

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»**

Кафедра водоснабжения, химии и экологии

О. К. НОВИКОВА

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГОРОДСКИХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ: БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА

Пособие

Гомель 2025

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра водоснабжения, химии и экологии

О. К. НОВИКОВА

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГОРОДСКИХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ: БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА

*Рекомендовано учебно-методическим объединением
высших учебных заведений Республики Беларусь по образованию в области
строительства и архитектуры для обучающихся по специальности
7-07-0732-02 «Инженерные сети, оборудование зданий и сооружений»
в качестве пособия*

Гомель 2025

УДК 628.35(075.8)
ББК 38.761.204.4
Н73

Рецензенты: кафедра нефтегазоразработки и гидропневматики (заведующий кафедрой – д-р техн. наук, профессор *А. Б. Невзорова*) (ГГТУ им. П. О. Сухого);
первый заместитель генерального директора – главный инженер ГП «Гомельводоканал» *В. Н. Грибанов*.

Новикова, О. К.

Н73 Проектирование городских очистных сооружений: биологическая очистка : пособие / О. К. Новикова ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2025. – 79 с.
ISBN 978-985-891-220-8

Приведены методики определения концентраций загрязняющих веществ в составе городских сточных вод, поступающих на сооружения биологической очистки, нитрификационного и денитрификационного потенциала. Рассмотрены вопросы проектирования и расчета аэрационных сооружений с активным илом, биофильтров и вторичных отстойников.

Предназначено для студентов, обучающихся по специальности 7-07-0732-02 «Инженерные сети, оборудование зданий и сооружений».

УДК 628.35(075.8)
ББК 38.761.204.4

ISBN 978-985-891-220-8

© Новикова О. К., 2025
© Оформление. БелГУТ, 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
1 Основы проектирования сооружений биологической очистки	5
1.1 Основы биологической очистки.....	5
1.2 Качественный состав сточных вод, поступающих на биологическую очистку..	8
2 Проектирование аэрационных сооружений с активным илом	10
2.1 Рекомендуемые параметры при проектировании очистных сооружений с активным илом	10
2.1.1 Выбор технологической схемы.....	10
2.1.2 Оценка нитрификационного и денитрификационного потенциала	15
2.1.3 Основные параметры при проектировании очистных сооружений с активным илом.....	17
2.2 Проектирование аэротенков-смесителей.....	19
2.2.1 Аэротенки-смесители без регенератора	19
2.2.2 Аэротенки-смесители с регенераторами	22
2.3 Проектирование аэротенков-вытеснителей.....	24
2.3.1 Аэротенки-вытеснители без регенератора	25
2.3.2 Аэротенки-вытеснители с регенераторами	27
2.4 Проектирование емкостных сооружений с активным илом	29
2.4.1 Определение объема технологических сооружений с активным илом	29
2.4.2 Определение размеров зон	35
2.4.3 Оборудование для перекачки активного ила	36
2.4.4 Определение потребности в кислороде.....	37
2.4.5 Системы аэрации иловой смеси	40
2.4.6 Перемешивающие устройства.....	43
3 Проектирование биофильтров.....	46
3.1 Рекомендуемые параметры при проектировании биофильтров	46
3.2 Капельные биофильтры	49
3.2.1 Капельные биофильтры без рециркуляции.....	49
3.2.2 Капельные биофильтры с рециркуляцией.....	50
3.3 Высоконагружаемые биофильтры	51
3.3.1 Высоконагружаемые биофильтры без рециркуляции	51
3.3.2 Высоконагружаемые биофильтры с рециркуляцией.....	53
3.4 Биофильтры с плоскостной загрузкой	53
3.4.1 Биофильтры с любой плоскостной загрузкой.....	54
3.4.2 Биофильтры с пластмассовой загрузкой	55
3.5 Распределение сточных вод по поверхности биофильтров	56
3.6 Ротационные биофильтры	58
4 Проектирование вторичных отстойников	61
Список литературы.....	66
ПРИЛОЖЕНИЕ А Эффективность удаления загрязняющих веществ на сооруже- ниях очистки сточных вод	65
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Рабочие характеристики мешалок	66
ПРИЛОЖЕНИЕ В Схемы установки мешалок.....	75

ВВЕДЕНИЕ

Проектирование городских очистных сооружений — одна из ключевых задач современного градостроительства и экологии, направленная на обеспечение устойчивого развития урбанизированной территории и сохранение природной среды. В условиях быстрого роста городского населения и увеличения объемов сточных вод эффективное управление водными ресурсами становится неотъемлемой частью комплексной системы экологической безопасности.

В настоящее время биологическая очистка является основным методом удаления из городских сточных вод большей части органических и бактериальных загрязнений.

В пособии приведены методики определения концентраций загрязняющих веществ в составе городских сточных вод, поступающих на сооружения биологической очистки, нитрификационного и денитрификационного потенциала. Рассмотрены вопросы проектирования и расчета аэрационных сооружений с активным илом, биофильтров и вторичных отстойников.

Приложения, приведенные в конце пособия, содержат табличный материал с основными параметрами, принимаемыми при проектировании очистных сооружений, рабочие характеристики и схемы установки мешалок.

Пособие подготовлено в полном соответствии с программой дисциплины «Технология очистки сточных вод». Используются действующие в Республике Беларусь нормативные правовые акты, последние научные исследования, опыт проектирования и строительства.

1 ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СООРУЖЕНИЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ

1.1 Основы биологической очистки

Процесс биологической очистки основан на способности микроорганизмов использовать растворенные органические вещества сточных вод для питания в процессе жизнедеятельности. Часть органических веществ превращается в воду, диоксид углерода, нитрит- и сульфат-ионы, часть идет на образование биомассы.

Биологическая очистка является основным методом обработки городских сточных вод.

Сооружения биологической очистки можно условно разделить на два вида:

- 1) с очисткой в условиях, близких к естественным:
 - *поля фильтрации и орошения* – земельные участки, в которых очистка происходит за счет фильтрации через слой грунта;
 - *биологические пруды* – неглубокие водоемы, в которых происходит очистка, основанная на их самоочищающей способности;
- 2) с очисткой в искусственно созданных условиях:
 - *биофильтры* – резервуары с фильтрующим материалом, поверхность которого покрыта биологической пленкой (колония микроорганизмов, способных сорбировать и окислять органические вещества из сточных вод);
 - *азротенки* – резервуары, в которых очищаемые сточные воды смешиваются с активным илом (биоценоз микроорганизмов, также способных поглощать органику из сточных вод).

При очистке сточных вод, содержащих смесь разнообразных по химическому составу загрязнений, биомасса, осуществляющая очистку, представляет собой сообщество различных видов микроорганизмов и простейших.

Активный ил – это биоценоз организмов, развивающихся в *аэробных* условиях на органических загрязнениях, содержащихся в сточной воде. Он пребывает во взвешенном состоянии в виде отдельных хлопьев. Основная роль в нем принадлежит группам бактерий, способным не только извлекать из сточной воды взвешенные и органические вещества, но и самоорганизовываться в колонии – хлопья, легко отделяемые затем от очищенной воды отстаиванием или флотацией.

Активный ил состоит из живых организмов и твердого субстрата. Сообщество всех живых организмов, населяющих ил, называется *биоценозом*, который в основном представлен двенадцатью видами микроорганизмов и простейших.

Скопления бактерий в активном иле окружены слизистым слоем (капсулами) – *зоогелями*. Они способствуют улучшению структуры ила, его осаджению и уплотнению.

Активный ил в контакте с загрязненными сточными водами в условиях аэрации проходит пять фаз развития (рисунок 1.1):

1 *Лаз-фаза (фаза адаптации)* – наблюдается сразу после введения микробиальной культуры в контакт с питательной средой. Фаза, в которой практически не происходит прирост биомассы.

2 *Фаза экспоненциального (ускоренного) роста* микроорганизмов – характеризуется избытком питательных веществ и отсутствием (или весьма незначительным присутствием) продуктов обмена веществ, способствующим поддержанию максимально возможной в данных условиях скорости размножения клеток.

3 *Фаза замедленного роста* – характеризуется тем, что скорость роста биомассы начинает больше сдерживаться по мере истощения питательных веществ и накопления продуктов метаболизма.

4 *Фаза нулевого роста (прекращения роста)* – наблюдается практически стационарное состояние в количестве биомассы, свидетельствующее о равновесии между наличием питательных веществ и накопленной биологической массой.

5 *Фаза эндогенного дыхания (фаза самоокисления)* – из-за недостатка питания начинаются отмирание и распад клеток, ведущие к снижению общего количества биомассы в биологическом реакторе.

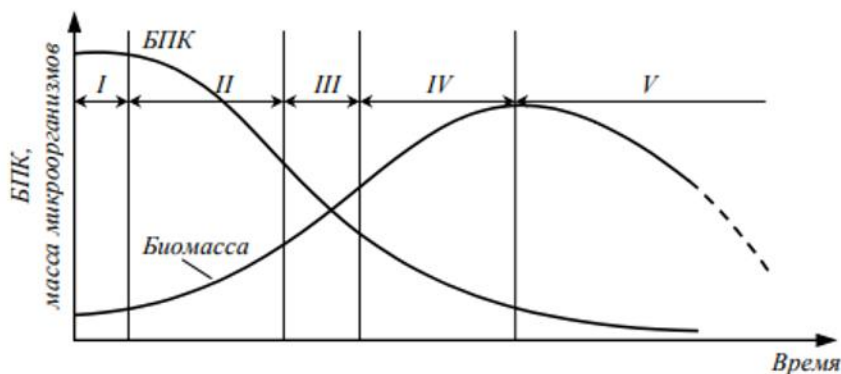


Рисунок 1.1 – Зависимость прироста биомассы и снижения БПК от продолжительности аэрации

Фазам роста микробной массы соответствует и динамика изменения концентраций питательных веществ, выраженных через БПК₅.

При биологической очистке значительная часть загрязняющих веществ, содержащихся в сточных водах, в результате метаболической активности микроорганизмов и сорбционной способности активного ила превращается в биологическую массу, сравнительно легко отделяемую от очищенной воды.

Длительность изъятия и окисления содержащихся в сточной воде органических загрязнений будет тем короче, чем дольше масса микроорганизмов будет в контакте с ними.

При уменьшении содержания органических веществ в очищаемых сточных водах ниже определенного предела жизнедеятельность микроорганизмов продолжается, но уже либо за счет накопленных питательных веществ, либо за счет их собственной массы, т. е. отмирания и окисления микроорганизмов со снижением общей их массы (процесс самоокисления).

Биопленка растет на наполнителе биофильтра и имеет вид слизистых обрастаний толщиной 1–2 мм и более. Цвет ее меняется с изменением состава сточных вод от серовато-желтого до темно-коричневого.

Биопленка состоит из бактерий, грибов, дрожжей и других организмов. В ней встречаются более разнообразные представители простейших, колониальных, червей, чем в активном иле.

На скорость биохимических реакций оказывают влияние следующие **факторы**:

- концентрации БПК₅, ХПК;
- содержание кислорода в сточной воде;
- температура и pH среды;
- содержание биогенных элементов, тяжелых металлов и минеральных солей.

Разрушение органических веществ называется *биохимическим окислением*.

Биохимической активностью микроорганизмов называется биохимическая деятельность, связанная с разрушением органических загрязнений сточных вод.

Биоразлагаемость сточных вод характеризуется соотношением БПК₅/ХПК, чем выше которое, тем лучше идет процесс окисления.

Перемешивание сточной воды приводит к увеличению скорости поступления питательных веществ и кислорода к микроорганизмам, что обеспечивает увеличение скорости очистки. Перемешивание обеспечивается подаваемым воздухом или механическим способом (мешалками).

В процессе аэрации вода насыщается пузырьками воздуха, затем кислород из пузырьков абсорбируется водой и переносится к микроорганизмам.

Скорость потребления кислорода микроорганизмами не превышает скорость его абсорбции.

Повышение температуры сточной воды:

- увеличивает скорость протекания очистки в 2–3 раза (справедливо для температур 20–30 °С);

- снижает растворимость кислорода, что вызывает необходимость проводить более интенсивную аэрацию.

При более низких температурах замедляется процесс адаптации бактерий к новым видам загрязнений, ухудшаются процессы нитрификации, флокуляции и осаждения активного ила.

Соли тяжелых металлов сорбируются активным илом, снижается биохимическая активность ила, и происходит его вспухание из-за интенсивного развития нитчатых форм бактерий.

Биогенные элементы и микроэлементы являются необходимыми для успешного протекания биохимических реакций в сточной воде. К элементам относятся N, S, P, K, Mg, Ca, Na, Cl, Fe, Mn, Mo, Ni, Co, Zn, Cu и др. Среди них основными являются N, P и K.

Недостаток азота тормозит окисление органических загрязнителей и приводит к образованию труднооседающего ила.

Недостаток фосфора приводит к развитию нитчатых бактерий и, в результате, к вспуханию активного ила.

1.2 Качественный состав сточных вод, поступающих на биологическую очистку

Концентрации загрязняющих веществ в составе сточных вод, поступающих на сооружения биологической очистки, принимаются с учетом их снижения на предыдущих стадиях очистки.

Концентрация БПК₅, мг/дм³, в составе сточных вод, поступающих в отстойник,

$$C_{\text{БПК}_5}^{\text{отс}} = C_{\text{БПК}_5}^{\text{г.с.в}} (1 - \Xi), \quad (1.1)$$

где $C_{\text{БПК}_5}^{\text{г.с.в}}$ – концентрация БПК₅ в составе городских сточных вод, мг/дм³;

Ξ – эффективность снижения концентраций БПК₅ в решетках и песколовках, принимается в соответствии с паспортными характеристиками оборудования, %.

Концентрация БПК₅, мг/дм³, в составе сточных вод, поступающих на сооружения биологической очистки,

$$C_{\text{БПК}_5}^{\text{биол}} = C_{\text{БПК}_5}^{\text{отс}} (1 - \Xi_{\text{БПК}_5}^{\text{отс}}), \quad (1.2)$$

где $\mathcal{E}_{\text{БПК}_5}^{\text{отс}}$ – эффективность снижения концентраций БПК₅ в отстойниках принимается 60 % от эффективности удаления взвешенных веществ

$$\mathcal{E}_{\text{БПК}_5}^{\text{отс}} = \mathcal{E}_{\text{в.в}}^{\text{отс}} \cdot 0,6. \quad (1.3)$$

Эффективность механической очистки сточных вод, %,

$$\mathcal{E}_i^{\text{МО}} = \frac{C_i^{\text{г.с.в}} - C_i^{\text{био}}}{C_i^{\text{г.с.в}}} \cdot 100 \%, \quad (1.4)$$

где $C_i^{\text{г.с.в}}$ – концентрация i -го загрязняющего вещества в составе городских сточных вод, мг/дм³;

$C_i^{\text{био}}$ – концентрация i -го загрязняющего вещества в составе сточных вод, поступающих на сооружения биологической очистки, мг/дм³.

Эффективность очистки по ХПК принимается равной эффективности очистки по БПК₅.

Эффективность очистки по показателям азот аммонийный, азот общий и фосфор общий принимается по нормативным значениям, приведенным в приложении А.

Концентрация i -го загрязняющего вещества в составе сточных вод, поступающих на биологическую очистку, мг/дм³, определяется по формуле

$$C_i^{\text{био}} = C_i^{\text{г.с.в}} (1 - \mathcal{E}_i), \quad (1.5)$$

где $\mathcal{E}_i$ – эффективность чистки i -го загрязняющего вещества в сооружениях механической очистки.

Результаты расчетов сводятся в таблицу 1.1.

Таблица 1.1 – Концентрации загрязняющих веществ в составе сточных вод, поступающих на сооружения биологической очистки

Показатель	Концентрация загрязняющих веществ в составе городских сточных вод, поступающих на очистные сооружения, мг/дм ³	Эффективность удаления загрязняющих веществ на сооружениях механической очистки $\mathcal{E}_i$, %	Концентрация загрязняющих веществ в составе сточных вод, поступающих в аэротенки, мг/дм ³
Взвешенные вещества			
БПК ₅			
ХПК			
Азот аммонийный			
Азот общий			
Фосфор общий			

2 ПРОЕКТИРОВАНИЕ АЭРАЦИОННЫХ СООРУЖЕНИЙ С АКТИВНЫМ ИЛОМ

2.1 Рекомендуемые параметры при проектировании очистных сооружений с активным илом

2.1.1 Выбор технологической схемы

Выбор технологической схемы биологической очистки сточных вод при проведении реконструкции или при новом строительстве осуществляется с учетом:

- состава поступающих сточных вод по основным загрязнителям (в т. ч. по температуре сточных вод);
- допустимых концентраций показателей на выпуске очистных сооружений;
- расхода сточных вод, поступающих на очистные сооружения.

Сооружения биологической очистки с активным илом **по назначению** подразделяются:

– *для очистки от веществ, подверженных биохимическому разложению* – предназначены для удаления преимущественно органических загрязняющих веществ, подверженных биохимическому разложению;

– *сооружения с нитрификацией* – предназначены для удаления преимущественно органических загрязняющих веществ, подверженных биохимическому разложению, а также для окисления соединений азота до нитратов;

– *сооружения с денитрификацией* – предназначены для удаления преимущественно органических загрязняющих веществ, подверженных биохимическому разложению, а также соединений азота;

– *сооружения с денитрификацией и биологическим удалением соединений фосфора* – предназначены для удаления преимущественно органических загрязняющих веществ, подверженных биохимическому разложению, а также соединений азота и фосфора;

– *для очистки от специфических загрязняющих веществ* – предназначены для удаления специфических загрязняющих веществ преимущественно промышленного происхождения, подверженных биохимической деструкции, окислению или восстановлению;

– *селекторы* – предназначены для ограничения развития нитчатых форм микроорганизмов в активном иле основных сооружений биологической очистки и размещаются перед ними.

Выбор технологической схемы осуществляется исходя из анализа прогнозируемых концентраций загрязняющих веществ в составе сточных вод после очистки (БПК₅, ХПК, взвешенные вещества, азот общий, азот аммонийный, фосфор общий) при применении различных методов очистки:

- биологическая очистка без нитрификации при нагрузке на активный ил 0,15 кг/(кг·сут);
- биологическая очистка с нитрификацией при нагрузке на активный ил 0,15 кг/(кг·сут);
- биологическая очистка с предварительной денитрификацией с рециркуляцией 200 %;
- биологическая очистка с предварительной денитрификацией с рециркуляцией 200 % и биологическим удалением фосфора.

Концентрация i -го загрязняющего вещества, мг/дм³, в составе очищенных сточных вод

$$C_{ien} = C_i^{\text{ост}} (1 - \mathcal{E}_i), \quad (2.1)$$

где $C_i^{\text{ост}}$ – концентрация i -го загрязняющего вещества в составе сточных вод, поступающих на биологическую очистку, мг/дм³;

$\mathcal{E}_i$ – эффективность применяемого метода очистки по i -му показателю, принимается по приложению А.

Если при применении биологической очистки без нитрификации при нагрузке на активный ил 0,15 кг/(кг·сут) концентрации загрязняющих веществ в составе сточных вод на выпуске очистных сооружений не превышают допустимые значения, то к применению может быть принята технологическая схема окисления только органических соединений (рисунок 2.1).

В зависимости от расхода и неравномерности притока сточных вод в качестве аэрационных сооружений с активным илом могут быть приняты аэротенки-смесители, аэротенки-вытеснители или аэротенки с рассредоточенной подачей сточных вод.



Рисунок 2.1 – Технологическая схема окисления органических соединений

Аэротенки-смесители применяются при очистке городских сточных вод со значительной долей производственных и значительной неравномерностью поступления сточных вод на очистку.

Аэротенки-вытеснители применяются для очистки бытовых и близких к ним по составу производственных сточных вод при относительно небольших колебаниях их состава и расхода.

Аэротенки с рассредоточенной подачей сточной воды – сооружения, в которых сточная вода подается в нескольких точках, распределяясь по длине технологической емкости, а отводится направленно от ее торцевой части, циркулирующий возвратный активный ил при этом подается направленно через другую торцевую часть емкости.

Если при применении биологической очистки с нитрификацией при нагрузке на активный ил $0,15 \text{ кг}/(\text{кг}\cdot\text{сут})$ концентрации загрязняющих веществ в составе сточных вод на выпуске очистных сооружений не превышают допустимые значения, то к применению может быть принята технологическая схема окисления органических соединений и нитрификации (см. рисунок 2.1). В качестве аэрационного сооружения принимается конструкция аэротенка-вытеснителя, увеличивается возраст активного ила и длительность аэрации.

Если при применении биологической очистки с предварительной денитрификацией с рециркуляцией 200 % концентрации загрязняющих веществ в составе сточных вод на выпуске очистных сооружений не превышают допустимые значения, то к применению может быть принята технологическая схема предварительной денитрификации (рисунок 2.2).



Рисунок 2.2 – Технологическая схема предварительной денитрификации

Сооружения биологической очистки с активным илом, предназначенные для очистки сточных вод с денитрификацией и удалением загрязняющих веществ, подверженных биохимическому разложению, и соединений азота, включают отдельные технологические емкости или зоны, в которых создаются аэробные и аноксидные условия. При этом в аэробных условиях производится нитрификация, а в аноксидных условиях – денитрификация. Процесс деструкции органических веществ, оцениваемых по БПК₅, производится преимущественно в аэробных условиях. Нитрификация осуществляется после предварительной деструкции веществ, подверженных биохимическому разложению.

