Всесоюзный ордена Трудового Красного Знамени комплексный научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт водоснабжения, канализации, гидротехнических сооружений и инженерной гидрогеологии (ВНИИ ВОДГЕО) Госстроя СССР

СПРАВОЧНОЕ ПОСОБИЕ
К СНиП 2.04.03-85

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Москва Стройиздат 1990

Разработано к СНиП 2.04.03-85 «Канализация. Наружные сети и сооружения» на основе результатов научных исследования и опыта эксплуатации сооружений и установок для очистки сточных вод за последние годы в различных отраслях промышленности. Содержит методики и примеры расчета, вспомогательные справочные материалы, необходимые при проектировании очистных сооружений.

Для инженерно-технических работников проектных и строительно-монтажных организаций.

Содержание

1. СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД
- Усреднители
- Типы и конструкции усреднителей
- Отстойники
- Общие сведения
- Расчет отстойников
- Тонкослойные отстойники
- Реконструкция обычных отстойников в тонкослойные
- Примеры расчета отстойников
- Гидроциклоны
- Примеры расчета гидроциклонов

2. СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД
- Аэротенки
- Аэротенки - смесители без регенераторов
- Аэротенки-смесители с генераторами
- Аэротенки-вытеснители с регенераторами
- Аэротенки-вытеснители без регенераторов
- Системы аэрации
- Окситенки
- Аэротенки с флотационным илоотделением для очистки производственных сточных вод
- Аэротенки с флотационным разделением иловой смеси для очистки городских сточных вод
- Удаление из сточных вод соединений азота
- Удаление из сточных вод соединений фосфора

3. СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД
- Нейтрализация сточных вод
- Адсорберы
- Установки для ионообменной очистки сточных вод
- Установки для электрохимической очистки сточных вод

4. СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ОСАДКОВ
- Аэробные стабилизаторы
- Флотационные илоуплотнители

5. ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ СТОЧНЫХ ВОД

WWW.STROYTENDERS.RU

Установки для обеззараживания сточных вод жидким хлором
Установки для обеззараживания очищенных сточных вод с использованием прямого электролиза
6. СОВМЕСТНАЯ ОБРАБОТКА СТОЧНЫХ ВОД И ОСАДКОВ ВОДОПРОВОДНЫХ СТАНЦИЙ
7. СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ И ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА С ТЕРРИТОРИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

1. СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Усреднители

1.1. Усреднение расхода и концентрации загрязнений позволяют рассчитывать все последующие звенья очистки не на максимальные, а на некоторые средние значения параметров потока. Экономичнее иметь усреднитель в начале цепи, чем завышать объем и производительность каждого из последующих звеньев очистки.

1.2. Выбор рациональной схемы усреднения (типа усреднителя), расчет его объема проводятся на основе информации о характере колебаний параметров входного потока (концентраций $C_{en}(t)$ и расхода $q_{en}(t)$ ч и требований на допустимые колебания параметров сточных вод на выходе усреднителя $C_{ex}(t)$, $q_{ex}(t)$. Эти требования обычно устанавливаются на основе максимально допустимых величин C_{adm} и q_{adm}, назначаемых в зависимости от типа последующих очистных сооружений, при этом они должны превышать средние значения параметров $C_{en\ mid}$, $q_{en\ mid}$.

Для расчета объема усреднителя используется информация, получаемая: от технологов основного производства, которые, используя характеристику номинального режима производства и аварийных режимов, могут прогнозировать характер поступления сточных вод на очистные сооружения; с объектов-аналогов, а также непосредственным наблюдением на объекте.

Информация может накапливаться в записях заводских лабораторий об изменениях расхода и лимитируемых показателей загрязнения сточной воды.

При наличии на предприятии контрольно-измерительной аппаратуры изменение состава сточных вод регистрируется непрерывно, при отсутствии - дискретно с различной длительностью интервалов между лабораторными анализами (не более 1 ч). Окончательная форма представления информации о колебаниях - таблицы и графики. Полученная информация о колебаниях расхода и состава сточных вод (по лимитируемым загрязнениям, например: pH среды, интенсивность окраски, взвешенные вещества, специфические загрязнения производства), а также представление о количественном и качественном составе нерастворимых загрязнений, даст возможность вести расчет объема усреднителя в соответствии с основными типами нестационарности потока:

залповые сбросы высококонцентрированных сточных вод;

циклические колебания;

случайные колебании произвольного спектра.

Сведения о количественном и качественном составе нерастворимых загрязнений необходимы для выбора способа перемешивания и расчета перемешивающих устройств. Кроме того, эти сведения помогу принять решения о возможной компоновке усреднителя с отстойной зоной в целях облегчения его эксплуатации и частичной очистки стоков. Образование непредусмотренного и трудноотделяемого осадка в усреднителях является основной причиной снижения эффективности их работы.

Конструктивное выделение зоны отстаивания в усреднителе приемлемо при наличии узла обработки осадка в технологической цепи очистки (напорная, реагентная флотация, отстаивание, осветление).

Типы и конструкции усреднителей

1.3. Тип усреднителя необходимо выбирать в зависимости от характера и количества

WWW.STROYTENDERS.RU

нерастворенных компонентов загрязнений, а также динамики поступления сточных вод. При гашении залповых сбросов предпочтительнее конструкции многоканального типа, при произвольных колебаниях практически равноценны любые типы усреднителей. В таких случаях большую роль играют вид и количество нерастворенных загрязнений.

К многоканальным конструкциям относятся: прямоугольные - Д. М. Ванякина, круглые - Д. А. Шпилева, конструкции с неравномерным распределением расхода и объемов по каналам.

Усреднитель-смеситель барботажного типа следует применять для усреднения стоков независимо от режима их поступления при содержании грубодиспергированных взвешенных веществ с концентрацией до 500 мг/л гидравлической крупностью до 10 мм/с.

Усреднитель-смеситель с механическим перемешиванием и отстойной зоной необходимо применять для усреднения стогов с содержанием взвешенных веществ более 500 мг/л любой гидравлической крупности. Режим поступления стоков - произвольный.

