, в которых производится только процесс ферментации (ацидофикации) взвешенных веществ. Далее ацидофицированный осадок поступает на уплотнение в отдельный уплотнитель. Ацидофикат от уплотнителя поступает на смешение с осветленной сточной водой.

В данной схеме осадок, подвергнутый ацидофикации, не возвращается в отстойник и не влияет на седиментационные свойства взвешенных веществ. Выход ЛЖК в этих схемах максимален. При этом сам первичный отстойник практически не является источником сильных запахов. В перекрытии и отводе на очистку воздуха нуждаются уплотнитель и ферментёр.

Е1.5 Базовым понятием для расчета ацидофикаторов является время пребывания сухих веществ осадка (SRT). Для технологических конфигураций АО и АУ данное понятие не тождественно гидравлическому времени пребывания (HRT), т.к. как в них происходит уплотнение обрабатываемого осадка. Для реактора в конфигурации АС-У $SRT = HRT$

Е1.6 Увеличением концентрации аммонийного азота в осветленной сточной воде при использовании ацидофикации допускается пренебречь.

Е1.7 Следует предусматривать мероприятия, обеспечивающие относительно равномерное в течение суток поступление ацидофиката из АУ или отдельных уплотнителей системы АС-У на сооружения биологической очистки. В противном случае эффект от процесса ацидофикации будет снижен примерно пропорционально

части суток, когда ацидофикат не будет поступать в азротенки.

При необходимости следует предусматривать накопительные емкости для ацидофиката с равномерной насосной подачей из них на биологическую очистку.

Е1.8 Следует предусмотреть мероприятия, обеспечивающие равномерную в течение суток подачу внутреннего рецикла. В противном случае эффект от процесса ацидофикации будет снижен примерно пропорционально части суток, когда рецикл ацидофицированного осадка не будет поступать в ацидофикатор.

Е2. Расчет активированных первичных отстойников (АО)

Е2.1 Расход внутренней рециркуляции из АУ Q_{R-in} , м³/сутки, определяют по формуле:

$$Q_{R-in} = K_{AO} \frac{Q_{d\ mid} C_{ss\ dim}}{100 C_{PS-AO}} (E-1)$$

где K_{AO} - степень рециркуляции осадка, выгружаемого из ПО, принимаемая в диапазоне 50%-150% суточной нагрузки по взвешенным веществам в неосветленных сточных водах;

$Q_{d\ mid}$ – среднесуточный расход сточных вод (подаваемых на первичное осветление), м³/сутки;

$C_{ss\ dim}$ – расчетная концентрация взвешенных веществ в неосветленных сточных водах, кг/м³;

C_{PS-AO} - концентрация СВ в выгружаемом ацидофицированном ПО, которую допускается принимать равной 45-50 кг/м³

Е2.2 При использовании ацидофикации следует учитывать в расчете первичных отстойников (приложение Д) уменьшение глубины зоны осветления за счет глубины слоя накопленного осадка и увеличение концентрации взвешенных веществ в сточной воде на входе в отстойники в результате рециркуляции осадка.

Объем слоя накопленного уплотняемого осадка следует определять по формуле:

$$W_{Th-AO} = \frac{Q_{R-in} C_{PS-AO} SRT_{ao}}{C_{PS-Th}} (E-2)$$

где

C_{PS-Th} - средняя концентрация осадка в зоне уплотнения в АО, которую допускается принимать равной 35 кг СВ / м³;

SRT_{ao} – рекомендуемое SRT в зоне уплотнения АО. Следует принимать равным не более 5 суток;

Глубину слоя накопленного уплотняемого осадка H_{Th-AO} следует рассчитывать исходя из типа и геометрических размеров отстойника.

Глубина W_{Th-AO} не должна составлять более 40% гидравлической глубины отстойника. Конкретное значение следует определять в ходе расчетов ПО, исходя из объема имеющихся первичных отстойников (при реконструкции), гидравлической нагрузки на них, требуемой оптимальной эффективности осветления.

Е2.3 Концентрацию взвешенных веществ в осветленной сточной воде после ПО, работающих в режиме АО следует определять по формуле

$$C_{ss\ set\ ac} = C_{ss\ set} + 0,25 (C_{ss\ dim} - C_{ss\ set}) \quad (E-3)$$

Е2.4. Увеличение массы БПК₅, кг/сут, в осветленной воде следует рассчитывать по формуле

$$M_{BOD\ ac} = K_{BOD\ ao} M_{PS} \left(1 - \frac{S}{100}\right) \quad (E-4)$$

где

$K_{BOD\ ao}$ – коэффициент ацидофикации в режиме АО, который допускается принимать равным 0,02 кг БПК₅ на кг беззольного вещества взвешенных веществ в неосветленной сточной воде на каждые сутки времени пребывания сухого вещества осадка в зоне уплотнения, но не более 0,07 кг БПК₅ на 1 кг беззольного вещества взвешенных веществ в неосветленной сточной воде;

S – зольность сырого осадка; %.

M_{PS} – масса СВ сырого осадка, подаваемого в ацидофикатор, кг/сут.

Е3. Расчет ацидофикаторов-уплотнителей (АУ)

Е3.1 Общая масса СВ ПО, кг/сут, подаваемого в АУ, определяется по формуле

$$M_{PS\ A} = M_{PS} + M_{R\ in} + M_{R\ ex} \quad (E-5)$$

Где

M_{PS} – масса СВ ОПО, выводимого из ПО (или его части, направляемой на ацидофикацию), кг/сут;

$M_{R\ in}$ – масса СВ ОПО, подаваемого из АУ на внутреннюю рециркуляцию (в поток осветленной воды перед АУ), кг/сут;

$M_{R\ ex}$ – масса СВ ОПО, подаваемого из АУ на внешнюю рециркуляцию (в поток осветленной воды перед ПО), кг/сут.

Е3.2 Расход внутренней рециркуляции из АУ Q_{R-in} , м³/сутки, определяют по формуле:

$$Q_{R-in} = \frac{Q_{PS} K_{R-in} C_{PS}}{100 C_{APS}} \quad (E-6)$$

где

C_{PS} – концентрация СВ в ОПО, кг/м³;

C_{APS} – концентрация СВ в выгружаемом ацидофицированном ПО, допускается

принимать равной 50 кг/м³;

Q_{PS} – расход ОПО, м³/сут;

K_{R-in} – степень рециркуляции по СВ осадка, выгружаемого из ПО, принимаемая в диапазоне 100 – 300 %.

Е3.3 Расход опциональной внешней рециркуляции из АУ Q_{R-ex} , м³/сутки, определяют по формуле:

$$Q_{R-in} = \frac{Q_{PS} K_{R-ex} C_{PS}}{100 C_{APS}} \quad (E-7)$$

где

K_{R-ex} – степень рециркуляции по СВ осадка, выгружаемого из ПО, принимаемая до 50 %.

Е3.4 Объем суммарной зоны уплотнения в АУ, W_{th-AU} , м³, следует определять по формуле

$$W_{th-AU} = \frac{M_{PS} SRT_{th}}{C_{PSa}} \quad (E-8)$$

где

M_{PS} – масса сухого вещества (СВ) первичного осадка, кг/сут;

SRT_{th} – SRT в зоне уплотнения, сут;

C_{PSa} – средняя концентрация СВ в зоне уплотнения кг/м³.

SRT в зоне уплотнения АУ $t_{th a}$, а также время пребывания осадка в реакторах ацидофикации следует принимать равным 3-5 сут при температуре осадка выше 16°C и 4-8 сут при температуре осадка ниже 16°C.

Среднюю концентрацию осадка в зоне уплотнения допускается принимать равной 4% по сухому веществу (или принять как $0,75C_{APS}$),.

Глубина зоны уплотнения не должна превышать половину общей глубины уплотнителя. Ее следует определять с учетом типа и конструктивных параметров сооружения.

Е3.5 Следует предусматривать подачу в АУ части потока сточной воды. Максимальный расчетный расход подаваемой сточной воды следует определять по формуле

$$Q_{ac} = \frac{24 (W_{ac-th} - W_{th-AU})}{t_{set}} \quad (E-9)$$

где

W_{ac-th} – общий объем АУ, м³;

t_{set} – минимальное время нахождения сточной воды в зоне осветления, ч, допускается принимать равным 2 ч (при большой глубине ацидофикаторов при новом

строительстве), при реконструкции для ацидофикаторов небольшой глубины рекомендуется увеличить время до 8 часов.

Оптимальное значение расхода подаваемой сточной воды устанавливается при пусконаладочных работах

Расход Q_{ac} следует вычитать из суммарной нагрузки на отстойники-осветлители при их расчете (приложение Д). При расчете величины Q_{PS} , направляемой в АУ, не следует учитывать то, что часть ОПО будет образовываться в них непосредственно из подаваемого в них расхода сточной воды (т.к. данный осадок в любом случае окажется в АУ)

Е3.6 Масса БПК₅ (кг/сут) в смеси осветленной воды и ацидофиката, выделяющаяся в результате процесса ацидофикации осадка при использовании АУ и АС-У (с учетом увеличения концентрации БПК₅ за счет дополнительно выносимых с ацидофикатом взвешенных веществ) определяется по формуле:

$$M_{BOD\ ac} = M_{BOD} + K_{BOD\ ac} M_{PS} \left(1 - \frac{S}{100}\right) \quad (E-10)$$

где

$K_{BOD\ ac}$ – коэффициент ацидофикации по БПК, который, при соблюдении оптимального времени пребывания по сухому веществу, допускается принимать равным 0,15 кг БПК₅ на 1 кг беззольного вещества взвешенных веществ ПО поданного в ацидофикаторы;

S – зольность ОПО, %.

M_{BOD} – масса БПК₅ в осветленной воде от первичных отстойников, кг/сут.

Аналогично масса ХПК (кг/сут) в смеси осветленной воды и ацидофиката, выделяющаяся в результате процесса ацидофикации осадка при использовании АУ и АС-У (с учетом увеличения концентрации БПК₅ за счет дополнительно выносимых с ацидофикатом взвешенных веществ) определяется по формуле:

$$M_{BOD\ ac} = M_{BOD} + K_{COD\ ac} M_{PS} \left(1 - \frac{S}{100}\right) \quad (E-10)$$

где

$K_{COD\ ac}$ – коэффициент ацидофикации по ХПК, который, при соблюдении оптимального времени пребывания по сухому веществу, допускается принимать равным 0,2 кг ХПК на 1 кг беззольного вещества взвешенных веществ ПО поданного в ацидофикаторы;

Е3.7 Концентрацию взвешенных веществ от комплекса ПО – АУ или ПО – АС-У следует определять по п. Е2.3

Е3.8 Оптимальное количество АУ - две единицы, однако, учитывая

опциональный характер процесса ацидофикации осадка, допускается применение одного сооружения. При любом их количестве должна быть обеспечена возможность полного вывода их из работы и отвода осадка из первичных отстойников сразу на дальнейшую обработку. Следует также обеспечивать возможность работы АУ в режиме первичных отстойников.

Е4. Расчет ацидофикаторов-смесителей с уплотнителями

Е4.1 Объем реакторов-ацидофикаторов следует определять по формуле

$$W_{ac-th} = \frac{HRT_{ac} M_{PS}}{C_{ac}} \quad (E-11)$$

где

HRT_{ac} – время обработки осадка в реакторе (HRT), следует принимать равным 3-5 сут при температуре осадка свыше 16°C и 4-8 сут при температуре осадка ниже 16°C;

C_{ac} - концентрация СВ осадка, поддерживаемая в реакторе, принимаемая равной 15-20 кг/м³;

Концентрация СВ может поддерживается одним из двух, либо одновременно обоими способами:

- с откачкой ОПО в обычном режиме и дополнительной подачей в реакторы неосветленной сточной воды в нужном количестве;
- с откачкой ОПО сразу нужной концентрации (т.е. сильно разбавленным).
- самотечное поступление ацидофицированного осадка из реакторов в уплотнители.

Примечание: низкая концентрация СВ в реакторе необходима для предотвращения торможения процесса ацидофикации при ее более высоких значениях.

Е4.2 Следует предусматривать механическое перемешивание реактора с энергией 8-10 Вт/м³.

Е4.3 Площадь уплотнителей ацидофицированного осадка следует рассчитывать по формуле:

$$S_{th} = \frac{M_{PS}}{q_{ss}} \quad (E-12)$$

где

q_{ss} – удельная нагрузка на уплотнитель по СВ, допускается принимать 75-100 кг сухого вещества осадка/(м² сут).

Приложение Ж
(обязательное)
Расчет вторичных отстойников

Ж1 Назначение илового индекса

Ж1.1 Если в ходе реконструкции планируется только расширение вторичных отстойников, либо аэротенков, но без принципиального изменения технологического процесса, и условия проведения данного оцениваются как нормальные, иловый индекс может быть принят по данным эксплуатации на уровне 85-го перцентиля.

Если планируется принципиальное изменение процесса биологической очистки в целом (переход от полной биологической очистки к БНД или БНДФ, либо от БНД к БНДФ и т.п.), также следует учитывать фактическое значение илового индекса. Если оно является аномально высоким, то целесообразно выяснить причины этого. Под повышенным значением подразумевается:

- для сооружений полной биологической очистки – величина илового индекса (85% перцентиля) свыше $120 \text{ см}^3/\text{г}$,
- сооружения, рассчитанные на удаление азота или азота и фосфора – величина илового индекса (85% перцентиля) свыше $160 \text{ см}^3/\text{г}$.

Если процесс аэрации осуществлялся должным образом, а нагрузка на ил не была слишком низкой или высокой (значения указаны ниже), то, вполне вероятно, что причиной повышенного значения илового индекса могли быть сбросы промышленных сточных вод, которые могут продолжить оказывать свое негативное влияние и после реконструкции.

Ожидаемая величина J_i зависит от состава сточных вод, особенностей технологического процесса, а также гидродинамических и аэрационных условий в аэротенках. Для процесса биологического удаления азота и фосфора следует принимать расчетное значение J_i , подразумеваемое как величина 85-го перцентиля, равным $140 \text{ см}^3/\text{г}$ для процессов БНД и БНДХФ и $160 \text{ см}^3/\text{г}$ – для процессов БНДФ и БНДБХФ. Данные значения уже учитывают умеренное влияние вышеперечисленных факторов, повышающих значение илового индекса.

Ж1.2 При получении информации о том, что повышенное значение илового индекса связано с составом сточных вод, следует в первую очередь проработать возможность реализации эффективных мер для устранения конкретных сверхнормативных сбросов. Если данные меры невозможно реализовать в

необходимые сроки, заложить в проект более высокие значения илового индекса, чем рекомендованы в данном разделе, а также учесть это обстоятельство при выборе технологических и конструктивных решений биологической очистки (см. приложение Б).

В целом для снижения илового индекса в технологии с удалением азота и фосфора рекомендуется:

- применение селекторов (не описано в настоящем стандарте),
- компоновка аэротенка с приближением к режиму вытеснения,
- автоматическое поддержание требуемой концентрации кислорода по всей длине сооружения,
- отказ от первичного отстаивания, если это не противоречит оптимизации технологического процесса.

Ж2. Расчет технологических параметров системы илоразделения

Ж2.1 Концентрация ила после осаждения и уплотнения, a_{BS} , кг/м³, определяют по эмпирической формуле:

$$a_{BS} = \frac{1000}{J_i} \sqrt[3]{t_{th}} \quad (\text{Ж-1})$$

где t_{th} - время пребывания осевшего ила в зоне уплотнения (время уплотнения ила).

Для предотвращения повторного выделения фосфатов и образования плавающего ила в результате нежелательной денитрификации во вторичном отстойнике, время пребывания осажденного ила в зоне уплотнения не должно превышать допустимые значения. С другой стороны, чем более густой ил выводится из отстойника, тем выше должен быть слой ила и тем дольше время пребывания ила в этом слое.

Для сооружений биологической очистки сточных вод с нитрификацией и денитрификацией рекомендуемое время уплотнения ила t_{th} составляет 2 часа, для сооружений, использующих только нитрификацию – 1,0-1,5 часа. Возможно увеличивать время уплотнения до 2,5 часов при расчетной концентрации азота нитратов в очищенной воде менее 5 мг/дм³, либо при использовании систем непрерывного сбора всплывающего ила во вторичных отстойниках (при расчетной концентрации азота нитратов до 10 мг/дм³).

Ж2.2 Далее следует рассчитать среднюю концентрацию взвешенных веществ в возвратном иле a_{Ri} . Она определяется с учетом смешения собственно уплотненного

ила с концентрацией a_{BS} , с менее концентрированным илом из вышележащих слоев, вследствие гидравлического несовершенства илоотводящих устройств, по выражению:

$$a_{Ri} = K_{sl} a_{BS} \text{ (Ж-2)}$$

где K_{sl} - коэффициент, учитывающий тип илоотводящего устройства, принимаемый по таблице Ж1 в зависимости от типа системы илоудаления.

Таблица Ж1 – Значения коэффициента K_{sl} в зависимости от типа системы илоудаления

Система илоудаления	Значение коэффициента K_{sl}
Илососы	0,6
Илососы с регулируемым по уровню дна сосунами и регулировкой вывода ила по каждому сосуну	0,7
Илоскребы	0,7
Эвольвентные илоскребы	0,75
Вертикальные отстойники	1

Также в связи с совершенствованием конструкций илососов и илоскребов допускается корректировать K_{sl} по данным фирм производителей, подтвержденных результатами эксплуатации или по результатам гидродинамического (CFD) моделирования.

Ж3. Расчет параметров массового баланса системы аэротенк-вторичный отстойник

Ж3.1 Концентрация (доза) ила в аэротенке (и, соответственно, на впуске во вторичный отстойник) a_i , связана с концентрацией взвешенных веществ в возвратном иле a_R , и также со степенью рециркуляции возвратного ила R_i (выраженной как доля от расчетного притока на входе на КОС), уравнением массового баланса (упрощенно не принимающим во внимание вынос взвешенных веществ из вторичного отстойника).

$$a_i = \frac{R_i a_R}{1 + R_i} \text{ (Ж-15)}$$

Концентрация возвратного ила, в свою очередь, связана с эффективностью разделения твердой фазы во вторичном отстойнике.

Для расчета по формуле (Ж-3) необходимо, определив a_{Ri} согласно Ж2, назначить степень рециркуляции возвратного активного ила R_i не менее 0,5 для радиальных и горизонтальных отстойников и до 1,0 (при условии обеспечения возможности управления рециклом ила), для вертикальных отстойников – не менее 0,7 и до 1,5 с учетом управления рециклом ила (рекомендации по значениям R_i – см. в таблице Ж2);

Ж3.2 Также, возможно обратным порядком рассчитать степень рециркуляции R_i , необходимую для поддержания заданной дозы ила a_i по формуле, вытекающей из (Ж-3):

$$R_i = \frac{a_i}{a_{Ri} - a_i} \quad (\text{Ж-4})$$

при этом полученное значение R_i не должно превышать 1,0.

Ж3.3 В таблице Ж2 приведены основные расчетные параметры, рассчитанные по формулам (Ж-1) – (Ж-3) для расчетных значений илового индекса 160 см³/г (для процессов БНДБФ) и 140 см³/г (для процессов с БНД и БНДХФ), с учетом коэффициентов, приведенных в таблице 5.1 и максимальных значений допустимого времени уплотнения ила.