Если при применении биологической очистки с предварительной денитрификацией с рециркуляцией 200 % и биологическим удалением фосфора концентрации загрязняющих веществ в составе сточных вод на выпуске

очистных сооружений не превышают допустимые значения, то к применению может быть принята технологическая схема глубокого удаления азота и фосфора (рисунок 2.3).



Рисунок 2.3 – Технологическая схема глубокого удаления азота и фосфора АА/О

Технологические схемы биологической очистки от соединений азота и фосфора отличаются большим разнообразием и подробно рассмотрены в пособии [10], но в основном включают три основные зоны:

- анаэробную (нет растворенного кислорода, нитратов и нитритов, но есть органические вещества), где идет сбраживание органических веществ до ацетата, который потребляется фосфорными бактериями с выделением в среду фосфатов;

- аноксидную (растворенный кислород практически отсутствует, но есть нитраты, а также органические вещества), где происходит процесс денитрификации;

- аэробную (высокая концентрация растворенного кислорода 2 мг/дм^3), где протекают процессы аэробной очистки от органических веществ, нитрификации (окисление аммонийного азота до нитратного) и дефосфотации (быстрое потребление фосфатов фосфорными бактериями);

Биологическое удаление фосфора основано на выдерживании микроорганизмов активного ила со сточной водой в анаэробных условиях, в которых происходит выделение фосфора из клеток микроорганизмов в сточную воду с последующей обработкой иловой смеси в аэробных условиях при более интенсивном поглощении фосфора микроорганизмами из сточной воды и последующим частичным удалением соединений фосфора с избыточным активным илом (рисунок 2.4).

Фосфорнакапливающие организмы представляют собой гетеротрофы, которые приспособились к условиям чередования анаэробных и аэробных условий. Аэробные и аноксидные зоны являются родственными, так как содержат растворенный кислород, хотя и в различных формах: *аэробные* – в прямой форме, *аноксидные* – в связанной (в виде нитритов или нитратов).

Для реализации процесса дефосфотации необходимо:

- наличие анаэробной зоны с легкоокисляемым субстратом в форме летучих жирных кислот;

- расположение последовательно анаэробной, аэробной или аноксидной зоны;
- рецикл обогащенных фосфором фосфатаккумулирующих организмов.

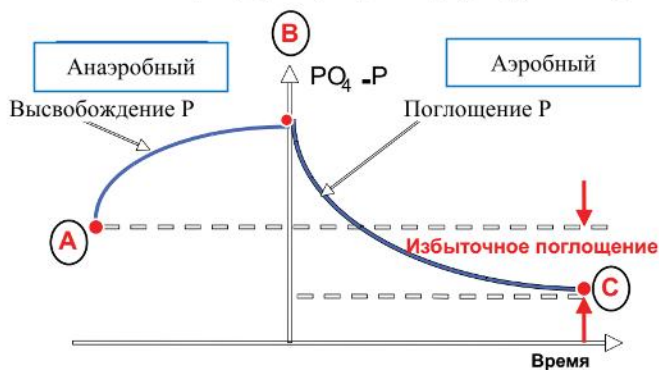


Рисунок 2.4 – Схема удаления фосфора

Биологическое удаление фосфора из сточных вод, как правило, производится в сочетании с процессами нитрификации и денитрификации.

При проектировании сооружений с биологическим удалением фосфора необходимо:

- избегать поступления растворенного кислорода и нитратов в потоки поступающей на очистку сточной воды и рециркуляционного активного ила, направляемого в анаэробную емкость;

- предусматривать такую конфигурацию сооружений, при которой технологическая емкость с аэробными условиями (аэротенк, нитрификатор) находится на завершающей ступени биологической очистки перед вторичным отстойником;

- устраивать анаэробную емкость в начале технологической схемы после первичного отстаивания. Вместимость данной емкости определяется из условия минимального времени контакта от 0,50 до 0,75 ч при максимальном часовом расходе сточных вод с учетом расхода циркуляционного потока активного ила.

Рекомендации: при реализации технологии биологического удаления фосфора рекомендуется не применять аэрируемые песколовки в связи с происходящим в них насыщением сточной воды кислородом и значимыми потерями (отдувкой) легкоокисляемых органических веществ. В таких ситуациях рекомендуется использование горизонтальных песколовок с последующей отмывкой пескового осадка в пескопромывателях.

2.1.2 Оценка нитрификационного и денитрификационного потенциала

Для удаления соединений азота в системах биологической очистки с активным илом предусматривается *нитрификация* с окислением аммонийных форм азота в аэробных условиях и *денитрификация* в анаэробных условиях с преобразованием азота нитратов в молекулярный азот.

Процесс одновременной нитрификации-денитрификации постоянно присутствует на всех сооружениях, обеспечивающих глубокую нитрификацию, поскольку всегда имеются анаэробные зоны на разных участках биологической очистки.

На сооружениях биологической очистки процесс денитрификации положительный, поскольку позволяет освобождать воду от окисленных форм азота, однако при обычной схеме очистки в аэротенках смесителях или вытеснителях денитрификация происходит в основном во вторичных отстойниках (особенно часто в летний период) и сопровождается значительным выносом хлопьев активного ила. Этому способствует образующийся в иловой массе на дне вторичных отстойников газообразный азот. Кроме того, свободный азот образуется внутри хлопьев, разрывает их, измельчает, и вынос взвешенных веществ еще более усугубляется, так как рваные хлопья плохо флокулируют и коагулируют во вторичных отстойниках.

Денитрификация может наблюдаться во вторичных отстойниках очистного комплекса, который не предназначен для обеспечения глубокой нитрификации. Такой комплекс работает при низком возрасте ила (2–5 сут) в летний период при температуре воды выше 25 °С. В этом случае при контроле процесса денитрификации необходимо измерять температуру воды во вторичных отстойниках, так как после 12 часов дня малоподвижная толща воды в них может значительно прогреваться.

Анализ потенциала сточных вод к нитрификации или денитрификации проводится на стадии проектирования, реконструкции очистных сооружений или при разработке мероприятий по повышению эффективности процессов удаления азотсодержащих соединений. Такой анализ позволяет выбрать оптимальное решение для интенсификации процессов удаления соединений азота с учетом качества конкретных сточных вод и их склонности к нитрификации или денитрификации.

Сточные воды обладают одновременно как нитрификационным, так и денитрификационным потенциалом и могут при хорошей способности к нитрификации не обладать склонностью к денитрификации, и наоборот. Это связано с тем, что нитрификация и денитрификация требуют противоположных окислительных или восстановительных условий. Примеры различного состава сточных вод на очистных сооружениях по значениям нитрификационного и денитрификационного потенциала представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Значения нитрификационного и денитрификационного потенциала сточных вод различного состава

Отношение БПК ₅ к азоту общему в сточных водах, поступающих на биологическую очистку	Потенциал	
	нитрификационный (норма от 0,5 до 6,5)	денитрификационный (норма не менее 3,5 до 8,0)
90,0 / 25,1 = 3,58	Хороший	Удовлетворительный
110,0 / 22,0 = 5,0	Оптимальный	Оптимальный
116,0 / 18,7 = 6,2	Удовлетворительный	Хороший
118,0 / 23,0 = 5,1	Оптимальный	Оптимальный
160,0 / 22,4 = 7,4	Плохой	Отличный

Оптимальная величина нитрификационного потенциала находится в интервале от 0,5 до 6,5, денитрификационного потенциала – от 3,5 до 8,0. Сточные воды будут обладать и нитрификационным, и денитрификационным потенциалом, если отношение БПК₅ к азоту общему в сточных водах, поступающих на биологическую очистку, будет находиться в интервале **от 3,5 до 6,5**.

Например, отношение БПК₅ к общему азоту в сточных водах, поступающих на биологическую очистку, составляет 7,4. Это значение как нитрификационный потенциал слишком высокое, следовательно, для обеспечения эффективной нитрификации при очистке данных сточных вод необходимо предусмотреть:

- повышенный период аэрации;
- большой возраст активного ила;
- эффективные конструкции первичных отстойников (для снижения нагрузки на активный ил) и вторичных отстойников (для поддержания максимальной концентрации ила в аэротенках) и т. п.

Значение 7,4 как денитрификационный потенциал отличное, так как для успешной денитрификации чем больше величина отношения БПК₅ к общему азоту, тем лучше. Для обеспечения денитрификации при очистке этих сточных вод потребуется перемешивание и добавление небольшого количества осветленных сточных вод в денитрификатор.

При низких значениях денитрификационного потенциала необходимо предусмотреть мероприятия по интенсификации процесса денитрификации:

- добавки восстановителей в денитрификатор или ацидофикацию сырого осадка;
- в аэротенках обязательную изоляцию анаэробных зон.

Процессы нитрификации и денитрификации могут осуществляться одновременно в одном сооружении, или разделяться за счет использования разных технологических емкостей, или разделяться с обработкой сточных вод в одних и тех же емкостных сооружениях, но с чередованием фаз обработки по времени.

2.1.3 Основные параметры при проектировании очистных сооружений с активным илом

Вместимость аэротенков и других емкостных сооружений с активным илом определяется в зависимости от минимального возраста активного ила с учетом:

- принятой дозы активного ила в иловой смеси;
- уровня допустимой нагрузки по БПК₅ на активный ил.

Возраст ила – средняя продолжительность пребывания ила в сооружениях биологической очистки (в системе аэротенка-отстойника).

Высоконагружаемые сооружения работают на неполную очистку с возрастом ила 2–3 сут. Процессы нитрификации характеризуются низкими нагрузками на ил и большим возрастом ила (6–12 сут).

Минимальный возраст активного ила в системах биологической очистки принимается в зависимости от цели обработки, нагрузки по органическим загрязнителям и расчетной температуры сточных вод.

Доза активного ила a_i – концентрация активного ила в аэротенке, т. е. количество активного ила в единице объема иловой смеси, выражается в граммах сухого вещества ила в 1 л или в 1 м³ иловой смеси.

Доза ила в технологических сооружениях определяется технологическими и технико-экономическими расчетами с учетом способа разделения иловой смеси. При разделении иловой смеси отстаиванием доза ила принимается по таблице 2.2 в зависимости от цели очистки.

Таблица 2.2 – Характеристики активного ила

Цель очистки	Доза ила, г/дм ³	Нагрузка на активный ил, кг/(кг·сут)	Возраст ила, сут
Неполная биологическая очистка	1,5–2,0	До 1,0	До 1,0
Очистка без нитрификации	2,0–3,0	0,25–0,5	2–4
Очистка с нитрификацией	3,0–5,0	0,1–0,15	7–12
Очистка с нитрификацией и денитрификацией	3,0–5,0	0,07–0,09	12–15
Очистка с нитрификацией, денитрификацией и стабилизацией ила	3,0–5,0	0,04–0,07	15–30

Нагрузка на активный ил q_i – количество поступающих со сточной водой загрязнений в миллиграммах или граммах загрязнения (ХПК, БПК или любого другого загрязнения) на 1 г сухого вещества ила в 1 ч или в 1 сут.

Нагрузка на активный ил по БПК₅, мг БПК₅ на 1 г беззольного вещества ила в сутки, определяется по формуле

$$q_i = \frac{24(L_{en} - L_{ex})}{a_i(1-s)t_{at}}, \quad (2.2)$$

где L_{en} – концентрация БПК₅ поступающей в аэротенки сточной воды (с учетом снижения при первичном отстаивании), мг/дм³;

L_{ex} – концентрация БПК₅ очищенной воды, мг/дм³;

a_i – доза ила, выражаемая в г/л, если БПК₅ выражена в мг/л или в г/м³;

s – зольность ила, доли единицы;

t_{at} – длительность пребывания сточных вод в аэрационном сооружении, ч.

При нагрузке на активный ил:

– 200–250 мг/(г·ч) – аэротенки работают устойчиво, обеспечивая высокое качество очистки;

– более 400 мг/(г·ч) – работа сооружений становится нестабильной (увеличивается иловый индекс, ухудшается качество очистки);

– 50–150 мг/(г·ч) – происходит полная нитрификация азота аммонийного до нитратов.

Иловый индекс J – характеризует степень осаждаемости активного ила, представляет собой объем, который занимает один грамм сухого вещества активного ила после 30-минутного отстаивания иловой смеси.

Значение илового индекса J , см³/г, необходимо определять экспериментально. Для городских и основных видов производственных сточных вод допускается определять величину J_i по таблице 2.3 в зависимости от нагрузки на ил.

Таблица 2.3 – Значения илового индекса

Сточные воды	Иловый индекс J_i , см ³ /г, при нагрузке на ил q_i , мг/(г·сут)					
	70	130	200	270	330	400
Городские	130	100	70	80	95	130
Производственные:	–					
– нефтеперерабатывающих заводов		120	70	80	120	160
– заводов синтетического каучука		100	40	70	100	130
– комбинатов искусственного волокна		300	200	250	280	400
– целлюлозно-бумажных комбинатов		220	150	170	200	220
– химкомбинатов азотной промышленности		90	60	75	90	120

При проектировании сооружений совместного биологического удаления азота и фосфора иловый индекс необходимо принимать **не менее 150 см³/г**.

При концентрации БПК₅ поступающей в аэротенки сточной воды *более 100 мг/дм³*, а также при наличии в воде вредных производственных примесей необходимо предусматривать *регенерацию активного ила*.

2.2 Проектирование аэротенков-смесителей

Аэротенки-смесители – сооружения, в которых сточная вода и циркулирующий возвратный активный ил подаются равномерно по лоткам вдоль длинных сторон прямоугольных технологических емкостей, а отвод иловой смеси осуществляется равномерно с противоположной стороны емкости, и по всему объему сооружения наблюдается одинаковая нагрузка на активный ил (рисунок 2.5).

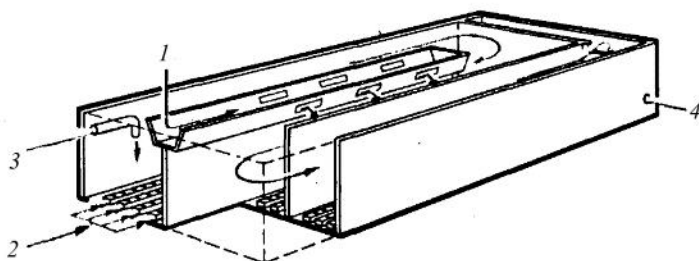


Рисунок 2.5 – Аэротенк-смеситель:

1 – подача сточной воды на очистку; 2 – подача воздуха; 3 – подача циркуляционного активного ила; 4 – иловая смесь

2.2.1 Аэротенки-смесители без регенератора

Схема аэротенка-смесителя без регенератора приведена на рисунке 2.6.

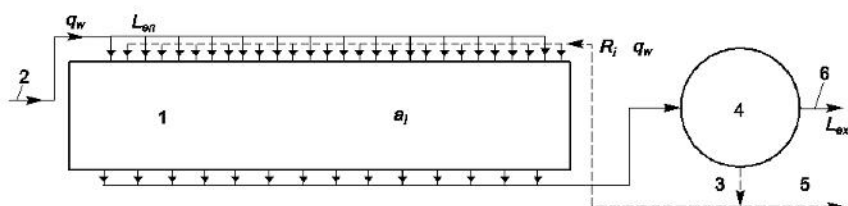


Рисунок 2.6 – Схема аэротенка-смесителя без регенератора:

1 – аэротенк-смеситель; 2 – подача сточных вод на очистку; 3 – циркуляционный активный ил; 4 – вторичный отстойник; 5 – отвод избыточного активного ила; 6 – отведение очищенных вод

Доза активного ила a_i принимается по таблице 2.1.

Удельная скорость окисления, $\text{мг}/(\text{г}\cdot\text{ч})$, определяется по формуле

$$\rho = \rho_{\max} \frac{L_{\text{ex}} C_o}{L_{\text{ex}} C_o + K_i C_o + L_{\text{ex}} K_o} \cdot \frac{1}{1 + \phi a_i}, \quad (2.3)$$

где $\rho_{\max}$ – максимальная скорость окисления, $\text{мг}/(\text{г}\cdot\text{ч})$, для городских сточных вод $\rho_{\max} = 57 \text{ мг}/(\text{г}\cdot\text{ч})$;

C_0 – концентрация растворенного кислорода, мг/дм³, $C_0 = 2$ мг/дм³;

K_l – константа, характеризующая свойства органических загрязняющих веществ, мг БПК₅/дм³, для городских сточных вод $K_l = 22$ мг БПК₅/дм³;

K_0 – константа, характеризующая влияние кислорода, мг О₂/дм³, для городских сточных вод $K_0 = 0,625$ мг О₂/дм³;

ϕ – коэффициент ингибирования продуктами распада активного ила, для городских сточных вод $\phi = 0,07$.

Период аэрации в аэротенках, работающих по принципу смесителей, ч, определяется по формуле

$$t_{atm} = \frac{L_{en} - L_{ex}}{a_i (1 - s) \rho}, \quad (2.4)$$

где L_{en} – концентрация БПК₅ поступающей в аэротенки сточной воды, мг/дм³;

L_{ex} – концентрация БПК₅ очищенной воды, мг/дм³;

a_i – доза ила, выражаемая в г/л, если БПК₅ выражена в мг/л или в г/м³;

s – зольность ила, доли единицы, для городских сточных вод принимается 0,3;

ρ – удельная скорость окисления, мг/(г·ч).

Нагрузка на активный ил определяется по формуле (2.2).

Величина илового индекса, соответствующая нагрузке на ил, определяется интерполяцией по таблице 2.3.

Степень рециркуляции активного ила

$$R_i = \frac{a_i}{\frac{1000}{J_i} - a_i}, \quad (2.5)$$

где a_i – доза ила в аэротенке, г/дм³;

J_i – иловый индекс, см³/г.

Формула (2.5) применима при иловом индексе J_i не более 175 см³/г и дозах ила до 5 г/дм³. При условиях, отличающихся от указанных, величина R_i принимается на основании инженерных изысканий, результатов исследований и данных эксплуатации объектов аналогов.

Величина R_i должна быть не менее:

– 0,3 – для отстойников с илососами;

– 0,4 – с илоскребами;

– 0,6 – при самотечном удалении ила или удалении ила эрлифтами.

Если значение R_i меньше минимальной величины, то степень рециркуляции принимается равной минимальной величине.

Объем аэротенка-смесителя без регенератора, м³,

$$W_{atm} = q_w t_{atm}, \quad (2.6)$$

где q_w – расчетный расход сточной воды, м³/ч;

t_{atm} – период аэрации, ч.

На основании рассчитанной величины объема аэротенка-смесителя без регенератора W_{atm} по таблице 2.4 принимается типовой проект аэротенка, подбирается число секций (не менее двух).

Таблица 2.4 – Основные параметры типовых аэротенков-смесителей

Ширина коридора, м	Рабочая глубина аэротенка, м	Число коридоров	Рабочий объем секции, м ³	Длина секции, м	Тип аэрации
3	1,2	2	170 260	24 36	Механическая
4	4,5	2	864 1296	24 36	Низконапорная
6	5,0	3	3780 5400 7560	42 60 83	Пневматическая
9	5,2	4	21680 28080	120 150	Пневматическая

Длина аэротенка, м,

$$l_{atm} = W_{atm} / (n_{at} n_{cor} b_{cor} H_{at}), \quad (2.7)$$

где n_{at} – число секций, шт.;

n_{cor} – число коридоров в одной секции, шт.;

b_{cor} – ширина коридора, м;

H_{at} – рабочая глубина аэротенка.

Полученное значение длины округляется до стандартного, и уточняется объем принятого к проектированию аэротенка.

Прирост активного ила, мг/дм³,

$$P_i = 0,8C_{en} + K_g L_{en}, \quad (2.8)$$

где C_{en} – концентрация взвешенных веществ в составе сточных вод, поступающих на биологическую очистку, мг/дм³.

2.1.2 Аэротенки-смесители с регенераторами

Аэротенки-смесители с регенераторами содержат регенератор для выдерживания циркуляционного ила без подачи очищаемой сточной воды.

Схема аэротенка-смесителя с регенератором приведена на рисунке 2.7.

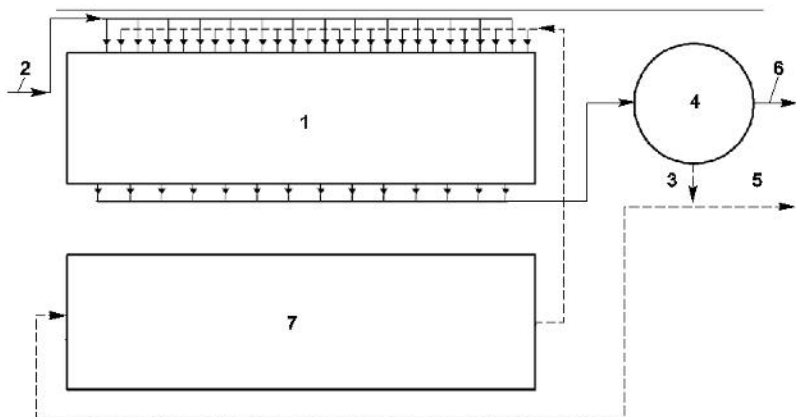


Рисунок 2.7 – Схема аэротенка-смесителя с регенератором:

1 – аэротенк-смеситель; 2 – подача сточных вод на очистку; 3 – циркуляционный активный ил; 4 – вторичный отстойник; 5 – отвод избыточного активного ила; 6 – отведение очищенных вод; 7 – регенератор

Средняя доза ила в системе аэротенка-смесителя с регенератором принимается $a_{mix} = 2,5...4,5$ г/дм³.