Усреднители следует устанавливать после отстойников или оборудовать их отстойной частью с целью облегчения эксплуатации. Расчет отстойной части необходимо проводить по данным кинетики осаждения взвесей, аналогично расчету отстойников. При этом необходимо учитывать гидродинамический режим выбранного типа усреднителя. Для подавления залповых сбросов высококонцентрированных стоков и произвольных колебаний состава и при наличии взвешенных мелкодиспергированных веществ с концентрацией до 500 мг/л, гидравлической крупностью до 5 мм/с следует применять многоканальные усреднители без принудительного перемешивания. При необходимости усреднения и расхода усреднитель блокируется с аккумулирующей емкостью.

КОНСТРУКЦИИ УСРЕДНИТЕЛЕЙ РАЗЛИЧНОГО ТИПА

1.4. Комплексный подход к выбору типа усреднителя и его расчету в зависимости от характера колебаний концентрации загрязнений и расхода сточных вод, от их качественного состава, позволил выявить основные типы конструкций.

Однако для конкретных технологических задач усреднения сточных вод могут быть использованы и другие схемы усреднения (последовательно-параллельные, двухступенчатые и др.) с соответствующим обоснованием, разрабатываться новые конструкции с заданными свойствами.

Усреднитель - смеситель барботажного типа

1.5. Союзводоканалпроект разработал типовые проекты многосекционных пневматических усреднителей концентрации сточных вод полезным объемом одной секции 300, 1400 и 5000 м^3. Применение усреднителей барботажного типа связано с соблюдением ряда принципиальных положений:

1. Распределение сточных вод по площади усреднителя должно быть максимально равномерное. С этой целью могут использоваться системы подающих лотков с придонными водосливными окнами, расположенными на расстоянии 2 м друг от друга. При обеспечении должного качества строительства возможно распределение жидкости из лотков через донные выпуски. Размеры выпусков рассчитываются по формуле:

$$_0 = q_{en} / \sqrt{2gh_0}\, n \qquad (1)$$

Каждый распределительный лоток оборудуется двумя шиберами: на входе в лоток для создания оптимального режима и равномерного распределения сточной воды между лотками; и в конце лотка в торцевом придонном водосливном окне размером 20×40 см (*H*×*B*), обеспечивающий периодическую промывку лотка.

Число распределительных лотков и размещение выпускных окон в одной или обеих стенках лотков принимается из такого расчета, чтобы в каждый циркуляционный поток поступало одинаковое количество жидкости.

2. При напорной подаче воды на усреднитель перед ним на трубопроводе необходимо устанавливать колодец гашения напора. Целесообразнее самотечная подача стоков на усреднитель. В этом случае сооружение несет на себе всю нагрузку по выравниванию расхода и концентрации.

WWW.STROYTENDERS.RU

3. Расчет объема усреднителя ведется в зависимости от характера поступления сточных вод на сооружение в соответствии с формулами (19)-(24) СНиП 2.04.03-85.

Максимальная величина скорости проточного течения жидкости в усреднитель 2,5 мм/с, при этом длина секции усреднителя принимается из расчета

$$L = {}_{W}t_{\min} \qquad (2)$$

с учетом графика поступления концентрации загрязнении по часам суток.

С целью обеспечения равномерного распределения жидкости и воздуха вдоль усреднителя целесообразна длина секции не более 24 м. Глубина слоя поды в усреднителе из конструктивных соображений принимается в пределах 3-6 м. Ширина секции усреднителя принимается не более 12 м.

4. В качестве барботеров в усреднителе рекомендуется использовать перфорированные трубы с отверстиями диаметром 3 мм (шаг 8-16 см), располагаемыми в нижней части трубы в один или два ряда под углом 45° к оси трубы.

Трубы укладываются горизонтально вдоль резервуара на подставках высотой 6-10 см. Допустимое отклонение от горизонтальной укладки труб барботеров не должно превышать ± 0,015 м так, чтобы связанная с этим неравномерность подачи воздуха по длине барботера не превысила одной трети от принятой в расчете неравномерности подачи воздуха (20 % среднего расхода воздуха).

Барботеры подразделяют на пристеночные, создающие один циркуляционный поток, и промежуточные, создающие два циркуляционных потока.

Оптимальное расстояние между барботерами следует считать (2-3)*H*, а между барботерами и параллельной ему стеной усреднителя (1-1,5)*H*, где *H* - глубина погружения барботера.

При расчете принимаются:

интенсивность барботирования для усреднения концентрации растворенных примесей при простеночных барботерах 6 $м^3$/ч на 1 м, при промежуточных барботерах 12 $м^3$/ч на 1 м;

интенсивность барботирования для предотвращения выпадания в осадок взвесей в пристеночных барботерах 12 $м^3$/ч на 1 м, в промежуточных 24 $м^3$/ч на 1 м.

Числа стояков подвода воздуха к барботеру и шаг между радиальными отверстиями перфорации для барботеров из полиэтиленовых труб надлежит определять в зависимости от требуемой интенсивности барботирования и заданной неравномерности подачи воздуха на основании данных, приведенных в табл. 1.

В расчете принято, что каждый стояк присоединен к середине обслуживаемого им участка барботера длиной *l*. При расположении стояка подвода воздуха у одного из концов барботера длина обслуживаемого участка будет равна *l/2*.

WWW.STROYTENDERS.RU

Таблица 1

Наружный диаметр трубы, мм	Диаметр центрального отверстия барботера, мм	Диаметр перфорационных отверстий, мм	Число рядов перфорационных отверстий	Интенсивность подачи воздуха, $Нм^3/ч$	Перепад давления на перфорационном отверстии, кПа	Шаг радиальных отверстий, мм	Нер под
50	42,5	3	1	6	1	160	
				12	4	160	
				12	1	80	
			2	12	1	160	
				24	4	160	
				24	1	80	
6,3	59	3	1	6	1	160	
				12	4	160	
				12	1	80	
			2	12	1	160	
				24	4	160	
				24	1	80	
75	71	3	1	6	1	160	
				12	4	160	
				12	1	80	
			2	12	1	160	
				24	4	160	
				24	1	80	

WWW.STROYTENDERS.RU

Расчетная глубина погружения барботера принята равной 4,3 м. Приведенные в табл. 1 данные могут использоваться при изменении погружения в диапазоне 3-5 м.