Таблица 5.2 – Рекомендуемые расчетные параметры отстойников и значения дозы ила в аэротенке

Тип процесса биологической очистки	Оснащение вторичного отстойника		Назначаемые и расчетные параметры						
	Тип системы сбора ила	Наличие системы непрерывного удаления плавающих веществ	J_i	K_{sl}	t_{th} , ч	a_{BS} , ,	a_{Ri} , кг/м ³	R_i	a_i , кг/м ³
Нитри – денитрификация (БНД)	Илососы обычной конструкции	Нет	140	0,6	2	9,0	5,40	1	2,7
		Есть	140	0,6	2,5	9,7	5,82	1	2,9

	кции (нерегулируемые)								
	Регулируемые илососы, либо обычные илоскребы	Нет	140	0,7	2	9,0	6,30	1	3,1
		Есть	140	0,7	2,5	9,7	6,79	0,92	3,3
	Эволюционные илоскребы	Нет	140	0,7 5	2	9,0	6,75	0,93	3,3
		Есть	140	0,7 5	2,5	9,7	7,27	0,8	3,2
	Самостоятельное удаление из вертикального (многоконусного) отстойника		140	1	1,5	8,2	8,18	0,7	3,4
Совместное биологическое удаление азота и фосфора	Илососы обычной конструкции (нерегулируемые)	Нет	160	0,6	2	7,9	4,72	1	2,4
		Есть	160	0,6	2,5	8,5	5,09	1	2,5

(БНДФ) с вторичным и отстойника ми всех конструкци й, кроме вертикальн ых	лируем ые)								
	Регулир	Нет	160	0,7	2	7,9	5,51	1	2,8
	уемые	Есть	160	0,7	2,5	8,5	5,94	1	3,0
	илосос								
	ы, либо								
	обычны	Есть	160	0,7	2,5	8,5	5,94	1	3,0
	е								
	илоскре								
	бы	Есть	160	0,7	2,5	8,5	6,36	1	3,2
	Эвольв								
	ентные								
	илоскре	Есть	160	0,7	2,5	8,5	6,36	1	3,2
	бы								

Расчетное значение дозы ила рекомендуется не более 3,2 г/л, а при использовании вертикальных и многоконусных вторичных отстойников – до 4,0 г/л, т.к. достижение более высоких значений требует либо превышения предельного времени уплотнения возвратного ила (что приведет к вероятному развитию денитрификации и повышению выноса взвеси из-за всплытия ила), либо максимального рекомендуемого значения рецикла (что приведет к увеличению необходимых объемов вторичных отстойников). Однако, при наличии на реконструируемых ОС достаточных объемов вторичных отстойников повышение дозы ила за счет увеличенного рецикла возможно.

Ж3.4 Рабочий расход насосов возвратного ила рассчитывается как

$$Q_{Ri} = R_i Q_{h\max} \text{ (Ж-5)}$$

Максимальный расход насосов с учетом резервных агрегатов, в зависимости от их количества, должен составлять не менее 1,25 от рабочего расхода.

Ж3.5 Для схем с нитри-денитрификацией и совместным биологическим удалением азота и фосфора рекомендуется предусматривать возможность управления расходом ила, отводимого из вторичных отстойников, с последующим регулированием работы насосов возвратного ила по уровням в резервуаре.

При возможной эксплуатации вторичных отстойников с серьезной гидравлической недогрузкой для предотвращения всплытия денитрифицирующего ила и выделения фосфора рекомендуется увеличивать коэффициент фактической

рециркуляции, что обеспечивается наличием насосов, подобранных на больший (проектный) расход возвратного ила.

Примечание: На ряде действующих сооружений используют и более высокие значения рабочих доз ила, чем рекомендовано в таблице 5.2 и рассчитано по формулам (Ж-3) – (Ж-6). В ряде случаев для этого имеются объективные условия, такие, как невысокий иловый индекс, гидравлическая недогрузка сооружений при достаточной рециркуляции ила. Однако, в иных ситуациях это приводит к чрезмерному нахождению в отстойниках, что влечет за собой повышенный вынос ила и/или другие негативные последствия

Ж4. Расчет конструктивных параметров вторичных отстойников

Перед проведением расчета вторичных отстойников следует определить требуемую концентрацию взвешенных веществ после отстойника. Она может быть выше требований ТП НДТ, если технологической схемой предусмотрено применение сооружений (оборудования) для доочистки (см. приложение Б), которые позволяют поступление более высоких концентраций. Однако, это не рекомендуется при необходимости получения после доочистки минимальных значений концентраций взвешенных веществ (3-5 мг/дм³).

Если необходимо достижение средней концентрации взвешенных веществ в очищенной воде на уровне 5-8 мг/дм³, также рекомендуется применение доочистки.

Поскольку для расчета вторичных отстойников их тип и конструктивные параметры являются определяющими, существуют различия между расчетом и конструированием отстойников при новом строительстве и реконструкции существующих объемов.

Расчет вторичных отстойников является в большей или меньшей степени итерационной процедурой, однако, порядок этих итерационных расчетов различен для ситуаций новом строительства и реконструкции.

При новом строительстве рекомендуется ориентироваться на повышение дозы ила в максимальных пределах (раздел Ж3) и соответствующее ей увеличение площади поверхности вторичных отстойников, т.к. это даст выигрыш по сумме объемов.

При ситуации реконструкции, для существующих параметров сооружений значения рецикла и дозы ила по таблице Ж2 могут быть неоптимальными. Необходимо провести оптимизацию этих значений, оценивая результаты расчета площади и глубины вторичных отстойников и объемов аэротенков с существующими

параметрами сооружений и, меняя величину рецикла и связанную с ней дозу ила, обеспечить их значения, оптимальные для данных условий (либо наиболее удобные условия для строительства недостающих сооружений, с учетом доступной для этого площади и ее конфигурации). Однако, величина дозы ила менее $2,5 \text{ кг/м}^3$ не рекомендуется.

Ж4.1. Расчет вторичных отстойников при новом строительстве

Ж4.1.1 Первоначально должен быть выбран тип отстойника, в зависимости от производительности КОС и условий размещения и компоновки.

Далее следует определиться с размерами единичного отстойника:

- для радиальных отстойников – диаметр и глубина,
- для горизонтальных – ширина, длина, глубина.

В современных условиях монолитного строительства, в принципе, могут быть построены сооружения любых габаритов, однако с учетом разумного количества единиц сооружений (с учетом требований СП 32.13330.2018) и сокращения затрат на проектирование и оснащение оборудованием путем использования стандартной линейки размеров скребкового и прочего оборудования, рекомендуется использовать стандартные значения. Для радиальных отстойников рекомендуется принимать их диаметр по таблице Ж3. Глубина вторичных отстойников является более гибким конструктивным параметром и ее расчет является одной из составляющих настоящего общего расчета. В качестве начальных данных для итерационного расчета могут быть приняты значения глубины также по таблице Ж3.

Таблица Ж3 – Рекомендуемые конструктивные параметры радиальных вторичных отстойников

Производительность ОС, тыс. $\text{м}^3/\text{сутки}$	Рекомендуемый диаметр, м	Стандартная гидравлическая глубина, H_{hd} м
Менее 50	18	3,7
до 50	24	3,7
до 100	30	3,7
до 200	40	4,35
более 200	54	6

При использовании иных проектов отстойников не рекомендуется применять сооружения радиального типа с глубиной у стенки менее 2,5 м и глубиной у центра (без учета приямка) менее 4,0 м. Для горизонтальных отстойников рекомендуемая

минимальная глубина у стенки – 3 м.

Ж4.1.2 При расчете сооружений на более жесткие нормативные требования (сброс в водные объекты категории А [14], либо достижение НДС, см. приложение Б), обязательно применение сооружений доочистки (даже если не для удаления взвешенных веществ, то для более глубокого удаления БПК). При этом значения технологического показателя НДТ по взвешенным веществам ($10-15 \text{ мг/дм}^3$), взятые как среднегодовые, являются абсолютно приемлемыми на входе современных сооружений доочистки. В связи с этим, рекомендуемый ниже расчет вторичных отстойников, реализованный на обеспечение средних, а не максимальных величин выноса взвешенных веществ, рекомендуется для применения как при достижении технологических показателей НДТ, так и при достижении НДС.

Ж4.1.3 Далее для расчёта важно учитывать, что, в отличии от методологии расчета на максимальное значение выноса при максимальной нагрузке, новая система нормирования, основанная на [10], трактует расчетные показатели и по среднегодовому значению (ТП НДТ) и для любой разовой пробы (т.е. при максимальной нагрузке).

Для соблюдения необходимого инженерного запаса расчет вторичных отстойников для новых сооружений рекомендуется проводить на среднесуточное (средневзвешенное) значение выноса взвешенных веществ, соответствующее его заданному значению после биологической очистки, при суточном притоке 85-го процентиля.

Ж4.1.4 Расчетная поверхностная нагрузка на вторичный отстойник q_{ssa} должна соответствовать одновременно двум условиям:

- необходимая для обеспечения заданного выноса рабочая глубина отстаивания H_{set} (включающая в себя слои чистой воды, разделения и стесненного осаждения) не должна уменьшаться за счет увеличения глубины слоя уплотнения ила h_t .

- должно соблюдаться заданное после вторичных отстойников значение выноса взвешенных веществ.

Здесь и далее нагрузка на поверхность вторичных отстойников подразумеваются по расчетному притоку сточной воды, без учета рециркуляционного потока возвратного ила. Эта величина учитывается в расчетных уравнениях.

Следует учитывать, что чувствительность вторичных отстойников в процессах удаления азота и фосфора к гидравлическим перегрузкам гораздо выше, чем в схеме полной биологической очистки (от органических загрязнений), т.к. величина илового

индекса, доза ила и рецикл возвратного ила существенно выше.

Ж4.1.5 На первом шаге следует рассчитать с учетом величин, рекомендованных таблицей Ж2, либо рассчитанных по формулам (Ж-1) – (Ж-3), два значения глубины слоя уплотнения h_{ti} - для двух условных (взятых для получения зависимости) значений поверхностной нагрузки $q_{ssa\ min}$ и $q_{ssa\ max}$, принятых равными, соответственно 1,0 и 2,0 м³/м² час (могут быть приняты и другие значения) по формуле

$$h_{ti} = \frac{a_i q_{ssa\ i} (1+R_i) t_{th}}{a_{BS}} \quad (\text{Ж-6})$$

Задавшись значением глубины отстойника $H_{hd\ max}$, которое может быть использовано (назначать $H_{hd\ max}$ свыше 6,0 м рекомендуется только при обосновании, учитывающем возможность и экономическую целесообразность строительства более глубоких отстойников на конкретной площадке), далее следует рассчитать для обеих полученных величин h_{ti} значения $H_{set\ i}$, которые будут соответствовать этим значениям глубины слоя уплотнения и накопления ила

$$H_{set\ i} = H_{hd\ max} - h_{ti} \quad (\text{Ж-7})$$

Ж.4.1.6 Далее следует определить вынос взвешенных веществ для обоих значений расчетной нагрузки, использованных при расчете h_{ti} и соответствующих значений $H_{set\ i}$.

Глубина слоя отстаивания H_{set} связана с величиной нагрузки, обеспечивающей заданный вынос взвешенных веществ q_{ssa} формулой [1] (приведена применительно к максимальному часовому расходу в сутки с притоком 85-го перцентиля):

$$q_{ssa\ h\ max\ d15} = \frac{4,5 K_{set} H_{set}^{0,8}}{(0,1 J_i a_i)^{0,5-0,01 C_{SS\ EX\ h\ max\ 15}}} \quad (\text{Ж-8})$$

где K_{set} - коэффициент использования объема зоны отстаивания, принимаемый для радиальных отстойников 0,4, горизонтальных 0,45, вертикальных 0,35, вертикальных с нисходяще- восходящим потоком 0,6;

Примечание. Как горизонтальные, следует рассматривать такие отстойники, где отношение расстояния от впускного отверстия до поверхности воды (вертикальная компонента) к горизонтальному расстоянию от впуска до выпуска на высоте уровня воды (горизонтальная компонента) менее 0,33. Как вертикальные следует рассматривать отстойники, где это отношение более 0,5. Для промежуточных значений величину коэффициента использования объема зоны отстаивания следует определить интерполяцией.

Значения выноса ила $C_{SS\ EX\ max}$ и $C_{SS\ EX\ min}$ для значений $q_{ssa\ min}$ и $q_{ssa\ max}$ и соответствующих им $H_{set\ i}$ следует рассчитать по формуле, выведенной из формулы (Ж-8)

$$C_{SS\ EX\ i} = 50 - 100 \text{Log}_{(0,1\ J_i\ a_i)} \left(\frac{4,5\ K_{set} H_{set\ i}^{0,8}}{q_{ssa\ i}} \right) \quad (\text{Ж-9})$$

При использовании электронных таблиц удобно отдельно вычислить величину $Z = 0,1\ J_i\ a_i$. В этом случае формула (Ж-9) имеет вид

$$C_{SS\ EX\ i} = 50 - 100 \text{Log}_Z \left(\frac{4,5\ K_{set} H_{set\ i}^{0,8}}{q_{ssa\ i}} \right) \quad (\text{Ж-10})$$

Вычислив два значения $C_{SS\ EX\ h\ i}$, далее следует определить коэффициент b в линеаризированной зависимости $q_{ssa} = f(C_{SS\ EX}) = a + b\ C_{SS\ EX}$ графическим методом, построив точечную диаграмму, или же по уравнению

$$b = \frac{q_{ssa\ max} - q_{ssa\ min}}{C_{SS\ EX\ h\ max} - C_{SS\ EX\ h\ min}} \quad (\text{Ж-11})$$

Ж.4.1.7 В соответствии с СП 32.13330-2018 расчет вторичных отстойников должен обеспечить выполнение следующих условий для очищенной сточной воды:

- среднесуточная величина выноса взвешенных веществ активного ила в сутки с притоком 85-го перцентиля должна приниматься не более значения технологического показателя НДТ для очистных сооружений данных мощности и категории водного объекта по [11];

- концентрация взвешенных веществ в максимальной разовой пробе не должна превышать произведения технологического показателя НДТ на повышающий коэффициент согласно приложению Д СП 32.1330-2018.

Для того, чтобы определить $q_{ssa\ h\ max\ d85}$ (нагрузку на отстойник при максимальном часовом притоке рекомендуемых расчетных суток с притоком 85-го перцентиля $Q_{h\ max\ d85}$), обеспечивающую достижение требуемого среднесуточного значения выноса взвешенных веществ $C_{SS\ EX\ d\ mid}$, сначала надо определить пиковое значение выноса взвешенных веществ $C_{SS\ EX\ h\ max\ 85}$ в максимальный час расчетного суточного притока $Q_{h\ max\ d85}$. Это необходимо сделать, так как нагрузка, определяемая в зависимости от заданного выноса взвешенных веществ (уравнение Ж-8) относится к часовому, а не к среднесуточному расходу. С этой целью значение требуемого выноса взвешенных веществ $C_{SS\ EX\ d\ mid}$ следует умножить на коэффициент $K_{ss\ max}$, определяемый как отношение выноса взвешенных веществ в час максимального притока к средневзвешенному выносу взвешенных веществ по 24-м часовым интервалам в течении расчетных суток.

$$C_{SS\ EX\ h\ max\ d15} = C_{SS\ EX\ d\ mid} K_{ss\ max} \quad (\text{Ж-12})$$

Для значений в диапазоне концентрации взвешенных веществ в очищенной воде 10-20 мг/л данный коэффициент может быть принят по графику на рис. Ж1 в зависимости от величины общего коэффициента неравномерности K_{gen} . Для промежуточных значений заданного выноса, отличных от 10, 15 и 20 мг/л, значение $K_{ss\ max}$ может быть принято путем интерполяции.

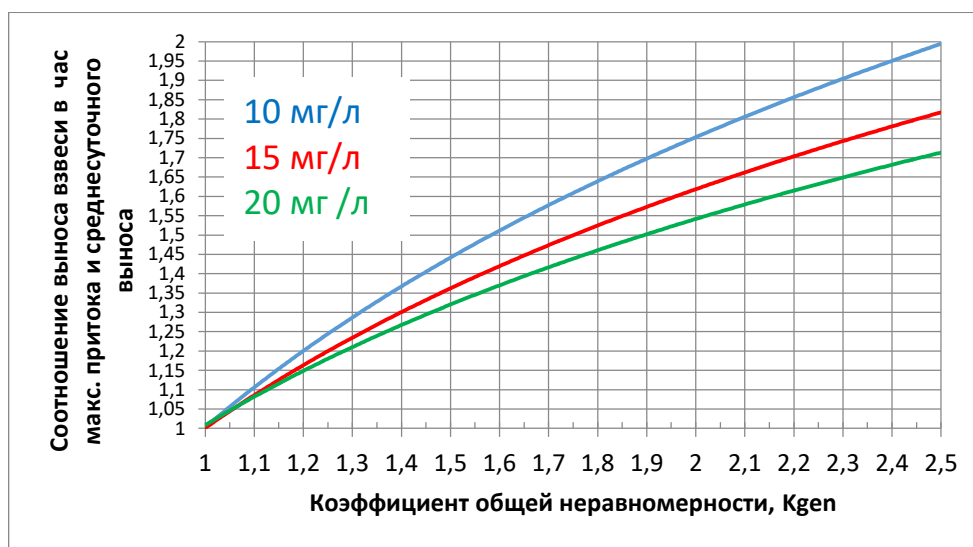


Рис. 5.1 – Величина $K_{ss\ max}$ (соотношение величин выноса взвешенных веществ в час максимального притока к средневзвешенному суточному выносу), при типовой зависимости часовых притоков от величины общего коэффициента неравномерности, по [19].

Ж4.1.8 Величина $K_{ss\ max}$ величина может так же может быть рассчитана на основе фактических данных по часовым притокам на ОС, при их наличии

При наличии фактических данных по часовым притокам, которые должны относиться к суткам, не приходящимся на новогодние каникулы, периоды таяния и иные периоды с нетипичными расходами, величина $K_{ss\ max}$ рассчитывается по алгоритму, описанному ниже. Он требует обязательного использования электронных таблиц.

Сначала необходимо определить расчетные часовые расходы, для чего:

- усреднить данные по почасовым притокам как минимум по 7 дням недели, желательно различным,
- определить долю каждого часа в общем притоке, среднем за эти дни,
- умножив эти доли на расчетный суточный расход $Q_{d\ 85}$ (или на суточный приток иного процентиля), получить часовые притоки для этих расчетных суток $Q_{h\ 85}$

(здесь и далее приведено для суточного расхода 85-го перцентиля).

Далее следует рассчитать поверхностную нагрузку на отстойник для расхода каждого часа ($Q_{hi d85}$), $q_{ssa hi d85}$

$$q_{ssa hi d85} = \frac{Q_{hi d85}}{N_{set} \cdot F_{s1}} \quad (\text{Ж-13})$$

Где N_{set} и F_{s1} - количество и площадь существующих (либо проектируемых отстойников).

Затем следует определить вынос взвешенных веществ по часам суток.

Для каждого из 24 часовых значений $q_{ssa hi d85}$ (с округлением их до 2-х значащих цифр) определить соответствующие им значения $C_{SS EX hi}$.

$$C_{SS EX hi} = 50 - 100 \log_{(0,1 J_i a_i)} \left(\frac{4,5 K_{set} H_{set}^{0,8}}{q_{ssa hi d15}} \right) \quad (\text{Ж-14})$$

Аналогично при использовании электронных таблиц удобно отдельно вычислить величины $Z = 0,1 J_i a_i$ и $Y = \frac{4,5 K_{set} H_{set}^{0,8}}{q_{ssa hi d15}}$, и затем вычислять по упрощенной формуле

$$C_{SS EX hi} = 50 - 100 \log_Z Y \quad (\text{Ж-15})$$

При этом все значения $q_{ssa hi d85}$, при которых $C_{SS EX hi}$ менее 4 мг/л, следует принимать равным 4 мг/л.