Степень регенерации (доля регенератора в общем объеме аэротенка-смесителя с регенератором) R_r необходимо принимать на основании данных инженерных изысканий, результатов исследовательских работ или данных эксплуатации объектов аналогов. Для учебных целей допускается принимать $R_r = 0,3$.

Удельная скорость окисления, мг БПК₅ на 1 г беззольного вещества ила в 1 ч, определяется по формуле (2.3) при a_{mix} .

Период аэрации, ч,

$$t_{atm} = \frac{L_{en} - L_{ex}}{a_{mix}(1-s)\rho}, \quad (2.9)$$

где L_{en} – концентрация БПК₅ в составе сточных вод, поступающих в аэротенки (с учетом снижения БПК₅ при первичном отстаивании), мг/дм³;

L_{ex} – концентрация БПК₅ очищенной воды, мг/дм³;

a_{mix} – средняя доза ила в системе аэротенка-смесителя с регенератором, г/дм³;
 s – зольность ила, доли единицы, для городских сточных вод принимается 0,3;

ρ – удельная скорость окисления, мг БПК₅ на 1 г беззольного вещества ила в 1 ч.

Нагрузка на активный ил определяется по формуле (2.2) при дозе ила a_{mix} .

Величина илового индекса, соответствующая нагрузке на ил, определяется интерполяцией по таблице 2.3.

Степень рециркуляции активного ила R_i в аэротенках-смесителях с регенераторами определяется по формуле

$$R_i = \frac{a_{mix}}{\frac{1000}{J_i} - a_{mix}}, \quad (2.10)$$

где a_{mix} – средняя доза ила в системе аэротенка-смесителя с регенератором, г/дм³;

J_i – иловый индекс, см³/г.

Величина R_i должна быть не менее:

– 0,3 – для отстойников с илососами;

– 0,4 – с илоскребами;

– 0,6 – при самотечном удалении ила или удалении ила эрлифтами.

Если значение R_i меньше минимальной величины, то степень рециркуляции принимается равной минимальной величине.

Общий объем аэротенка-смесителя с регенератором определяется как сумма объемов аэротенка и регенератора, м³,

$$W_{atm} + W_r = q_w t_{atm}, \quad (2.11)$$

где q_w – расчетный расход сточной воды, м³/ч;

t_{atm} – период аэрации, ч.

Объем аэротенка W_{atm} , м³,

$$W_{atm} = \frac{W_{atm} + W_r}{1 + \frac{R_r}{1 - R_r}}, \quad (2.12)$$

где R_r – доля регенератора в общем объеме аэротенка-смесителя с регенератором.

Объем регенератора W_r , м³,

$$W_r = (W_{atm} + W_r) - W_{atm}. \quad (2.13)$$

По общему объему ($W_{atm} + W_r$) принимается типовой аэротенк-смеситель с регенератором. Под регенератор отводится либо целиком одна секция аэротенка, либо часть одного коридора в каждой секции.

Доза активного ила в аэротенке, $г/дм^3$, при проектировании аэротенков-смесителей с регенераторами

$$a_i = \frac{(W_{atm} + W_r) a_{imix}}{W_{atm} + \left(\frac{1}{2R_i} + 1 \right) W_r}, \quad (2.14)$$

где W_{atm} – объем аэротенка, $м^3$;

W_r – объем регенератора, $м^3$;

a_{imix} – средняя доза ила в системе аэротенка-смесителя с регенератором, $г/дм^3$;

R_i – степень рециркуляции активного ила.

Прирост активного ила, $мг/дм^3$, определяется по формуле (2.8).

2.3 Проектирование аэротенков-вытеснителей

Аэротенки-вытеснители – сооружения, в которых сточная вода и циркулирующий возвратный активный ил подаются направленно с одной из торцовых сторон технологической емкости и отводятся также направленно с другой торцевой стороны сооружения (рисунок 2.8).

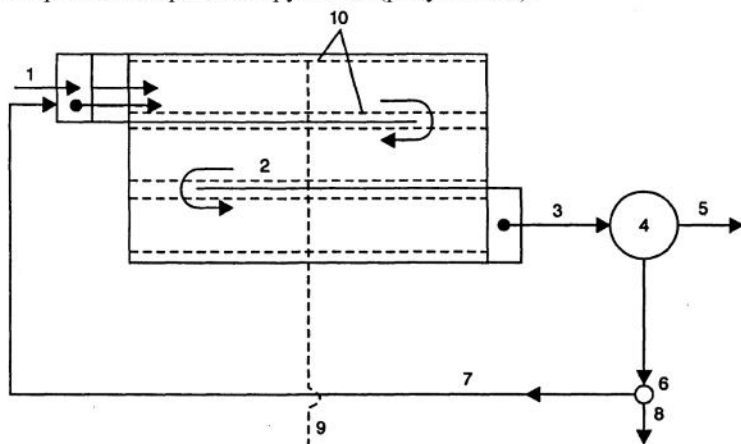


Рисунок 2.8 – Аэротенк-вытеснитель:

1 – сточная вода после первичных отстойников; 2 – аэротенк; 3 – иловая смесь из аэротенков; 4 – вторичный отстойник; 5 – очищенная вода; 6 – иловая камера; 7, 8 – циркуляционный и избыточный активный ил соответственно; 9 – воздух из воздуходувок; 10 – аэрационная система для подачи и распределения воздуха в аэротенке

2.3.1 Аэротенки-вытеснители без регенератора

Схема аэротенка-вытеснителя без регенератора приведена на рисунке 2.9.

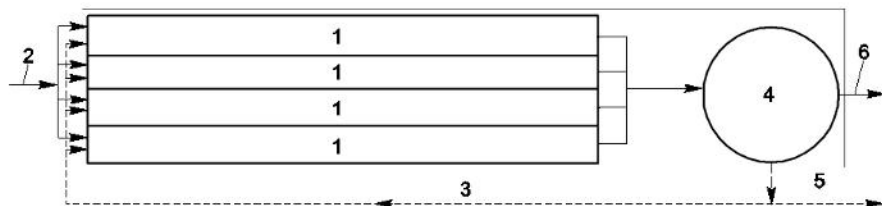


Рисунок 2.9 – Схема аэротенка-вытеснителя без регенератора:

1 – аэротенк-вытеснитель; 2 – подача сточной воды на очистку; 3 – циркуляционный активный ил; 4 – вторичный отстойник; 5 – отвод избыточного активного ила; 6 – отведение очищенной воды

Доза активного ила a_i принимается по таблице 2.2. Первоначальное значение илового индекса J_i назначается 100–150 см³/г.

Степень рециркуляции активного ила R_i в аэротенках определяется по формуле (2.5). Значение R_i проверяется на соответствие вышеуказанным условиям.

Концентрация БПК₅ в составе сточных вод, поступающих в аэротенк, с учетом разбавления рециркуляционным расходом, мг/дм³,

$$L_{mix} = \frac{L_{en} + L_{ex} R_i}{1 + R_i}, \quad (2.15)$$

где L_{en} – концентрация БПК₅ в составе сточных вод, поступающих в аэротенки (с учетом снижения БПК₅ при первичном отстаивании), мг/дм³;

L_{ex} – концентрация БПК₅ очищенной воды, мг/дм³.

Период аэрации в аэротенках-вытеснителях, ч,

$$t_{av} = \frac{1 + \varphi a_i}{\rho_{max} C_o a_i (1 - s)} \left[(C_o + K_o) \cdot (L_{mix} - L_{ex}) + K_i C_o \ln \left(\frac{L_{mix}}{L_{ex}} \right) \right] K_p, \quad (2.16)$$

где φ – коэффициент ингибирования продуктами распада активного ила, для городских сточных вод $\varphi = 0,07$;

a_i – доза активного ила, г/дм³;

ρ_{max} – максимальная скорость окисления, мг/(г·ч), для городских сточных вод $\rho_{max} = 57$ мг/(г·ч);

C_o – концентрация растворенного кислорода, мг/дм³, $C_o = 2$ мг/дм³;

s – зольность ила, для городских сточных вод принимается 0,3;

K_0 – константа, характеризующая влияние кислорода, мг $O_2/дм^3$, для городских сточных вод $K_0 = 0,625$ мг $O_2/дм^3$;

L_{mix} – концентрация БПК₅ в составе сточных вод, поступающих в аэротенк, с учетом разбавления рециркуляционным расходом, мг/дм³;

L_{en} – концентрация БПК₅ на выпуске, мг/дм³;

K_l – константа, характеризующая свойства органических загрязняющих веществ, мг БПК₅/дм³, для городских сточных вод $K_l = 22$ мг БПК₅/дм³;

K_p – коэффициент, учитывающий влияние продольного перемешивания: 1,50 – при биологической очистке до L_{ex} , равной 10 мг/дм³; 1,25 – при L_{ex} более 20 мг/дм³.

Нагрузка на активный ил q_i , мг БПК₅ на 1 г беззольного вещества ила в сутки, определяется по формуле (2.2).

По таблице 2.3 проверяется соответствие предварительно заданного илового индекса J_i полученной нагрузке q_i . Если иловый индекс отличается от табличного значения более чем на 10 %, расчет повторяется снова, принимая новое значение илового индекса.

Объем аэротенка-вытеснителя без регенератора, м³,

$$W_{alm} = t_{atv} (1 + R_i) q_w, \quad (2.17)$$

где t_{atv} – период аэрации в аэротенках-вытеснителях, ч.

q_w – расчетный расход сточных вод, м³/ч;

По расчетной величине объема аэротенка принимается количество секций типового аэротенка-вытеснителя (таблица 2.5). Режим вытеснения обеспечивается при отношении длины коридоров l к ширине b более 30 м.

Таблица 2.5 – Основные параметры типовых аэротенков-вытеснителей

Ширина коридора, м	Рабочая глубина, м	Число коридоров	Рабочий объем одной секции, м ³ , при длине, м						
			36–42	48–54	60–66	72–78	84–90	96–102	108–114
4,5	3,2	2	1040–1213	1386–1559	1732				
		3	1560–1820	2080–2400	2600				
		4	2070–2416	2762–3108	3494–3800				
	4,4	2	1420–1658	1896–2134	2372				
		3	2140–2496	2852–3208	3564				
		4	2850–3325	3800–4275	4750–5225				

Окончание таблицы 2.5

Ширина коридора, м	Рабочая глубина, м	Число коридоров	Рабочий объем одной секции, м ³ , при длине, м						
			36–42	48–54	60–66	72–78	84–90	96–102	108–114
6,0	4,4	2		2530– 2847	3154– 3471	3788			
		3		3800– 4275	4750– 5225	5700			
		4		5700	5334– 6968	7602– 8230	6870		
	5,0	2		2880– 3240	3600– 3960	4320			
		3		4320– 4860	5400– 5940	6480			
		4		6500	7220– 7940	8666– 9380	10100		
9,0	4,4	2				6180	6655– 7130	7505– 7980	8455
		3				9270	9983– 10696	11409– 12122	12835
		4					13300– 14250	15200– 16150	17100– 18050
	5,0	2				7020	7560– 8100	8640– 9180	9720
		3				10530	11340– 12150	12960– 13770	14580
		4					15120– 16200	17280– 18360	19440– 20520

Длина секции определяется по формуле (2.7).

Полученное значение длины округляется до стандартного, и уточняется объем принятого к проектированию аэротенка.

Прирост активного ила, мг/дм³, определяется по формуле (2.8).

2.3.2 Аэротенки-вытеснители с регенераторами

Схема аэротенка-вытеснителя с регенератором приведена на рисунке 2.10.

Доза активного ила a_i принимается по таблице 2.2. Первоначальное значение илового индекса J_i назначается 100–150 см³/г.

Степень рециркуляции активного ила R_i в аэротенке определяется по формуле (2.5). Значение R_i проверяется на соответствие вышеуказанным условиям.

Концентрация БПК₅ в составе сточных вод, поступающих в аэротенк, с учетом разбавления рециркуляционным расходом, мг/дм³, определяется по формуле (2.15).

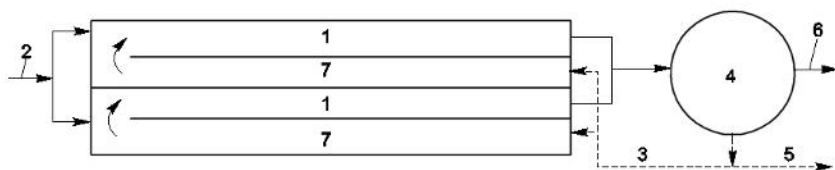


Рисунок 2.10 – Схема аэротенка-вытеснителя с регенератором:

1 – аэротенк-вытеснитель; 2 – подача сточных вод на очистку; 3 – циркуляционный активный ил; 4 – вторичный отстойник; 5 – отвод избыточного активного ила; 6 – отведение очищенной воды; 7 – регенератор

Продолжительность обработки воды в аэротенке, ч,

$$t_{at} = \frac{2,5}{\sqrt{a_i}} \lg \left(\frac{L_{mix}}{L_{en}} \right). \quad (2.18)$$

Доза ила в регенераторе, г/дм³,

$$a_r = a_i \left(\frac{1}{2R_i} + 1 \right). \quad (2.19)$$

Удельная скорость окисления ρ , мг/(г·ч), определяется по формуле (2.3) при дозе ила a_r .

Общая продолжительность окисления органических загрязняющих веществ, ч,

$$t_o = \frac{L_{en} - L_{ex}}{R_i a_r (1-s) \rho}. \quad (2.20)$$

Продолжительность регенерации, ч,

$$t_r = t_o - t_{at}. \quad (2.21)$$

Продолжительность пребывания сточной воды в системе аэротенка-вытеснителя с регенератором, ч,

$$t_{a-r} = t_{atv} (1 + R_i) + R_i t_r. \quad (2.22)$$

Средняя доза активного ила в системе аэротенка-вытеснителя с регенератором, г/дм³,

$$a_{mix} = \frac{(1 + R_i) t_{at} a_i + R_i t_r a_r}{t_{a-r}}. \quad (2.23)$$

Нагрузка на активный ил q_i , мг БПК₅ на 1 г беззольного вещества ила в сутки, определяется по формуле (2.2) при дозе ила a_{mix} .

По таблице 2.3 проверяется соответствие предварительно заданного илового индекса J_i полученной нагрузке q_i . Если иловый индекс отличается от табличного значения более чем на 10 %, расчет повторяется снова, принимая новое значение илового индекса.

При проектировании аэротенков-вытеснителей с регенераторами объем аэротенка и регенератора, м³, определяется соответственно по формулам

$$W_{at} = t_{at} (1 + R_i) q_w; \quad (2.24)$$

$$W_r = t_r R_i q_w, \quad (2.25)$$

где q_w – расчетный расход сточных вод, м³/ч;

t_{at} – продолжительность обработки воды в аэротенке, ч;

t_r – продолжительность регенерации, ч;

R_i – степень рециркуляции активного ила.

По общему объему ($W_{at} + W_r$) принимается типовой аэротенк-вытеснитель с регенератором (таблица 2.5). Под регенератор отводится один или несколько коридоров в каждой секции.

Длина секции определяется по формуле (2.7).

Полученное значение длины округляется до стандартного, и уточняется объем принятого к проектированию аэротенка.

Прирост активного ила, мг/дм³, определяется по формуле (2.8).

2.4 Проектирование емкостных сооружений с активным илом

2.4.1 Определение объема технологических сооружений с активным илом

Концентрация нитратного азота, подлежащего удалению, мг/дм³, определяется по балансовому уравнению

$$C_{NO_3D} = C_{Nen} - C_{orgNex} - C_{NH_4ex} - C_{NO_3ex} - C_{orgNBM}, \quad (2.26)$$

где C_{Nen} – содержание общего азота в сточной воде, поступающей на биологическую очистку, мг/дм³;

C_{orgNex} – содержание азота органических веществ в сточной воде, отводимой после вторичных отстойников, мг/дм³, при очистке бытовых сточных вод принимается равной 2 мг/дм³ [7];

C_{NH_4ex} – содержание аммонийного азота в сточной воде, отводимой после вторичных отстойников, мг/дм³, принимается в соответствии с приложением А;

C_{NO_3ex} – содержание нитратного азота в сточной воде, отводимой после вторичных отстойников, мг/дм³;

X_{orgNBM} – азот органических веществ, поступающий в биомассу активного ила, мг/дм³, назначается в пределах от 0,04 до 0,05 БПК₅ сточной воды, поступающей на биологическую очистку.

Содержание нитратного азота в сточной воде, отводимой после вторичных отстойников, определяется по формуле

$$C_{\text{NO}_3\text{ex}} = C_{\text{Nex}} - C_{\text{orgNex}} - C_{\text{NH}_4\text{ex}}, \quad (2.27)$$

где C_{Nex} – содержание общего азота в сточной воде после очистки, мг/дм³, принимается согласно требованиям сброса.

Определяется отношение концентрации азота нитратов, подлежащего удалению при денитрификации, к величине БПК₅ сточной воды, поступающей на биологическую очистку ($C_{\text{NO}_3\text{D}}/L_{\text{en}}$).

Отношение объема денитрификатора к общему объему технологических емкостных биологических сооружений с активным илом принимается в пределах от 0,2 до 0,5 по таблице 2.6 в зависимости от отношения концентрации азота нитратов, подлежащего удалению при денитрификации, к величине БПК₅ сточной воды, поступающей на биологическую очистку ($C_{\text{NO}_3\text{D}}/L_{\text{en}}$).

Таблица 2.6 – Отношение объема денитрификатора к общему объему технологических емкостных сооружений с активным илом при температуре от 10 до 12 °C

V_D/V	$C_{\text{NO}_3\text{D}}/L_{\text{en}}$		
	Предварительная денитрификация и способы, аналогичные предварительной денитрификации	Чередующаяся денитрификация	Параллельная и периодическая денитрификация
0,2	0,11	0,085	0,06
0,3	0,13	0,110	0,09
0,4	0,14	0,130	0,12
0,5	0,15	0,150	0,15

В случае если $C_{\text{NO}_3\text{D}}/L_{\text{en}} > 0,15$, необходимо:

- предусматривать мероприятия по снижению содержания соединений азота в сточной воде, поступающей на сооружения биологической очистки, в том числе посредством отдельной обработки иловой воды;
- рассмотреть возможность снижения степени осветления воды при первичном отстаивании и повышения БПК₅ осветленной сточной воды, поступающей на биологическую очистку.

При невозможности снижения содержания соединений азота в сточной воде, поступающей на очистку, необходимо предусматривать дозирование внешнего субстрата. Дозу внешнего субстрата следует принимать 5 кг ХПК на 1 кг нитратного азота, подлежащего денитрификации.

Окончательный выбор вида субстрата и обработка режима его дозирования производится при наладке и последующей эксплуатации очистных сооружений. При использовании предварительной, каскадной и параллельной денитрификации подача субстрата предусматривается в сточную воду, поступающую на сооружения биологической очистки. Для периодической и чередующейся денитрификации, а также отдельных многоступенчатых схем денитрификации субстрат необходимо дозировать только во время фазы денитрификации.

Суточная нагрузка по органическим загрязняющим веществам сооружений биологической очистки, кг БПК₅/сут,

$$B_d = \frac{L_{en} Q_{\text{ср.сут}}}{1000} \quad (2.28)$$

Минимальный возраст активного ила t_{TS} , сут, в системах биологической очистки определяется в зависимости от цели обработки сточной воды, нагрузки по органическим загрязнениям и расчетной температуры сточной воды по таблице 2.7. При отсутствии данных по минимальной температуре иловой смеси расчетная температура принимается равной 10 °С.

Таблица 2.7 – Минимальный возраст активного ила

Вид очистки	Суточная нагрузка по органическим загрязняющим веществам сооружений биологической очистки, кг БПК ₅ /сут					
	до 1200		свыше 1200 до 6000 включ.		свыше 6000	
	Расчетная температура, °С					
	10	12	10	12	10	12
Без нитрификации	5,0		5,0–4,0		4,0	
С нитрификацией	10,0	8,2	10,0–8,0	8,2–6,6	8,0	6,6
С нитрификацией и денитрификацией при отношении объема денитрификатора к общему объему емкостных сооружений с активным илом:						
0,2	12,5	10,3	12,5–10,0	10,3–8,3	10,0	8,3
0,3	14,3	11,7	14,3–11,4	11,7–9,4	11,4	9,4
0,4	16,7	13,7	16,7–13,3	13,7–11,0	13,3	11,0
0,5	20,0	16,4	20,0–16,4	16,4–13,2	16,0	13,2
Стабилизация ила, включая нитрификацию и денитрификацию	25,0		—		—	

Для систем с нитрификацией при значениях температур более 12 °С возраст ила определяется по формуле

$$t_{TS}^N = 3,4K_3 \cdot 1,103^{(15-T)}, \quad (2.29)$$

где K_3 – коэффициент, учитывающий колебания концентрации соединений азота и величины рН в сточных водах, поступающих на сооружения биологической очистки;

T – расчетная температура сточных вод, °С.

Для систем с нитрификацией и денитрификацией для температуры более 12 °С возраст ила

$$t_{TS}^{N+D} = 3,4K_3 \cdot 1,103^{(15-T)} \frac{1}{1 - V_D / (V_D + V_N)}, \quad (2.30)$$

где V_D – объем денитрификатора, м³;

V_N – объем нитрификатора, м³.

Для сооружений с нагрузкой по БПК₅ до 1200 кг/сут значение K_3 принимается 1,8; для сооружений с нагрузкой по БПК₅ более 6000 кг/сут – 1,45, для сооружений с нагрузкой по БПК₅ в интервале от 1200 до 6000 кг/сут – интерполяцией.