При среднем перепаде давления на перфорированных отверстиях ΔH =1 кПа максимальные потери в барботере не более ΔH м=2 кПа, а при ΔH =4 кПа - не более ΔH м=7 кПа.

5. Для предотвращения выпадения осадка в местах прямоугольного сопряжения днища со стенками резервуара рекомендуется заполнение этих мест тощим бетоном. При этом угол сопряжении днища с заполнением должен составлять 30°.

Возможен уклон в сторону забора воды, где должен быть предусмотрен трубопровод опорожнения секции усреднителя.

6. На входе в усреднитель необходимо устанавливать контрольно-измерительную аппаратуру для определения расхода полы и воздуха, поступающих на сооружение.

7. Все конструктивные узлы сооружения необходимо оборудовать трубопроводами опорожнения и предусматривать малые средства механизации (например, бадья-таль-кошка, бадья-тальфер и др.) для периодической чистки усреднителя.

Возможно, предусмотреть нестационарную систему пеногашения усредненными стоками (например, шланги с насадками, укрепленные на штативах). Как показал опыт эксплуатации, пены в усреднителях нет, кроме исключительных случаев, когда применяли и производстве запрещенные в настоящее время ПАВ.

8. В зависимости от характеристик стоков в цеховых каналах, на выпусках из промышленных здании или перед резервуаром - усреднителем необходимо предусматривать решетки для сбора волокон, шерсти, тряпок и других отходов производства. Целесообразно по ходу технологических линий на определенных производствах устанавливать шерстеуловители.

9. Самым надежным способом водоотведения, как показал опыт эксплуатации, является работа насосов.

Многоканальные усреднители

1.6. Перспективным типом усреднителя для большого числа объектов, например, легкой промышленности, является многоканальный усреднитель, схема которого разработана во ВНИИ ВОДГЕО, с оптимальным распределением сточных вод по коридорам разной ширины. На базе этой схемы МИСИ и ГПИ-1 разработали конструкцию усреднителя для сточных вод, относящуюся к категории легких (взвешенных веществ до 500 мг/л, гидравлической крупностью до 5 мм/с), для суточного расхода сточных вод свыше 67 тыс. м^3.

Конструкция, представленная на рис. 1, состоит из приемной камеры, распределительного лотка, каналов усреднителя, камеры усредненных стоков аккумулирующей емкости. Сточная вода попадает и приемную камеру, оборудованную полупогруженной доской для гашения волновых колебаний на поверхности, откуда поступает в распределительный лоток. При превышении величины среднего расхода сточных вод избыточное количество воды переливается в аккумулирующую емкость через регулируемый водослив. Усреднение колебаний концентрации загрязнений и поступающих сточных водах осуществляется за счет различного времени пребывания потока в каждом из каналов. Распределение сточных вод по каналам усреднителя осуществляется через донные выпуски расчетного диаметра.

WWW.STROYTENDERS.RU

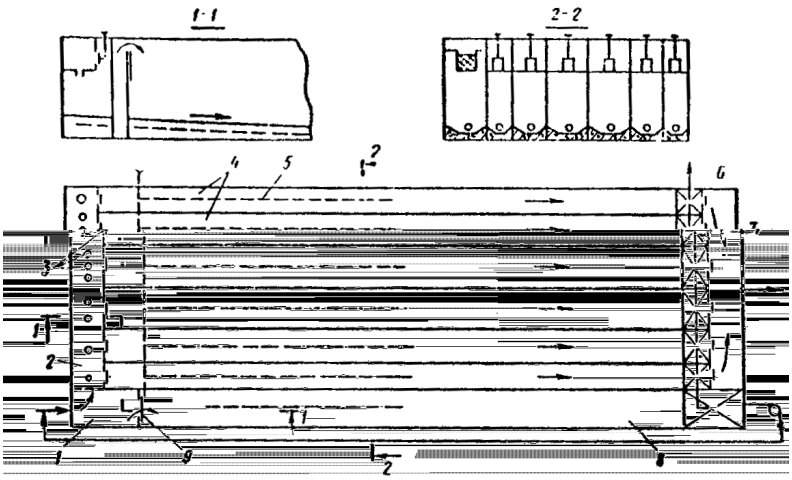


Рис. 1. Схема многоканального усреднителя

1 - приемная камера; *2* - распределительный лоток; *3* - донные выпуски и боковой водослив с шибером; *4* - каналы; *5* - система гидросмыва; *6* - удаление осадка гидроэлеваторами; *7* - камера усредненных стоков; *8* - аккумулирующая емкость; *9* - водослив.

Для возможности дорегулировки расходов воды по каналам усреднителя в стенке лотка устраиваются прямоугольные водосливы, оборудованные шиберами. На выходе из каждого канала предусматриваются измерительные водосливы, которые позволяют контролировать уровень и расход воды по каждому каналу.

Из камеры усредненных стоков пода либо откачивается, либо самотеком поступает на дальнейшую очистку. На предприятиях в часы минимального водостока сточные воды из аккумулирующей емкости перекачиваются в приемную камеру. В каждом из каналов усреднителя и в аккумулирующей емкости предусматривается отстойная зона.

Система сбора и удаления осадка выбирается в зависимости от конкретных данных по кинетике отстаивания, количеству и характеру взвешенных веществ (гидровзмучивание, гидросмыв и др.). Периодичность удаления осадка определяется в период пусконаладочных работ.

Длина, общая ширина и глубина сооружения принимаются в зависимости от требуемого расчетного объема с учетом граничных условий (граничные условия определены для суточной производительности сточных вод свыше 10 тыс. м^3); ширина одного канала от 1 до 6 м, глубина не более 3 м.

При меньших расходах сточных вод возможен лотковый вариант многоканального усреднителя, сохраняющий принцип дифференцированного распределения потока.