Затем следует рассчитать средневзвешенный вынос взвешенных веществ.

- перемножив значения $Q_{hi d85}$ на $C_{SS EX hi}$, получить значения массы выносимых взвешенных веществ,

- определить суточную массу выноса, затем посчитать среднесуточную концентрацию выносимых взвешенных веществ $C_{SS EX mid i}$ делением суточной массы на суточный расход. Оно будет соответствовать значению средневзвешенного выноса взвешенных веществ в сутки с расходом 85%-го перцентиля для ранее принятых габаритов вторичных отстойников, однако оно может не соответствовать заданной величине выноса взвешенных веществ.

Для достижения этого необходимо подобрать значение суточного расхода, которое позволит этого добиться. С этой целью в расчетной таблице полученные ранее часовые доли от суточного притока следует умножать не на расчетный суточный расход $Q_{d dim 85}$, а на иные величины (большие, если полученный в первой итерации средний вынос был ниже проектного значения, и наоборот), до получения в расчетной таблице нужной величины.

При получении значения $C_{SS EX mid}$, не отклоняющегося от расчетного

проектного значения выноса взвешенных веществ из вторичных отстойников более, чем на 0,3 мг/л, подбор расхода закончен.

Далее величина $K_{ss \max}$ рассчитывается как отношение максимального выноса ила к средневзвешенному значению.

Примечание: значения повышающего коэффициента для точечных (разовых) проб практически для всех условий сброса составляют 2,0. Таким образом, все значения $K_{ss \max}$, полученные по Ж1.7 и по Ж1.8 не превышают данной величины

Ж4.1.9 Определив расчетную концентрацию выноса взвешенных веществ в час максимального притока, соответствующую заданному среднесуточному значению $C_{SS \text{ EX } h \max d15}$, далее следует определить значение расчетной нагрузки на отстойник $q_{ssa \text{ dim}}$ по уравнению

$$q_{ssa \text{ dim}} = q_{ssa \text{ min}} + b (C_{SS \text{ EX } h \max d15} - C_{SS \text{ EX } h \text{ min}}) \quad (\text{Ж-16})$$

Для вновь строящихся отстойников требуемая поверхностная нагрузка может оптимизироваться путем изменения гидравлической глубины отстаивания. При назначении нового значения глубины расчет по формулам (Ж-6) – (Ж-7) и (Ж-9) – (Ж-13) следует повторить.

Ж4.1.10 Для найденного значения $q_{ssa \text{ dim}}$ далее рассчитывается количество вторичных отстойников. Общая необходимая площадь отстойников F_{ss} , м², определяется как

$$F_{ss} = \frac{Q_{h \max d15}}{q_{ssa \text{ dim}}} \quad (\text{Ж-17})$$

Необходимое количество отстойников N_{set} определяется по формуле

$$N_{set} = \frac{F_{ss}}{F_{s1}} \quad (\text{Ж-18})$$

где F_{s1} – площадь одного отстойника.

Полученное значение N_{set} рекомендуется округлять так, чтобы при округлении в меньшую сторону не происходило снижение общей площади поверхности более 5%.

Число отстойников следует принимать не менее трех при условии, что все отстойники являются рабочими. При минимальном числе их расчетную площадь рекомендуется увеличивать в 1,25 раза, а при 4-х единицах - в 1,15 раза.

Следует подобрать оптимальное соотношение количества (N_{set}) или площади единичного отстойника (F_{s1}), при котором $F_{ss \text{ dim}}$ обеспечивалась бы без значительного избытка. Если, за счет малого числа необходимых единиц это не

представляется возможным, для экономии затрат рекомендуется рассмотреть уменьшение глубины отстойника H_{hd} для получения оптимального значения q_{ssa} .

Ж4.1.11 После определения итоговой расчетной площади поверхности с учетом типоразмеров и выбранного количества отстойников $F_{ss\ pr}$ следует определить итоговое проектное значение поверхностной нагрузки $q_{ssa\ pr}$ по формуле

$$q_{ssa\ pr} = \frac{Q_{h\ max\ d15}}{F_{ss\ pr}} \quad (\text{Ж-19})$$

Если данное значение более, чем на 5% отличается в большую сторону от ранее рассчитанной величины $q_{ssa\ dim}$, то рекомендуется определить итоговое значение максимального выноса взвешенных веществ по формуле

$$C_{SS\ EX\ h\ max\ d15\ pr} = C_{SS\ EX\ h\ max\ d15} - \frac{q_{ssa\ dim} - q_{ssa\ pr}}{b} \quad (\text{Ж-20})$$

Ж4.2 Расчет вторичных отстойников при реконструкции

Ж4.2.1 Требуемая нагрузка на зеркало отстойника $q_{ssa\ dim}$ при выносе ила $C_{SS\ EX\ h\ max\ d15}$ определяется по вышеописанному алгоритму при фактической рабочей глубине, которая не может оптимизироваться. Далее, исходя из полученной нагрузки определяется расход, который могут принять существующие вторичные отстойники:

$$Q_{h\ max\ set} = N_{set} F_{s1} q_{ssa\ dim} \quad (\text{Ж-21})$$

Если полученная величина расхода меньше или равна требуемой величине существующего часового расхода $Q_{h\ max\ 85}$, то существующие отстойники достаточны для работы сооружений.

Если требуемый расход $Q_{h\ max\ 85}$ больше, чем $Q_{h\ max\ set}$, то, при возможности достройки вторичных отстойников необходимо произвести расчет необходимого их количества на расход $Q_{h\ add}$ по алгоритму, описанному в Ж4.1

$$Q_{h\ add} = Q_{h\ max\ 15} - Q_{h\ max\ set} \quad (\text{Ж-22})$$

При неблагоприятных условиях реконструкции (нехватка вторичных отстойников и/или аэротенков) допускается расчет на среднесуточное (средневзвешенное) значение выноса взвешенных веществ при суточном притоке не менее 65-го процентиля ($Q_{h\ max\ set}$ должна быть не меньше чем $Q_{h\ max\ 65}$).

При расчете на суточный приток с обеспеченностью $n\ \%$ при расчетах в данном разделе применяются обозначения с индексом n : $C_{SS\ EX\ h\ max\ d\ n}$, $Q_{h\ max\ d\ n}$ и др.

Однако, следует понимать, что при этом инженерный запас для достижения

заданного значения концентрации взвешенных веществ, как среднегодового, существенно снижается.

Расчет для часа максимального притока выполняется исходя из необходимости соблюдения минимально необходимого времени пребывания во вторичном отстойнике, включающем все слои и не зависящего от соотношения размеров сооружения (но зависящего от дозы ила и илового индекса).

Ж.4.2.2 Если при дозе ила, обеспечиваемой по расчету имеющимися вторичными отстойниками согласно Ж.4.2.1, дальнейший расчет необходимых объемов аэротенков (приложение К) показывает избыточность существующих объемов, то следует выполнить расчет с уменьшенной рециркуляцией ВАИ, обеспечивающий меньшее значение дозы ила и более низкую концентрацию взвешенных веществ в очищенной воде и принять решение при сопоставлении обоих вариантов.

Приложение И (обязательное)

Расчет удаления фосфора в процессе биологической очистки

И1. Технологические процессы удаления фосфора описаны в приложении А.

Расчетными параметрами процесса биологического удаления фосфора являются:

- время пребывания жидкости в анаэробной зоне
- коэффициент рециркуляции иловой смеси в анаэробную зону
- дополнительное удельное потребление фосфора (сверх потребления на прирост ила), г/г БПК₅ в сточной воде.

И2. Концентрацию соединений фосфора, подлежащих удалению – $C_{P\,el}$, мг/дм³, при использовании одного из методов (биологический, либо химический) следует определять по формуле

$$C_{P\,el} = C_{P\,dim\,IAT} - C_{P\,EX} - X_{Porg\,i} \quad (И-1)$$

где $C_{P\,dim\,IAT}$ – содержание общего фосфора в сточной воде, поступающей на биологическую очистку, мг/дм³. При использовании первичного осветления $C_{P\,dim\,IAT} = C_{P\,D\,set}$;

$C_{P\,EX}$ – расчетная концентрация фосфора фосфатов в сточной воде после вторичных отстойников, мг/дм³. Для надежности рекомендуется использовать в формуле с понижающим коэффициентом 0,8. Формально в этой позиции следовало бы учитывать допустимое содержание общего фосфора, но, т.к. в России нормируется фосфор фосфатов, а содержание остальных растворимых соединений фосфора в очищенной воде весьма невелико, можно использовать именно данный показатель;

$X_{Porg\,i}$ – концентрация фосфора, потребляемого гетеротрофными микроорганизмами активного ила в ходе их прироста, мг/дм³. Следует принимать равной $0,01\,C_{BOD\,IAT}$. Следует отметить, что данная величина включает в себя весь фосфор, входящий в состав прироста ила, включая его вынос.

И3. Для удаления соединений фосфора биологическим методом следует предусматривать анаэробные зоны (технологические емкости) для контакта поступающих в аэротенки сточных вод и иловой смеси. Объемы данных зон (емкостей) следует определять по формуле

$$V_{anaer} = t_{anaer} Q_{h\,max\,d15} (1 + R_{anaer}) \quad (И-2)$$

где t_{anaer} - время пребывания иловой смеси в анаэробной зоне. Время пребывания в этих емкостях определяется потреблением ЛЖК присутствующих в сточных водах и производимых в результате гидролиза и ацидогенеза непосредственно в анаэробной ёмкости. Данное время составляет от 0,5 до 1 часа в зависимости от использования только легко окисляемой органики или дополнительно органических веществ, преобразуемых в анаэробной зоне (см. табл. И1). Дальнейшее увеличение времени пребывания не рационально;

R_{anaer} - рецикл в анаэробную зону, в долях от $Q_{h\max d15}$ – максимального часового расхода 15% обеспеченности. Данный рецикл может быть как дополнительным (рецикл дефосфотации), так и рециклом возвратного активного ила, в зависимости от принятой технологии биологического удаления фосфора. Для подбора насосов рецикла следует использовать максимальный часовой расход в сутки с притоком 15% обеспеченности.

Времена пребывания и коэффициенты рециркуляции рекомендуется принимать по таблице И1.

Таблица И1 – Рекомендуемые расчетные параметры биологического удаления фосфора

Процесс	Время пребывания иловой смеси в анаэробной зоне t_{anaer} , ч	Концентрация фосфора, которая может быть удалена биологическим путем X_{Pbio}^* , мг/л	Способ и расход подачи ила в анаэробную зону	Примечания
ЖНВ	0,5	$0,015 * C_{BOD IAT} * (1 - \frac{Q_{DS}}{Q_{MID}})$	Рецикл возвратного ила. Рекомендуется принимать равным 0,75 - 1,0	Используется только легко окисляемая органика, но часть ее, пропорциональная $1 - \frac{Q_{DS}}{Q_{MID}}$, используется на денитрификацию потока возвратного ила
УСТ	1	$0,015 * C_{BOD IAT}$	Дополнительный рецикл из конца денитрификатора в анаэробную зону R_{anaer} . Рекомендуется принимать равным 1,0	Используется как легко окисляемая органика, так и, максимально — органика, получаемая при гидролизе ила в анаэробной зоне. Объем анаэробной зоны увеличен так как при неблагоприятных условиях возможно поступление нитратов. Учтено снижение дозы ила в анаэробной зоне

Процесс	Время пребывания иловой смеси в анаэробной зоне t_{anaer} , ч	Концентрация фосфора, которая может быть удалена биологическим путем $X_{P bio}^*$, мг/л	Способ и расход подачи ила в анаэробную зону	Примечания
МУСТ	0,75	$0,015 * C_{BOD IAT}$	Дополнительный рецикл из конца денитрификатора возвратного ила в анаэробную зону R_{anaer} . Рекомендуется принимать равным 1,0	Используется как легко окисляемая органика, так и, максимально – органика получаемая при гидролизе ила. Учтено снижение дозы ила в анаэробной части

* при использовании процесса ацидофикации по рекомендациям главы 4, с учетом того, что дополнительное количество БПК₅, перешедшее в сточную воду, в основном представляет собой летучие жирные кислоты, следует увеличивать количество фосфора, удаляемого биологическим путем, на 0,7 мг/л;

** при наличии первичного осветления $C_{BOD IAT} = C_{BOD set}$, без него $C_{BOD IAT} = C_{BOD dim}$

И4. Если рассчитанная величина $C_{P el}$ меньше или равно количества фосфора, которое, в дополнение к удалению на прирост, может быть удалено биологическим путем по механизму ФАО ($X_{P bio}$), определенного согласно таблицы И1, то удаление фосфора в постоянном режиме производится только с помощью технологий БНДБФ. Однако, необходимо учесть возможные срывы процесса биологического удаления – см. ниже.

Величина $X_{P bio}$ определяется концентрацией ЛЖК, используемых фосфат-аккумулирующими бактериями, который зависит от концентрации легко окисляемой органики в исходном стоке, которая, в свою очередь, может быть выражена как доля БПК₅. Количество удаляемого в биологическом процессе фосфора таким образом,

зависит от БПК₅ и применяемого процесса (см. таблицу И1).

Если значение $X_{P\ bio}$ менее $C_{P\ el}$, то необходимо применять комбинированное биолого-химическое удаление фосфора. В этом случае концентрацию соединений фосфора, подлежащих удалению за счет химического осаждения $X_{P\ prec}$, мг/дм³, следует определять по формуле

$$X_{P\ prec} = C_{P\ dim\ IAT} - C_{P\ EX} - X_{P\ org\ i} - X_{P\ bio} \quad (И-3)$$

И5. Дозу осаждающего реагента, по металлу (железу или алюминию), D_m , г/м³, следует определять по формуле

$$D_m = K_D X_{P\ prec} \quad (И-4)$$

где K_D - коэффициент, определяемый как произведение стехиометрического мольного соотношения железо/фосфор и алюминий/фосфор и значения β -фактора, учитывающего точку ввода реагентов.

Стехиометрическое мольное соотношение составляет:

- 1,8 кг железа/кг осажденного фосфора и 0,87 кг алюминия/кг осажденного фосфора.

Допускается принимать следующие значения β -фактора:

- при вводе реагента перед первичными отстойниками - 2-3;
- при вводе реагента в блок биологической очистки (в поступающие на биологическую очистку сточные воды, в поток возвратного активного ила, непосредственно в аэротенк/биореактор, в иловую смесь перед вторичным отстойником) - 1,5;
- после вторичных отстойников в биологически очищенную воду перед фильтрами доочистки от взвешенных веществ - 2-2,5.

Для предотвращения угнетающего воздействия реагентов на микроорганизмы активного ила, дозы реагентов (по металлу) не должны превышать 15 мг/дм³ для железа (II) и 10 мг/дм³ для железа (III) и для алюминия.

И6. При использовании биолого-химического удаления фосфора наряду с расчетом потребности реагента для расчетного штатного режима следует предусмотреть расчет ситуации со срывом биологического удаления фосфора, требующей форсированного использования реагентов. В такой ситуации потребность в нем может на период, как правило, до месяца, быть весьма значительной. Расчет количества фосфора, $X_{P\ prec\ fors}$ которое необходимо удалять с помощью реагента в форсированном режиме, рекомендуется рассчитывать также по уравнению (И-4), с применением понижающего коэффициента к величине $Xb_{P\ bio}$, равного 0,4.

Потребность в товарном реагенте следует определять для обеих величин, $X_{P\text{prec}}$ и $X_{P\text{prec fors}}$ с учетом содержания металла в действующем веществе (с учетом содержания молекул воды в гидратированных сухих реагентах), и с учетом концентрации действующего вещества в товарном продукте. Соответственно, узел дозирования реагента следует проектировать на форсированную потребность в реагенте.

И.7 Особенности расчета удаления фосфора с использованием фракций ХПК
Величины для уравнения (И-3) рассчитываются следующим образом:

- концентрация фосфора, удаляемая на прирост

$$X_{p\text{org i}} = 0,02 * SS_{sp} \text{ (И-5)}$$

- концентрация фосфора удаляемая биологическим методом.

$$X_{p\text{bio}} = 0,3 * X_{pao} \text{ (И-6)}$$

где X_{pao} прирост фосфат аккумулирующих микроорганизмов

$$X_{pao} = \left(\frac{Y_{pao}}{1 + b_{pao} * t_{it}} \right) * COD_{pao} \text{ (И-7)}$$

Где

Y_{pao} -прирост ФАО, принимаемый как 0,45 г СВ/г ХПК

b_{pao} – коэффициент отмирания фосфат аккумулирующих микроорганизмов, принимаемый равным 0,08 сут. ⁻¹

COD_{pao} – ХПК, используемое ФАО.

COD_{pao} в случае отсутствия ацидофикации рассчитывается как

$$COD_{pao} = 0,9 * (C_{COD\text{ss}} - C_{COD\text{Sa}}) + C_{COD\text{Sa}} \text{ (И-8)}$$

Где коэффициент 0,9 соответствует преобразованию 90% растворенного биоокисляемого ХПК в COD_{pao} в анаэробной зоне.

При наличии ацидофикации

$$COD_{pao} = 0,9 * (C_{COD\text{ss}} - C_{COD\text{Sa}}) + C_{COD\text{Sa}f} \text{ (И-9)}$$

Приложение К

(обязательное)

Расчет процессов удаления азота через возраст ила

К1. Общие принципы расчета объема аэротенков через возраст ила

Под аэротенками подразумевается весь объем сооружений, в которых происходит очистка сточных вод с помощью активного ила, т.е. общий объем аэротенков для удаления азота и фосфора складывается из суммарного объема зон (зоны) нитри- и денитрификации и анаэробных зон для биологического удаления фосфора (при их использовании). При расположении анаэробных зон в сооружениях, отдельных от основной емкости аэротенков (например, в объеме первичных отстойников при реконструкции), эти сооружения иногда называют анаэробными биореакторами.

При отказе от использования биологического удаления фосфора объем аэротенка равен объему зон нитри-денитрификации.

В основу описываемого далее расчета объемов зон нитри-денитрификации положено поддержание минимально необходимого аэробного возраста ила, обеспечивающего сохранение в биомассе необходимой доли бактерий-нитрификаторов, соответствующей соотношению нагрузок по аммонийному азоту и БПК. С учетом присутствия в требованиях к качеству очистки как аммоний-иона, так и нитритов, необходимо обеспечивать наличие достаточных концентраций обеих групп основных групп нитрификаторов.

Объем зоны нитри-денитрификации должна обеспечивать соблюдение значения минимального расчетного возраста активного ила с учетом принятой дозы активного ила в иловой смеси и расчетного прироста избыточного активного ила. Объем зоны нитри-денитрификации V_{ND} , м³, определяется по формуле

$$V_{ND} = \frac{M_{iND}}{a_i} = \frac{t_{it} SP_i}{a_i} \quad (K-16)$$

где

M_{iND} – масса активного ила в зонах нитри-денитрификации;

t_{it} – общий возраст активного ила, сутки;

SP_i – прирост активного ила, кг/сутки;

a_i – доза активного ила, кг/м³.

В случае использования многоступенчатой нитри-денитрификации вместо

единой дозы ила a_i используется доза ила в ступени $a_{i\ step}$. Расчет ее значений – см. приложение Л.