Прирост активного ила, кг/сут,

$$P_i = P_c + P_p, \quad (2.31)$$

где P_c – прирост активного ила, получаемый в процессе биологической деструкции органических веществ, кг/сут;

P_p – прирост активного ила, получаемый в процессе биологического удаления фосфора, кг/сут, принимается исходя из продукции 3 кг активного ила на 1 кг фосфора, подлежащего удалению.

Определяется отношение концентрации взвешенных веществ в составе сточных вод, поступающих на биологическую очистку, к величине БПК₅ (C_{en} / L_{en}).

Удельный прирост активного ила, полученный в процессе биологической деструкции органических веществ, кг/кг БПК₅, при возрасте активного ила от 4 до 25 сут и температуре иловой смеси 10–12 °С принимается по таблице 2.8 в зависимости от отношения C_{en} / L_{en} .

Прирост активного ила, получаемый в процессе биологической деструкции органических веществ, кг/сут,

$$P_c = p_{yd} B_d. \quad (2.32)$$

Таблица 2.8 – Прирост активного ила, получаемый в процессе биологической деструкции органических веществ

C_{en}/L_{en}	Возраст активного ила, сут					
	4	8	10	15	20	25
0,4	0,79	0,69	0,65	0,59	0,56	0,53
0,6	0,91	0,81	0,77	0,71	0,68	0,65
0,8	1,03	0,93	0,89	0,83	0,80	0,77
1,0	1,15	1,05	1,01	0,95	0,92	0,89
1,2	1,27	1,17	1,13	1,07	1,04	1,01

Для других условий прирост активного ила, кг/сут, полученный в процессе биологической деструкции органических веществ, определяется по формуле

$$P_c = \frac{Q_{\text{сут}} L_{en}}{1000} \left(0,75 + 0,6 \frac{C_{en}}{L_{en}} - \frac{0,102 t_{TS} 1,072^{(15-T)}}{1 + 0,17 t_{TS} 1,072^{(15-T)}} \right), \quad (2.33)$$

где $Q_{\text{сут}}$ – среднесуточный расход сточных вод, м³/сут;

L_{en} , C_{en} – концентрация соответственно БПК₅ и взвешенных веществ в сточных водах, поступающих на биологическую очистку, мг/дм³;

t_{TS} – возраст активного ила, сут;

T – температура иловой смеси, °С.

Прирост активного ила, получаемый в процессе биологического удаления фосфора, кг/сут,

$$P_p = 3B_d^p, \quad (2.34)$$

где B_d^p – суточная нагрузка по фосфатным загрязняющим веществам сооружений биологической очистки, кг/сут,

$$B_d^p = \frac{X_{Pe} Q_{\text{сут}}}{1000}, \quad (2.35)$$

X_{Pe} – концентрация соединений фосфора, удаляемых в процессе биологической очистки, мг/дм³,

$$X_{Pe} = C_{Pen} - C_{Pex}, \quad (2.36)$$

C_{Pen} – концентрация фосфора в сточной воде, поступающей на биологическую очистку, мг/дм³;

C_{Pex} – концентрация фосфора в сточной воде после вторичных отстойников, мг/дм³, принимается в соответствии с требованиями сброса сточных вод.

Суммарный объем технологических сооружений, предназначенных для деструкции органических веществ, нитрификации и денитрификации, м^3 ,

$$V = \frac{t_{TS} P_i}{a_i}, \quad (2.37)$$

где t_{TS} – возраст активного ила, сут;

P_i – прирост активного ила, кг/сут ;

a_i – доза ила, мг/дм^3 , принимается по таблице 2.2 в зависимости от цели обработки.

Длительность цикла обработки, ч, включающей время на нитрификацию и денитрификацию сточной воды,

$$t_T = \frac{V}{Q_{h\max}} \cdot \frac{C_{\text{NO}_3\text{ex}}}{C_{\text{NH}_4\text{N}}}, \quad (2.38)$$

где $C_{\text{NH}_4\text{N}}$ – концентрация азота аммонийного в составе сточных вод, подлежащая нитрификации, мг/дм^3 .

Объем анаэробной зоны, м^3 ,

$$W_{\text{анаэр}} = t_{\text{анаэр}} Q_{h\max} (1 + R), \quad (2.39)$$

где $t_{\text{анаэр}}$ – время контакта, ч, принимается равным 0,5–0,75 ч [1];

$Q_{h\max}$ – максимальный часовой расход, $\text{м}^3/\text{ч}$;

R – степень рециркуляции активного ила.

Объем технологических сооружений, предназначенных для деструкции органических веществ, нитрификации, денитрификации и биологического удаления фосфора, м^3 ,

$$W_{\text{общ}} = V + W_{\text{анаэр}}. \quad (2.40)$$

По расчетной величине объема принимается количество секций типового аэротенка (таблица 2.5), количество коридоров, ширина коридора, глубина аэротенка.

Длина секции определяется по формуле (2.7).

Полученное значение длины округляется до стандартного, и уточняется объем принятого к проектированию аэротенка, м^3 , по формуле

$$W_1 = l b h n_{\text{кор}}. \quad (2.41)$$

Проектный объем всех аэротенков, м^3 ,

$$W_{\text{проект}} = W_1 n_{\text{секц}}. \quad (2.42)$$

Уточняется доза ила, г/дм^3 ,

$$a_{\text{факт}} = \frac{t_{\text{ТС}} P_i}{W_{\text{проект}} - W_{\text{анаэр}}} . \quad (2.43)$$

Объем технологических сооружений с активным илом должен обеспечивать нагрузку на активный ил, не превышающую указанную в таблице 2.2.

Объемная нагрузка по БПК₅, кг/(м³·сут),

$$B_R = \frac{Q_{\text{сут}} L_{\text{en}}}{1000 W_{\text{проект}}} . \quad (2.44)$$

Нагрузка на активный ил, кг/(кг·сут),

$$B_R = \frac{Q_{\text{сут}} L_{\text{en}}}{1000 a_{\text{факт}} V_{\text{проект}}} . \quad (2.45)$$

2.4.2 Определение размеров зон

В принятом к проектированию аэротенке выделяются объемы анаэробной, аноксидной и аэробной зон в соответствии с принятой схемой.

Объем анаэробной зоны в одной секции аэротенка, м³,

$$V_{\text{анаэр}}^1 = \frac{W_{\text{анаэр}}}{n_{\text{секц}}} . \quad (2.46)$$

Суммарный объем нитрификатора и денитрификатора (аэробной и аноксидной зон) в одной секции аэротенка, м³,

$$V_{N+D}^1 = W_{\text{проект}}^1 - W_{\text{анаэр}}^1 . \quad (2.47)$$

Объем денитрификатора (аноксидной зоны) в одной секции аэротенка, м³,

$$V_D^1 = V_{N+D}^1 \frac{V_D}{V} . \quad (2.48)$$

Объем нитрификатора (аэробной зоны) в одной секции аэротенка, м³,

$$V_N^1 = V_{N+D}^1 - V_D^1 . \quad (2.49)$$

Длина каждой зоны, м,

$$l_i = \frac{V_i}{bh} . \quad (2.50)$$

Результаты расчетов сводятся в таблицу 2.9.

Таблица 2.9 – Объемы и длины зон в аэротенке

Зона	Объем зоны, м ³	Длина зоны, м
Анаэробная		
Аноксидная		
Аэробная		
Итого		

Производится проверка правильности выполненных расчетов

$$l_{\text{сек}} = l_{\text{анаэр}} + l_{\text{анокс}} + l_{\text{аэр}}. \quad (2.51)$$

2.4.3 Оборудование для перекачки активного ила

Часть потребляемых илом органических веществ идет на построение новых бактериальных клеток, активный ил развивается, и его масса увеличивается. Это увеличение называется *приростом ила* (*избыточным активным илом*).

В аэротенке поддерживается определенная для данных условий концентрация ила (доза ила), поэтому прирастающая масса ила должна своевременно удаляться из системы биологической очистки. В противном случае она будет выноситься с потоком очищаемой воды.

Постоянный прирост и удаление избыточного активного ила из системы биологической очистки постепенно обновляют иловую массу в аэрационном сооружении. Чем больше прирост ила, тем больше количество избыточного активного ила и, следовательно, тем быстрее обновляется ил и тем меньше возврат ила.

Масса ила, возвращаемая из сооружения илоотделения в аэротенки, называется *циркуляционным активным илом*.

Циркуляционный активный ил возвращается в аэротенки насосами (принимается не менее двух рабочих), установленными в иловой насосной станции, расположенной около вторичных отстойников. Производительность насосов принимается равной требуемому расходу циркуляционного активного ила, напор зависит от геометрической высоты подъема и потерь напора. Количество резервных насосов принимается в соответствии с требованиями проектирования насосных станций.

Расход циркуляционного активного ила, м³/ч, определяется по формуле

$$q_{\text{цир}} = R_i Q_{\text{лmax}}, \quad (2.52)$$

где R_i – требуемая степень рециркуляции возвратного активного ила из вторичных отстойников;

$Q_{\text{лmax}}$ – максимальный часовой расход, м³/ч.

Для обеспечения нитратного рецикла с конца аэробной в начало анаэробной зоны в каждой секции устанавливается низконапорный погружной насос или эрлифт (для сооружений небольшой производительности), производительность которого принимается равной расходу перекачиваемой нитрифицированной иловой смеси. Резервный насос (эрлифт) хранится на складе.

Расход перекачиваемой нитрифицированной иловой смеси, м³/ч,

$$q_s = \frac{Q_{hmax}}{n_{секц}} \text{ НР}, \quad (2.53)$$

где $n_{секц}$ – количество секций в аэротенке, шт.;

НР – нитратный рецикл, определяется по формуле

$$\text{НР} = R_F - R_i, \quad (2.54)$$

R_F – требуемая степень циркуляции возвратного активного ила из вторичных отстойников и иловой смеси из зоны нитрификации в денитрификатор при предварительной денитрификации

$$R_F = C_{\text{NH}_4\text{N}} / C_{\text{NO}_3\text{ex}} - 1, \quad (2.55)$$

$C_{\text{NH}_4\text{N}}$ – концентрация азота аммонийного в составе сточных вод, подлежащая нитрификации, мг/дм³,

$$C_{\text{NH}_4\text{N}} = C_{\text{NH}_4\text{en}} - C_{\text{NH}_4\text{ex}}, \quad (2.56)$$

$C_{\text{NH}_4\text{en}}$ – содержание азота аммонийного в отстойной воде, поступающей на биологическую очистку, мг/дм³;

$C_{\text{NH}_4\text{ex}}$ – содержание аммонийного азота в составе сточных вод, отводимых после вторичных отстойников, мг/дм³;

$C_{\text{NO}_3\text{ex}}$ – содержание нитратного азота в составе очищенных сточных вод, отводимых после вторичных отстойников, мг/дм³.

Расчетная концентрация аммонийного азота, подлежащего окислению при очистке, принимается исходя из его полного окисления и перевода в нитрат.

2.4.4 Определение потребности в кислороде

Потребность в кислороде при очистке сточной воды, кг/сут, определяется как сумма расхода кислорода на деструкцию органических веществ и нитрификацию с учетом снижения потребности в кислороде за счет окисления органических веществ при денитрификации

$$OV = OV_c + OV_N - OV_D, \quad (2.57)$$

где OV_c , OV_N – расход кислорода соответственно на деструкцию органических веществ и нитрификацию, кг/сут;

OV_D – снижение потребности в кислороде за счет окисления органических веществ при денитрификации, кг/сут.

При отношении ХПК/БПК₅ сточной воды, поступающей на биологическую очистку, не более 2,2 удельный расход кислорода на обработку сточной воды с целью деструкции органических веществ, кг/кг БПК₅, допускается определять интерполяцией по таблице 2.10 с учетом температуры и возраста ила.

Расход кислорода на деструкцию органических веществ, кг/сут,

$$OV_c = q_{уд} B_d \cdot \quad (2.58)$$

Таблица 2.10 – Удельный расход кислорода на обработку сточной воды с целью деструкции органических веществ

В кг/кг БПК₅

Температура T , °C	Возраст ила, сут					
	4	8	10	15	20	25
10	0,85	0,99	1,04	1,13	1,18	1,22
12	0,87	1,02	1,07	1,15	1,21	1,24
15	0,92	1,07	1,12	1,19	1,24	1,27
18	0,96	1,11	1,16	1,23	1,27	1,30
20	0,99	1,14	1,18	1,25	1,29	1,32

Для других значений возраста ила и температуры расход кислорода на обработку сточной воды с целью деструкции органических веществ, кг/сут, определяется по зависимости

$$OV_c = B_d \left(0,56 + \frac{0,15 t_{TS} 1,072^{(15-T)}}{1 + 0,17 t_{TS} 1,072^{(15-T)}} \right), \quad (2.59)$$

где B_d – суточное поступление биохимически разлагаемых веществ на очистные сооружения, кг БПК₅/сут;

t_{TS} – возраст активного ила, сут;

T – расчетная температура сточных вод, °C.

Расход кислорода на нитрификацию, кг/сут,

$$OV_N = Q_{\text{ср.сут}} \frac{4,3 (C_{\text{NO}_3D} - C_{\text{NO}_3\text{en}} + C_{\text{NO}_3\text{ex}})}{1000}, \quad (2.60)$$

где $C_{\text{NO}_3\text{en}}$ – концентрация нитратного азота в сточных водах, поступающих на сооружения биологической очистки, мг/дм³.

Снижение потребности в кислороде, кг/сут, за счет окисления органических веществ в аноксидных условиях при денитрификации

$$OV_D = Q_{\text{сут}} \frac{2,9C_{\text{NO}_3D}}{1000}. \quad (2.61)$$

Максимальная часовая потребность в кислороде, кг/ч, определяется с учетом неравномерности его потребления в течение суток

$$OV_h = \frac{k_c(OV_c - OV_D) + k_N OV_N}{24}, \quad (2.62)$$

где k_c , k_N – коэффициент часовой неравномерности потребления кислорода соответственно при обработке сточной воды с целью деструкции органических веществ и нитрификации.

Коэффициенты k_c , k_N определяются на основании данных технологических изысканий, при их отсутствии допускается принимать значения коэффициентов по таблице 2.11.

Таблица 2.11 – Значения коэффициентов часовой неравномерности потребления кислорода

Возраст ила, сут	k_c	k_N при суточном поступлении органических загрязняющих веществ на сооружения биологической очистки, БПК ₅ /сут		
		до 1200 включ.	свыше 1200 до 6000	свыше 6000
4	1,30	–	–	–
8	1,25	–	–	–
10	1,20	–	2,5	2,0
15	1,20	2,5	2,5–1,8	1,8
20	1,15	2,0	2,0–1,5	1,5
25	1,10	1,5	1,5	–

Максимальная часовая потребность в кислороде OV_h , кг/ч, рассчитывается для двух вариантов сочетания нагрузок: при значении $k_c = 1,0$ $k_N = \max$; при $k_c = \max$ $k_N = 1,0$. К проектированию принимается наибольшее значение.

Требуемая подача кислорода, кг/ч, в технологические емкости с активным илом при непрерывной аэрации

$$q_0 = \frac{C_T}{C_T - C_0} OV_h, \quad (2.63)$$

где C_T – растворимость кислорода в воде в зависимости от температуры и давления, мг/дм³, принимается по таблице 2.12;

C_0 – концентрация кислорода в иловой смеси в технологической емкости, мг/дм³.

Таблица 2.12 – Растворимость кислорода в воде в зависимости от температуры (при давлении 1 атм.)

Температура, °С	Содержание кислорода, мг/дм ³	Температура, °С	Содержание кислорода, мг/дм ³	Температура, °С	Содержание кислорода, мг/дм ³
0	14,62	11	11,08	22	8,83
1	14,23	12	10,93	23	8,68
2	13,84	13	10,60	24	8,53
3	13,48	14	10,37	25	8,38
4	13,13	15	10,15	26	8,22
5	12,80	16	9,95	27	8,07
6	12,48	17	9,74	28	7,92
7	12,17	18	9,54	29	7,77
8	11,87	19	9,35	30	7,63
9	11,59	20	9,17		
10	11,33	21	8,99		

Для технологических емкостей с активным илом, в которых аэрация производится периодически, требуемая подача кислорода, кг/ч, рассчитывается по зависимости

$$q_0 = \frac{C_T}{C_T - C_0} OV_h \frac{1}{1 - V_D/V} . \quad (2.64)$$

При расчете систем аэрации концентрация кислорода в технологических емкостях с активным илом принимается 2,0 мг/л.

2.4.5 Системы аэрации иловой смеси

Одним из важнейших факторов, определяющих эффективность работы сооружений биологической очистки с активным илом, является достаточное количество кислорода, необходимого для жизнедеятельности микроорганизмов. Поступление кислорода обеспечивается за счет аэрации сточных вод и осуществляется при использовании *аэрационных систем*.

Современные **системы подачи воздуха** включают:

- воздухоподъемники с системами управления;
- воздуховоды;
- контрольно-измерительные приборы (КИП);
- управляющую и запорную арматуры;
- аэрационные системы (совокупность аэраторов и систем подвода воздуха к ним).

Тип аэраторов выбирается на основании технико-экономического расчета с учетом следующих параметров:

- потеря давления;
- размер пузырьков воздуха;
- устойчивость к засорению;
- срок службы;
- простота обслуживания.

Аэраторы должны обеспечивать требуемый кислородный режим и интенсивность перемешивания активного ила. Современными считаются аэраторы с эффективностью переноса кислорода (*SSOTE*) не менее 6 % на м погружения аэратора. Увеличение *SSOTE* является дополнительным плюсом при выборе аэратора и основным критерием качества аэраторов.

Большее значение площади, обслуживаемой одним аэрационным элементом без снижения эффективности массопереноса, также является положительным фактором для ее выбора, так как снижает удельную стоимость системы разводки воздуха по днищу аэротенка, трудоемкость и стоимость ее монтажа.

Аэрационная система должна обеспечивать отсутствие засорения аэраторов как при кратковременных отключениях подачи воздуха (обязательно), так и при работе в условиях включения/выключения аэраторов (последнее важно, если планируются такие режимы работы).

Аэрационная система должна обеспечивать возможность изменения расхода воздуха до 40 % от расчетной величины в суточном цикле как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения без изменения срока эксплуатации аэраторов и коэффициента износа.

Аэрация сточных вод может осуществляться *пневматическими, механическими или комбинированными аэраторами*. Они подробно описаны в пособии [10]. Воздух поступает в жидкость в виде пузырьков, которые всплывают и при движении через слой воды передают в нее кислород. Чем меньше размер пузырьков, тем большее количество кислорода переходит в жидкость из воздуха и, следовательно, тем ниже затраты энергии на работу аэрационного оборудования.

При подборе аэраторов необходимо исходить из их производительности по кислороду, определенной при температуре 20 °С, и отсутствия растворенного в воде кислорода.

Количество воздуха, м³/ч,

$$Q_{\text{в}} = \frac{q_0}{h_{\text{а}} \cdot \text{УД}_{\text{O}_2}} \cdot 1000, \quad (2.65)$$

где q_0 – требуемая подача кислорода, кг/ч;

h_a – глубина погружения аэратора, м, принимается с учетом давления воздухоудовного оборудования и потерь давления в коммуникациях и аэраторах;

$УД_{O_2}$ – удельная подача кислорода на 1 м^3 воздуха на 1 м погружения аэратора, $\text{м}^3/\text{м}$, принимается по таблице 2.13.

Таблица 2.13 – Параметры погружных аэрационных систем

Тип аэрационной системы	Среда аэрирования	Удельная подача кислорода на 1 м^3 воздуха и 1 м погружения аэратора, $\text{г O}_2/\text{м}^3 \text{ м}$	Производительность аэраторов по кислороду, $\text{кг O}_2/(\text{кВт} \cdot \text{ч})$
Мелкопузырчатые трубчатые аэраторы	Чистая вода	14,0–10,0	2,2–1,7
	Иловая смесь	10,0–8,0	1,8–1,3
Среднепузырчатые трубчатые аэраторы	Чистая вода	7,0–6,0	2,2–1,3
	Иловая смесь	5,5–4,5	1,1–0,8
Среднепузырчатые аэраторы незаглубленные	Чистая вода	9,0–8,0	1,8–1,5
	Иловая смесь	7,5–6,5	1,5–1,2
Крупнопузырчатые трубчатые аэраторы	Чистая вода	6,0–5,0	1,2–0,9
	Иловая смесь	4,5–4,0	0,9–0,7
Плоские аэраторы	Чистая вода	20,0–15,0	3,2–2,4
	Иловая смесь	12,0–9,3	1,9–1,4
Тарельчатые аэраторы	Чистая вода	27,0–20,0	3,9–2,9
	Иловая смесь	16,5–12,0	2,3–1,8
Аэрация с циркуляционным перемешиванием	Чистая вода	17,0–13,0	3,0–2,3
	Иловая смесь	10,5–8,0	1,8–1,4

Количество аэраторов определяется исходя из требуемого расхода кислорода и данных производителей аэрационных систем.

В аэротенках должна быть предусмотрена возможность опорожнения и устройства для выпуска воды из воздухораспределительной системы.

В системах аэрации, в которых аэраторы не фиксируются к опорным элементам на дне емкостных сооружений, должна быть предусмотрена возможность извлечения отдельных секций с аэраторами без опорожнения емкостей.