Распределение потока воды между каналами осуществляется в соответствии с формулой (3) (*i*-номер канала)

$$\frac{q_i}{q_W} = \left[\frac{(2n-1)}{n(n-1)}\right] - \frac{2i}{(n^2-1)} \qquad (3)$$

Объем коридоров различен. Ширина каждого i-го канала рассчитывается по формуле

$$\frac{b_i}{B_{set}} = \frac{3(i-0{,}5)\left\{\left[\frac{2n-1}{n}\right] - \frac{2i}{(n+1)}\right\}}{n(n-1)} \qquad (4)$$

При этом в целях создания наилучшего гидродинамического режима работы каждого" капала (высокого коэффициента полезного использования объема каждого канала) минимальная скорость течения воды в канале желательна не менее 7 мм/с.

Порядок расчета многоканального усреднителя

WWW.STROYTENDERS.RU

1. Расчет объема аккумулирующей емкости W_{reg} с учетом графика притока сточных вод на очистные сооружения (аналогично расчету регулирующей емкости водонапорных сооружений).

2. Расчет объема многоканального усреднителя W_{es} (для q_{min}) с учетом характера поступления концентрации загрязнений: залповый, циклический или произвольный. См. формулы (25)-(29) СНиП 2.04.03-85.

3. Определение общего объема сооружения: $W = W_{reg}+W_{es}$.

4. Определение размеров усреднителя, в плане $B\times H\times L$ - в соответствии с граничными условиями.

5. Расчет ширины b_i каждого канала по формуле (4), причем число каналов должно выбираться, начиная с трех при соблюдении конструктивных граничных условий и обеспечения минимальной скорости течения 7 мм/с.

6. Расчет расхода q_i, по каждому каналу по формуле (3).

7. Расчет распределительного лотка и размеров донных и боковых водосливов.

Распределительный лоток с донными выпусками рассчитывается с учетом следующих положений:

горизонтальное расположение дна лотка;

скорость течения воды в лотке принимают постоянной, не менее 0,4 м/с из условия незаиливания лотка. При этом влияние на изменение кривой свободной поверхности воды при неравномерном ее отборе по длине лотка должно быть незначительным.

Лоток лучше располагать затопленным (ниже уровня воды в каналах) для более равномерного распределения воды по глубине потока;

расчет донных и боковых выпусков необходимо производить для расходов в м^3/с, определяемых по формуле (3) для каждого канала по общепринятой методике гидравлического расчета водосливов

$$q_i = {}_0\sqrt{2gh_0}\ . \qquad (5)$$

Для донного цилиндрического отверстия = 0,8, для бокового прямоугольного отверстия = 0,7.

8. Расчет измерительных и регулируемых водосливов производится в соответствии с расчетом, изложенном в Справочнике по гидравлическим расчетам систем водоснабжения и канализации/А. М. Курганов, И. Ф. Федорова. - М.: Стройиздат, 1978.

Регулирование водослива, установленного между приемной камерой и аккумулирующей емкостью, производится с помощью передвижной стенки. На стенке из каждого канала устанавливаются водосливы треугольного профиля.

Кроме предложенной конструкции возможны варианты многоканального типа усреднителя. Например, в проектном институте ГИАП многоканальный усреднитель схемы ВНИИ ВОДГЕО выполнен в П-образной компоновке сблокированным аварийным накопителем.

Усреднитель-смеситель с механическим перемешиванием, оборудованный отстойной зоной

1.7. В настоящее время теоретически и экспериментально душная конструкция не отработана. Работы по созданию такой конструкции для сточных вод, относящихся к категории «тяжелых» (содержание взвешенных веществ более 500 мг/л, гидравлическая крупность - не лимитируется) начаты в МИСИ им. В.В. Куйбышева.

При конструировании такого типа усреднителя необходимо учитывать большое количество факторов, влияющих на эффективность перемешивания, например:

уплотнение или отстаивание, происходящее в донной части усреднителя (отстаивание в зоне сжатия). Интенсивность осаждения взвеси, зависимость между скоростью осаждения взвешенных частиц и их содержанием. На основании этих и других данных можно будет рассчитать отстойную зону усреднителя;

влияние условий смешения (скорость перемешивания, перемешивание за счет диффузии,

WWW.STROYTENDERS.RU

создание градиента скорости между различными элементами объема и др.) на эффект выравнивания концентрации в воде и осуществления химических реакций (нейтрализация, хлопьеобразование и т.д.);

выбор мешалок или аэраторов, а также конфигурации сооружения для создания условии перемешивания.

Нельзя также не учитывать требования последующих звеньев очистки: реагентная обработка, отстаивание, флотация, биологические методы.

Так, например, для стоков кожзаводов слишком интенсивное перемешивание стоков в усреднителе разрушает естественные структурные образования, что в дальнейшем ведет к снижению эффекта коагулирования, флотации.

В то же время при аэрации стоков кожевенных производств, содержащих большое количество сульфидов, в усреднителе происходит окисление сульфидов и частичное выдувание сероводорода в атмосферу (при значениях pH менее 7). Процесс выдувания не желателен в связи с загрязнением окружающей атмосферы, о то же время процесс частичного окисления сульфидов - положителен (с повышением степени диспергирования воздуха - степень окисления сульфидов возрастет). Целесообразно в отдельных случаях использовать поверхностные аэраторы в качестве перемешивающих устройств.

Конструкция усреднителя с механическим перемешиванием разработана для стоков кожевенных производств институтом ГПИ-2 па базе радиального отстойника диаметрами 12, 24 и 40 м. Усреднитель оборудован вращающимся мостом с механическими мешалками и скребками для сгребания осадка. Пуск стока из нижней точки конического днища.

Анализ эффективности работы действующих сооружений показал, что построенные сооружения неудовлетворительно справляются с функцией усреднения состава сточных вод. Сказываются расчетные и конструктивные ошибки при проектировании, плохое качество строительства и низкий уровень эксплуатации.

Модернизация существующих конструкций может быть осуществлена использованием следующих мероприятий:

вместо централизованного впуска воды в усреднитель предусмотреть рассредоточенный по периметру сооружения (возможен металлический лоток с подачей воды через придонные выпуски);

интенсифицировать работу системы перемешивания;

предусмотреть возможный забор воды выше зоны отстаивания не менее 1,5 м. Из нижней точки дна усреднителя удалять осадок, обработка которого возможна в общей схеме локальной очистки.