Объем анаэробной емкости для биологического удаления фосфора V_{anaer} (при ее наличии) определяется отдельно (см. приложение И).

Общий объем биореактора определяется как сумма зон нитрификации и анаэробной:

$$V_{BR} = V_{ND} + V_{anaer} \quad (K-17)$$

Расчеты по формулам (K-1) и (K-2) проводятся на заключительном этапе, после расчета, либо выбора величин, в них входящих, в том числе расчета массового баланса вторичных отстойников, неотъемлемо связанных с аэротенками рядом технологических показателей.

K2. Расчет возраста активного ила

K2.1 Расчетные значения аэробного возраста являются функцией температуры в биореакторе, целевых концентраций аммонийного азота и азота нитритов, а также мощности КОС.

Для обычных поселений возраст ила следует определять для минимальной расчетной температуры (поз. 19 табл. В1, приложение В). Для летних курортов расчет следует проводить как для этого периода, так и для периода с максимальной нагрузкой (также см. табл. В1), при температуре сточной воды в этот период.

Расчетное (проектируемое) значение аэробного возраста ила t_{ia} определяется как

$$t_{ia} = t_{ia\ min} K_{SF} \quad (K-3)$$

где

$t_{ia\ min}$ – минимальное теоретическое значение аэробного возраста ила, обеспечивающее поддержание процесса нитрификации с заданным значением концентрации азота;

K_{SF} - коэффициент надежности, учитывающий фактор неравномерности поступления загрязнений и других возможных воздействий, таких как изменение температуры, pH, токсичности и других отклонений от расчетных условий. Значение K_{SF} рекомендуется принимать по таблице К1 в зависимости от масштаба КОС (с учетом того, что чем крупнее КОС, тем меньше вероятность и выраженность описанных воздействий), а также наличия или отсутствия усреднения сточных вод.

Таблица К1 – Значения коэффициента надежности K_{SF} для КОС различного масштаба

Расчетная входная нагрузка по БПК ₅ , кг/сутки	Значение коэффициента запаса K_{SF}	
	Без автоматического поддержания концентрации растворенного кислорода	При автоматическом поддержании концентрации растворенного кислорода *
Менее 1000	1,6	-
1000 – 3000	1,5	1,35
3000 – 6000	1,4	1,25
Более 6000	1,3	1,2

Примечание: основное влияние неравномерности притока загрязняющих веществ сказывается на колебаниях концентрации кислорода, значительно влияющих на скорость процесса нитрификации, особенно 2-й фазы. Поэтому при использовании системы автоматического поддержания концентрации кислорода значение, K_{SF} может быть принято ниже, чем в ее отсутствие.

При использовании усреднителя расхода сточных вод с временем пребывания не менее 6 ч по максимальному притоку за этот период значение K_{SF} возможно принимать равным 1,3.

К2.2 Значение минимального возраста ила $t_{ia\ min}$ следует принимать с учетом расчетных концентраций по аммонийному азоту, так и по азоту нитритов.

Расчетный минимальный возраст ила (без учета коэффициента надежности) следует определять отдельно для первой (окисление аммонийного азота до нитритов) и второй (окисление нитритов до нитратов) стадий нитрификации, как $t_{ia,min\ 1}$ и $t_{ia,min\ 2}$, по однотипным уравнениям ферментативной кинетики (но с различными значениями коэффициентов), выражающим возраст ила как величину, обратную от скорости роста микроорганизмов μ :

$$t_{ia,min\ 1} = \frac{1}{\mu_1} \quad (K-4)$$

$$t_{ia,min\ 2} = \frac{1}{\mu_2} \quad (K-5)$$

Скорость роста микроорганизмов рассчитывается по уравнениям:

$$\mu_1 = \mu_1(T) \frac{S_1}{(S_1 + K_{S1})} - b_1(T) \quad (K-6)$$

$$\mu_2 = \mu_2(T) \frac{S_2}{(S_2 + K_{S2})} - b_2(T) \quad (K-7)$$

где

$\mu_1(T)$ и $\mu_2(T)$ – максимальные значения скорости роста при заданной температуре,

S_1 и S_2 – расчетные концентрации субстратов, соответственно, аммонийного азота и азота нитритов, в очищенной воде, мг/дм³,

K_{s1} и K_{s2} – коэффициенты полунасыщения для обеих стадий,

$b_1(T)$ и $b_2(T)$ – скорости отмирания биомассы при заданной температуре.

Значение максимальная скорость роста для первой фазы нитрификации при заданной температуре рассчитывается как:

$$\mu_1(t) = \mu_{\max 1} a^{T_{ww} \dim - 15} \text{ (К-8)}$$

Значение максимальной скорости роста для второй фазы нитрификации при заданной температуре рассчитывается как:

$$\mu_2(t) = \mu_{\max 2} e^{f(T_{ww} \dim - 15)} \text{ (К-9)}$$

где

$\mu_{\max 1}$ и $\mu_{\max 2}$ – значения максимальной скорости роста биомассы данных групп нитрификаторов при 15 °С (здесь и далее в данном пункте значения см. в табл. К2),

a, f - коэффициенты,

t – температура °С

Скорость отмирания для первой фазы нитрификации при заданной температуре рассчитывается как:

$$b_1(T) = b_{15 1} c^{T_{ww} \dim - 15} \text{ (К-10)}$$

Скорость отмирания для второй фазы нитрификации при заданной температуре рассчитывается как:

$$b_2(T) = b_{15 2} e^{d(T_{ww} \dim - 15)} \text{ (К-11)}$$

Где

$b_{15 1}$ и $b_{15 2}$ – скорость отмирания биомассы данных групп нитрификаторов при 15 °С, на 1-й и 2-й ступенях, соответственно;

c, d – коэффициенты.

Коэффициенты кинетических уравнений (К-6) – (К-11) принимаются по табл. К2 и К3.

Таблица К2 – Значения кинетических коэффициентов для расчета возраста ила для 1-й и 2-й ступеней нитрификации, при концентрации аммонийного азота 1 мг/дм³ и более

Коэффициент	Ступени нитрификации	
	1-я (окисление аммония до	2-я (окисление нитрита до

	нитрита): величины с индексом 1	нитрата): величины с индексом 2
a, c	1,103	-
f, d	-	0,059
μ_{max}	0,5	0,7
b_{15}	0,1	0,05
K_s	0,55	0,25

Таблица К3. Значения кинетических коэффициентов для расчета возраста ила для 1-й и 2-й ступеней нитрификации при концентрации аммонийного азота в очищенной воде 0,4 мг/дм³

Коэффициент	Ступени нитрификации	
	1-я (окисление аммония до нитрита): величины с индексом 1	2-я (окисление нитрита до нитрата): величины с индексом 2
a, c*	1,103	-
f, d*		0,059
μ_{max}	0,35	0,5
b_{15}	0,05	0,05
K_s	0,3	0,1

К2.3 Минимальные значения аэробного возраста также допускается принимать по таблицам К4 и К5, данные которых рассчитаны в соответствии с п. К2.2.

Таблица К4 – Минимальные значения аэробного возраста ила для окисления аммонийного азота

Температура сточной воды, °С	Минимальное значение аэробного возраста ила $t_{ia,min NH_4^*}$, обеспечивающее** достижение концентраций аммонийного азота, не более, мг/дм ³			
	0,4	1,0	1,5	2,0
10	10,9	7,3	6,1	5,6
11	9,9	6,6	5,6	5,1
12	8,9	6,0	5,0	4,6
13	8,1	5,5	4,6	4,2
14	7,4	5,0	4,1	3,8

15	6,7	4,5	3,8	3,5
16	6,0	4,1	3,5	3,5
17	5,5	3,7	3,5	3,5
18	5,0	3,5	3,5	3,5
19	4,5	3,5	3,5	3,5
20	4,1	3,5	3,5	3,5
21	3,7	3,5	3,5	3,5
22	3,5	3,5	3,5	3,5
23	3,5	3,5	3,5	3,5
24	3,5	3,5	3,5	3,5
25	3,5	3,5	3,5	3,5

* без учета K_{SF}

** при соблюдении всех остальных необходимых условий

Таблица К5 – Минимальные значения аэробного возраста ила для окисления азота нитритов.

Расчетная температура, °C	Минимальное значение аэробного возраста ила $t_{ia,min N-NO_2}$ *, обеспечивающее** достижение концентраций азота нитритов, не более, мг/дм ³					
	0,05	0,1	0,125	0,15	0,2	0,25
10	11,5	9,0	7,3	6,3	5,1	4,5
11	10,9	8,4	6,9	6,0	4,8	4,2
12	10,2	8,0	6,5	5,6	4,6	4,0
13	9,6	7,5	6,1	5,3	4,3	3,8
14	9,1	7,1	5,8	5,0	4,1	3,5
15	8,6	6,7	5,5	4,7	3,8	3,5
16	8,1	6,3	5,1	4,4	3,6	3,5
17	7,6	5,9	4,8	4,2	3,5	3,5
18	7,2	5,6	4,6	3,9	3,5	3,5
19	6,8	5,3	4,3	3,7	3,5	3,5
20	6,4	5,0	4,1	3,5	3,5	3,5
21	6,0	4,7	3,8	3,5	3,5	3,5
22	5,7	4,4	3,6	3,5	3,5	3,5
23	5,3	4,2	3,5	3,5	3,5	3,5
24	5,0	3,9	3,5	3,5	3,5	3,5

25	4,8	3,7	3,5	3,5	3,5	3,5
----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

* без учета K_{SF}

** при соблюдении всех остальных необходимых условий

Определив по п. К2.2, либо по таблицам К4 и К5 два значения возраста ила - $t_{ia \min NH_4}$ и $t_{ia \min N-NO_2}$, соответствующие расчетной температуре и требуемым значениям концентраций, следует принять максимальное из них.

К2.4 С учетом того, что значения ТП НДТ прописаны как среднегодовые, допускается при реконструкции существующих сооружений использовать для расчетного зимнего периода значение расчетной целевой концентрации азота нитритов на 25% выше, чем величина ТП НДТ, из соображений, что в более теплые периоды (как минимум 6 месяцев в году) концентрация азота нитритов будет как минимум настолько же ниже. Соответственно, для значения ТП НДТ $C_{ex NO_2}$ 0,1 мг/дм³ рекомендуемая скорректированная расчетная величина $C_{ex NO_2 \dim}$ составит 0,125 мг/дм³, для величины ТП 0,15 мг/дм³ – 0,188 мг/дм³ (допускается принять значения $t_{ia, \min N-NO_2}$ как для 0,2 мг/дм³), для ТП 0,2 мг/дм³ – 0,25 мг/дм³. Для значения ТП НДТ 0,25 мг/дм³ использование указанного повышающего коэффициента нецелесообразно, т.к. лимитирующим в этом случае является $t_{ia, \min NH_4}$.

Не следует принимать расчетный аэробный возраст ила менее 3,5 суток.

К2.5 Для летних курортов необходимо выполнить расчет двух значений объемов аэротенков – для курортного и зимнего сезонов, и выбрать больший из двух. Для этого необходимо рассчитать значение возраста ила для расчетной температуры летнего курортного сезона и использовать его в параллельном расчете объема.

К2.6 Общий возраст ила в системе нитри-денитрификации определяется по формуле, отражающей соотношение аэробной и анаэробных зон (условий)

$$t_{it} = t_{ia} \frac{1}{1 - \frac{V_D}{V_{ND}}} \quad (K-12)$$

где $\frac{V_D}{V_{ND}}$ – отношение объема денитрификатора V_D к общему объему технологических емкостных биологических сооружений с активным илом (без учета анаэробной зоны) V_{ND} . Его величину следует определять в зависимости от отношения концентрации азота нитратов, подлежащего удалению при денитрификации, к БПК₅ сточной воды, поступающей на биологическую очистку – см. ниже.

К3. Расчет количества нитратов, которое необходимо удалить в

процессе денитрификации

К.3.1 При расчете с использованием БПК концентрацию нитратного азота, подлежащего удалению, $C_{NO_3 D}$, мг/дм³, следует определять по балансовому уравнению

$$C_{NO_3 D} = C_{N \text{ dim IAT}} - C_{Norg f} - C_{NH_4 EX} - C_{NO_3 EX} - X_{Norg i} \quad (K-13)$$

где

$C_{N \text{ dim IAT}}$ – содержание общего азота в сточной воде, поступающей на биологическую очистку, мг/дм³. При использовании первичного осветления $C_{N \text{ dim IAT}} = C_{ND \text{ set}}$;

$C_{Norg f}$ – концентрация органического азота в фильтрованной пробе очищенной воде, мг/дм³. Для сточных вод поселений она может быть принята равной 1 мг/дм³. При отведении производственных сточных вод, содержащих трудно окисляемые органические примеси, данный параметр может иметь более высокое значение, которое следует определять экспериментально и учитывать при расчетах;

$C_{NH_4 EX}$ – концентрация аммонийного азота в очищенной воде, мг/дм³;

$C_{NO_3 EX}$ – расчетная концентрация азота нитратов в очищенной воде, мг/дм³. Рекомендуется принимать на 1 мг/дм³ меньше, чем требуемое на сбросе значение;

$X_{Norg i}$ – азот, входящий в состав прироста биомассы активного ила. Его значение рекомендуется принимать равным 0,045 от $C_{BOD \text{ dim IAT}}$ (при использовании первичного осветления здесь и далее $C_{BOD \text{ dim IAT}} = C_{BOD D \text{ set}}$, без него $C_{BOD \text{ dim IAT}} = C_{BOD \text{ dim}}$).

Концентрация азота нитритов в очищенной воде принимается равной нулю и в формуле не показана.

С учетом вышеизложенного формулой (K-13) с учетом данных выше рекомендаций выглядит как

$$C_{NO_3, D} = C_{N \text{ dim IAT}} - C_{NO_3 EX} - 0,045 C_{BOD \text{ dim IAT}} - C_{NH_4 EX} - 1 \quad (K-14)$$

К3.2 При расчете на основе фракций ХПК формула (K-13) имеет иной вид:

$$C_{NO_3, D} = C_{N \text{ dim IAT}} - C_{NO_3 EX} - C_{NH_4 EX} - C_{Norg f} - X_{Norg i} - X_{org N \text{ inert}} \quad (K-15)$$

При использовании первичного осветления $C_{N \text{ dim IAT}} = C_{ND \text{ set}}$. Для расчёта на данной стадии принимается как $C_{ND \text{ set}}$ при 30% эффективности отстаивания.

$$C_{ND \text{ set}} = C_{N \text{ dim}} - 0,035 C_{SS D} \frac{E_{set D}}{100} \quad (K-16)$$

$X_{Norg i}$ рассчитывается как $0,07 COD_{BM}$

где COD_{BM} – ХПК образовавшейся биомассы, рассчитываемая как

$$COD_{BM} = (C_{COD D SS} + C_{COD set Xs D}) * Y * \frac{1}{1+b t_{it} F_t} \quad (K-17)$$

где

Y – коэффициент прироста гетеротрофных микроорганизмов, рекомендуется принимать 0,6 мг ХПК ила на мг ХПК окисленного;

b – коэффициент эндогенного отмирания гетеротрофных микроорганизмов, принимаемый $0,15 \text{ сут.}^{-1}$

При использовании первичных отстойников содержание фракции $C_{COD set Xs D}$ принимается для эффективности отстаивания $E_{set D}$, полученной при расчете первичных отстойников (приложение Д)

$$C_{COD set Xs D} = C_{COD D Xs} * (1 - \frac{E_{set D}}{100}) \quad (K-18)$$

$X_{orgN inert}$ – содержание азота в инертной части взвешенных веществ, включая инертную часть активного ила, определяется как доля от ХПК взвешенных веществ

$$X_{orgN inert} = 0,03 (C_{COD set Xi} + COD_{BM inert}) \quad (K-19)$$

Составляющие ХПК в данной формуле определяются как

$$C_{COD set Xi} = C_{COD D Xi} * (1 - \frac{E_{set D}}{100}) \quad (K-20)$$

$$COD_{BM inert} = 0,2 COD_{BM} b t_{it} F_t \quad (K-21)$$

К4 Определение необходимой пропорции объема зоны денитрификации к объему биологического реактора и общего возраста активного ила

К4.1 Расчет при использовании БПК

К4.1.1 Здесь и далее под объемами аэробной и аноксидной зон понимаются как физические объемы этих зон, в которых поддерживаются соответствующие условия (в технологии с предвключенным денитрификатором и ей подобных), так и условные объемы, отражающие долю поддержания аэробных и аноксидных условий в едином объеме биореактора (в периодическом или симультанном процессах).

Соотношение объема аноксидной зоны V_D к общему объему зон нитри-денитрификации $V_{ND} (\frac{V_D}{V_{ND}})$ следует определять по формуле

$$\frac{V_D}{V_{ND}} = f\left(\frac{N}{C}\right) * \frac{C_{NO3 D}}{C_{BOD D IAT}} \frac{3,87}{q_o} \quad (K-22)$$

где

q_o – удельный расход кислорода воздуха, мг на 1 мг удаленной БПК₅.

$C_{BOD D IAT}$ – концентрация БПК₅ в сточной воде, поступающей на аэротенки. При

использовании первичного осветления здесь и далее $C_{BOD D IAT} = C_{BOD D set}$. При применении процесса ацидофикации дополнительное образование БПК следует определять по приложению Е.

$f \frac{N}{C}$ – фактор, учитывающий влияние легко окисляемой органики при избытке органических веществ для денитрификации. Чем больше доля использования легко окисляемой органики в процессе денитрификации, тем выше отношение скорости окисления органических веществ в денитрификаторе к средней скорости окисления в аэротенке.

Соотношение $\frac{C_{NO3 D}}{C_{BOD D}}$ играет важную роль в дальнейшем расчете, определяя соотношение объема аноксидной зоны к общему объему зон нитри-денитрификации. Не следует проводить расчет сооружений, если значение $\frac{C_{NO3 D}}{C_{BOD D}}$ получается более 0,15, т.к. это приведет в итоге к величине доли аноксидной зоны от общего объема зон нитри-денитрификации более 0,5, что не рекомендуется. Меры, рекомендуемые в ситуации, когда значение $\frac{C_{NO3 D}}{C_{BOD D}}$ при фактическом качестве стока получилось более 0,15, описаны ниже.