Воздуходувки, применяемые для аэрации сточных вод, должны позволять осуществлять регулирование расхода подаваемого воздуха. Это связано с суточной и сезонной неравномерностью притока сточных вод, а также с изменением как температуры сточных вод, так и температуры воздуха, поступающей к воздуходувкам. При использовании технологий биологического удаления азота и фосфора необходимо предусматривать гибкое либо ступенчатое управление системой подачи воздуха в аэротенки с применением средств автоматизации.

2.4.6 Перемешивающие устройства

Для перемешивания иловой смеси в анаэробных и аноксидных технологических емкостях необходимо предусматривать перемешивающие устройства.

В качестве перемешивающих устройств могут быть использованы *мешалки* различных типов и, при соответствующем обосновании, другие типы устройств.

По конструкции погружные мешалки подразделяются на **безредукторные** (высокоскоростные) и **редукторные** (низкоскоростные) (рисунок 2.11).

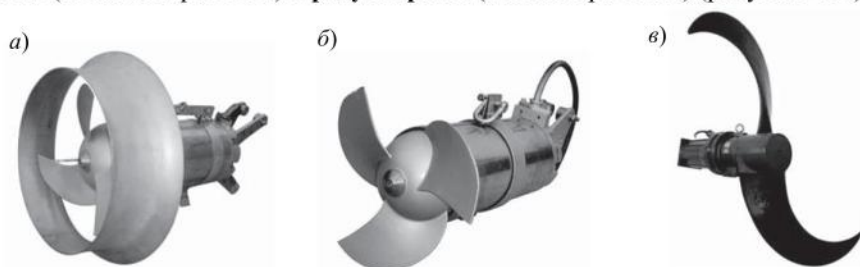


Рисунок 2.11 – Мешалки:

а – высокоскоростная мешалка МА со струенаправляющим обручем; б – высокоскоростная мешалка МА без струенаправляющего обруча; в – низкоскоростная мешалка LFP

Безредукторные погружные мешалки предусматривают прямую передачу крутящего момента с электродвигателя на пропеллер. Они комплектуются двигателями с частотой вращения ротора 1450, 960 и 725 об/мин. Мешалки такого типа целесообразно предусматривать для монтажа в емкостях небольших размеров, имеющих сложные формы, с различными устройствами, смонтированными во внутреннем пространстве емкости.

Редукторные погружные мешалки предусматривают передачу крутящего момента с электродвигателя на пропеллер с использованием понижающего редуктора.

Гиперболические мешалки размещаются на дне сооружения в один ряд. При обосновании и по согласованию с изготовителем допускается размещение гиперболических мешалок в два ряда.

Перемешивающие устройства должны обеспечивать скорость иловой смеси от 0,1 до 0,25 м/с и не должны приводить к интенсивному поступлению кислорода воздуха в иловую смесь. Удельная мощность перемешивающих устройств для обеспечения требуемой скорости иловой смеси должна составлять не менее 1,5 Вт на 1 м³ объема емкостного сооружения.

Выбор перемешивающих устройств осуществляется в зависимости от объема и формы емкостного сооружения (приложение Б) с учетом мощности перемешивающего устройства (таблицы 2.14, 2.15) для обеспечения требуемой скорости иловой смеси.

Таблица 2.14 – Технические характеристики высокоскоростных мешалок МА

Марка	Номинальная мощность, кВт	Рабочий ток, А	Частота вращения вала, об/мин	Диаметр пропеллера*, мм
MA0,37/6-210-960	0,37	1,12	960	210
MA0,55/4-230-1400	0,55	1,35	1400	230
MA0,85/8-260-740	0,85	2,7	740	260
MA1,5/6-260-960	1,5	4,0	960	260
MA2,2/8-320-740	2,2	5,9	740	320
MA4/6-320-960	4,0	10,3	960	320
MA1,5/8-400-740	1,5	5,2	740	400
MA2,5/8-400-740	2,5	7,0	740	400
MA3/8-400-740	3,0	8,6	740	400
MA4/6-400-960	4,0	10,3	960	400
MA4/12-620-480	4,0	14,0	480	620
MA5/12-620-480	5,0	18,2	480	620
MA7,5/12-620-480	7,5	28,0	480	620
MA10/12-620-480	10	32,0	480	620
*Пропеллеры, диаметр которых ≤ 260 мм, имеют две лопасти, остальные – три лопасти				

Таблица 2.15 – Технические характеристики низкоскоростных мешалок LFP

Марка	Номинальная мощность, кВт	Рабочий ток, А	Частота вращения вала, об/мин	Диаметр пропеллера*, мм
LFP1,5/4-1000-85	1,5	4,0	85	1000
LFP3/4-1100-85	3,0	6,8	85	1100
LFP1,5/4-1400-36	1,5	4,0	36	1400
LFP2,2/4-1400-42	2,2	4,9	42	1400
LFP2,2/4-1600-36	2,2	4,9	36	1600
LFP3/4-1600-52	3,0	6,8	52	1600
LFP1,5/4-1800-42	1,5	4,0	42	1800
LFP3/4-1800-52	3,0	6,8	52	1800
LFP4/4-1800-52	4,0	9,0	52	1800
LFP2,2/4-2000-36	2,2	4,9	36	2000
LFP4/4-2000-52	4,0	9,0	52	2000
LFP4/4-2200-52	4,0	9,0	52	2200
LFP3/4-2500-36	4,0	6,8	36	2500
LFP4/4-2500-42	4,0	9,0	42	2500
LFP5/4-2500-52	5,0	11,0	52	2500
*Пропеллеры, диаметр которых ≤ 260 мм, имеют две лопасти, остальные – три лопасти				

Удельная мощность перемешивающего устройства для обеспечения требуемой скорости иловой смеси, Вт/м³,

$$W_{уд} = \alpha(a_{i\text{факт}})^{0,24}, \quad (2.66)$$

где α – коэффициент, учитывающий вязкость воды, принимается в интервале 0,95–1,0;

$a_{i\text{факт}}$ – концентрация иловой смеси в аэротенке, мг/дм³.

Требуемая мощность электродвигателя перемешивающих устройств, устанавливаемых в анаэробной зоне, кВт,

$$P_{\text{анаэр}} = \frac{V_{\text{анаэр}}^1 W_{уд}}{1000}, \quad (2.67)$$

где $V_{\text{анаэр}}^1$ – объем анаэробной зоны в одной секции аэротенка, м³.

Требуемая мощность электродвигателя перемешивающих устройств, устанавливаемых в аноксидной зоне (денитрификаторе), кВт,

$$P_D = \frac{V_D^1 W_{уд}}{1000}, \quad (2.68)$$

где V_D^1 – объем аноксидной зоны (денитрификатора) в одной секции аэротенка, м³.

Погружные мешалки оснащаются герметичными электродвигателями, предназначенными для длительной эксплуатации в среде иловой смеси.

При выборе мешалок следует учитывать, что при аналогичном перемешивающем воздействии на иловую смесь энергопотребление редукторных мешалок ниже, чем у безредукторных. Удельное энергопотребление ниже у мешалок с большими диаметрами пропеллеров при прочих равных условиях.

Существует множество схем установки погружных мешалок. Наиболее распространенными являются четыре способа монтажа (рисунки В.1–В.4), выбор которых осуществляется в соответствии с таблицей В.1.

Схема установки I применяется при $H < 4$ м для моделей МАО.37/4; МАО.55/4; МАО.85/8 и МА1.5/6 и дает возможность регулирования углов установки мешалки в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Варианты установки II и III обладают возможностью регулирования угла установки мешалки в горизонтальной плоскости в пределах $\pm 60^\circ$.

Если $H > 4$ м, то предусматривается дополнительная промежуточная опора направляющей.

Промежуточная и нижняя опоры направляющей надежно закрепляются к стене и дну резервуара при помощи анкерных болтов (цанговых или химических). Для мешалок большой мощности и с большими диаметрами пропеллеров лучшим решением является предварительная заделка анкерных болтов в бетон.

3 ПРОЕКТИРОВАНИЕ БИОФИЛЬТРОВ

3.1 Рекомендуемые параметры при проектировании биофильтров

Биологические фильтры предназначены для очистки сточных вод с использованием биоценоза прикрепленных форм микроорганизмов. Применяются как основные сооружения биологической очистки при одноступенчатой схеме либо в качестве первой или второй ступени при двухступенчатой схеме очистки при производительности очистных сооружений до 50000 м³/сут.

В зависимости *от режима работы* биологические фильтры подразделяются:

- на орошаемые (незатопленные);
- ротационные;
- затопленные.

В биофильтрах осуществляется удаление веществ, подверженных биохимическому разложению и нитрификации (орошаемые, ротационные, затопленные), а также денитрификации, и удаление фосфора (затопленные).

По *виду и особенностям загрузочного материала*:

1) с объемной загрузкой (щебень, гравий, твердые горные породы, кокс, керамзит);

2) плоскостной загрузкой, которая подразделяется:

– на *жесткую засыпную*: керамические, пластмассовые и металлические засыпные элементы;

– *жесткую блочную* – выполняются из различных видов пластмассы (гофрированные и плоские листы или пространственные элементы), а также из асбестоцементных листов;

– *мягкую или рулонную* загрузку, выполненную из металлических сеток, пластмассовых пленок, синтетических тканей (нейлон, капрон), которые крепятся на каркасах или укладываются в виде рулонов.

Плоскостная загрузка в сравнении с объемной имеет:

– меньшую плотность, что позволяет упростить и облегчить фундамент и ограждающие конструкции;

– высокую пористость, что позволяет отказаться от принудительной вентиляции и сэкономить значительное количество электроэнергии.

Параметры объемной и плоскостной загрузки приведены в таблице 3.1.

Орошаемые биофильтры с объемной минеральной загрузкой подразделяются на *капельные, высоконагружаемые и башенные* (таблица 3.2).

Крупность загрузочного материала для орошаемых биофильтров принимается по таблице 3.3.

Таблица 3.1 – Характеристики загрузочных материалов биофильтров

Тип загрузки	Пористость, %	Плотность, кг/м ³	Крупность фракций, мм	Удельная поверхность, м ² /м ³
Объемная	40–50	500–1500	20–80	–
Плоскостная:				
– жесткая засыпная	70–90	100–600	–	70–100
– жесткая блочная	90–97	40–100		80–130
– рулонная	94–99	5–60		80–130

Таблица 3.2 – Характеристики орошаемых биофильтров

Показатель	Капельные	Высоконагружаемые (аэрофильтры)	Башенные
Крупность фракций загрузочного материала, мм	20–40	40–70	60–80
Рабочая высота, м	1,5–2,0	2,0–4,0	8–16
Применение при производительности станции, м ³ /сут, не более	1000	50 000	5000
Гидравлическая нагрузка, м ³ /(м ² ·сут)	1,0–3,0	10–30	–

Таблица 3.3 – Крупность загрузочного материала орошаемых биофильтров

Биофильтры (загружаемый материал)	Крупность материала загрузки, мм	Количество материала, % (по массе), остающегося на контрольных ситах с отверстиями диаметром, мм					
		70	55	40	30	25	20
Высоконагружаемые (щебень)	40–70	0–5	40–70	95–100	–	–	–
Капельные (щебень)	25–40	–	–	0–5	40–70	90–100	–
Капельные (керамзит)	20–40	–	–	0–8	–	–	90–100

Допустимая объемная нагрузка на орошаемые биофильтры по БПК₅ не должна превышать:

– 0,4 кг/(м³·сут) – при полной или частичной очистке сточных вод от веществ, подверженных биохимическому разложению;

– 0,2 кг/(м³·сут) – при полной или частичной очистке сточных вод от веществ, подверженных биохимическому разложению и нитрификации.

Биофильтры с плоскостной загрузкой применяются как самостоятельные сооружения биологической очистки сточных вод с целью полной или частичной очистки сточных вод от веществ, подверженных биохимическому разложению и нитрификации, а также могут использоваться в качестве сооружений первой ступени очистки.

Допустимая объемная нагрузка по БПК₅ для биофильтров с пластмассовой загрузкой определяется в зависимости от удельной площади поверхности загрузки по таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Допустимая объемная нагрузка по БПК₅ для биофильтров с пласт-массовой загрузкой

Вид очистки	Удельная площадь поверхности загрузки, м ² /м ³		
	100–150	150–200	Свыше 200
Биологическая очистка без нитрификации	0,4	0,6	0,8
Биологическая очистка с нитрификацией	0,2	0,3	0,4

На производительность биофильтра с плоскостной загрузкой большое влияние оказывает конфигурация загрузочного материала. Производительность сложных загрузочных материалов на 60 % выше в сравнении с гладкими. В загрузочных материалах, где очищаемые сточные воды движутся строго вертикально по гладкой поверхности, – гидравлический режим laminarный. В загрузочном материале со сложной формой поверхности, где поток отклоняется по вертикали, – режим движения турбулентный.

Ротационные (барабанные и дисковые) биофильтры представляют собой комбинированные сооружения, имеющие признаки биофильтров и аэротенков.

Ротационные биофильтры состоят из резервуара для сточной воды, загрузки, обладающей развитой поверхностью и закрепленной на вращающемся горизонтальном валу над резервуаром, лотков (трубопроводов) для подачи и сбора воды, двигателя для вращения вала.

Объем резервуара принимается исходя из времени пребывания сточных вод: не менее 1 ч при максимальном расходе или, в зависимости от гидравлической нагрузки, 4 л на 1 м² поверхности носителя. Поверхностная нагрузка по БПК₅ на биофильтры не должна превышать 40 г/(м²·сут).

Рекомендации по применению дисковых и барабанных биофильтров для первой ступени очистки в зависимости от поверхностной нагрузки и для ступеней, предназначенных для нитрификации, приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Область применения дисковых и барабанных биофильтров

Поверхностная нагрузка, г/(м ² ·сут)	Дисковые с прозорами между дисками, мм, более	Барабанные с удельной площадью поверхности, м ² /м ³ , менее
<i>Биофильтры первой ступени очистки</i>		
Более 20	18	100
До 20	15	150
<i>Биофильтры на ступенях, предназначенных для нитрификации</i>		
–	10	200

Рециркуляция части очищенной воды предусматривается в случае возможного прекращения притока сточных вод на биофильтр во избежание высыхания поверхности загрузки, а также при БПК₅ более:

– 150 мг/дм³ – для капельных биофильтров;

- 200 мг/дм³ – для аэрофильтров;
- 170 мг/дм³ – для биофильтров с пластмассовой загрузкой [7].

Коэффициент рециркуляции определяется в зависимости от концентрации смеси, подаваемой на фильтр в пределах указанных ограничений.

Схемы рециркуляции подробно рассмотрены в пособии [10].

Количество избыточной биопленки, выносимой из биофильтров, принимается:

- для капельных фильтров – 8 г/(чел·сут) по сухому веществу;
- аэрофильтров – 28 г/(чел·сут).

Влажность биопленки составляет 96 %.

В практике проектирования применяются биофильтры *прямоугольной формы в плане* с размерами 3×3; 3,6×4; 9×12; 12×12; 15×15; 12×18 м с высотой слоя загрузки 2,3; 3,0 и 4,0 м, круглой формы диаметром 6, 12, 18, 24, 30 м с высотой слоя загрузки 2, 3 и 4 м.

3.2 Капельные биофильтры

Капельные биофильтры применяются при производительности очистных сооружений до 1000 м³/сут. В качестве загрузочного материала используются щебень, гравий, галька крупностью 25–40 мм. Высота загрузки – 1,5–2,0 м.

Капельные биофильтры размещаются в зданиях в виде отдельных секций круглой или прямоугольной формы в плане.

3.2.1 Капельные биофильтры без рециркуляции

Коэффициент степени очистки определяется по формуле

$$K_{bf} = \frac{L_{en}}{L_{ex}}, \quad (3.1)$$

где L_{en} , L_{ex} – концентрации БПК₅ в составе сточных вод, соответственно поступающих на биологическую очистку и после очистки, мг/дм³.

Гидравлическая нагрузка q_{bf} и высота биофильтра H_{bf} определяются по таблице 3.6 в зависимости от температуры сточных вод T_w и коэффициента степени очистки K_{bf} .

Общая площадь биофильтров, м²,

$$F_{bf} = \frac{Q_w}{q_{bf}}. \quad (3.2)$$

По расчетному значению общей площади подбираются количество секций n_{bf} (принимается не менее 2, не более 8, примем все рабочие) и размеры типовых биофильтров (подразд. 3.1).

Таблица 3.6 – Гидравлическая нагрузка на капельные биофильтры

Гидравлическая нагрузка q_{bf} , м ³ /(м ² ·сут)	Коэффициент K_{bf} при температуре T_w , °C, и высоте H_{bf} , м							
	$T_w = 8$		$T_w = 10$		$T_w = 12$		$T_w = 14$	
	$H_{bf} = 1,5$	$H_{bf} = 2,0$	$H_{bf} = 1,5$	$H_{bf} = 2,0$	$H_{bf} = 1,5$	$H_{bf} = 2,0$	$H_{bf} = 1,5$	$H_{bf} = 2,0$
1,0	8,0	11,6	9,8	12,6	10,7	13,8	11,4	15,1
1,5	5,9	10,2	7,0	10,9	8,2	11,7	10,0	12,8
2,0	4,9	8,2	5,7	10,0	6,6	10,7	8,0	11,5
2,5	4,3	6,9	4,9	8,3	5,6	10,1	6,7	10,7
3,0	3,8	6,0	4,4	7,1	6,0	8,6	5,9	10,2
Примечание – Если значение K_{bf} превышает табличное, то необходимо предусмотреть рециркуляцию.								

Объем загрузки, м³,

$$V_{bf} = n_{bf} F_1 H_{bf}, \quad (3.3)$$

где F_1 – площадь одной секции биофильтра, м².

Объем избыточной биопленки, выносимой во вторичные отстойники, м³/сут,

$$V_{mud} = \frac{100 q_{mud} Q_w L_{en}}{10^6 (100 - P_{mud}) a}, \quad (3.4)$$

где q_{mud} – удельное количество избыточной биопленки, выносимой из биофильтра, г/(чел·сут);

P_{mud} – влажность биопленки, %, $P_{mud} = 96$ %;

a – количество загрязняющих веществ, оцениваемых по БПК₅, вносимых одним человеком в сточные воды, г/(чел·сут).

3.2.2 Капельные биофильтры с рециркуляцией

Коэффициент степени очистки K_{bf} определяется по формуле (3.1), причем вместо значения L_{en} подставляется максимально допустимое значение БПК₅ (150 мг/дм³).

Гидравлическая нагрузка q_{bf} и высота биофильтра H_{bf} определяются по таблице 3.6 в зависимости от температуры сточных вод T_w и коэффициента степени очистки K_{bf} .

Среднее значение концентрации БПК₅ смеси сточных вод перед биофильтром с учетом рециркуляции, мг/дм³,

$$L_{mix} = L_{en} K_{bf}^{\min}, \quad (3.5)$$

где $K_{bf}^{\min}$ – наименьшее ближайшее к K_{bf} значение в таблице 3.6.

Коэффициент рециркуляции определяется по формуле

$$K_{rc} = \frac{L_{en} - L_{mix}}{L_{mix} - L_{ex}}, \quad (3.6)$$

где L_{en} , L_{ex} – концентрации БПК₅ в составе сточных вод, соответственно поступающих на биологическую очистку и после очистки, мг/дм³;

L_{mix} – концентрация БПК₅ смеси исходной и циркулирующей воды, мг/дм³.

Общая площадь биофильтров, м²,

$$F_{bf} = Q_w \frac{(K_{rc} + 1)}{q_{bf}}. \quad (3.7)$$

По расчетному значению общей площади подбираются количество секций n_{bf} (принимается не менее 2, не более 8, примем все рабочие) и размеры типовых биофильтров (подразд. 3.1).

Объем загрузки, м³, определяется по формуле (3.3).

Объем избыточной биопленки, выносимой во вторичные отстойники, м³/сут, определяется по формуле (3.4).

3.3 Высоконагружаемые биофильтры

Высоконагружаемые биофильтры проектируются при производительности до 50000 м³/сут как с естественной, так и с искусственной аэрацией (аэрофильтры). Высота загрузки составляет 2–4,0 м. Крупность фракций загрузочного материала – 40–70 мм.

Располагаются высоконагружаемые биофильтры на открытом воздухе.

Аэрофильтры требуют равномерного орошения по всей поверхности с возможно малыми перерывами в подаче сточных вод и поддержание повышенной нагрузки по сточным водам. Удельный расход воздуха составляет 8–12 м³/м³ с учетом рециркуляционного расхода.

3.3.1 Высоконагружаемые биофильтры без рециркуляции

Коэффициент степени очистки определяется по формуле

$$K_{af} = \frac{L_{en}}{L_{ex}}, \quad (3.8)$$

где L_{en} , L_{ex} – концентрации БПК₅ в составе сточных вод, соответственно поступающих на биологическую очистку и после очистки, мг/дм³.

Гидравлическая нагрузка q_{af} , высота биофильтра H_{af} определяются по таблице 3.7 в зависимости от температуры сточных вод T_w и коэффициента степени очистки K_{af} .