Отстойники

Общие сведения

1.8. Для проектирования сооружений и аппаратов механической очистки должны быть заданы следующие данные:

общее количество сточных вод, $м^3/ч$;

температура сточных вод, °С;

периодичность образования сточных вод;

тяжелые механические примеси, мг/л;

нефтепродукты, масла, мг/л;

плотность тяжелых и легких загрязнений, $г/см^3$; кинетика осаждения механических процессах тяжелее и легче поды, при их расчетной концентрации в исходной воде;

требуемая степень очистки (%) или допустимое содержание загрязнений легче и тяжелее воды, мг/л;

гидравлическая крупность частиц, тяжелее и легче воды, которую необходимо выделить для обеспечения требуемой степени очистки, мм/с.

Гидравлическая крупность определяется по кривым кинетики отстаивания $Э = f(t)$ (рис. 2), полученным экспериментально отстаиванием сточной воды в статических условиях в слое h, как правило, отличным от действительной высоты отстаивания в выбранном типе отстойника, поэтому для приведения полученных результатов к натурным надлежит производить пересчет

WWW.STROYTENDERS.RU

по формулам (30) и (31) СНиП 2.04.03-85 с учетом поправки на изменение вязкости воды при изменении температуры (табл. 2).

Таблица 2

Температура воды, °С	60	50	40	30	25	20	15	10	5	0
Коэффициент вязкости , 10^{-3} Н·с/м^2	0,469	0,549	0,656	0,801	0,894	1,01	1,14	1,308	1,519	1,702

Показатель степени n_2, зависящий от природы загрязнений, в том числе и от агломерируемости взвесей для промышленных сточных вод, определяется по полученным экспериментально кривым кинетик отстаивания в слоях h_1 и h_2

$$n_2 = \frac{(\lg t_2 - \lg t_1)}{(\lg h_2 + \lg h_1)} \qquad (6)$$

При расчете сооружений для механической очистки промышленных сточных вод экспериментальное определение показателей характеристики воды и загрязнений должно предшествовать проектированию в каждом конкретном случае. Если проектирование ведется для строящегося предприятия, данные о характеристике воды, возможно, получить при изучении воды на аналогичном производстве. Опыт обследования промышленных предприятий показывает, что величина гидравлической крупности частиц U_0, которые должны быть выделены для обеспечения требуемого эффекта колеблется в пределах 0,2-0,5 мм/с, поэтому для ориентировочных расчетов отстойных сооружении величину U_0 можно принимать равной 0,25-0,3 мм/с.

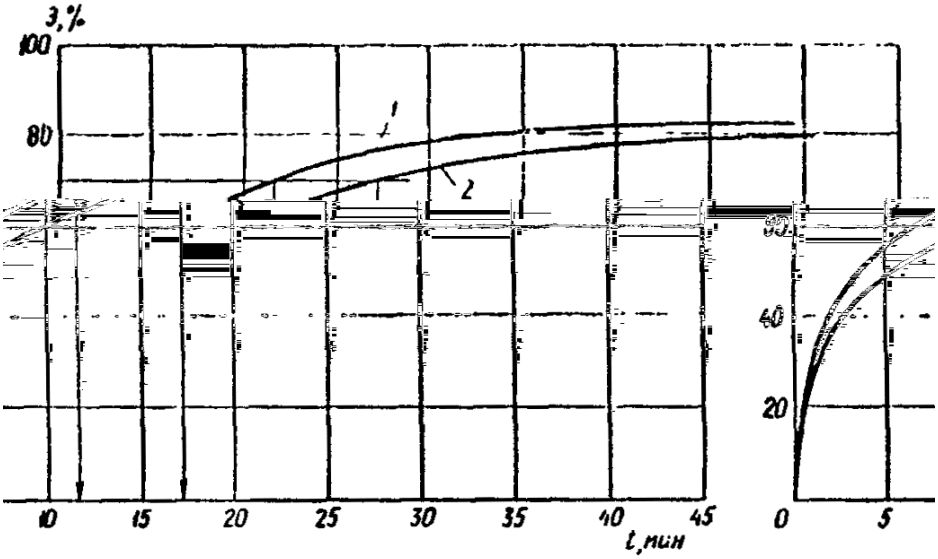


Рис. 2. Кинетика отстаивания сточных вод прокатных производств при исходной концентрации C_0 = 200 мг/л

1 - h = 200 мм; 2 - h = 500 мм

Для городских сточных вод продолжительность отстаивания t в слое h = 500 мм можно принимать по табл. 30 СНиП 2.04.03-85, а показатель степени n_2 по рис. 2 СНиП 2.04.03-85.

Расчет отстойников

1.9. Принимая по внимание, что при проектировании очистных установок, как правило, применяются типовые или экспериментальные конструкции отстойных сооружений с известными геометрическими размерами, за расчетную величину следует принимать производительность одного отстойника q_{set}, при которой обеспечивается заданный эффект очистки. После расчета q_{set} исходя из общего расхода сточных вод определяется количество

WWW.STROYTENDERS.RU

рабочих единиц отстойников N

$$N = \frac{q_W}{q_{set}} . \qquad (7)$$

Для горизонтального отстойника производительность одной секции рассчитывайся по формуле (32) СНиП 2.04.03-85. Для радиальных, всех типов вертикальных отстойников, а также отстойников с вращающимся сборно-распределительным устройством (см. пример 2), производительность одного отстойника рассчитывается по формуле (33) СНиП 2.04.03-85.