К4.1.2 Значения $f \left(\frac{N}{C} \right)$ принимаются или рассчитываются следующим образом. Для схем с периодической, ступенчатой и одновременной нитри-денитрификацией, а так же при значении $\frac{C_{NO3 D}}{C_{BOD D}} = 0,15$ для всех технологических схем $f \left(\frac{N}{C} \right)$ принимается равным 1. Это означает, что в этих ситуациях избыток органического вещества не наблюдается. Для сооружений с предвключённой зоной денитрификации (модифицированная технология Лудзака-Эттингера и многоступенчатый процесс, а также при использовании этих принципов в технологиях биологического удаления фосфора) величина $f \left(\frac{N}{C} \right)$ в диапазоне значений $\frac{C_{NO3 D}}{C_{BOD IAT}}$ от 0,1 до 0,145 рассчитывается по формуле (К-23) или может быть принято по таблице К6, рассчитанной по ней. Обращаем внимание, что величина $f \left(\frac{N}{C} \right)$ не может быть больше 1,0.

$$f \left(\frac{N}{C} \right) = 0,185 e^{11,6 \frac{C_{NO3 D}}{C_{BOD IAT}}} \quad (K-23)$$

Таблица К6 – Значения фактора $f \left(\frac{N}{C} \right)$ в зависимости от значения соотношения

$$\frac{C_{NO3 D}}{C_{BOD D IAT}}$$

$\frac{C_{NO3, D}}{C_{BOD D IAT}}$	$f\left(\frac{N}{C}\right)$
0,1	0,59
0,105	0,63
0,11	0,66
0,115	0,70
0,12	0,74
0,125	0,79
0,13	0,84
0,135	0,89
0,14	0,94
0,145	0,99

К4.1.3 Величина q_o , отражающая отношение потребления кислорода на окисление углерод-содержащих соединений к величине БПК₅, зависит не только от температуры процесса, но и от общего возраста ила, вычисление которого на данной стадии расчета еще не произведено. Таким образом, определение значения соотношения $\frac{V_d}{V_{ND}}$ требует итерационного расчета, который осуществляют следующим образом :

- 1) Рассчитать приблизительное значение q_o

$$q_o = 0,56 + \frac{0,15 t_{it} F_T}{1 + 0,17 t_{it} F_T} \quad (K-24)$$

где F_T – температурный коэффициент для эндогенного дыхания, определяемый по формуле

$$F_T = 1,072^{T-15} \quad (K-25)$$

Значение общего возраста ила t_{it} в первой итерации расчета можно принять равным 15 суток;

- 2) Получив приблизительное значение q_o , определить приблизительное значение $\frac{V_D}{V_{ND}}$ по формуле (K-22);

- 3) подставив приблизительное значение $\frac{V_D}{V_{ND}}$ в формулу (K-12), определить уточненное значение общего возраста t_{it} ;

4) для уточненного значения t_{it} повторить расчет по формуле (К-23) и получить уточненное значение q_o ;

5) повторить вышеописанные процедуры 2-3 раза и получить окончательные значения $\frac{V_D}{V_{ND}}$ и t_{it} . Итерационный расчет можно окончить, когда значение $\frac{V_D}{V_{ND}}$ не меняется во втором знаке после запятой.

Значение q_o также можно принять по таблице К7 с учетом интерполяции.

Значения $\frac{V_D}{V_{ND}}$ менее чем 0,2 и более чем 0,5 не рекомендуются. При расчетном значении $\frac{V_D}{V_{ND}}$ менее 0,2 следует принимать его равным 0,2. Рекомендации для ситуации при значении свыше 0,5 – см. ниже, в конце данного раздела.

Если в технологической схеме использованы первичные отстойники, эффективность отстаивания в которых рассчитана в соответствии с рекомендациями приложения Д, исходя из поддержания в осветленной сточной воде минимально допустимого соотношения BNR_{set} , соответствующего значению $\frac{V_D}{V_{ND}}$, равному 0,5, то, поскольку объемы зон нитрификации и денитрификации в этом случае одинаковы, то общий возраст ила рассчитывается как:

$$t_{it} = 2 t_{ia} \text{ (К-26)}$$

Учитывая, что изменение величины q_o в диапазоне возраста ила 10-18 суток по отношению к возрасту ила 15 суток составляет не более 6%, на этом предварительный расчёт возраста ила для данной ситуации можно считать законченным. Проверка общего возраста ила проводится после расчёта процесса удаления фосфора и определения прироста.

К4.1.4 В случае, если величина $\frac{C_{NO_3 D}}{C_{BOD D}}$ составляет более 0,15 и/или полученный расчетный объем денитрификатора составляет свыше 0,5 от V_{ND} , рекомендуется рассмотреть следующие мероприятия по снижению данного соотношения:

- проверить расчет первичных отстойников в соответствии с приложением Д и рассмотреть возможность снижения степени осветления воды при первичном отстаивании и повышения БПК₅ осветленной сточной воды, поступающей на биологическую очистку, вплоть до отказа от первичного осветления (либо использованию различных вариантов ацидофикации). Этот метод приоритетен при отсутствии в составе сооружений обработки осадка (или в перспективных планах)

метантенков;

- при наличии существенного возвратного потока аммонийного азота от сооружений уплотнения и обезвоживания сброженного осадка – устройство сооружений для отдельной обработки этого потока с очисткой от аммонийного азота по технологии Анаммокс (анаэробное окисление аммония). Технология обеспечивает удаление аммония с минимальными затратами электроэнергии и без затрат органического вещества, что позволит понизить значение соотношения $\frac{C_{NO3\ D}}{C_{BOD\ D}}$ в поступающих сточных водах после смешения с возвратными потоками. Этот метод рекомендуется при ориентации ОС на максимальное энергосбережение и энергогенерацию (путем утилизации биогаза метантенков). Данный процесс хорошо апробирован за рубежом, но в России пока не использовался и его следует проектировать по рекомендациям специализированных организаций.

Также вне рамок проекта ОС рекомендуется рассмотреть следующие мероприятия:

- установление повышенных значений допустимых концентраций по БПК₅ для промышленных абонентов, сбрасывающих легко окисляемые органические соединения;

- уменьшение доли сточных вод, поступающих путем вывоза сточных вод, с присоединением абонентов к централизованной системе канализации.

К4.1.5 В случае, если перечисленные методы не дают необходимого эффекта или не осуществимы на практике в рассматриваемой перспективе, и существует уверенность в исходных данных по соотношению азота и БПК, следует предусматривать дозирование внешнего субстрата.

Также в качестве внешнего субстрата могут быть использованы товарные (например, некондиционные) пищевые вещества, либо концентрированные отходы пищевых производств, характеризующиеся низким содержанием азота: молочная и сырная сыворотка, патока и др. Отработку режима дозирования внешнего субстрата и его выбор следует производить при наладке и последующей эксплуатации очистных сооружений. При использовании предварительной и симультанной (одновременной) денитрификации подачу субстрата следует предусматривать непосредственно в сточную воду, поступающую на биологические очистные сооружения. Для периодической и чередующейся денитрификации, а также отдельных многоступенчатых схемах денитрификации субстрат следует дозировать только в

денитрификаторы или во время фазы денитрификации.

Дозу добавляемого внешнего субстрата $C_{COD\ add}$, мг/дм³ сточной воды, следует определять исходя из концентрации азота, который не может быть удален с использованием органического вещества сточных вод $C_{NO3\ ext}$, определяемой по формуле

$$C_{NO3\ ext} = C_{NO3\ D} - 0,15 C_{BOD\ D\ IAT} \quad (K-27)$$

где:

$C_{NO3\ ext}$ — избыточное количество нитратного азота, удаление которого не обеспечивается БПК сточной воды.

0,15 — максимальное значение соотношения концентрации денитрифицируемого азота и БПК₅ в воде поступающей на аэротенки $\frac{C_{NO3\ D}}{C_{BOD\ D\ IAT}}$, при котором весь необходимый азот может быть удален с использованием органического вещества сточных вод при использовании соотношения $\frac{V_D}{V_{ND}} = 0,5$.

Потребность во внешнем углероде допускается принимать из расчета 5 кг ХПК/кг азота, подлежащего денитрификации и не обеспеченного субстратом. При использовании органических реагентов надлежит принимать необходимые меры по минимизации их потребления (автоматизация контроля необходимости и дозирования реагентов), а также учитывать добавляемое количество органического вещества при расчетах потребности сооружения в кислороде, а также прироста избыточного ила (биопленки).

Количество добавляемого ХПК принимается равным 5 мг/мг от величины, рассчитанной по (K-19) и определяется по формуле:

$$C_{COD\ add} = 5 C_{NO3\ ext} \quad (K-28)$$

K4.2 При расчете по фракциям ХПК (рекомендуемый)

K4.2.1 Расчет соотношения объема денитрификатора к общему объему аэротенка основан на балансе окислителей в зонах нитрификации и денитрификации. При использовании первичных отстойников соотношение $\frac{V_D}{V_{ND}} = 0,5$.

При расчёте процесса без использования первичных отстойников соотношение объема денитрификатора к общему объему зон нитри-денитрификации $\frac{V_D}{V_{ND}}$ определяют по балансу окислителей по формуле

$$\frac{V_D}{V_{ND}} = \left(\frac{OV_d - 0,75 OV_{SA}}{0,75 OV_{cd} - 0,75 OV_{SA}} \right)^{1,47} \quad (K-29)$$

где

OV_d – возврат кислорода в процессе денитрификации;

OV_{SA} - потребность в кислороде для легко окисляемых веществ;

OV_{cd} - потребность в кислороде на окисление всего ХПК (при концентрациях, соответствующих расчёту денитрификации).

К4.2.2 Потребность в кислороде на окисление всего ХПК OV_{cd} определяется по уравнению

$$OV_{cd} = (C_{COD D Ss} + C_{COD D Xs}) - COD_{BM} - COD_{BM inert} \quad (K-30)$$

где

COD_{BM} - ХПК образовавшейся (живой) биомассы;

$COD_{BM inert}$ – ХПК инертной (отмершей) части биомассы

$$COD_{BM} = (C_{COD D Ss} + C_{COD D Xs}) * Y * \frac{1}{1 + b t_{it} F_t} \quad (K-31)$$

$$COD_{BM inert} = 0,2 COD_{BM} b t_{it} F_t \quad (K-32)$$

К4.2.3 Возврат кислорода в процессе денитрификации OV_d определяется по формуле

$$OV_d = 2,86 C_{NO3, D} \quad (K-33)$$

Определение концентрации азота нитратов, подлежащего денитрификации $C_{NO3, D}$ имеет отличия от ее расчета при работе с БПК₅. Используют формулу

$$C_{NO3, D} = C_{N dim IAT} - C_{NO3 EX} - C_{NH4 EX} - S_{org an} - X_{org N bm} - X_{org N inert} \quad (K-34)$$

где

$X_{org N bm}$ - концентрация азота в биомассе, определяемая как

$$X_{org N bm} = 0,07 COD_{BM} \quad (K-35)$$

$X_{org N inert}$ концентрация азота в отмершей биомассе.

$$X_{org N inert} = 0,03 (C_{COD D Xi} + COD_{BM inert}) \quad (K-36)$$

К4.2.4 Потребность в кислороде на окисление легкоокисляемой органики определяют по формуле

$$OV_{SA} = C_{COD D Sa} (1 - Y) \quad (K-37)$$

К4.3 Особенности расчета для процессов МУСТ и JNB

К4.3.1 Для процессов МУСТ и JNB далее следует осуществить расчет долю каждой из двух зон, обеспечивающих соответственно денитрификацию внешнего и внутреннего рециклов в общей доле объема денитрификатора (см. приложение А) от объема сооружений нитри-денитрификации. В обоих случаях сумма долей этих

объемов равна доле зоны денитрификации в общем объеме нитри-денитрификации.

При расчете этих долей необходимо учитывать, что распределение по этим зонам легкодоступного для денитрификаторов органического вещества неравномерно. В процессе МУСТ в зоне денитрификации возвратного ила (внешнего рецикла) имеет место более высокая доля легкодоступной органики, за счет того, что для части процесса денитрификации в этой зоне доступна вся органика, и, кроме того, туда поступает органическое вещество, как гидролизованное в анаэробной зоне, так и запасённое фосфат-аккумулирующими организмами. В зоне денитрификации внутреннего рецикла в основном присутствуют более трудноокисляемые органические вещества.

В процессе JНВ, рассматриваемого в рамках настоящего стандарта с опцией подачи части стока в зону денитрификации возвратного ила, в данной зоне бактериями-денитрификаторами используются все виды органики, со значительной ролью эндогенного дыхания (окисления клеточного вещества бактерий), поэтому скорость процесса ниже, чем в среднем по аэротенку.

С учетом этого, при определении долей объемов денитрификации возвратного ила следует дополнительно использовать локальные коэффициенты $f\left(\frac{N}{C}\right)$, относящиеся только к этим зонам.

К4.3.2 Для расчёта доли объёма денитрификации, выделяемой для денитрификации ила в процессе МУСТ, следует исходить из соотношения масс азота, удаляемого в общей схеме денитрификации и азота, удаляемого в денитрификаторе ила.

Общая масса азота, удаляемая в процессе, составляет:

$$M_{ND} = \frac{Q_{d\ mid} * C_{NO3\ D}}{1000} \quad (K-38)$$

Масса азота, удаляемая в денитрификаторе ила, составляет:

$$M_{NS} = \frac{C_{NO3\ EX} * Q_{d\ mid} * R_i}{1000} \quad (K-39)$$

Где $Q_{d\ mid}$ - средний суточный расход сточных вод.

Исходя из этого долю объема денитрификатора возвратного ила V_{DS} от общего объема денитрификации – величину $\frac{V_{DS}}{V_D}$, следует определять по формуле:

$$\frac{V_{DS}}{V_D} = \frac{C_{NO3\ EX} * R_i}{C_{NO3\ D}} * \frac{f\left(\frac{N}{C}\right)_{DS\ MUCT}}{f\left(\frac{N}{C}\right)} \quad (K-40)$$

где $f\left(\frac{N}{C}\right)_{DS\ MUCT}$ – локальный коэффициент $f\left(\frac{N}{C}\right)$ для зоны денитрификации возвратного ила (зона Д1) в процессе МУСТ, принимаемый равным 0,65.

Далее следует определить долю объема денитрификатора внутреннего рецикла $\frac{V_{DR}}{V_D}$ по формуле

$$\frac{V_{DR}}{V_D} = 1 - \frac{V_{DS}}{V_D} \quad (K-41)$$

К4.3.3 При расчете части денитрификатора, выделяемой для денитрификации ила в процессе JHB, так же следует исходить из соотношения массы азота, удаляемого в процессе денитрификации и в денитрификаторе ила. Соотношение масс описывается аналогичным образом. Но доза ила в данной части сооружения выше, чем в сооружении в целом. Поэтому $\frac{V_{DS}}{V_D}$ следует определять по формуле:

$$\frac{V_{DS}}{V_D} = \frac{C_{NO3\ EX} * R_i}{C_{NO3\ D}} * \frac{f\left(\frac{N}{C}\right)_{DS\ JHB}}{f\left(\frac{N}{C}\right)} * \frac{a_i}{a_{i\ DS}} \quad (K-42)$$

где $f\left(\frac{N}{C}\right)_{DS\ JHB}$ – локальный коэффициент $f\left(\frac{N}{C}\right)$ для зоны денитрификации возвратного ила (зона Д1) в процессе JHB, принимаемый равным 1,2;

$a_{i\ DS}$ - доза ила в денитрификаторе возвратного ила, вычисляемая как

$$a_{i\ DS} = \frac{Q_{d\ mid} * R_i * a_{Ri}}{Q_{d\ mid} * R_i + Q_{DS}} \quad (K-43)$$

где Q_{DS} – расход сточной воды, подаваемой в денитрификатор ила, рассчитывается исходя из соотношения масс БПК₅ и азота, денитрифицируемого в денитрификаторе ила,

M_{NS} - масса денитрифицируемого азота

$$M_{NS} = \frac{C_{NO3\ EX} * Q_{d\ mid} * R_i}{1000} \quad (K-44)$$

M_{BOD} - необходимая масса БПК₅, подаваемая в денитрификатор ила рассчитывается по уравнению

$$M_{BOD} = \frac{Q_{d\ DS} * C_{BOD\ D\ IAT}}{3,87 * 1000} \quad (K-45)$$

Откуда:

$$Q_{DS} = \frac{3,87 * C_{NO3 EX} * Q_{d mid} * R_i}{C_{BOD D IAT}} \quad (K-46)$$

Соотношение расхода сточной воды, подаваемой в денитрификатор ила, и общего расхода сточной воды определяется по формуле:

$$\frac{Q_{DS}}{Q_{d mid}} = \frac{3,87 * C_{NO3 EX} * R_i}{C_{BOD D IAT}} \quad (K-47)$$

Доля объема денитрификатора внутреннего рецикла (зона Д2) $\frac{V_{DR}}{V_D}$ определяется от общего объема зоны денитрификации по формуле (K-41).

К5. Расчет прироста ила

К5.1 При расчете по БПК

К5.1.1 Следует учитывать, что прирост ила зависит от температуры сточной воды, он тем выше, чем ниже температура (окисление сорбированных органических веществ протекает примерно в два раза медленнее)

Для расчета прироста ила на КОС следует использовать в качестве релевантного то же значение температуры, которое применяется при назначении минимального аэробного возраста ила (подраздел К2). Релевантным значением расхода является средний расход $Q_{d mid dim}$ за три наиболее холодных месяца сезона более высокой нагрузки (для обычных населенных пунктов – зимнего сезона). Принятие средней величины расхода связано с тем, с большим его усреднением за период, равный возрасту ила.

Для летних курортов релевантная температура для расчета прироста, как правило, относится к летнему периоду (см. приложение С), т.е. это тот же период, который следует использовать для определения потребности аэротенков в кислороде для всех КОС

Так же для этих КОС следует использовать среднюю нагрузку, соответствующую данному периоду.

К5.1.2 Прирост активного ила SP_i , кг/сутки, следует определять по формуле

$$SP_i = SP_{org} + SP_p \quad (K-48)$$

где SP_{org} — прирост активного ила, получаемый в процессе биологической деструкции органических веществ и сорбции загрязнений, кг/сутки;

SP_p — прирост активного ила, получаемый в процессе удаления фосфора, кг/сутки.

Величина SP_p в общем виде определяется по формулам

$$SP_p = SP_{p\text{ prec}} + SP_{p\text{ bio}} \quad (\text{K-49})$$

$$SP_{p\text{ prec}} = \frac{K_{p\text{ prec}} D_m Q_{d\text{ mid dim}}}{1000} \quad (\text{K-50})$$

$$SP_{p\text{ bio}} = \frac{K_{p\text{ bio}} X_{p\text{ bio}} Q_{d\text{ mid dim}}}{1000} \quad (\text{K-51})$$

где $K_{p\text{ prec}}$ - коэффициент образования осадка при добавлении реагента, принимаемый равным 2,5 кг сухого вещества/кг добавленного железа или 4 кг сухого вещества/кг добавленного алюминия,

$K_{p\text{ bio}}$ - коэффициент образования осадка при улучшенном биологическом удалении фосфора, принимаемый равным 3 кг сухого вещества ила /кг удаленного общего фосфора (этот коэффициент учитывает вхождение в биомассу ФАО дополнительных полифосфатов, не относящихся к ее приросту в результате потребления субстратов);

К5.1.3 Прирост активного ила, получаемый в процессе биологической деструкции органических веществ и сорбции загрязнений SP_{org} , следует определять по формуле

$$SP_{org} = \frac{sp_{BOD} C_{BOD} Q_{d\text{ mid dim}}}{1000} \quad (\text{K-52})$$

где sp_{BOD} - удельный прирост активного ила, кг/кг БПК₅, зависящий от температуры, соотношения концентраций взвешенных веществ и БПК₅ (величина $K_{\frac{SS}{BOD}}$), а также - от возраста ила. При этом

$$K_{\frac{SS}{BOD}} = \frac{C_{SS}}{C_{BOD}} \quad (\text{K-53})$$

Для схем без первичного отстаивания применяется для расчета концентрация C_{BOD} , равная $C_{BOD\text{ dim}}$, при наличии первичных отстойников – $C_{BOD\text{ set}}$ (концентрация БПК₅ после отстойников), либо – величина, определяемая по формуле (K-56). То же относится и к концентрации взвешенных веществ.