Таблица 3.7 – Гидравлическая нагрузка на аэрофилтры

q_a , м ³ /м ³	H_{af} , м	Коэффициент K_{af} при T_w , °C, H_{af} , м, и q_{af} , м ³ /(м ² ·сут)											
		$T_w = 8$			$T_w = 10$			$T_w = 12$			$T_w = 14$		
		q_{af} , м ³ /(м ² ·сут)											
		10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30
8	2	3,02	2,32	2,04	3,38	2,55	2,18	3,76	2,74	2,36	4,30	3,02	2,56
	3	5,25	3,53	2,89	6,20	3,96	3,22	7,32	4,64	3,62	8,95	5,25	4,09
	4	9,05	5,37	4,14	10,40	6,25	4,73	11,20	7,54	5,56	12,10	9,05	6,54
10	2	3,69	2,89	2,58	4,08	3,11	2,76	4,50	3,36	2,93	5,09	3,67	3,16
	3	6,10	4,24	3,56	7,08	4,74	3,94	8,23	5,31	4,36	9,90	6,04	4,84
	4	10,10	6,23	4,9	12,3	7,18	5,68	15,10	8,45	6,88	16,40	10,00	7,42
12	2	4,32	3,88	3,01	4,76	3,72	3,28	5,31	3,98	3,44	5,97	4,31	3,70
	3	7,25	5,01	4,18	8,35	5,55	4,78	9,90	6,35	5,14	11,70	7,20	5,72
	4	12,00	7,35	5,83	14,80	8,50	6,20	18,40	10,40	7,69	23,10	12,00	8,83
Примечание – Для промежуточных значений q_a , H_{af} и T_w допускается величину K_{af} определять интерполяцией.													

Общая площадь биофилтров, м²,

$$F_{af} = \frac{Q_w}{q_{af}}. \quad (3.9)$$

По расчетному значению общей площади подбираются количество секций n_{bf} (принимается не менее 2, не более 8, примем все рабочие) и размеры типовых биофилтров (подразд. 3.1).

Объем загрузки, м³, определяется по формуле (3.3). Объем избыточной биопленки, выносимой во вторичные отстойники, м³/сут, определяется по формуле (3.4).

Расход воздуха, м³/сут,

$$Q_{air} = q_a Q_w. \quad (3.10)$$

Марка и количество вентиляторов принимается по таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Характеристики вентиляторов низкого давления

Марка вентилятора	Производительность, м ³ /ч	Напор, мм	Мощность двигателя, кВт
ЭВР-2	200–2000	15–70	0,25–10
ЭВР-3	400–4000	15–60	1,0–1,7
ЭВР-4	700–8500	10–100	1,7–7,0
ЭВР-5	1500–10000	15–80	2,8–7,0
ЦЧ-70 № 2,5	300–2000	10–55	0,27–0,6
ЦЧ-70 № 3	400–3800	10–90	0,6–1,0
ЦЧ-70 № 4	600–4500	8–55	0,6–1,0
ЦЧ-70 № 5	1000–8500	8–80	1,0–1,7
ЦЧ-70 № 6	1500–14000	8–110	1,7–4,5
ЦЧ-70 № 7	2000–20000	8–120	2,8–10

3.3.2 Высоконагружаемые биофильтры с рециркуляцией

Коэффициент K_{af} определяется по формуле (3.8), причем вместо значения L_{en} подставляется максимально допустимое значение БПК₅ (200 мг/дм³).

Гидравлическая нагрузка q_{af} , высота биофильтра H_{af} определяются по таблице 3.7 в зависимости от температуры сточных вод T_w и коэффициента степени очистки K_{af} .

Среднее значение концентрации БПК₅ смеси сточных вод перед биофильтром с учетом рециркуляции, мг/дм³, определяется по формуле

$$L_{mix} = L_{en} K_{af}^{\min}, \quad (3.11)$$

где $K_{af}^{\min}$ – наименьшее ближайшее к K_{af} значение в таблице 3.7.

Коэффициент рециркуляции

$$K_{rc} = \frac{L_{en} - L_{mix}}{L_{mix} - L_{ex}}. \quad (3.12)$$

Общая площадь биофильтров, м²,

$$F_{af} = Q_w \frac{K_{rc} + 1}{q_{af}}. \quad (3.13)$$

По расчетному значению общей площади подбираются количество секций n_{af} (принимается не менее 2, не более 8, примем все рабочие) и размеры типовых биофильтров (подразд. 3.1).

Объем загрузки, м³, определяется по формуле (3.3).

Объем избыточной биопленки, выносимой во вторичные отстойники, м³/сут, определяется по формуле (3.4).

3.4 Биофильтры с плоскостной загрузкой

Биофильтры с плоскостной загрузкой применяются при производительности очистных сооружений до 50000 м³/сут, имеют круглую, прямоугольную и многогранную формы в плане. Высота загрузочного материала составляет 3–4 м, гидравлическая нагрузка – 6–8 м³/(м²·сут).

В качестве загрузки используются блочные, засыпные и рулонные материалы из пластмасс, металла, асбестоцемента, керамики, стекла, дерева, тканей.

3.4.1 Биофильтры с любой плоскостной загрузкой

Принимаются загрузочный материал по таблице 3.9 и его характеристики (пористость P , %, и удельная поверхность $S_{уд}$, $\text{м}^2/\text{м}^3$).

Допустимая нагрузка на поверхность биофильтра по органическим веществам, $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$,

$$M_{pf} = \frac{PH_{pf}K_T}{\eta}, \quad (3.14)$$

где P – пористость загрузочного материала, %;

H_{pf} – высота слоя загрузки, м, принимается 3–4 м;

K_T – температурная константа потребления кислорода;

η – критериальный комплекс определяется в зависимости от концентрации БПК₅ в составе сточных вод на выпуске по таблице 3.10.

Температурная константа потребления кислорода

$$K_T = 0,2 \cdot 1,047^{T-20}, \quad (3.15)$$

где T – среднезимняя температура сточных вод, °C.

Таблица 3.9 – Плоскостные загрузочные материалы (Россия)

Загрузка	Материал	Плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$	Пористость, %	Удельная поверхность, $\text{м}^2/\text{м}^3$
Сложная волна	Полиэтилен	40	96	80
ЗОЗП	Полиэтилен	60	95	120
Трак	ПВХ	20	97	140
Трактор	ПВХ	48	94	187

Таблица 3.10 – Значения критериального комплекса

L_{ex} , $\text{мг}/\text{дм}^3$	10	15	20	25	30	35	40	45	50
η	3,3	2,6	2,25	2,0	1,75	1,6	1,45	1,3	1,2

Допустимая гидравлическая нагрузка на поверхность биофильтра, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$, определяется по формуле

$$q_{pf} = \frac{M_{pf} S_{уд}}{L_{en}}, \quad (3.16)$$

где $S_{уд}$ – удельная поверхность загрузочного материала, $\text{м}^2/\text{м}^3$;

L_{en} – концентрация БПК₅ в составе сточных вод, поступающих на биофильтр, $\text{мг}/\text{дм}^3$.

Гидравлическая нагрузка должна составлять не более 6–8 $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$ [7].

Необходимый объем загрузочного материала, м³,

$$V_{pf} = \frac{Q_w}{q_{pf}}. \quad (3.17)$$

Общая площадь биофильтров, м², определяется по формуле

$$F_{pf} = \frac{Q_w}{H_{pf}}. \quad (3.18)$$

По расчетному значению общей площади подбираются количество секций n_{pf} (принимается не менее 2, примем все рабочие) и размеры типовых биофильтров (подразд. 3.1).

Объем избыточной био пленки, выносимой во вторичные отстойники, м³/сут, определяется по формуле (3.4).

3.4.2 Биофильтры с пластмассовой загрузкой

В качестве пластмассовой загрузки принимаются блоки из поливинилхлорида, полиэтилена, полиамида, гладких и перфорированных пластмассовых труб диаметром 50–100 мм или засыпные элементы в виде обрезков труб длиной 50–150 мм, диаметром 30–75 мм с перфорированными, гофрированными или гладкими стенками.

Пластмассовая загрузка имеет пористость 93–96 % и удельную поверхность 90–110 м²/м³.

Необходимый эффект очистки, %,

$$\mathcal{E} = \frac{L_{en} - L_{ex}}{L_{en}} \cdot 100. \quad (3.19)$$

Гидравлическая нагрузка q_{pf} , м³/(м³·сут), определяется по таблице 3.11 в зависимости от необходимого эффекта очистки $\mathcal{E}$, %, температуры сточных вод T_w , °С, и принятой рабочей высоты биофильтра H_{pf} , м.

Таблица 3.11 – Гидравлическая нагрузка на биофильтры с пластмассовой загрузкой

Эффект очистки Э, %	Гидравлическая нагрузка q_{pf} , м ³ /(м ³ ·сут), при высоте загрузки H_{pf} , м							
	$H_{pf} = 3$				$H_{pf} = 4$			
	Температура сточных вод $T_{\text{ст}}$, °С							
	8	10	12	14	8	10	12	14
90	6,3	6,8	7,5	8,2	8,3	9,1	10,0	10,9
85	8,4	9,2	10,0	11,0	11,2	12,3	13,5	14,7
80	10,2	11,2	12,3	13,3	13,7	15,0	16,4	17,9

Необходимый объем загрузочного материала, м^3 , определяется по формуле (3.17).

Общая площадь биофильтров, м^2 , определяется по формуле (3.18).

По расчетному значению общей площади подбираются количество секций n_{pf} (принимается не менее 2, примем все рабочие) и размеры типовых биофильтров (подразд. 3.1).

Объем избыточной биопленки, выносимой во вторичные отстойники, $\text{м}^3/\text{сут}$, определяется по формуле (3.4).

3.5 Распределение сточных вод по поверхности биофильтров

Равномерное орошение водой поверхности биофильтра является важным условием его надежной работы.

Орошение производится **распределительными устройствами**, которые подразделяются на две основные группы:

- *подвижные*: качающиеся желоба и вращающиеся реактивные распределители (оросители);

- *неподвижные*: дырчатые желоба, трубы и разбрызгиватели (спринклеры).

Распределительные устройства подробно рассмотрены в пособии [10].

Наибольшее распространение получили спринклерные системы и реактивные оросители.

При проектировании разбрызгивателей принимается:

- начальный свободный напор – 1,5 м;
- конечный – не менее 0,5 м;
- диаметр отверстий – 13–40 мм;
- высота расположения головки над поверхностью загрузочного материала – 0,15–0,20 м;
- продолжительность орошения на капельных биофильтрах при максимальном притоке воды – 5–6 мин.
- скорость протока в главной магистральной трубе принимается до 1 м/с, в разводящих трубах – до 0,75 м/с.

При проектировании реактивных оросителей принимается:

- напор у оросителя – по расчету, но не менее 0,5 м;
- количество и диаметр распределительных труб – по расчету при условии движения сточных вод в начале труб со скоростью 0,5–1,0 м/с;
- количество и диаметр отверстий в распределительных трубах – по расчету при условии истечения сточных вод из отверстий со скоростью не менее 0,5 м/с, диаметры отверстий – не менее 10 мм;
- расположение распределительных труб – выше поверхности загрузочного материала на 0,2 м.

Расчет реактивного оросителя состоит в определении его размеров, числа распределительных труб, количества отверстий, напора воды, частоты вращения стояка.

Диаметр реактивного оросителя, м,

$$D_{\text{op}} = D - 0,2, \quad (3.20)$$

где D – диаметр биофильтра, м.

Количество распределительных труб $n_{\text{тр}}$, консольно закрепленных на стояке, принимается равным 2, 4 или 6.

Диаметр распределительных труб, м,

$$D_{\text{тр}} = 1000 \sqrt{\frac{4q}{\pi v n_{\text{тр}}}}, \quad (3.21)$$

где q – среднесекундный расход сточных вод на одну секцию биофильтра, м³/с;

v – скорость в начале распределительной трубы, м/с.

Число отверстий на каждой распределительной трубе, шт.,

$$n_{\text{отв}} = \frac{1}{1 - (1 - 0,08 / D_{\text{отв}})^2}. \quad (3.22)$$

Расстояние от оси стояка до каждого отверстия, мм,

$$r_i = 500 D_{\text{op}} \sqrt{i / n_{\text{отв}}}, \quad (3.23)$$

где i – порядковый номер отверстия от оси.

Частота вращения оросителя, об/мин,

$$n_0 = 34,8 \cdot 10^6 \frac{q}{n_{\text{отв}} d_{\text{отв}}^2 D_{\text{op}} n_{\text{тр}}}, \quad (3.24)$$

где $d_{\text{отв}}$ – диаметр отверстий, мм.

Требуемый напор у реактивного оросителя, м,

$$h_{\text{op}} = 1000 \left(\frac{q}{n_{\text{тр}}} \right) \left(\frac{256 \cdot 10^6}{d_{\text{отв}}^4 n_{\text{отв}}^2} - \frac{81 \cdot 10^6}{D_{\text{тр}}^4} + \frac{294 D_{\text{op}}}{k^2} \right), \quad (3.25)$$

где k – модуль расхода, л/с, принимается по таблице 3.12 в зависимости от диаметра труб.

Таблица 3.12 – Модуль расхода

$D_{\text{тр}}$, мм	50	63	75	100	125	150	175	200	250
k , л/с	6	11,5	19	43	86,5	134	209	300	560

3.6 Ротационные биофильтры

Ротационные (барабанные и дисковые) биофильтры применяются при расходах до 500–1000 м³/сут.

Дисковые погружные биофильтры состоят из дисков диаметром 1–5 мм, собираемых в пакеты по 30–180 штук и закрепляемых на горизонтальном валу. Диски имеют толщину 1–10 мм и выполняются из металла, пластмасс, асбестоцемента, тканей.

Барабанные погружные биофильтры состоят из барабана, закрепленного на вращающемся валу и заполненного загрузочным материалом. В качестве загрузки используются металлические, пластмассовые и асбестоцементные гофрированные, перфорированные и гладкие листы, мягкие тканевые и пленочные материалы, блочные элементы из пластмасс. Барабаны имеют длину 2–3 м, диаметр 2–2,5 м.

Общая площадь поверхности барабанных или дисковых биофильтров, м²,

$$F_R = F_{RC} + F_{RN}, \quad (3.26)$$

где F_{RC} – площадь поверхности, необходимая для очистки сточных вод с целью удаления веществ, подверженных биохимическому разложению, м²;

F_{RN} – площадь поверхности, необходимая для нитрификации, м².

Площадь поверхности биофильтров, необходимая для очистки сточных вод с целью удаления веществ, подверженных биохимическому разложению, м²,

$$F_{RC} = \frac{1000 B_{\text{сут}}}{q_F}, \quad (3.27)$$

где $B_{\text{сут}}$ – суточное поступление биохимически разлагаемых веществ на биологическую ступень очистных сооружений, кг БПК₅/сут;

q_F – расчетная поверхностная нагрузка по концентрации БПК₅, г/(м²·сут), принимается по таблицам 3.13, 3.14 в зависимости от количества ступеней очистки.

Таблица 3.13 – Поверхностная нагрузка по БПК₅ и общему азоту для ротационных биофильтров при одноступенчатой очистке

Производительность очистных сооружений	Тип фильтра	Расчетная поверхностная нагрузка, г/(м ² ·сут)	
		по БПК ₅	по общему азоту
Более 1000 ЭН	Дисковый	8,0–10,0	1,6–2,0
	Барабанный	5,6–7,0	1,1–1,4
Менее 1000 ЭН	Дисковый	До 4,0	До 1,2
	Барабанный	До 3,0	До 0,85

Таблица 3.14 – Поверхностная нагрузка по БПК₅ и общему азоту для ротационных биофильтров при многоступенчатой очистке

Схема очистки	Расчетная поверхностная нагрузка, г/(м ² ·сут), не более			
	по БПК ₅ при обработке		по общему азоту, при обработке	
	без нитрификации	с нитрификацией	без нитрификации	с нитрификацией
<i>Дисковые биофильтры</i>				
Двухступенчатая	8	–	–	–
Трехступенчатая	10	8	–	1,6
Четырехступенчатая	10	10	–	2
<i>Барабанные биофильтры</i>				
Двухступенчатая	5,6	–		
Трехступенчатая	7	5,6	–	1,1
Четырехступенчатая	7	7	–	1,4

Суточное поступление биохимически разлагаемых веществ на биологическую ступень очистных сооружений, оцениваемых по концентрации БПК₅, кг БПК₅/сут,

$$B_{\text{сут}} = \frac{Q_w L_{\text{en}}}{1000}, \quad (3.28)$$

где Q_w – среднесуточный расход сточных вод, м³/сут;

L_{en} – концентрация БПК₅ в составе сточных вод, поступающих на биологическую очистку, мг/дм³.

Площадь поверхности биофильтров, необходимая для нитрификации, м²,

$$F_{RN} = \frac{1000 B_{\text{сут}}^N}{q_F^N}, \quad (3.29)$$

где $B_{\text{сут}}^N$ – суточное поступление азотных соединений со сточной водой на биологическую ступень очистных сооружений, оцениваемых по концентрации общего азота, кг/сут,

$$B_{\text{сут}}^N = \frac{Q_w C_{\text{en}}^N}{1000}, \quad (3.30)$$

C_{en}^N – концентрация соединений азота общего в сточной воде, поступающей на биологическую очистку, мг/дм³;

q_F^N – расчетная поверхностная нагрузка по общему азоту, г/(м²·сут), принимается по таблицам 3.13, 3.14 в зависимости от количества ступеней очистки и целей обработки.

Рабочая поверхность дисков, м²,

$$F_{df} = \frac{\pi D_{df}^2}{2}, \quad (3.31)$$

где D_{df}^2 – диаметр диска, м, принимается конструктивно от 1,0 до 3,0 м.

Необходимое количество дисков биофильтра, м²,

$$n_{df} = \frac{F_R}{F_{df}}. \quad (3.32)$$

Назначается количество секций n_s и количество ступеней в каждой секции n_{ss} .

Число дисков, шт., в каждой ступени

$$n = \frac{n_{df}}{n_s n_{ss}}. \quad (3.33)$$

Ширина секции, м,

$$B = 0,1 + \delta_1 n + \delta_2 (n - 1), \quad (3.34)$$

где δ_1 – толщина диска, м, принимается в зависимости от материала;

δ_2 – расстояние между дисками, м, принимается не менее 15 мм в зависимости от ступени очистки.

Длина секции, м,

$$L = n_{ss} (0,2 + D_{df}). \quad (3.35)$$

Рабочая глубина секции, м,

$$H = 0,5 D_{df}. \quad (3.36)$$

Частота вращения вала с дисками принимается 0,8–4,0 об/мин, барабана – 0,5–5,0 об/мин.

Привод вращения дисков – с использованием редукторов. Мощность привода определяется исходя из требуемой удельной мощности: 75 Вт на 1 м вала для биофильтров с дисками диаметром 3,0 м и 50 Вт на 1 м вала для биофильтров с дисками диаметром 2,0 м.

Расстояние от нижней части дисков до дна секции принимается 0,03–0,05 м.

4 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВТОРИЧНЫХ ОТСТОЙНИКОВ

Вторичные отстойники являются составной частью сооружений биологической очистки, располагаются в технологической схеме непосредственно после аэротенков или биофильтров и служат для отделения активного ила от биологически очищенной воды, выходящей из аэротенков, или для задержания биологической пленки, поступающей с водой из биофильтров.

Эффективность работы вторичных отстойников определяет конечный эффект очистки воды от взвешенных веществ.

При проектировании вторичных отстойников принимается:

- распределение расхода иловой смеси и очищенной воды – равномерно по периметру соответственно впускного и сборного устройств;
- высота нейтрального слоя между рабочей и иловой частями отстойника на 0,3 м выше днища на выходе из отстойника;
- высота слоя ила – от 0,3 до 0,5 м;
- угол наклона конического днища вертикальных отстойников и стенок иловых приемков горизонтальных и радиальных отстойников – 55–60°;
- удаление осадка из приемка отстойника – насосами или самотеком под гидростатическим давлением не менее: 12 кПа – после биофильтров, 9 кПа – после аэротенков.

Вторичные отстойники после биофильтров и аэротенков рассчитываются по гидравлической нагрузке на поверхность отстойника q_{ss} , м³/(м²·ч), с учетом коэффициента использования объема сооружения, илового индекса, дозы ила и концентрации выносимой биопленки по формулам:

- после биофильтров всех типов –

$$q_{ssb} = 3,6 K_{set} u_0, \quad (4.1)$$

- после аэротенков всех типов –

$$q_{ssa} = \frac{4,5 K_{set} H_{set}^{0,8}}{(0,1 I_i a_i)^{0,5-0,01 a_i}}, \quad (4.2)$$

где K_{set} – коэффициент использования объема зоны отстаивания, зависит от типа отстойника и принимается: для радиальных отстойников – 0,40, вертикальных – 0,35, вертикальных с периферийным выпуском – 0,50, горизонтальных – 0,45 [7];

u_0 – гидравлическая крупность биопленки, мм/с, при полной биологической очистке составляет 1,4 мм/с [7];

H_{set} – глубина слоя осветляемой воды в отстойнике, м, принимается в соответствии с типовой конструкцией принятого отстойника;

I_i – иловый индекс, определяемый в зависимости от нагрузки на ил в аэротенках, мг/г;

a_i – доза активного ила в иловой смеси, поступающей из аэротенков, г/л;

a_t – содержание активного ила на выходе из отстойников, мг/дм³.

Содержание активного ила на выходе из отстойников принимается не более чем допустимое содержание взвешенных веществ в очищенной сточной воде и не менее 10 мг/л [7].

Влажность осадка, удаляемого из вторичных отстойников, определяется расчетом с учетом коэффициента рециркуляции, типа сборно-транспортирующего устройства и илового индекса. Для предварительных расчетов допускается принимать влажность осадка, удаляемого из вторичных отстойников после аэротенко, 99,6 %, после биофильтров – 97,3 % [7].

Нагрузка на 1 м сборного водослива осветленной воды принимается не более 10 л/с [7].