Отстойники с вращающимися сборно-распределительными устройствами

1.10. Для отстойников с вращающимся сборно-распределительным устройством $_{tb}$ = 0. Кроме того, при проектировании этих отстойников должна рассчитываться форма перегородки, разделяющая распределительный и водоприемный лоток. Форма этой перегородки может быть выражена через изменяющуюся ширину $B_р$ распределительного лотка

$$B_p = m\sqrt{R_л^2 - l_л^2} , \qquad (8)$$

где m = 1/11, 1/12;

$$R_л = 0{,}5D_{set} - b_з , \qquad (9)$$

где $b_з$ - зазор между стенкой и фермой ($b_з$ = 0,1-0,15 м); $l_Л$ - удаление расчетного створа лотка от центра отстойника. Количество струенаправляющих лопаток $n_Л$ определяется конструктивно при соблюдении следующего соотношения:

$$2r_л\text{-}(2n_л+1) = Lр, \qquad (10)$$

где $r_л$ = 0,1-0,125 м.

Число лопаток $n_Л$ не следует принимать более 24 шт. Изменение высоты водослива но длине водоприемного лотка зависит от изменения по радиусу расхода воды, удаляемой из отстойника. Высота водослива $h_{сб}$ по мере удаления от центра отстойника рассчитывается по формуле затопленного водослива с тонкой стенкой

$$h_{сб} = 1{,}24\left(\frac{q_{set}}{R_{set}^2} l_л\right)^{\frac{2}{3}} . \qquad (11)$$

Период вращения T, с, водораспределительного устройства, зависит от требуемой степени очистки и должен также рассчитываться при привязке отстойника к конкретным условиям,

$$T = \frac{1000H_{set}K_{set}}{U_0} . \qquad (12)$$

Тонкослойные отстойники

1.11. Тонкослойное отстаивание применяется в случае необходимости сокращения объема очистных сооружений при ограниченности выделяемой площади и при необходимости повышения эффективности существующих отстойников. В первом случае тонкослойные отстойники выполняют роль самостоятельных сооружений, во втором - существующие отстойники дополняются тонкослойными модулями, располагаемыми в совершенствуемом отстойнике, перед водосборным устройством.

1.12. При расчете отстойника, работающего по перекрестной схеме (рис. 3) расчетными величинами являются длина яруса L_{bl} и производительность отстойника q_{set}. Длина яруса L_b,

WWW.STROYTENDERS.RU

м, определяется по формуле

$$L_{bl} = \frac{{}_{w} h_{li}}{U_0} K_{dls}, \qquad (13)$$

где $_{w}$ - скорость потока воды в ярусе отстойника, мм/с, применяемая по табл. 31 СНиП 2.04.03-85; h_{li} - высота яруса, м, по табл. 31 СНиП 2.04.03-85 (при высоких концентрациях загрязнений рекомендуется принимать большие значения); K_{dis}, - коэффициент сноса выделенных частиц (при плоских пластинах K_{dis} = l,2; при рифленых пластинах K_{dis} = 1); Uо - гидравлическая крупность, задерживаемых частиц которую рекомендуется определять в слое, равном высоте яруса h_{li}.

Производительность отстойника q_{set} определяется по формуле

$$q_{set} = 7{,}2 K_{set} H_{bl} L_{bl} B_{bl} U_o / K_{dis} h_{li}, \qquad (14)$$

где B_{bl} - ширина тонкослойного блока, назначается из допустимого прогиба листа, выбранного для тонкослойного блока (Δ = -5мм) при наклоне под углом сползания осадка.

Строительная ширина $B_{стр}$, м, отстойника определяется по формуле

$$B_{стр} = 2B_{bl} + b_1 + 2b_2, \qquad (15)$$

где b_1 - 0,25 м, b_2 - 0,05-0,1 м.

После определения длины яруса отстойника L_{bl}, исходя из возможных размеров материала, применяющегося для параллельных пластин, назначаются длина пластины в ярусе и количество блоков (модулей), располагаемых по одной прямой.

Обязательным условием, выполняемым при конструировании отстойника, должна быть плотная стыковка соответствующих пластин в рядом устанавливаемых блоках (модулях). Строительная высота отстойника $H_{стр}$. м (см. рис. 3) определяется по формуле

$$H_{стр} = H_{bl} + h_3 + h_м + 0{,}3, \qquad (15а)$$

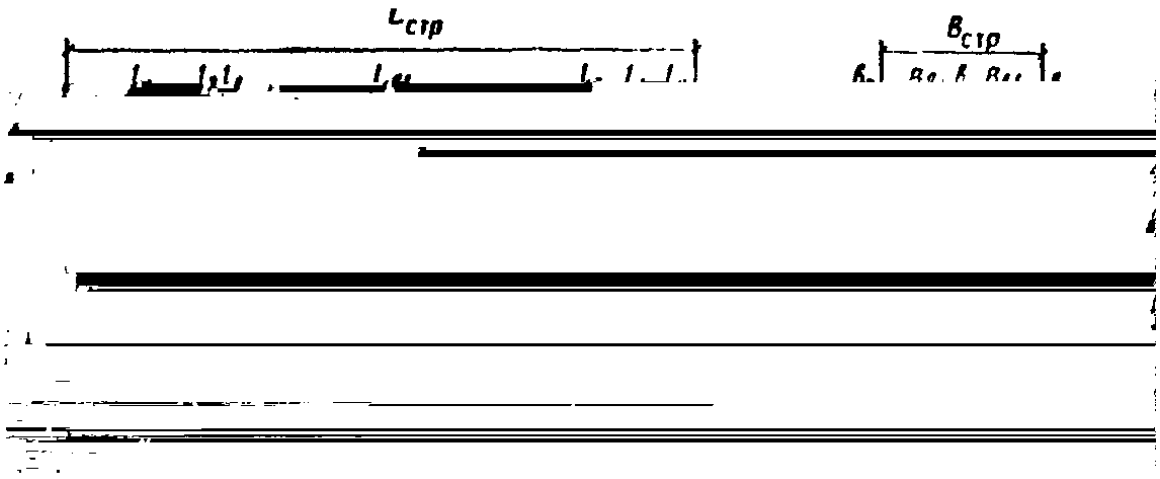


Рис. 3. Схема тонкослойного отстойника, работающего по перекрестной схеме удаления осадка

где h_3 - высота, необходимая для расположения рамы, на которой устанавливаются блоки (h_3 = 0,2-0,3 м; $h_м$ = 0,l м).