К 5.1.4 Величину sp_{BOD} следует определять по формуле:

$$sp_{BOD} = 0,75 + 0,6K_{\frac{SS}{BOD}} - \frac{0,1 t_{BR} F_T}{1+0,17 t_{BR} F_T} \quad (\text{K-54})$$

Где

F_T – температурная поправка, учитывающая эндогенное окисление:

$$F_T = 1,072^{(T_{I\text{ min dim}} - 15)} \quad (\text{K-55})$$

t_{BR} – общий возраст ила в биореакторе (с учетом анаэробной зоны). Для процессов с химическим удалением фосфора $t_{BR} = t_{it}$

Целесообразность учета времени пребывания ила в анаэробной зоне вызвана протеканием в ней процессов гидролиза взвешенных веществ, а также отмирания нитрификаторов, что существенно для общей величины прироста ила. Поскольку объемы сооружений еще не рассчитаны, для технологий с биологическим удалением фосфора, общий возраст ила в биореакторе (с учетом анаэробной зоны) на данной стадии расчётов еще не известен. В связи с этим в данном расчете допускается принять его как 1,15 от t_{it} .

При использовании значений общего возраста ила в диапазоне 10–18 суток, температуры в диапазоне 12-18 °С и соотношения $K_{\frac{SS}{BOD}}$ в диапазоне от 0,8 до 1,2, значение sp_{BOD} возможно принимать по таблице К7, рассчитанной по формуле (К-54). Для промежуточных значений t_{it} и $K_{\frac{SS}{BOD}}$ следует использовать интерполяцию.

Таблица К7 – Значения удельного прироста активного ила sp_{BOD} , кг взвешенных веществ /кг потребленной БПК₅

Общий возраст ила t_{it} , сутки	Соотношение концентраций взвешенных веществ и БПК ₅ ($K_{\frac{SS}{BOD}}$)	Расчетная температура сточных вод, °С			
		12	14	16	18
10	0,4	0,65	0,63	0,61	0,59
	0,6	0,77	0,75	0,73	0,71
	0,8	0,89	0,87	0,85	0,83
	1	1,01	0,99	0,97	0,95
	1,2	1,13	1,11	1,09	1,07
	1,4	1,25	1,23	1,21	1,19
12	0,4	0,62	0,60	0,59	0,57
	0,6	0,74	0,72	0,71	0,69
	0,8	0,86	0,84	0,83	0,81
	1	0,98	0,96	0,95	0,93
	1,2	1,10	1,08	1,07	1,05
	1,4	1,22	1,20	1,19	1,17
14	0,4	0,60	0,58	0,57	0,55
	0,6	0,72	0,70	0,69	0,67

	0,8	0,84	0,82	0,81	0,79
	1	0,96	0,94	0,93	0,91
	1,2	1,08	1,06	1,05	1,03
	1,4	1,20	1,18	1,17	1,15
16	0,4	0,59	0,57	0,55	0,54
	0,6	0,71	0,69	0,67	0,66
	0,8	0,83	0,81	0,79	0,78
	1	0,95	0,93	0,91	0,90
	1,2	1,07	1,05	1,03	1,02
	1,4	1,19	1,17	1,15	1,14
18	0,4	0,57	0,55	0,54	0,53
	0,6	0,69	0,67	0,66	0,65
	0,8	0,81	0,79	0,78	0,77
	1	0,93	0,91	0,90	0,89
	1,2	1,05	1,03	1,02	1,01
	1,4	1,17	1,15	1,14	1,13

К5.1.5 Если для улучшения денитрификации требуется регулярное дозирование внешнего источника органических веществ, то при $C_{COD\ add} \geq 10$ мг/л необходимо вносить изменение в исходные данные этого раздела. Соотношение концентраций взвешенных веществ и БПК₅ (величина $\frac{K_{SS}}{BOD}$) в этом случае следует определять с учетом этой добавки, используя в формуле (К-35) суммарную БПК₅, поступающей в аэротенки сточной воды с учетом добавки дополнительного субстрата $C_{BOD\ add}$, в данном случае определяемую по формуле

$$C_{BOD\ add} = C_{BOD} + 0,5C_{COD\ add} \text{ (К-38)}$$

$0,5C_{COD\ add}$ — выражение для определения БПК₅ дополнительно вносимого субстрата.

При $C_{COD\ add} \leq 10$ мг/л дополнительный прирост ила допускается не принимать в расчет.

К5.2 При расчете по фракциям ХПК (рекомендуемый)

Прирост ила (кг/сут) вычисляется как

$$SP_i = SS_{pt} * Q_{d\ mid\ dim}/1000 \text{ (К-57)}$$

где SS_{pt} - общий удельный прирост ила, кг/м³, который вычисляется как

$$SS_{pt} = SS_{sp} + SP_{P\ bio} + SP_{P\ prec} \quad (K-58)$$

где SS_{sp} - удельный прирост ила по взвешенным веществам, связанный с удалением ХПК, определяемый как

$$SS_{sp} = COD_{sp} / 1,2 \quad (K-59)$$

где COD_{sp} - удельный прирост ила по ХПК. Он определяется как сумма ХПК живой и отмершей биомассы, а также инертного ХПК взвешенных веществ которые поступили на биологическую очистку по формуле

$$COD_{sp} = COD_{BM} + COD_{BM\ inert} + C_{COD\ dim\ Xi} \quad (K-60)$$

где COD_{BM} - ХПК живой биомассы, $COD_{BM\ inert}$ - ХПК отмершей биомассы. ХПК живой биомассы рассчитывают как

$$COD_{BM} = (C_{COD\ ss} + C_{COD\ set\ Xs}) * Y * \frac{1}{1+b\ t_{it}\ F_t} \quad (K-61)$$

ХПК отмершей биомассы определяют по уравнению

$$COD_{BM\ inert} = 0,2\ COD_{BM}\ b\ t_{it}\ F_t \quad (K-62)$$

К6. Расчет объемов аэротенков

Получив все составляющие формул (К-1) и (К-2), следует рассчитать по ним объемы аэротенка (общий объем, объем зон денитрификации и зоны нитрификации).

Расчет объема денитрификатора проводится как:

$$V_D = V_{ND} * \frac{V_D}{V_{ND}} \quad (K-63)$$

После расчёта объемов сооружений следует рассчитать общий возраст ила, определяемый с учетом анаэробной зоны. Для процессов A^2/O и JNB он определяется как:

$$t_{BR} = t_{it} * (1 + \frac{V_{anaer}}{V_{ND}}) \quad (K-64)$$

для процессов UCT и MUCT как

$$t_{BR} = t_{it} * (1 + \frac{V_{anaer} * \frac{R_{anaer}}{(1+R_{anaer})}}{V_{ND}}) \quad (K-65)$$

Если полученный возраст ила отличается от принятого предварительного значения, равного 15 суток, более чем на 2 суток, то следует повторить расчет, начиная с формулы удельного прироста ила (К-54) с новым значением возраста ила.

К7. Расчет рецикла денитрификации или времени цикла

К7.1 Требуемую общую степень рециркуляции R_{tot} , обеспечивающую необходимую в соответствии с массовым балансом подачу нитратов в зону

денитрификации (при предварительной денитрификации) следует рассчитывать по формуле:

$$R_{tot} = \frac{C_{NH_4}}{C_{NO_3 EX}} - 1 \quad (K-66)$$

где C_{NH_4} – концентрация аммонийного азота, подлежащая нитрификации, мг/дм³, определяемая по формуле

$$C_{NH_4} = C_{NO_3 D} + C_{NO_3 EX} \quad (K-67)$$

К 7.2 В большинстве технологических схем подача нитратов в зону денитрификации осуществляется как за счет внешней по отношению к биореактору рециркуляции возвратного активного ила из вторичных отстойников R_i , так и за счет внутреннего рецикла денитрификации – R_D . Соответственно, кратность ко входящему потоку внутреннего циркуляционного потока иловой смеси из зоны нитрификации в зону денитрификации (рецикл денитрификации, нитратный рецикл) рассчитывают как

$$R_D = R_{tot} - R_i \quad (K-68)$$

К7.3 Расход циркуляционного потока иловой смеси из зоны нитрификации в зону денитрификации определяется как

$$Q_{R_D} = Q_{h max d15} R_D \quad (K-69)$$

К7.4 Для периодического процесса денитрификации следует рассчитать длительность цикла t_c , состоящего из времени нитрификации t_N и времени денитрификации t_D

Общее расчетное время пребывания t_{tot} определяется как

$$t_{tot} = \frac{V_{ND}}{Q_{h max}} \quad (K-70)$$

Объем аэротенка (зон нитри-денитрификации) V_{ND} следует определять по изложенным в предыдущих разделах формулам как для единого зонированного непрерывного процесса.

Общее время цикла t_c следует определять по формуле

$$t_c = t_{tot} \frac{C_{NO_3 EX}}{C_{NH_4}} \quad (K-71)$$

Доля периода денитрификации в цикле равна соотношению объемов зоны денитрификации к общему объему аэротенка (без анаэробной зоны).

$$\frac{t_D}{t_c} = \frac{V_D}{V_{ND}} \quad (K-72)$$

Время одного цикла t_c должно быть не менее 2 часов.

К8. Расчет двух ступенчатых схем нитри-денитрификации

К8.1 Для схем с предвключенной денитрификацией справедливо следующее уравнение для максимально возможной эффективности денитрификации E_D (обеспечиваемой при условии достаточного количества органического субстрата):

$$E_D = 1 - \frac{1}{1 + R_{tot}} \quad (K-73)$$

Для денитрификации с поэтапной подачей сточной воды уравнение (K-73) имеет вид

$$E_D \leq 1 - \frac{x_2}{1 + R_i} \quad (K-74)$$

где x_2 — доля сточных вод, поданная в последнюю зону денитрификации.

С учетом закономерности (K-74) для двухступенчатых схем денитрификации расчет следует проводить следующим образом. Сначала надо определить требуемую эффективность денитрификации:

$$E_D = \frac{C_{NO_3 D}}{C_{NH_4}} \quad (K-75)$$

Затем определить соотношение $\frac{V_D}{V_{ND}}$ в соответствии с формулой (K-22).

Далее следует:

- определить долю стока x_2 , поступающего в денитрификатор второй ступени, по формуле

$$x_2 = (1 - E_D) * (1 + R_i) \quad (K-76)$$

- определить долю стока x_1 , поступающего в первую секцию денитрификатора

$$x_1 = 1 - x_2 \quad (K-77)$$

- определить дозу ила в 1 и 2 секциях нитри-денитрификации

$$a_{i1} = \frac{R_i a_{Ri}}{1 - x_2 + R_i} \quad (K-78)$$

$$a_{i2} = \frac{R_i a_{Ri}}{1 + R_i} \quad (K-79)$$

К8.2 Далее на первом этапе расчета следует принять, что распределение объемов первой и второй секции нитри-денитрификации пропорционально долям потоков сточных вод, поступающих в первый и второй денитрификатор и определить,

исходя из этого, в первой итерации среднюю дозу ила в сооружении как:

$$a_{i\ step1} = (1 - x_2) * a_{i1} + x_2 * a_{i2} \quad (K-80)$$

Далее при рассчитанной средней дозе ила определить отношение объемов нитрификатора 1-ой ступени к общему объему нитрификатора, и денитрификатора 1-ой ступени к общему объему денитрификатора. Доля объема денитрификатора 1-ой ступени определяется как доля массы азота, денитрифицируемого в первой ступени, от общей массы денитрифицируемого азота, с поправкой на соотношение дозы ила в денитрификаторе 1-ой ступени к средней дозе:

$$\frac{V_{D1}}{V_D} = \frac{R_i * C_{NO3\ EX}}{C_{NO3\ D}} * \frac{a_{i\ step1}}{a_{i1}} \quad (K-81)$$

Доля объема нитрификатора 1-ой ступени от общего объема нитрификатора определяется исходя из соотношения масс поступающего азота (пропорциональных распределению расхода) как

$$\frac{V_{N1}}{V_N} = (1 - x_2) * \frac{a_{i\ step1}}{a_{i1}} \quad (K-82)$$

Доля объема нитри-денитрификации 1-ой ступени определяется как

$$\frac{V_1}{V_{ND}} = \left(1 - \frac{V_D}{V_{ND}}\right) * \frac{V_{N1}}{V_N} + \frac{V_D}{V_{ND}} * \frac{V_{D1}}{V_D} \quad (K-58)$$

Далее следует уточнить среднюю дозу ила по формуле:

$$a_{i\ step} = \frac{V_1}{V_{ND}} * a_{i1} + \left(1 - \frac{V_1}{V_{ND}}\right) * a_{i2} \quad (K-83)$$

Полученная таким образом средняя доза ила имеет точность достаточную для расчетов.

К8.3 Используя полученное уточненное значение средней дозы ила, следует еще раз рассчитать отношение объемов денитрификатора и нитрификатора 1-ой ступени и общий объем сооружений как:

$$V_{ND} = \frac{M_{i\ ND}}{a_{i\ step}} = \frac{t_{it} \ SP_i}{a_{i\ step}} \quad (K-84)$$

К8.4 Приведенный в п.п. К8.1 – К8.3 расчет направлен на получение заданной величины концентрации нитратов без применения внутренней рециркуляции. Но при этом не гарантируется что распределение органических веществ между 1-й и 2-й ступенью денитрификации позволит полностью провести процесс. В первую ступень денитрификации без применения внутреннего рецикла поступают только нитраты с внешним рециклом. При высоком содержании БПК в сточной воде количество органики, подаваемое в первую ступень, будет избыточным и подвергнется

аэробному окислению в первой ступени нитрификации. При этом во второй ступени может не хватить органики.

Долю сточных вод, подаваемых в 1-ю ступень $x_{1\text{ opt}}$, необходимую по балансу масс БПК в подаваемом стоке и азота нитратов, поступающего с внешним рециклом в первую ступень, следует определять по формуле

$$x_{1\text{ opt}} = \frac{2,9 \cdot R_i \cdot C_{\text{NO}_3\text{ EX}}}{C_{\text{BOD D IAT}}} \quad (\text{K-85})$$

При низких концентрациях общего азота (менее 35 мг/л) рекомендуется проверить распределение стока, полученное по формулам (K-76) и (K-77) и, если x_1 меньше чем $x_{1\text{ opt}}$, то принять x_1 равным $x_{1\text{ opt}}$, и, также, соответственно изменить x_2

$$x_{2\text{ opt}} = 1 - x_{1\text{ opt}} \quad (\text{K-86})$$

K8.5 Для слабоконцентрированных и среднеконцентрированных сточных вод с концентрациями общего азота до 40 мг/дм³ потери БПК при нитрификации в первой ступени (при внешнем иловом рецикле на уровне 0,8-1,0) не превосходят 25% общей величины, что допустимо. В этих условиях двухступенчатая схема способна работать без дополнительных внутренних рециклов. Однако при более высоких концентрациях общего азота (более 40 мг/дм³) такая потеря органических веществ окажется выше допустимой. В этой ситуации следует либо применить рецикл в первой ступени, куда в этом случае поступает более 50% от общего расхода, либо применить 3-х ступенчатую схему. Аналогичная ситуация может возникнуть в случаях, когда величина внешнего илового рецикла ограничена возможностями вторичных отстойников.

Внутренний рецикл R_{D1} в этой ситуации следует рассчитывать как

$$R_{D1} = (1 - x_1) \cdot \frac{C_{\text{NH}_4 - \text{N}}}{C_{\text{NO}_3\text{ EX1}}} - (x_2 + R_i) \quad (\text{K-87})$$

Где $C_{\text{NO}_3\text{ EX1}}$ – концентрация азота нитратов, получаемая после первой ступени нитрификации при наличии внутреннего рецикла. Данную величину оптимально поддерживать на уровне, обеспечивающем потребление в процессе денитрификации на второй ступени в основном легко окисляемой органики (примерно 30% БПК). Исходя из этой задачи по балансу масс величину азота нитратов после 1-ой ступени можно рассчитать как

$$C_{\text{NO}_3, \text{ EX1}} = \frac{0,3 \cdot x_2 \cdot C_{\text{BOD D IAT}}}{(R_i + x_2) \cdot 2,9} \quad (\text{K-88})$$

Рекомендуется предусматривать возможность управления данным рециклом с его оптимизацией в ходе эксплуатации по концентрации азота нитратов после денитрификатора 1-й ступени.

Приложение Л
Расчет количества кислорода, необходимого для процессов
биологической очистки
(обязательное)

Л1. Следует учитывать, что общая потребность процесса биологической очистки в кислороде определяется балансом следующих составляющих:

- потребление для окисления органических соединений (включая эндогенное дыхание),
- потребление для нитрификации,
- возврат кислорода при денитрификации.

Л2. Потребление кислорода на окисление органических веществ связано с приростом ила (в обратной зависимости) и зависит от температуры и возраста активного ила: чем выше возраст ила и температура, тем ниже прирост и тем больше доля органических веществ, подвергающихся окислению (непосредственно микроорганизмами, либо в процессе эндогенного дыхания), и наоборот. С учетом этого, необходимо учитывать, что в холодный и теплый периоды действует ряд факторов, противоположно влияющих на потребность в кислороде:

- зимой нагрузка на КОС как по БПК, так и по аммонийному азоту, как правило, максимальная (кроме летних курортов), но доля окисляемых органических веществ ниже;
- летом, как правило, существенно снижается нагрузка на КОС, прежде всего из-за уменьшения притока сточных вод, однако существенно повышается доля окисляемых органических веществ.

Для объектов мощностью до больших включительно различия между возможными потребностями в зимний и летний периоды не столь значимы с экономической точки зрения и расчет для них рекомендуется проводить по зимней нагрузке, но с учетом летней глубины окисления органики, т.е. для расчетной температуры летнего периода. Для всех курортных объектов расчет потребности в кислороде должен проводиться для летних условий как по температуре, так и по нагрузке.

Однако для КОС, начиная с крупных, во избежание закладывания в проект избыточной (до 20%) мощности аэрационной системы рекомендуется дифференцировать две описанных ситуации и проводить два отдельных технологических подсчета – для основной (зимней) ситуации, включая данные по

минимальной расчетной температуре и проверочный – для летней ситуации. При этом расчет потребности в кислороде «на лето» должен начинаться с соответствующего набора исходных данных (причем для расчета прироста ила – с индексом dim , так и предназначенных для расчета денитрификации, с индексом D), начиная с нагрузок, включать в себя расчет концентраций БПК₅ и общего азота после первичных отстойников (для сооружений, подобранных на зимнюю нагрузку), расчет удаления азота и собственно расчет потребности в кислороде и, затем – потребности в воздухе. При затруднениях с получением точных вышеописанных исходных данных в виду недостаточности (либо недостаточной достоверности контроля) летние нагрузки могут быть приняты как доля от расчетных зимних пропорционально соотношению притоков на КОС в эти сезоны. В этом случае все расчетные значения концентраций можно принять для зимнего сезона, а значение расхода в формуле (Л-1) принять для летнего сезона.

Далее алгоритм расчета описан для упрощенной модели (до больших КОС включительно), с уточнениями по применению коэффициентов для КОС, начиная с крупных.

Вышеописанные обстоятельства не следует путать с климатическими факторами (температурой и влажностью воздуха), оказывающими большое влияние на работу воздуходувок. Расчеты настоящего приложения завершаются выражением расхода воздуха при н.у., т.е. не привязано к сезонной температуре. Учет климатических условий при выборе воздуходувок – дополнительная процедура, которая, как правило, проводится поставщиком этого оборудования.