Нагрузка на ил, мг/г,

$$q_i = \frac{L_{en} Q_w}{a_i W_{\text{общ}}}, \quad (4.3)$$

где L_{en} – концентрация загрязняющих веществ по БПК₅ в составе сточных вод, поступающих на биологическую очистку, мг/дм³;

Q_w – суточный расход сточных вод, поступающих на очистные сооружения, м³/сут;

$W_{\text{общ}}$ – общий проектный объем аэротенков, м³.

С учетом нагрузки на ил определяется иловый индекс по таблице 2.3.

При проектировании отстойников после сооружений совместного биологического удаления азота и фосфора *необходимо принимать*:

– иловый индекс не менее 150 см³/г;

– гидравлическую нагрузку при максимальном часовом расходе сточных вод: на горизонтальные и радиальные вторичные отстойники – не более 1,6 м³/(м²·ч); вертикальные – не более 2,0 м³/(м²·ч).

Необходимая площадь зеркала отстаивания, м²,

$$F_{ss} = \frac{Q_{h \max}}{q_{ss}}, \quad (4.4)$$

где $Q_{h \max}$ – максимальный часовой расход, м³/ч.

Исходя из рассчитанного значения площади, подбираются размеры и количество отстойников.

При проектировании вертикальных и радиальных отстойников, задаваясь диаметром отстойников (таблицы 4.1, 4.2), площадь одного отстойника, м, определяется по формуле

$$f_1 = \frac{\pi D^2}{4} . \quad (4.5)$$

При проектировании горизонтальных отстойников, задаваясь шириной и длиной, площадь одного отстойника, м,

$$f_1 = BL . \quad (4.6)$$

Необходимое количество отстойников, шт.,

$$N_s = \frac{F_{ss}}{f_1} . \quad (4.7)$$

По типовому проекту принимаются отстойники (таблицы 4.1–4.3).

Продолжительность отстаивания, ч,

$$t_s = \frac{N_s W_{3.0}}{Q_{h \max}} , \quad (4.8)$$

где $W_{3.0}$ – объем зоны отстаивания, м³.

Продолжительность отстаивания должна быть не менее 1,5 часа.

Время пребывания осадка в иловой зоне, ч,

$$t_s = \frac{N_s W_i}{q_{\text{цир}} + q_{\text{изб}}} , \quad (4.9)$$

где W_i – объем иловой зоны, м³;

$q_{\text{цир}}$ – расход циркуляционного активного ила, м³/ч,

$$q_{\text{цир}} = R_i Q_{h \max} , \quad (4.10)$$

R_i – требуемая степень рециркуляции возвратного активного ила из вторичных отстойников;

$q_{\text{изб}}$ – расход избыточного активного ила, м³/ч.

Расход избыточного активного ила, м³/ч,

$$q_{\text{изб}} = \frac{P_i Q_h}{a_i} , \quad (4.11)$$

где P_i – прирост активного ила, мг/дм³;

Q_h – среднечасовой расход, м³/ч;

a_i – концентрация активного ила во вторичных отстойниках, мг/дм³.

Время пребывания осадка в иловой зоне должно составлять не более 2 часов.

Таблица 4.1 – Основные параметры типовых вторичных радиальных отстойников из сборного железобетона

Диаметр, м	Глубина, м		Высота иловой зоны, м	Расчетный объем зоны, м ³		Пропускная способность, м ³ /ч, при времени отстаивания 1,5 ч
	гидравлическая	зоны отстаивания		осадка	отстойной	
18	3,7	3,10	0,6	160	788	525
24	3,7	3,10	0,6	280	1400	933
30	3,7	3,10	0,6	440	2190	1460
40	4,35	3,65	0,7	915	4580	3053
50	5,3	4,3	0,7	1380	9020	5989

Таблица 4.2 – Основные параметры типовых вертикальных вторичных отстойников с центральным впуском

Номер типового проекта	Диаметр, м	Строительная высота, м		Пропускная способность, м ³ /ч, при времени отстаивания 1,5 ч
		цилиндрической части	конической части	
902-2-23	4,0	2,1	1,8	
902-2-24	6,0	3,0 2,1	2,8	
902-2-167	6,0	3,0	3,3	
902-2-168	9,0	3,0	5,1	

Таблица 4.3 – Основные параметры типовых вторичных горизонтальных отстойников

Объем зоны отстаивания, м ³	Число отделений	Глубина цилиндра горизонтальной части, м	Длина, м	Ширина, м	Площадь, м ²	Номер типового проекта
3475	4	3,22	30	9	1080	902-2-386
5214	6	3,22	30	9	1682	902-2-387
6952	8	3,22	30	9	2160	902-2-388
2462	4	3,80	27	6	648	902-2-330
3456	4	4,00	36	6	864	902-2-421
4320	4	4,00	30	9	1080	902-2-400
1944	3	3,00	36	6	648	902-2-430

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(справочное)

Эффективность удаления загрязняющих веществ на сооружениях очистки сточных вод

Метод очистки сточных вод	Единица изме- рения	Эффект удаления примесей Остаточная концентрация примесей					
		взве- шенные веще- ства	БПК ₅	ХПК	NH ₄	N _{общ}	P _{общ}
Механическая очистка	%	45–64	20–33	20–33	9	11	11
	мг/л	—	—	—	—	—	—
Биологическая очистка без нитрификации при нагрузке на активный ил 0,15 кг/(кг·сут)	%	—	—	—	40	27	33
	мг/л	20	15	70	—	—	—
Биологическая очистка с нитрификацией при нагрузке на активный ил 0,15 кг/(кг·сут)	%	—	—	—	—	27	33
	мг/л	20	15	70	5	—	—
Биологическая очистка с предварительной денитри- фикацией с рециркуляцией 200 %	%	—	—	—	—	70	33–35
	мг/л	20	15	70	5	—	—
То же и с биологическим удалением фосфора	%	—	—	—	—	70	75–78
	мг/л	20	15	70	5	—	—
Биологическая очистка при нагрузке на активный ил 0,15 кг/(кг·сут) с доочисткой в биологических прудах ме- нее 2 сут	%	—	—	—	—	27–70	33–78
	мг/л	12	15	70	5	—	—
Биологическая очистка при нагрузке на активный ил 0,15 кг/(кг·сут) с доочисти- кой на микрофильтрах	%	—	—	—	—	27–70	33–78
	мг/л	10	12	65	5	—	—
Биологическая очистка при нагрузке на активный ил 0,15 кг/(кг·сут) с симуль- танным реагентным оса- ждением	%	—	—	—	—	27–70	—
	мг/л	18	12	67	5	—	1–2
Биологическая очистка при нагрузке на активный ил 0,15 кг/(кг·сут) с симультан- ным реагентным осаждением и последующим фильтрова- нием с флокуляцией	%	—	—	—	—	27–70	—
	мг/л	5	7	50	5	—	0,3–0,5

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Водный кодекс Республики Беларусь : 30 апр. 2014 г. № 149-З. : принят Палатой представителей 2 апр. 2014 г. : одобр. Советом Респ. 11 апр. 2014 г. : в ред. Закона Респ. Беларусь от 17 июля 2023 г. № 296-З. – Минск, 2023. – 69 с.
- 2 П1-2019 к ТКП 45-4.01-321-2018. Проектирование очистных сооружений сточных вод. – Введ. 01.01.2020. – Минск : Минскстройархитектуры, 2020. – 123 с.
- 3 О некоторых вопросах нормирования сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод : постановление М-ва природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь от 26.05.2017 № 16. – Минск : Минприроды, 2017. – 15 с.
- 4 Правила пользования централизованными системами водоснабжения, водоотведения (канализации) в населенных пунктах : утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь от 30 сент. 2016 г. № 788. – Минск, 2016. – 24 с.
- 5 ТКП 17.06.08–2012. Охрана окружающей среды и природопользование. Порядок установления нормативов допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод. – Введ. 29.06.2012. – Минск : Минприроды, 2012. – 73 с.
- 6 СН 4.01.01–2019. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. – Введ. 01.08.2020. – Минск : Минстройархитектуры, 2020. – 85 с.
- 7 СН 4.01.02–2019. Канализация. Наружные сети и сооружения. – Введ. 01.08.2020. – Минск : Минстройархитектуры, 2020. – 68 с.
- 8 Ступенчатые решетки // РИОТЭК. Разработка, изготовление и монтаж оборудования для очистки сточных вод. – URL: http://riotek.ru/reshetki_stupenchatie/ (дата обращения: 16.01.2024).
- 9 ЭкоНиП 17.01.06-001–2017. Экологические нормы и правила Республики Беларусь. Охрана окружающей среды и природопользование. Требования экологической безопасности : утв. постановлением М-ва природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь от 18 июля 2017 г. № 5-Т. – Минск : Минприроды, 2017. – 244 с.
- 10 **Новикова, О. К.** Технология очистки сточных вод : учеб. пособие / О. К. Новикова. – Гомель : БелГУТ, 2020. – 302 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
(справочное)
Рабочие характеристики мешалок