Строительная длина тонкослойного отстойника $L_{стр}$ (см. рис. 3) определяется по формуле

$$L_{стр} = L_{bl} + l_1 + l_2 + 2l_3 + l_4. \qquad (16)$$

WWW.STROYTENDERS.RU

Зона длиной l_1 служит для выделения крупных примесей Объем зоны рассчитывается на 2-3-минутное пребывание потока

$$l_1 = q_{set}t/(60H_{bl}B_{cmp}K_{set}), \quad (17)$$

где K_{set} - коэффициент использования зоны, принимаем равным 0,3; при применении пропорционального устройства l_2 = 0,2 м, если распределение осуществляется дырчатой перегородкой l_2 = 0; l_3 = 0,2-0,25 м; l_4 = 0,15-0,2 м.

1.13. В настоящее время применяется большое количество конструктивных разновидностей тонкослойных отстойников, работающих *по противоточной схеме*, все они практически, могут быть сведены к двум расчетным схемам, показанным на рис. 4 и рис. 5. В конструкции отстойника, показанного на рис. 4, расчетной являются длина пластины в блоке (модуле) L_{bl} и производительность секции q_{set}.

Длину пластины $L_{ы}$ можно определить по формуле

$$L_{bl} = \ _{W}h_{ti}/U_0, \quad (18)$$

где u_w - скорость потока в ярусе; h_{ti} - высота яруса. Данные параметры задаются по табл. 31 СНиП 2.04.03-85.

Производительность одной секции рассчитывается по формуле (36) СНиП 2.04.03-85, для которой H_{bl} определяется по формуле

$$H_{ы} = n_{ti}b_n, \quad (19)$$

где n_{ti} - количество ярусов в блоке, которое назначается из конструктивных соображений; b_n - определяется по формуле

$$b_n = h_{ti}\cos \quad . \quad (20)$$

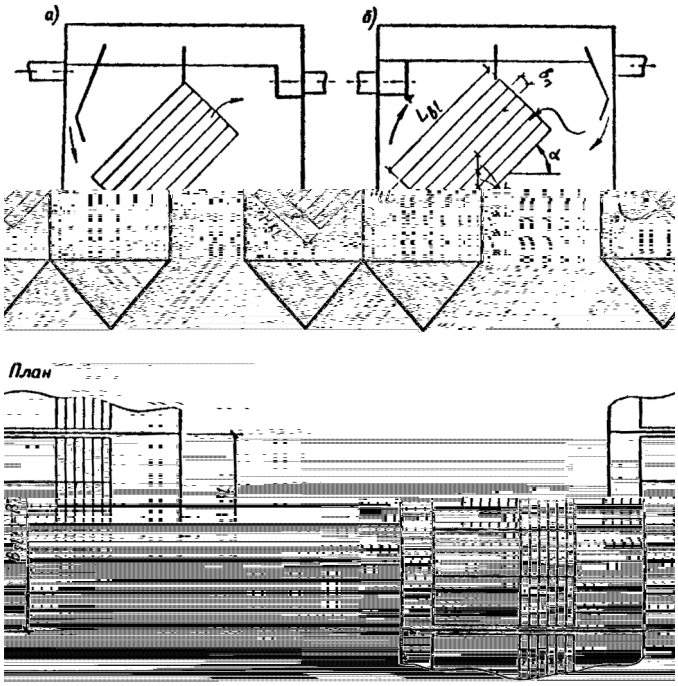


Рис. 4. Схема тонкослойного отстойника, работающего по противоточной схеме удаления примесей
а - тяжелых примесей; *б* - легких примесей (масла, нефтепродукты и т.п.)

Ширина секции отстойника назначается из конструктивных соображений и исходя из размеров пластин, предназначающихся для изготовления блоков (модулей). Все размеры других узлов отстойника (ширина резервуара отстойника, его строительная глубина и т.д.)

WWW.STROYTENDERS.RU

назначаются из конструктивных соображений.

За расчетные параметры тонкослойного отстойника (см. рис. 5) следует принимать длину пластин в блоке L_{bi} и длину расположения тонкослойных блоков (модули) L_b. Величина L_{bi} определяется так же, как и в предыдущем случае по формуле (18), а L_b - по формуле

$$L_b = q_{set} /(3{,}6K_{et} \quad {}_W B_{bi}), \tag{21}$$

где q_{set} - расход сточных вод на секцию, м^3/ч.

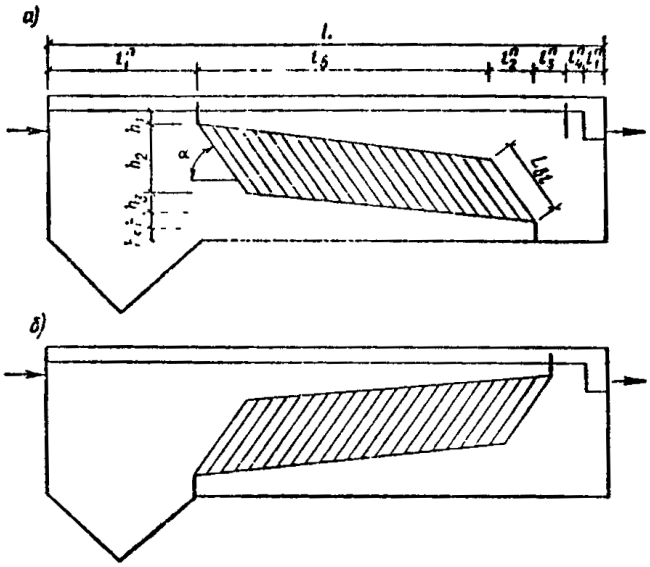


Рис. 5. Схема отстойника, оборудованного тонкослойными блоками, работающего по противоточной схеме удаления примесей

а - тяжелых примесей; *б* - легких примесей (масла, нефтепродукты и т.п.)