Л3. Потребление кислорода для окисления органических соединений следует рассчитывать по формуле

$$M_{OU}^C = \frac{q_o Q_d dim_{15} (C_{BOD\ dim\ IAT} + C_{BOD\ ac})}{1000} \quad (Л-1)$$

При использовании первичного осветления $C_{BOD\ IAT} = C_{BOD\ set}$, без него $C_{BOD\ IAT} = C_{BOD\ dim}$.

где $C_{BOD\ ac}$ – концентрация БПК₅, дополнительно попадающая в сточную воду при ацидофикации, при ее использовании. При использовании ацидофикаторов-уплотнителей (см. Глава 4) эта величина рассчитывается по приложению Е.

Л4. Соотношение между потреблением кислорода в процессе окисления органических веществ в аэротенке и в опыте на БПК₅ описывается коэффициентом удельного потребления кислорода q_o (используемым также при расчете прироста).

$$q_o = 0,56 + \frac{0,15 t_{it} F_{TS}}{1+0,17 t_{it} F_{TS}} \quad (\text{Л-2})$$

Величину F_{TS} следует рассчитывать по формуле (К-17), однако, с использованием максимальной летней расчетной температуры сточных вод (для КОС до больших включительно). Как сказано выше, дифференцированный подход с отдельными расчетами для зимних и летних условий рекомендуется для КОС, начиная с крупных.

Уравнение (Л-2) может быть применено при $C_{COD \text{ dim IAT}}/C_{BOD \text{ dim IAT}} \leq 2,7$.

При добавлении органических веществ извне для обеспечения денитрификации их количество не принимается во внимание в формуле (Л-2), т.к. эта органика будет потребляться в процессе денитрификации и не потребует дополнительного кислорода на окисление.

Величину q_o можно также принять по таблице Л1, рассчитанной на основе формулы (Л-2).

Таблица Л1 – Удельное потребление кислорода q_o , кг O_2 /кг БПК₅, действительное для $C_{COD \text{ IAT}}/C_{BOD \text{ IAT}} \leq 2,7$

Темпе- ратура, С°	Общий возраст ила, t_{it} сутки							
	4	6	8	10	12	14	16	18
12	0,87	0,96	1,02	1,07	1,11	1,14	1,17	1,19
13	0,89	0,97	1,04	1,09	1,12	1,16	1,18	1,20
14	0,90	0,99	1,05	1,10	1,14	1,17	1,19	1,21
15	0,92	1,01	1,07	1,12	1,15	1,18	1,21	1,23
16	0,93	1,02	1,08	1,13	1,17	1,19	1,22	1,24
17	0,95	1,04	1,10	1,14	1,18	1,21	1,23	1,25
18	0,96	1,05	1,11	1,16	1,19	1,22	1,24	1,26
19	0,98	1,07	1,13	1,17	1,20	1,23	1,25	1,27
20	0,99	1,08	1,14	1,18	1,22	1,24	1,26	1,28
21	1,01	1,10	1,15	1,20	1,23	1,25	1,27	1,29
22	1,02	1,11	1,17	1,21	1,24	1,26	1,28	1,29
23	1,04	1,12	1,18	1,22	1,25	1,27	1,29	1,30
24	1,05	1,14	1,19	1,23	1,26	1,28	1,30	1,31
25	1,07	1,15	1,21	1,24	1,27	1,29	1,31	1,32
26	1,08	1,17	1,22	1,25	1,28	1,30	1,31	1,33

27	1,10	1,18	1,23	1,26	1,29	1,31	1,32	1,33
28	1,11	1,19	1,24	1,27	1,30	1,31	1,33	1,34

Л5. Наибольшее соответствие значений по формуле (Л-2) достигается при значении соотношения $C_{COD\ IAT}/C_{BOD\ IAT}$ не превышающего 2,2. Наличие на ОС несколько более высокого соотношения (весьма характерное для многих ОС в РФ), как правило, означает не столько наличие биоокисляемой ХПК, сколько более высокую долю трудно окисляемых органических соединений, не отражаемых в результате определения БПК₅. Применение указанной таблицы и формулы для диапазона соотношения 2,3-2,7 приведет, по мере его увеличения, к некоторой недооценке наличия органических соединений, доступных для денитрификации, а также потребности в кислороде.

При отношении $C_{COD\ IAT}/C_{BOD\ IAT}$ в сточной воде, поступающей на аэротенки, более 2,5 можно рекомендовать использовать величину БПК₂₀ ($C_{BOD\ 20\ dim\ IAT}$), соответствующую величине расчетного БПК₅. Это применимо только если анализ на БПК₂₀ реально выполняется не реже 1 раза в месяц. Это не относится к получению величины БПК₂₀ расчетным путем на основе разовых определений, выполняемых раз в год или даже реже. При наличии таких данных расчет может быть проведен по формуле (Л-2), видоизмененной как

$$M_{OU}^C = \frac{Q_{d\ dim\ 15} * 0,95(C_{BOD\ 20\ dim\ IAT} + C_{BOD\ ac} * 1,3)}{1000} \quad (Л-3)$$

Л6. Как сказано выше, для ОС, начиная с крупных, следует выполнить два расчета отдельно для двух ситуаций:

- расчетных данных при минимальной температуре сточных вод,
- расчетных данных при максимальной температуре сточных вод.

Эти расчеты должны включать в себя определение загрязненности осветленной сточной воды при летней нагрузке на подобранные объемы первичных отстойников, а также расчеты денитрифицируемого и нитрифицируемого азота, участвующие в расчете потребности в кислороде. Порядок получения таких данных описан в приложении С.

В качестве расчетного значения следует принять максимальное из двух полученных значений.

Л7. При расчете процесса биологической очистки по фракциям ХПК потребление кислорода на окисление органических загрязнений допускается рассчитывать по формуле

$$M_{OU}^C = Q_{d\ dim\ 15} * m_{OU}^C / 1000 \quad (Л-4)$$

где m_{OU}^C удельный расход кислорода, мг/л

$$m_{OU}^C = (C_{COD\ ss} + C_{COD\ set\ Xs}) * (1 - Y * \frac{1}{1+b\ t_{it}\ F_t}) \quad (Л-5)$$

Л8. Потребление кислорода для нитрификации M_{OU}^N , кг/сутки, следует рассчитывать по формуле

$$M_{OU}^N = \frac{4,3\ Q_{d\ dim\ 85}\ (C_{NO_3\ D} - C_{NO_3\ IAT} + C_{NO_3\ EX})}{1000} \quad (Л-6)$$

где $C_{NO_3\ IAT}$ – концентрация азота нитратов в сточной воде на входе в аэротенки. Для сточных вод населенных пунктов наличие значимой концентрации нитратов крайне маловероятно как для поступающей сточной воды, и тем более для осветленной. При среднегодовой (за 3 года наблюдений) концентрации менее 3 мг/дм³ не рекомендуется учитывать в расчетах. При большем значении следует его использовать;

$Q_{d\ dim\ 85}$ – суточный расход 85-го перцентиля за период года, принятый в качестве расчетного.

Л9. Возврат кислорода в процессе денитрификации M_{OU}^D , кг/сутки, следует рассчитывать по формуле

$$M_{OU}^D = \frac{2,9\ Q_{d\ dim\ 85}\ C_{NO_3\ D}}{1000} \quad (Л-7)$$

Суммарное расчетное потребление кислорода, M_{OU} , кг/сутки, следует вычислять только как пиковое, для часа с максимальным потреблением. Несмотря на одновременность поступления максимальных нагрузок по БПК и по аммонийному азоту, пиковое потребление для этих загрязнений не совпадает. Это происходит потому, что органические вещества сорбируются илом практически мгновенно, но окисление большей части определяется предварительным процессом гидролиза, а окисление аммонийного азота происходит сразу после попадания его в аэробную зону.

Л10. Расчетное часовое потребление кислорода следует рассчитывать по формуле

$$M_{OU\ h} = \frac{f_C\ (M_{OU}^C - M_{OU}^D) + f_N\ M_{OU}^N}{24} \quad (Л-8)$$

где f_C и f_N - коэффициенты пиковых нагрузок по потреблению кислорода (по отношению к среднему значению за 24 часа), при окислении органических веществ и аммонийного азота, соответственно. Коэффициент f_C представляет собой соотношение скорости потребления кислорода для удаления углерода в часы пиковой нагрузки к среднесуточному значению этой скорости. Благодаря тому, что

значительная часть потребления кислорода определяется процессом гидролиза взвешенных веществ, данный коэффициент не может быть определен как соотношение пиковой нагрузки по БПК₅ к среднесуточной. Коэффициент f_N , напротив равен соотношению пиковой нагрузки по общему азоту к среднесуточной нагрузке.

Значения коэффициентов f_C и f_N рекомендуется принимать по таблице Л2.

Таблица Л2 – Значения коэффициентов пиковых нагрузок по потреблению кислорода

Коэффициент ы	Нагрузка на аэротенки по БПК ₅ ($B_{BOD\ IAT}$), кг/сутки	Общий возраст ила, сутки					
		4	6	8	10	15	25
f_C	Любое	1.3	1.25	1.2	1.2	1.15	1.1
f_N	≤ 1200	-	2,5	2,5	2.5	2.0	1.5
	>1200 , но <6000 ≤ 1200 при наличии усреднителя	-	2,25	2,2	2,15	1,75	1,3
	> 6000	-	2,0	2.0	1.8	1.5	-

Поскольку пиковая скорость потребления кислорода для нитрификации, как правило, имеет место до возникновения пиковой скорости потребления кислорода для удаления углерода, необходимо выполнить два вычисления $M_{OU\ h}$ в соответствии с уравнением (Л-8), одно с $f_C = 1$ и принятой для расчета величиной f_N , и другое с $f_N = 1$ и принятой для расчета величиной f_C . После этого следует принять как расчетное большее из полученных значений $M_{OU\ h}$.

Приложение М

Расчет необходимого количества воздуха, подаваемого в аэротенки (обязательное)

М1. Расход воздуха, который надо подать в аэротенки, определяется:

- потребностью процесса биологической очистки в кислороде,
- актуальной эффективностью массопередачи кислорода используемой аэрационной системой.

Для пневматических систем аэрации актуальная эффективность массопередачи кислорода, в свою очередь, определяется:

- расчетной удельной стандартной эффективностью массопередачи кислорода используемой аэрационной системой;
- глубиной погружения аэраторов, плотностью их раскладки и степенью износа;
- влиянием на массопередачу физико-химических свойств иловой смеси, давления, температуры.

Примечание: Расчет аэрационной системы может быть выполнен компанией, ее поставяющей, на основании потребности в кислороде (см. приложение Л), либо проектировщиком самостоятельно, на основании настоящего приложения. В первом случае рекомендуется проверить корректность расчета поставщика во избежание ошибок. Также рекомендуется учитывать, что в целях получения конкурентных преимуществ потенциальные поставщики в технико-коммерческих предложениях могут предлагать недостаточное количество аэраторов, завышать при этом реальную производительность аэрационной системы по кислороду. Поверочный расчет по формулам данного приложения позволит выявить данную проблему.

М2. Необходимый массовый расход кислорода, подаваемый в аэрируемые зоны, M_{OSh} , кг/ч, для пневматических аэрационных систем (наиболее распространенных на практике) связан с потребностью в кислороде зависимостью

$$M_{OSh} = \frac{M_{OUh}}{AOTE} * 100 \text{ (М-1)}$$

где AOTE (actual oxygen transfer efficiency) – актуальная (фактическая, в реальных условиях) эффективность передачи (использования) кислорода, %.

В конце данного приложения зависимость (М-1) развернута как формула для расчета (М-15), в виде, учитывающем все нижеизложенные коэффициенты, исходные данные и вычисляемые величины.

М3. Величина AOTE определяется по формуле, учитывающей изменение скорости растворения кислорода в реальных условиях процесса по отношению к скорости растворения кислорода в условиях эксперимента при определении SOTE :

$$AOTE = \alpha \frac{C_{sat} - C_x}{C_{s20}} K_T SOTE_{dim} \quad (M-2)$$

где SOTE_{dim} (standard oxygen transfer efficiency) – расчетное значение эффективности передачи кислорода для данной аэрационной системы при стандартных условиях (20 °С, давление 100 кПа, начальная концентрация кислорода в воде 0 мг/дм³, вода не содержит солей), взятое с поправками на износ аэрационной системы и плотность раскладки аэраторов (см. (М-14)).

Здесь

α – коэффициент перехода от чистой воды к сточной (коэффициент качества воды, альфа-фактор), определяемый наличием в иловой смеси органических веществ, препятствующих растворению кислорода;

K_T - температурная поправка, учитывающая прямую зависимость скорости растворения кислорода от температуры;

- C_{sat} – насыщающая концентрация кислорода в реальных условиях для расчетного значения температуры жидкости, с учетом глубины расположения аэратора, давления воздуха на площадке объекта, а также с учетом солесодержания, мг/дм³;

- C_{s20} – насыщающая концентрация кислорода в стандартных условиях и с учетом глубины расположения аэратора, использованной в эксперименте для определения величины SOTE, мг/дм³;

C_x – среднее расчетное значение концентрации растворенного кислорода (КРК) в иловой смеси в аэрируемой части аэротенка, мг/дм³,

Поправка $\left(\frac{C_{sat} - C_x}{C_{s20}}\right)$ в целом учитывает изменения дефицита кислорода при переходе от условий эксперимента ($C_{s20} - 0$) к реальными условиям ($C_{sat} - C_x$)

Определение значений указанных величин описано ниже.

М4. Величину α рекомендуется определять по формуле

$$\alpha = e^{-0,08777a_i} \quad (M-3)$$

Примечание:

Значение коэффициента α зависит от наличия в воде растворенных (особенно поверхностно-активных) и взвешенных органических веществ. В коридорных аэротенках-вытеснителях он меняется от начала к концу этого биореактора, в чрезвычайно широком диапазоне – от 0,25 (в смеси ила с исходной сточной водой) до 0,9 (на выходе из сооружения). Наличие в коридорном аэротенке рециклов значительно снижает градиент коэффициента по длине.

При использовании технологий с денитрификацией и биологическом удалении азота и фосфора основная часть растворенных органических веществ удаляется в анаэробной зоне и зоне денитрификации. Так же в этих схемах присутствуют значительные рециклы. В результате коэффициент качества воды будет зависеть в основном от дозы ила и сорбированной на нем органики.

Зависимость величины α от дозы ила, рассчитанная по данной формуле, представлена в таблице М1.

Таблица М1 – Зависимость величины α от дозы ила

Доза ила, кг/м ³	Величина коэффициента α
1,5	0,88
2	0,84
2,25	0,82
2,5	0,80
2,75	0,79
3	0,77
3,25	0,75
3,5	0,74

М5. В зависимости от производителя аэраторов, характеристики SOTE могут быть представлены различным образом. Первым вариантом является представление SOTE в виде графических зависимостей от нагрузки по воздуху на аэратор, с учетом глубины погружения. При этом плотность раскладки аэраторов либо отражается в графических характеристиках, либо производителем оговаривается площадь зоны обслуживания аэратора, м², при которых они действительны. В этом случае для расчетов следует принимать значения эффективности аэрации при средних нагрузках по воздуху.

Смысл принятия SOTE при средней нагрузке на аэратор заключается в том, что в этом случае обеспечивается:

- максимальный диапазон регулирования в обе стороны;
- максимальный (при прочих равных) срок службы аэратора (при минимальных нагрузках увеличивается скорость кальматации, а при максимальных – механическое растяжение мембраны);
- не допускается существенное завышение количества аэраторов с уменьшением расхода воздуха, или наоборот установка слишком малого их количества;

В примере на рисунке М1 минимальный расход воздуха (раскрытие мембраны) 1 м³/диск в час, максимальный 6,5, средний 3,75.

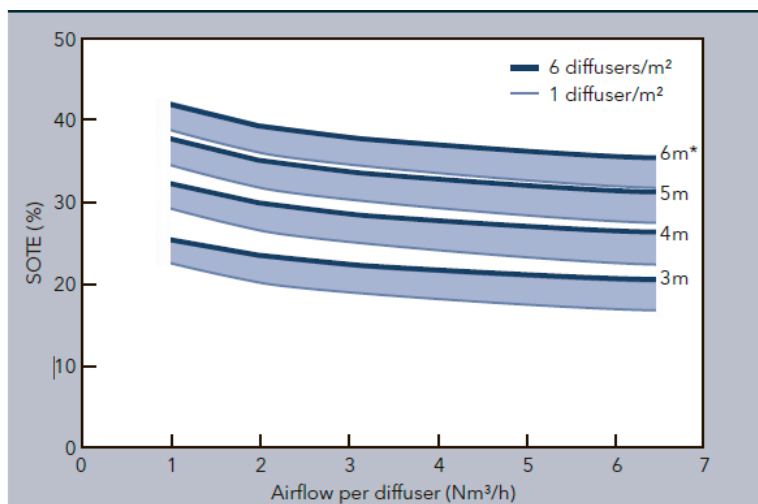


Рис. М1 – Пример характеристики массопереноса для дискового аэратора (не может применяться для расчетов). По оси X – расход воздуха на диффузор, нм³/ч (в нормальных условиях: 20°C, давление 1 атм). По оси Y - величина SOTE в %. Каждое поле на графике соответствует определенной глубине погружения аэратора (от 3 до 6 м). Верхняя линия поля соответствует максимальной плотности раскладки – 6 диффузоров на м² днища аэротенка, нижняя минимальной плотности раскладки – 1 диффузор на м² днища аэротенка.

Другим вариантом выражения величины SOTE является указание производителем величины SSOTE (удельная SOTE, %/м глубины) обеспечиваемой аэратором при нагрузке на него по воздуху, рекомендованной производителем.

В этом случае

$$SOTE = SSOTE \cdot h_a \quad (M-4)$$

В отсутствии данных о принятом производителе аэрационной системы допускается принимать $SSOTE = 6\%/м$ погружения аэраторов. В этом случае при выборе аэрационной системы указывается что величина SSOTE должна быть не менее 6%/м погружения аэраторов.

Второй метод отличается от первого также тем, что величина SOTE в нем приводится без связи с глубиной погружения аэратора, однако, очевидно, что данная величина экспериментально определяется на некоторой глубине ($h_{a\text{SOTE}}$). Как правило, глубина подобных испытательных стендов существенно ниже фактической глубины расположения аэратора в аэротенке, что должно быть учтено при расчете.

М6. Величина $C_{s\ 20}$ может быть рассчитана по зависимости:

$$C_{s\ 20} = 9,1 * (1 + \frac{h_{a\text{SOTE}}}{20,6}) \quad (M-5)$$

Если величина эффективности переноса кислорода задана как SOTE для определенной глубины погружения, то $h_{a\text{SOTE}}$ принимается в соответствии с указанной глубиной.

Если же применяются значение SSOTE, то рекомендуется учесть глубину погружения аэратора H_{exp} , фактически использованную при определении данного значения (эта величина обязана быть указана в протоколе проведения испытаний аэратора), т.е. в этом случае $h_{a\text{SOTE}} = H_{exp}$.

Если значение H_{exp} не известно, то оно может быть принято равным 3 м.

Значение насыщающей концентрации кислорода в реальных условиях $C_{s\ at}$ определяется по формуле

$$C_{s\ at} = \beta K_p C_{s\ Th} \quad (M-6)$$

где

$C_{s\ Th}$ - растворимость кислорода при расчётной температуре и глубине погружения аэратора;

β - фактор, который снижает скорость переноса кислорода в зависимости от солёности воды (бета-фактор). Для городских сточных вод может быть принят равным 0,97;

K_p - поправка на зависимость от атмосферного давления в реальных условиях.