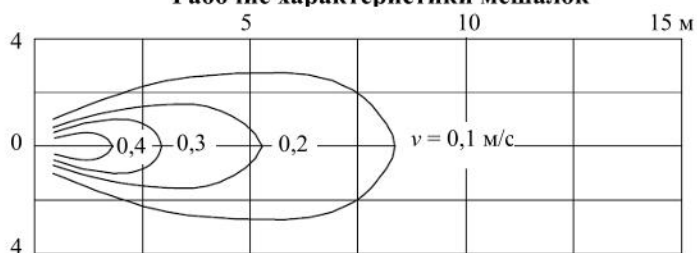


Рисунок Б.1 – Характеристики мешалки МА0,37/6-210-960

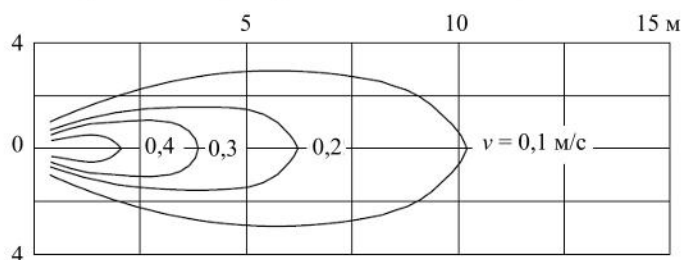


Рисунок Б.2 – Характеристики мешалки МА0,55/4-230-1400

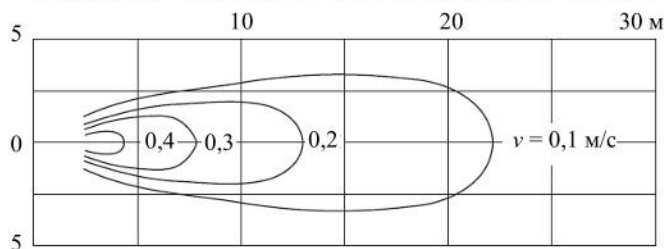


Рисунок Б.3 – Характеристики мешалки МА0,85/8-260-740

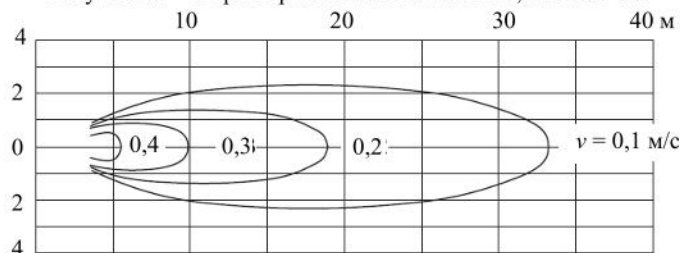


Рисунок Б.4 – Характеристики мешалки МА1,5/6-260-960

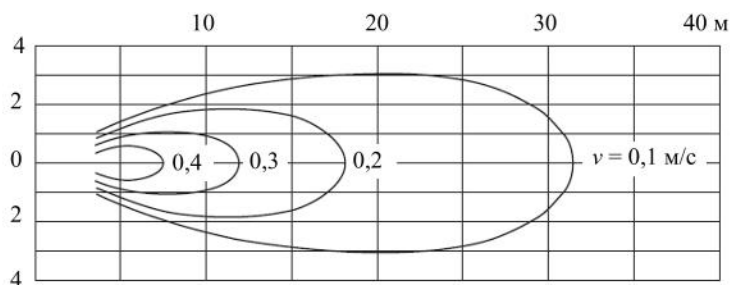


Рисунок Б.5 – Характеристики мешалки МА2,2/8-320-740

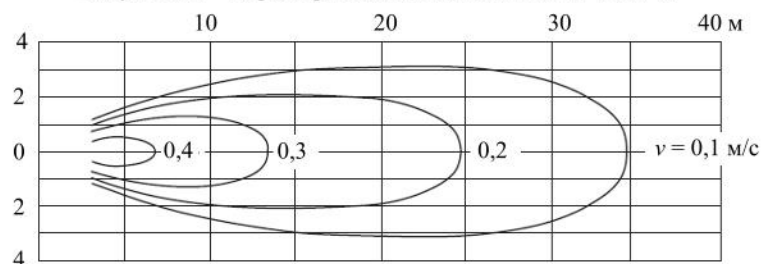


Рисунок Б.6 – Характеристики мешалки МА4/6-320-960

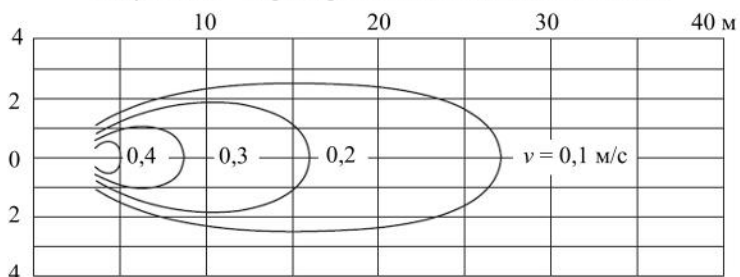


Рисунок Б.7 – Характеристики мешалки МА1,5/8-400-740

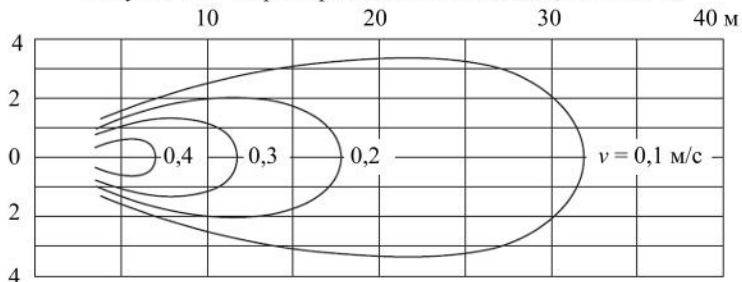


Рисунок Б.8 – Характеристики мешалки МА2,5/8-400-740

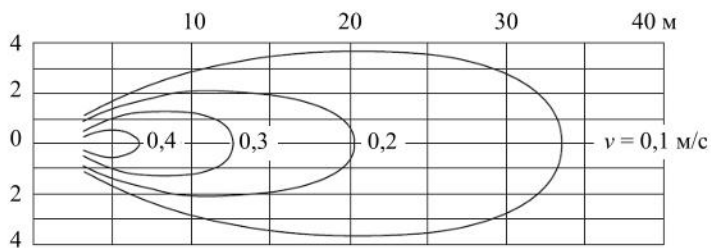


Рисунок Б.9 – Характеристики мешалки МА3/8-400-740

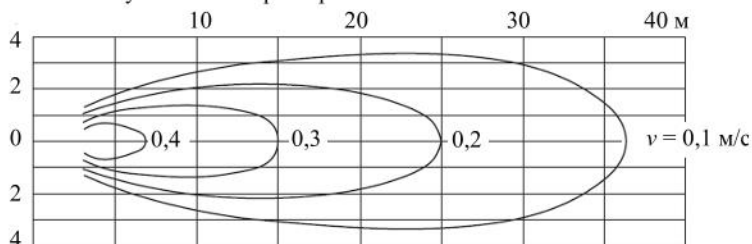


Рисунок Б.10 – Характеристики мешалки МА4/6-400-960

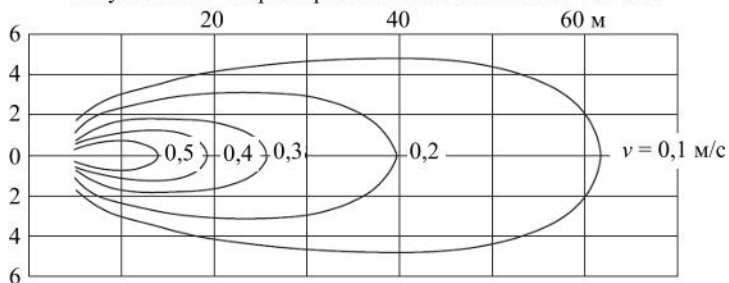


Рисунок Б.11 – Характеристики мешалки МА4/12-620-480

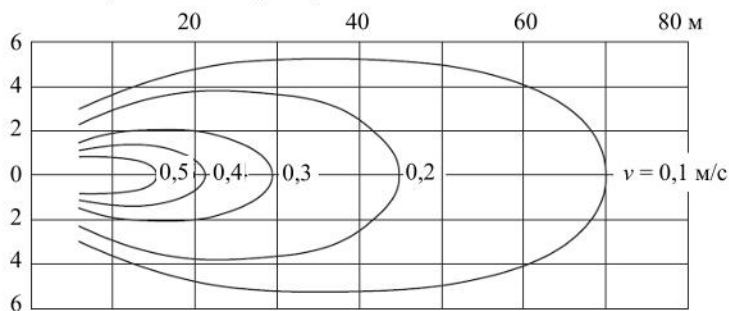


Рисунок Б.12 – Характеристики мешалки МА5/12-620-480

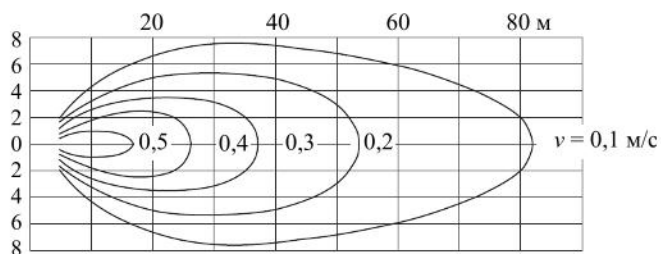


Рисунок Б.13 – Характеристики мешалки МА7,5/12-620-480

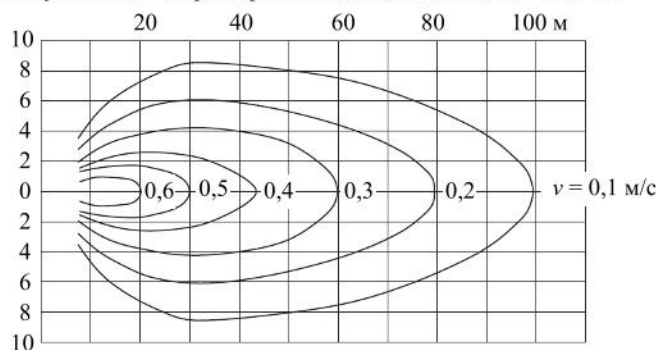


Рисунок Б.14 – Характеристики мешалки МА10/12-620-480

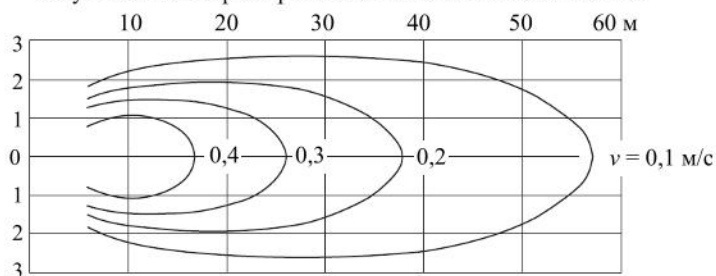


Рисунок Б.15 – Характеристики мешалки LFP1,5/4-1000-85

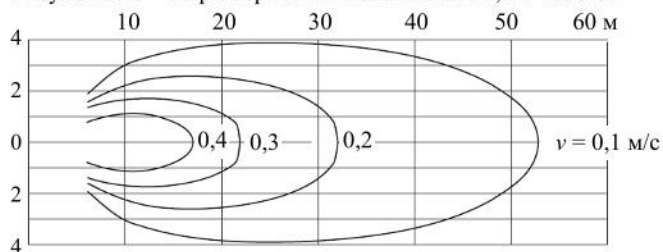


Рисунок Б.16 – Характеристики мешалки LFP3/4-1100-85

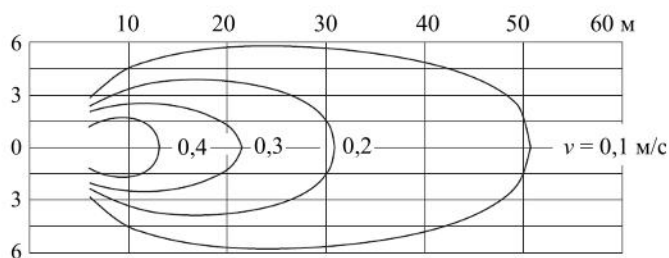


Рисунок Б.17 – Характеристики мешалки LFP1,5/4-1400-36

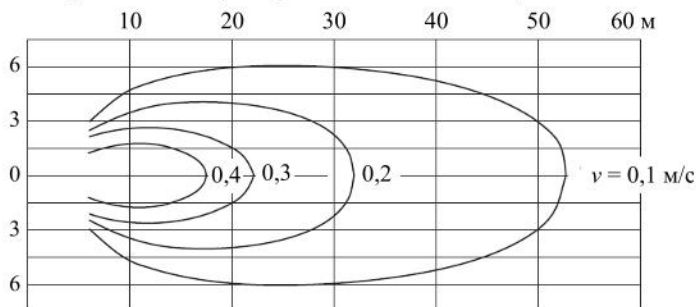


Рисунок Б.18 – Характеристики мешалки LFP2,2/4-1400-42

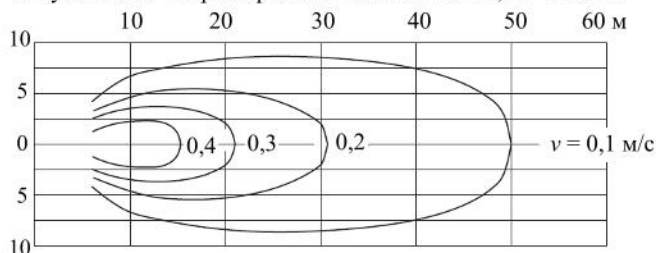


Рисунок Б.19 – Характеристики мешалки LFP2,2/4-1600-36

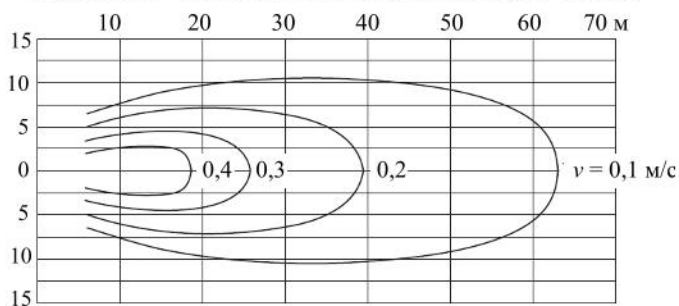


Рисунок Б.20 – Характеристики мешалки LFP3/4-1600-52

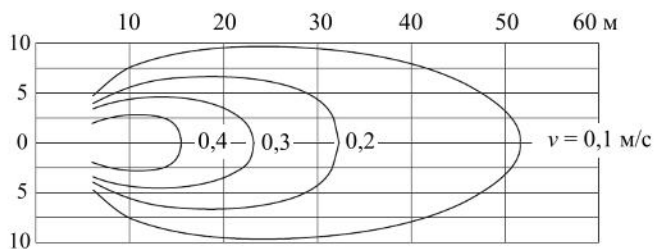


Рисунок Б.21 – Характеристики мешалки LFP1,5/4-1800-42

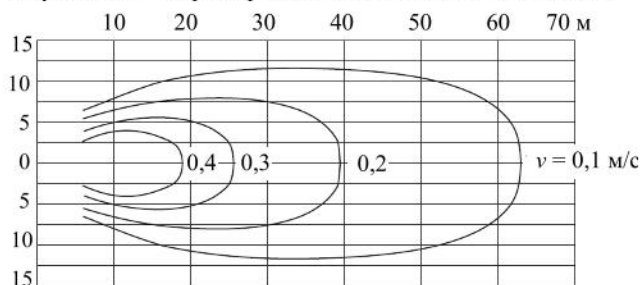


Рисунок Б.22 – Характеристики мешалки LFP3/4-1800-52

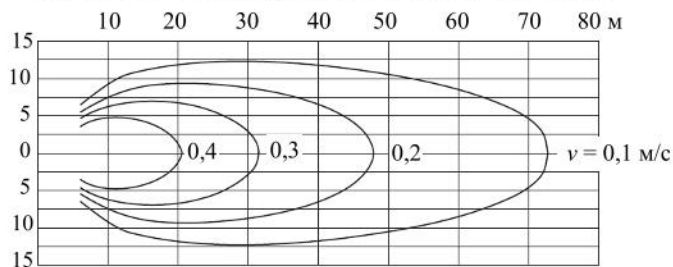


Рисунок Б.23 – Характеристики мешалки LFP4/4-1800-52

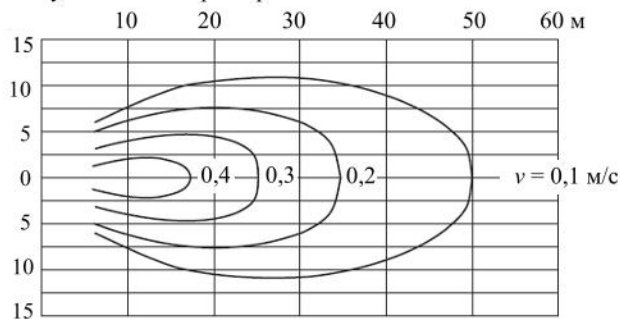


Рисунок Б.24 – Характеристики мешалки LFP2,2/4-2000-36

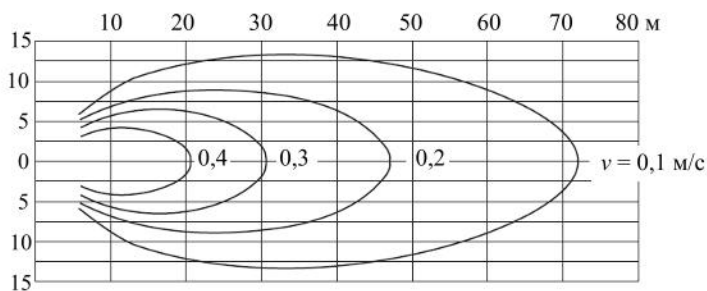


Рисунок Б.25 – Характеристики мешалки LFP4/4-2000-52

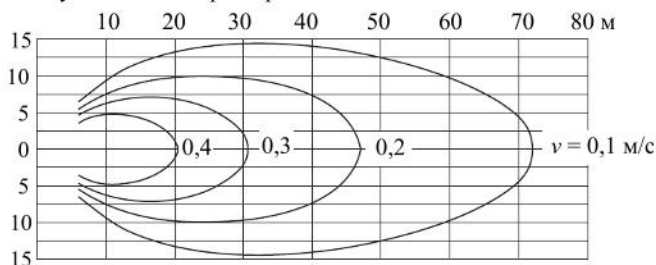


Рисунок Б.26 – Характеристики мешалки LFP4/4-2200-52

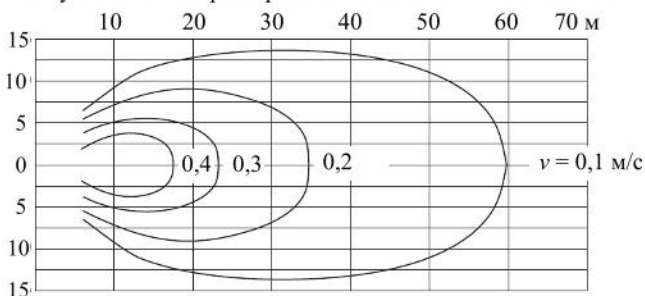


Рисунок Б.27 – Характеристики мешалки LFP3/4-2500-36

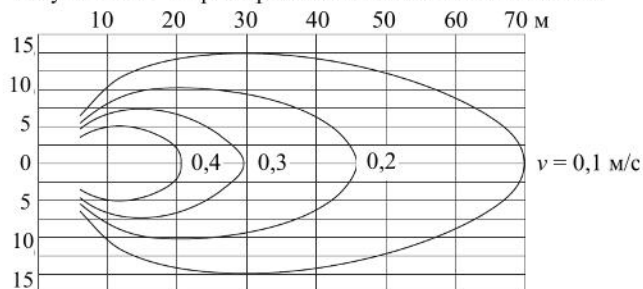


Рисунок Б.28 – Характеристики мешалки LFP4/4-2500-42

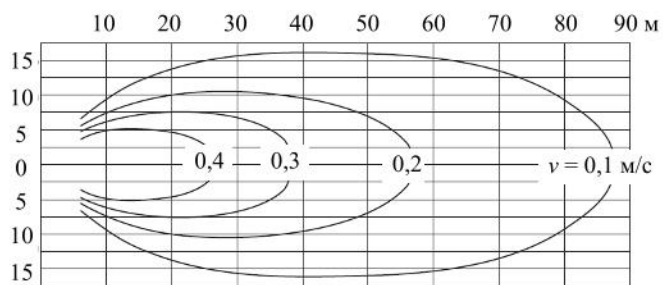


Рисунок Б.29 – Характеристики мешалки LFP5/4-2500-52

ПРИЛОЖЕНИЕ В
(справочное)
Схемы установки мешалок

Таблица В.1 – Параметры установки мешалок

Марка	a	D	b	L	h_{1min}	h_{2min}	Схема установки
MA0,37/6-210-960	48	360	330	630	500	110	I
MA0,55/4-230-1400	48	360	330	630	500	110	I
MA0,85/8-260-740	48	360	330	630	500	110	I
MA1,5/6-260-960	48	360	330	630	500	110	I
MA2,2/8-320-740	70	460	320	970	800	150	II
MA4/6-320-960	70	460	320	970	800	150	II
MA1,5/8-400-740	70	530	320	960	800	200	II
MA2,5/8-400-740	70	530	320	960	800	200	II
MA3/8-400-740	70	530	320	1010	800	200	II
MA4/6-400-960	70	530	320	1010	800	300	II
MA4/12-620-480	100	760	335	1150	1100	300	III
MA5/12-620-480	100	760	335	1150	1100	300	III
MA7,5/12-620-480	100	760	335	1280	1500	300	III
MA10/12-620-480	100	760	335	1280	1500	300	III
LFP1,5/4-1000-85	100	1000	200	1240	1000	280	IV
LFP3/4-1100-85	100	1100	200	1240	1000	280	IV
LFP1,5/4-1400-36	100	1400	200	1212	750	280	IV
LFP2,2/4-1400-42	100	1400	200	1212	750	280	IV
LFP2,2/4-1600-36	100	1600	200	1212	750	280	IV
LFP3/4-1600-52	100	1600	200	1250	800	280	IV
LFP1,5/4-1800-42	100	1800	200	1212	800	280	IV
LFP3/4-1800-52	100	1800	200	1250	800	280	IV
LFP4/4-1800-52	100	1800	200	1250	900	280	IV
LFP2,2/4-2000-36	100	2000	200	1340	750	280	IV
LFP4/4-2000-52	100	2000	200	1370	800	280	IV
LFP4/4-2200-52	100	2200	200	1370	800	280	IV
LFP3/4-2500-36	100	2500	200	1340	750	280	IV
LFP4/4-2500-42	100	2500	200	1370	800	280	IV
LFP5/4-2500-52	100	2500	200	1370	800	280	IV

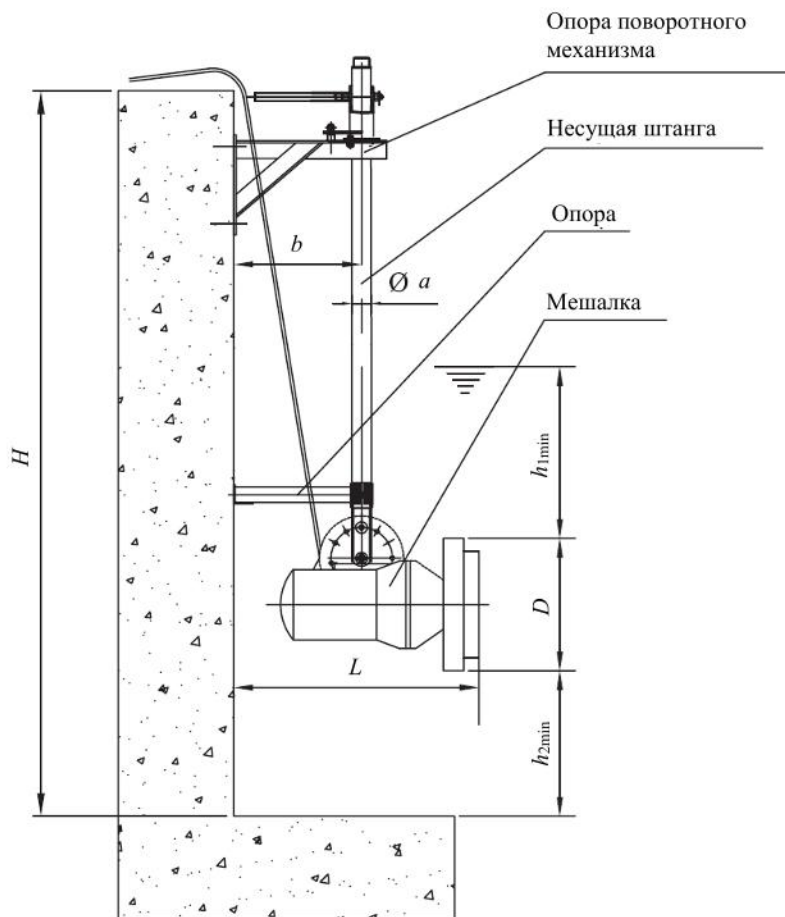


Рисунок В.1 – Схема I установки мешалки в аэротенке

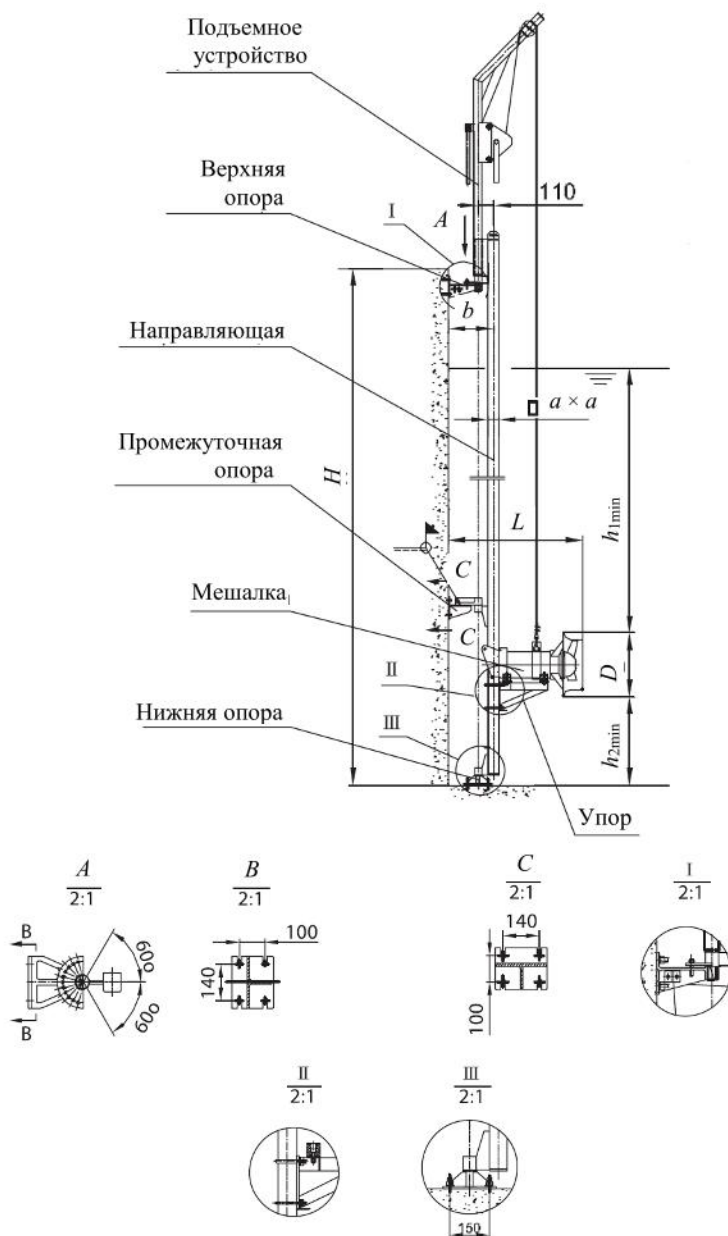


Рисунок В.2 – Схема II установки мешалки в аэротенке

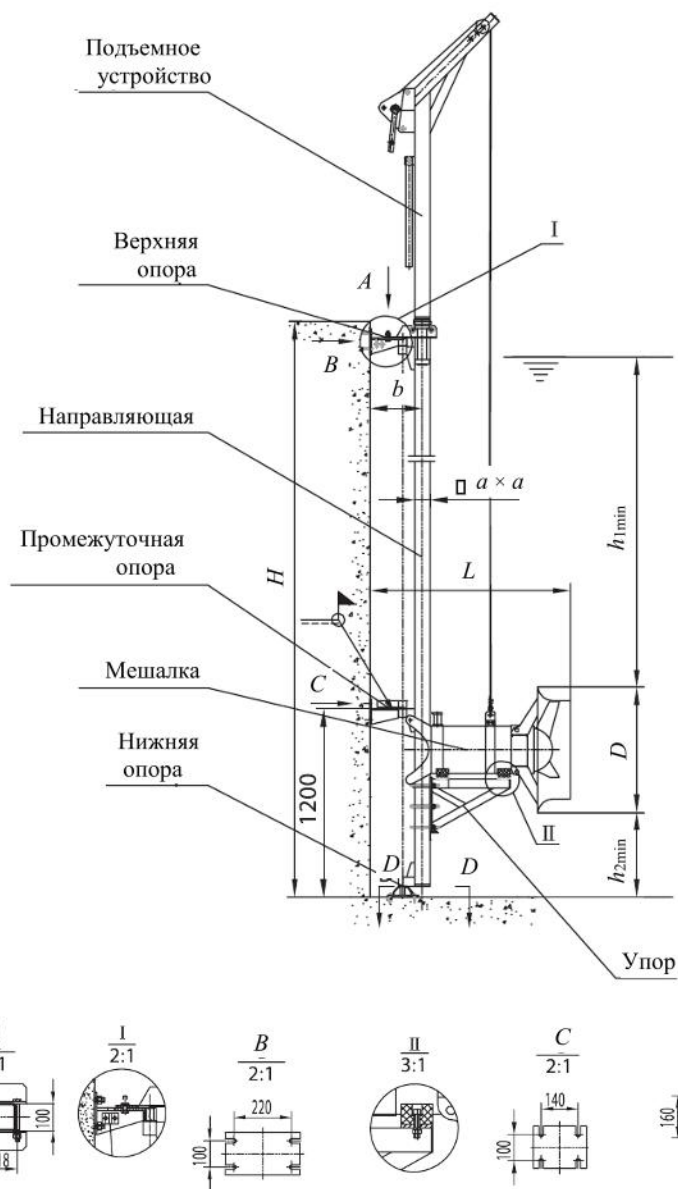


Рисунок В.3 – Схема III установки мешалки в аэротенке

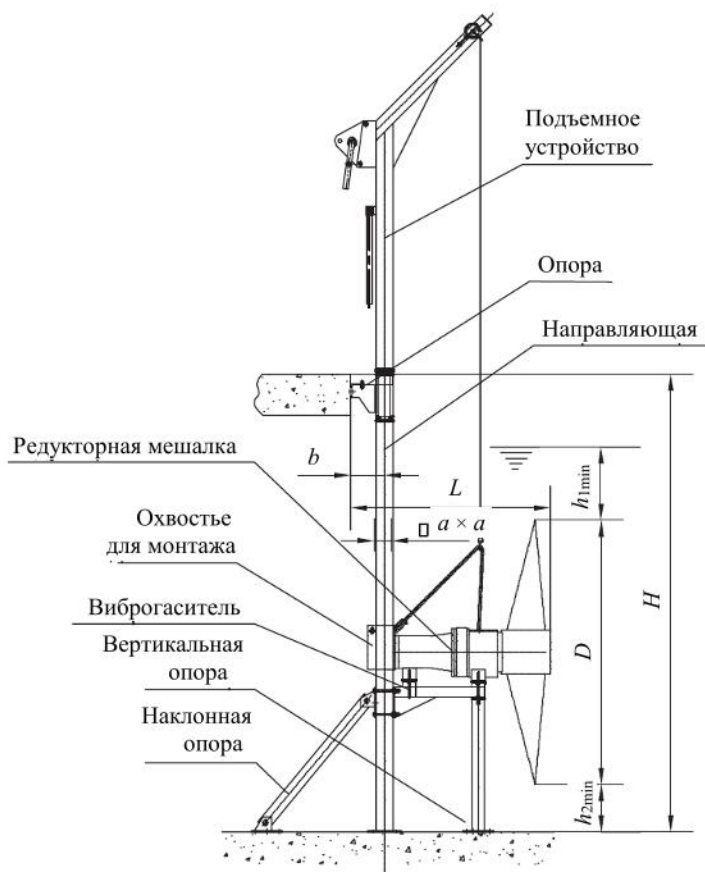


Рисунок В.4 – Схема IV установки мешалки в аэротенке

Учебное издание

НОВИКОВА Ольга Константиновна

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГОРОДСКИХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ:
БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА

Пособие

Редактор *Д. В. Марцинкевич*
Технический редактор *В. Н. Кучерова*

Подписано в печать 07.08.2025 г. Формат 60х84 $\frac{1}{16}$.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать на ризографе.
Усл. печ. л. 4,65. Уч.-изд. л. 4,12. Тираж 80 экз.
Зак. № 1444. Изд. № 30.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Белорусский государственный университет транспорта.
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/361 от 13.06.2014.
№ 2/104 от 01.04.2014.
№ 3/1583 от 14.11.2017.
Ул. Кирова, 34, 246653, Гомель

2. Воздуходувки должны оказывать минимальное воздействие на экологию окружающей среды. В настоящее время рекомендуются к использованию безмасляные воздуходувки. Отсутствие масла благотворно влияет на поддержание жизнедеятельности бактерий и микроорганизмов при обработке осадка сточных вод, воздух которых не содержит частиц масла. Особенно неприемлемо содержание масла в том случае, если вода после очистки должна быть повторно использована.