М7. Величина растворимости кислорода при расчётной температуре $C_{s\ (T)}$ на уровне моря принимается по таблице растворимости кислорода или может быть рассчитана с поправкой на влияние разницы расчетной температуры и температуры стандартных условий по уравнению, полученному обработкой графических и табличных данных

$$C_{s\ (T)} = 9,09 (0,0005 (T_{dim} - 20)^2 - 0,02(T_{dim} - 20) + 0,995) \quad (M-7)$$

где T_{dim} – релевантная расчетная температура сточных вод, °С. Для ОС до

больших включительно рекомендуется принимать температуру в месяц с максимальным ее значением. Для ОС от крупных и выше, как было сказано выше, рекомендуется проводить два параллельных расчета с использованием расчетных зимних и летних значений.

Величина C_{sTh} далее рассчитывается как

$$C_{sTh} = C_{s(T)} * (1 + \frac{h_a}{20,6}) \quad (M-8)$$

где h_a – принятая глубина погружения аэратора

М8. Поправка на зависимость от давления K_p определяется отношением давления на площадке расположения очистных сооружений P_h к давлению при нормальных условиях P_0 (760 мм. рт. ст., на уровне моря)

$$K_p = \frac{P_h}{P_0} \quad (M-9)$$

Поправка на зависимость от давления на площадке КОС рассчитывается по формуле:

$$K_p = e^{\frac{-\mu gh}{RT_a}} \quad (M-10)$$

где h – высота площадки над уровнем моря, м,

μ – молярная масса воздуха, 0,029 кг/моль,

R – универсальная газовая постоянная, 8.31 Дж/(моль К),

g – ускорение силы тяжести, 9,81 м/с²,

T_a – расчетная температура воздуха (К).

М9. Расчетное значение температуры воздуха T_a , К, для КОС до больших включительно рекомендуется принимать как значение средней максимальной температуры воздуха наиболее теплого месяца, $T_{a \max m \text{ } ^\circ\text{C}}$, с переводом в Кельвины, т.е.

$$T_{a \max} = T_{a \max m \text{ } ^\circ\text{C}} + 273,15 \quad (M-11)$$

В параллельных расчетах для КОС от крупных, наряду с величиной, полученной по (М-11), следует использовать аналогичную величину средней минимальной температуры воздуха наиболее холодного месяца, $T_{a \min m \text{ } ^\circ\text{C}}$, с переводом в Кельвины, т.е.

$$T_{a \min} = T_{a \min m \text{ } ^\circ\text{C}} + 273,15 \quad (M-11)$$

Значения $T_{a \max m \text{ } ^\circ\text{C}}$ и $T_{a \min m \text{ } ^\circ\text{C}}$ следует принимать по данным строительной климатологии [24].

Зависимостью растворимости кислорода от давления атмосферного воздуха

можно пренебречь при высотах расположения объекта до 100 м над уровнем моря.

М10. Величина температурной поправки K_T , учитывающей зависимость скорости растворения кислорода от температуры сточной воды определяется по уравнению для теплого и холодного сезонов (см. примечания к (М-6):

$$K_T = 1,024^{T_{I\max aer}-20} \quad (M-12)$$

$$K_T = 1,024^{T_{I\min dim}-20} \quad (M-13)$$

Значение K_T также может быть принято по таблице М2, рассчитанной по приведенным в данном пункте зависимостям.

Таблица М2 – Величины температурной поправки K_T

Температура сточной воды, °С	Значение температурной поправки	Температура сточной воды, °С	Значение температурной поправки
10	0,789	20	1,000
11	0,808	21	1,024
12	0,827	22	1,049
13	0,847	23	1,074
14	0,867	24	1,100
15	0,888	25	1,126
16	0,909	26	1,153
17	0,931	27	1,181
18	0,954	28	1,209
19	0,977	29	1,238

М11. Среднее расчетное значение КРК в иловой смеси в аэрируемой части аэротенка C_x рекомендуется принимать равным 2 мг/л. Для циркуляционных резервуаров с поверхностными аэраторами можно принять C_x равным 0.5 мг/дм³, что должно обеспечить симультанную денитрификацию благодаря пилообразной форме кривой КРК в резервуаре.

М12. Расчетную величину $SOTE_{dim}$ следует определять по формуле

$$SOTE_{dim} = SOTE \cdot K_a K_{dt} \quad (M-14)$$

где

K_{dt} – коэффициент остаточного ресурса, учитывающий снижение $SOTE$

аэратора за расчетный период эксплуатации. Следует принимать по данным производителя, а, в их отсутствие можно использовать значение 0,85. При установке автоматической системы промывки/пневматической прочистки аэраторов, рекомендованной производителем, коэффициент K_{dt} допускается не учитывать;

K_a – коэффициент, учитывающий плотность раскладки аэраторов. Данный коэффициент применяется только в диапазоне плотности раскладки аэраторов или площади, обслуживаемой одним аэратором, рекомендованных его производителем и принимается по его данным. Поскольку на этой стадии расчета информация о плотности раскладки системы аэрации отсутствует, т.к. не определен расход воздуха и данная система не подобрана. В связи с этим рекомендуется принять значение K_a , равным 0,9, а после определения площади аэраторов (или значения K_a по данным производителя), подставить в итоговую формулу (М-15) новое значение K_a , получить уточненное значение расхода воздуха, после чего скорректировать ранее принятое количество аэраторов.

Если отсутствуют данные от производителя по зависимости эффективности массопереноса от плотности раскладки, определяющие коэффициент K_a , то его значение можно принимать по графику на рисунке М2, где удельная площадь эффективной аэрационной поверхности пневматического аэратора (для мембранных аэраторов – открытой площади мембраны) соответствует количеству аэраторов на 1 м² аэротенка, умноженному на эффективную площадь мембраны аэратора. Эффективность, заявленную производителем, или принятую по SSOTE, в этом случае следует относить к максимальной плотности раскладки.



Рисунок М2 – Зависимость коэффициента раскладки от площади мембран как доли от площади дна аэротенка

М13. С учетом вышеизложенного, для расчета можно использовать общую

формулу расчета необходимого расхода кислорода, подаваемого в аэрируемые зоны M_{OSh} , кг/ч, с подстановкой в нее результатов расчетов отдельно вычисляемых значений

$$M_{OSh} = \frac{M_{OUh}}{\alpha \left(\frac{\beta K_P C_{STh} - C_x}{C_{S20}} \right) K_T SOTE_S K_a K_{dt}} * 100 \quad (M-15)$$

Расчет необходимого количества воздуха, которое надо подавать в систему аэрации (м³/ч, при н.у.), следует проводить по формуле

$$Q_{a,h} = \frac{M_{OSh}}{S_O \rho_0} = 3,35 M_{OSh} \quad (M-16)$$

где S_O – массовая доля кислорода в воздухе, которую рекомендуется принимать равной 0,231,

ρ_0 – плотность воздуха при н.у. (0°, 101,3 кПа, нулевая влажность), которую рекомендуется принимать равной 1,292 кг/м³.

М14. Для аэротенков, в которых реализован процесс с периодической аэрацией, величины M_{OUh} , M_{OSh} и $Q_{a,h}$ должны быть определены с учетом того, что весь кислород должен быть подан в те промежутки времени, когда аэрация производится. Поскольку в описываемом расчете промежутки времени для нитрификации и денитрификации аналогичны объемам соответствующих зон, то потребность в кислороде для периодической аэрации M_{OUh}^{per} определяется как

$$M_{OUh}^{per} = M_{OUh} \frac{V_N}{V_{DN}} \quad (M-17)$$

Таким образом, для аэротенков, с периодической аэрацией расчет по формуле (М-15) проводится с использованием величины M_{OUh}^{per} .

Приложение Н
(рекомендуемое)

Расчет распределения воздуха по зонам аэрации

Н1. Раскладка и зонирование аэрационных систем

Н1.1 Раскладка аэрационной системы должна максимально снижать эрлифтные эффекты, возникающие вследствие разницы плотностей столба жидкости в зоне аэрации и вне ее. В противном случае формирование интенсивного восходящего водо-воздушного потока над аэраторами существенно уменьшит время контакта пузырьков воздуха с жидкостью. С этой целью раскладка аэраторов должна производиться максимально равномерно по всему днищу аэрируемой зоны с учетом выбранной плотности раскладки, находящейся в диапазоне, рекомендованном производителем аэраторов. В отсутствии таких сведений не рекомендуется принимать удельную площадь мембраны для мембранных аэраторов менее $0,1 \text{ м}^2/\text{м}^2$ днища аэрируемых зон, а нагрузку на мембрану – более $70 \text{ м}^3/\text{м}^2$ в час.

Не следует устраивать аэрационные системы «в линию» вдоль одного или обоих бортов аэротенка, а также посередине аэротенка.

Н1.2. При назначении плотности раскладки по длине аэротенка следует учитывать его гидродинамическую структуру и изменение скорости потребления кислорода активным илом по длине аэротенка.

Изменение скорости потребления кислорода по длине аэротенка при технологиях БНД и БНДФ вызвано изменением скорости окисления сорбированной илом органики и окисления аммонийного азота. Скорость окисления органики выражена более слабо, так как вызывающая наибольшие скорости дыхания легкоокисляемая органика уже потреблена в анаэробной зоне и зоне денитрификации, до входа в аэрируемую зону. Поэтому скорость потребления кислорода зависит в основном от остаточной концентрации аммонийного азота.

Гидродинамическая структура аэротенка для данных расчетов может быть учтена количеством псевдожеек смесителя, которое зависит от геометрических размеров, скорости течения потока и интенсивности турбулентного перемешивания в результате работы аэрационной системы или механического перемешивания.

Интенсивность перемешивания диктуется условием неоседания ила, причем в современных аэротенках с эффективными системами аэрации, это справедливо как для механического перемешивания, так и для аэрируемых зон. Поэтому данная величина может быть принята относительно постоянной.

Количество псевдожеек смешения в коридоре аэротенке-вытеснителе в

зависимости от геометрических размеров коридора и расхода поступающих в него сточных вод можно принимать по формуле:

$$N = 7,4 * L * Q * (1 + R) / (B * H) (H-1)$$

где

N = количество псевдоячеек;

L = длина коридора, м;

Q = расход сточных вод, м³/сек, взятый для среднего часа среднегодового притока;

R= общий коэффициент рециркуляции на входе в данный коридор (сумма всех коэффициентов рециркуляции, как правило - сумма коэффициентов рециркуляции возвратного ила и внутреннего рецикла, R_{tot})

B = ширина коридора, м,

H = рабочая глубина, м.

Определенное по (H-1) количество псевдоячеек для некоторых типовых размеров коридора аэротенка для наглядности представлено в таблице Н1.

Таблица Н1 – Количество псевдоячеек для некоторых типовых размеров коридора аэротенка

Длина коридора, м	Ширина х рабочая глубина	Количество псевдоячеек в зоне нитрификации	
		Рецикл денитрификации не поступает в данный коридор	Рецикл денитрификации поступает в данный коридор
42	6 х 4,5	2	3
60	6 х 5	3,5	6,5
83	6 х 5	7	12
120	9 х 5,2	20	35

Примечания:

- количество псевдоячеек для данного примера было рассчитано для 12-часового пребывания сточных вод в аэротенке (3-х или 4-х коридорном, в зависимости от принятой типовой длины коридора), коэффициенте рециркуляции возвратного ила 1,0 и коэффициенте рециркуляции денитрификации 2,5.

- зону следует считать смесителем, если количество ячеек менее или равно 3, работающей в переходном режиме – от 3 до 7, работающей в режиме вытеснения – более 7.

Н1.3. Количество аэрационных зон с разной плотностью раскладки аэраторов в зависимости от гидродинамической структуры и глубины окисления аммонийного азота рекомендуется задавать следующим образом.

- при общем количестве псевдожеек в аэробной зоне менее 6 аэрационные зоны с разной раскладкой не выделяются;

- при общем количестве псевдожеек 6 - 9 при требуемой концентрации аммонийного азота в очищенной воде 1 мг/дм³ и более выделяются 2 зоны с разной плотностью раскладки, а при требуемой концентрации аммонийного азота 0,4 мг/дм³ - 3 зоны;

- при общем количестве псевдожеек более 9 для заданной в расчете концентрации аммонийного азота 0,4 мг/дм³ рекомендуется выделение 4-х зон, для 1 - 1,5 мг/дм³ - 3-х зон аэрации, с равным количеством псевдожеек в каждой. Для расчетной концентрации аммонийного азота в очищенной воде 2 мг/дм³ достаточно выделение 2-х зон.

Допускается принимать распределение воздуха по зонам аэрации в соответствии с табл. Н2.

Таблица Н2 – Рекомендуемое распределение воздуха по зонам аэрации

Зоны	Расчетная концентрация аммонийного азота в очищенной воде, мг/дм ³			
	0,4	1,0	1,5	2,0
Распределение воздуха, x_a , в % от общей потребности, при количестве псевдожеек от 6 до 9				
1	40	56	54	53
2	38	44	46	47
3	22	-	-	-
Распределение воздуха, x_a , в % от общей потребности, при количестве псевдожеек более 9				
1	30	40	37	54
2	26	33	33	46
3	24	27	29	-
4	20	-	-	-

Н2. Проверочный расчет на обеспечение перемешивания иловой смеси в аэробных зонах

Н2.1 Аэрационная система должна обеспечивать не только массоперенос кислорода, но и перемешивание активного ила. Минимальная интенсивность аэрации, обеспечивающая перемешивание, зависит в первую очередь от расположения аэраторов и глубины сооружения. При расположении аэраторов по всему днищу минимальную эффективность аэрации I_{min} рекомендуется принимать по таблице НЗ.

Таблица НЗ – Минимальная эффективность аэрации, м³/м² ч

Н м	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7
I_{min}	3	2,7	2,5	2,3	2,1	2,0	1,9

Минимальная интенсивность аэрации может уточняться методом математического CFD моделирования, проводимого поставщиком аэрационной системы (либо системы перемешивания) для принятой в проекте плотности раскладки, конфигурации аэротенка, принятых рециклов и конструкции аэратора.

Понятие минимальной интенсивности аэрации в условиях автоматического регулирования подачи воздуха применяется к его среднему расходу, т.е. снижение расхода воздуха менее требуемого при минимальной интенсивности при поступлении минимальных суточных расходов воды при этом не учитывается. Даже если в этом случае начинается расслоение иловой смеси, она будет полностью ресуспензирована при восстановлении расхода воздуха. Наблюдаемое на ряде станций частичное расслоение ила в отдельных зонах аэротенка не приводит к существенным нарушениям процесса очистки, т.к. ил полностью перемешивается в последующих зонах.

Средний расход воздуха, необходимого для перемешивания $Q_{a,mid}$ вычисляется по формуле:

$$Q_{a,mid} = \frac{Q_{a,h}}{f_c \text{ или } f_N} \quad (H-2)$$

Выбор f_c или f_N зависит от того, какой из коэффициентов был использован для определения расчетной потребности в кислороде $M_{OU h}$.

Н2.2 Минимальная интенсивность аэрации должна проверяться для отдельных зон аэрации, отличающейся подаваемой удельной нагрузкой по воздуху, м³/м² ч, определяемых на основании рекомендаций таблицы НЗ, либо по результатам математического моделирования, или иных соображений. Для этого необходимо вначале определить площади зон аэрации в сконструированном аэротенке $F_{a i}$, где i – номер зоны, характеризуемые единой нагрузкой по воздуху. Далее следует определить значения фактических удельных нагрузок, соответствующих расходу воздуха и его распределению по зонам, по формуле:

$$I_{act\ i} = \frac{x_{a\ i} Q_{a, mid}}{F_{a\ i}} \quad (H-3)$$

где $x_{a\ i}$ – доля от общего расхода воздуха, подаваемая в i -ю зону аэрации, отличающуюся подаваемой удельной нагрузкой по воздуху.

Для обеспечения перемешивания фактическая удельная нагрузка по воздуху должна быть не ниже минимального значения.

H2.3 Если необходимая интенсивность не достигается, то возможно:

- уменьшить необходимую интенсивность аэрации путем оптимизации аэрационной системы с использованием CFD моделирования. Скорость осаждения хлопка ила обратно пропорциональна критерию (произведению) $J_i a_i$, поэтому в условиях высокой дозы ила и индекса необходимая скорость взвешивания хлопка снижается. Эффективность переноса энергии всплывающего пузырька воздуха к воде за счет сил трения, обеспечивающая необходимую турбулизацию потока, зависит от поверхности пузырьков и возникающих эрлифтных эффектов. Поэтому CFD моделирование может существенно уточнять необходимую величину расхода воздуха для перемешивания;

- организовать дополнительное механическое перемешивание, например с организацией карусельной зоны или с установкой мешалок в недостаточно аэрируемой зоне;

- при невозможности (нецелесообразности) предыдущих решений следует принять расход воздуха на данную (i -ю) зону, равный $Q_{air\ mix\ i}$, определяемый как

$$Q_{air\ mix\ i} = I_{min} F_{a\ i} \quad (H-4)$$

Библиография

- [1] Федеральный закон от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации»
- [2] Федеральный закон от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании»
- [3] Федеральный закон от 29 декабря 2004 г. № 190-ФЗ «Градостроительный кодекс Российской Федерации»
- [4] Федеральный закон от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»
- [5] Федеральный закон от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды»
- [6] Федеральный закон от 7 декабря 2011 г. № 416-ФЗ «О водоснабжении и водоотведении»
- [7] Федеральный закон от 30 марта 1999 г. № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения»
- [8] Федеральный закон от 3 июня 2006 г. № 74-ФЗ «Водный кодекс Российской Федерации»
- [9] Постановление Правительства Российской Федерации от 31 мая 2019 г. № 691 «Об утверждении Правил отнесения централизованных систем водоотведения (канализации) к централизованным системам водоотведения поселений или городских округов, муниципальных округов, городских округов и о внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 5 сентября 2013 г. № 782»
- [10] Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС10-2019 «Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов»
- [11] Постановление Правительства Российской Федерации от 15 сентября 2020 г. № 1430 «Об утверждении технологических показателей наилучших доступных технологий в сфере очистки сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений или городских округов»
- [12] Приказ Минприроды России от 29 декабря 2020 г. № 1118 «Об утверждении Методики разработки нормативов допустимых сбросов загрязняющих

веществ в водные объекты для водопользователей»

[13] СанПиН 1.2.3685-21

Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания

[14] Правила отнесения водных объектов к категориям водных объектов для целей установления технологических показателей наилучших доступных технологий в сфере очистки сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений или городских округов (утверждены постановлением Правительства Российской Федерации от 26 октября 2019 г. № 1379)

[15] Приказ Минприроды России от 21 февраля 2020 года N 83 Об утверждении нормативов предельно допустимых воздействий на уникальную экологическую систему озера Байкал и перечня вредных веществ, в том числе веществ, относящихся к категориям особо опасных, высокоопасных, опасных и умеренно опасных для уникальной экологической системы озера Байкал

[16] Постановление Правительства Российской Федерации от 29 июля 2013 года № 644 Об утверждении Правил холодного водоснабжения и водоотведения и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации

УДК 628.3:006.354

ОКС 13.020.01

91.140.70

91.140.99

Ключевые слова: централизованные системы водоотведения поселений, городских округов, городские сточные воды, канализационные очистные сооружения, очистка сточных вод, технологические расчеты, анализ, прогнозирование

Разработчик стандарта

ООО «ПЛАТФОРМА»

Индивидуальный
предприниматель
Д.А. Данилович