Общая длина L^0_{cmp} отстойника определяется по формуле

$$L^0_{cmp} = L_b + l_1^П + l_2^П + l_3^П + l_4^П + l_Л^П, \tag{22}$$

где $l_1^П$ - длина зоны определяется из условия формирования потока перед распределением между ярусами. В этом же объеме происходит выделение крупных механических примесей при этом $l_1^П$ принимается в интервале 1-1,5 м;

$$l_2^П = L_{bl} \sin (90- \quad);$$

$$l_3^П = 0{,}3 \text{ м}; \; l_4^П = 0{,}05\text{-}0{,}1 \text{ м}; \; l_Л^П = 0{,}4\text{-}0{,}5 \text{ м}.$$

Общая глубина воды в отстойнике H_{cmp}, м, определяется как сумма высот различных зон

$$H_{cmp} = h_м + h_2 + h_3 + h_4 + h_5, \tag{23}$$

где

$$h_2 = L_{bl} \sin \quad ; \tag{24}$$

$h_м \geq 0{,}1$ м; $h_3 = 0{,}2\text{-}0{,}5$ м; $h_4 = 0{,}1\text{-}0{,}2$ м; $h_5 = 0{,}3$ м.

Затем определяется удельный объем образующегося осадка Q_{mud}, м^3/ч, назначается способ его удаления в приямок и способ удаления из приямка, а по формуле (37) СНиП 2.04.03-85 рассчитывается его расход.

WWW.STROYTENDERS.RU

Реконструкция обычных отстойников в тонкослойные

1.14. В случае дополнения горизонтальных отстойников тонкослойными блоками (при необходимости повышения их эффективности или для увеличения производительности), расчетными параметрами являются длина пластин L_{bl} в блоке (модуле) и расстояние L_b, на котором устанавливаются блоки в отстойнике. Эти величины рассчитываются но формулам (18) и (21). Величина B_{bl} численно равна ширине секции отстойника (пример 5).

При дополнении тонкослойными блоками вертикальных отстойников, при известных габаритах отстойника L_{set} и B_{set} или D_{set}, заданной крупности задерживаемых частиц U_0 расчетной величиной является длина пластин L_{bl}, которая при заданной высоте яруса h_{ti} рассчитывается но формуле (18) или высота яруса h_{ti}, рассчитывается по заданной длине пластин по той же формуле. Производительность отстойника рассчитывается по формуле

$$q_{set} = 3{,}6K_{set}\frac{F_{set}H_{bl}U_0}{h_{ti}}; \qquad (25)$$

$$F_{set} = L_{set}B_{set} \text{ или } F_{set} = 0{,}785D_{set};\ H_{bl} = L_{bl}\sin \quad . \qquad (26)$$

Когда производительность отстойника известна и требуется лишь увеличить эффективность очистки Эгр, по лабораторным анализам кинетики отстаивания изучаемой воды определяется гидравлическая крупность частиц. Далее, задаваясь высотой яруса h_{ti}, по формуле (25) определяется высота H_{bl}, на которой должны быть расположены тонкослойные элементы, а затем по формуле (26) рассчитывается длина пластины и проверяется по формуле (18) скорость потока в ярусе.

При дополнении существующих радиальных отстойников тонкослойными блоками (модулями) (рис. 6), когда известны геометрические размеры отстойника и его производительность, а требуемая степень очистки задана гидравлической крупностью частиц U_0, которые необходимо выделить, расчетными параметрами являются длина пластины в блоке L_{bl}, высота блока H_{bl} и число ярусов в блоке n_{bl}. Величина L_{bl}, рассчитывается по формуле (18) при заданной высоте яруса h_{bl}. Высота блока h_{bl} рассчитывается по следующей зависимости:

$$H_{\text{bl}} = \frac{q_{set}h_{ti}}{3{,}6K_{set}\ D_1L_{\text{bl}}U_0}, \qquad (27)$$

где K_{set} - коэффициент использования объема, определяется по табл.31 СНиП 2.04.03-85, как для радиальных отстойников; D_1 - диаметр расположения блоков,

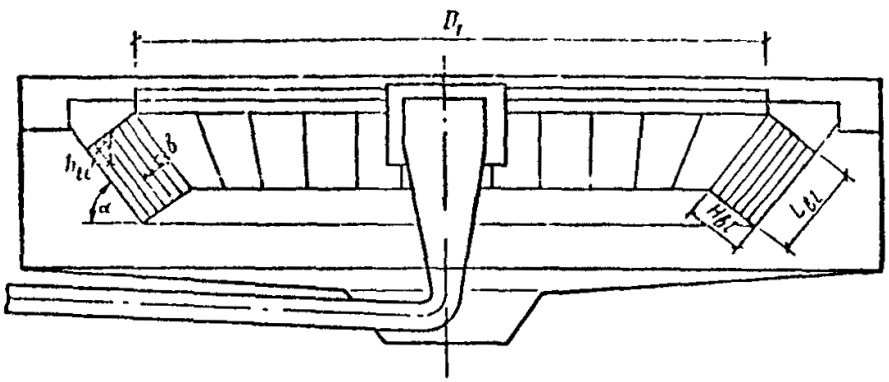


Рис. 6. Схема радиального отстойника дополненного тонкослойными блоками (модулями)

Затем определяется число ярусов в блоке (модуле)

WWW.STROYTENDERS.RU

$$n_{ti} = H_{bi}/h_{ti}cos \quad . \qquad (28)$$

Примеры расчета отстойников

Пример 1. Требуется определить гидравлическую крупность частиц для проектирования отстойника при очистке сточных вод прокатного производства.

Исходные данные: расход сточных вод q_w - 1000 м^3/ч; температура *Tw* – 30 °С; расход сточных вод постоянен в течение суток. Исходная концентрация тяжелых механических примесей - 200 мг/л; маслопродуктов - 50-60 мг/л; плотность тяжелых загрязнений - 5 г/см^3; маслопродуктов - 0,8 г/см^3; кинетики отстаивания механических примесей тяжелее воды расчетной концентрацией в различных слоях воды показаны на рис. 2.

В очищенной воде содержание тяжелых примесей не должно превышать 60 мг/л, маслопродуктов - 25 мг/л.

В проекте принимаются отстойники с рабочей глубиной отстаивания H_{set} = 1,5 м. Определение расчетной гидравлической крупности исходя из заданных параметров производится в следующем порядке:

по заданным величинам концентраций механических примесей в исходной и осветленной воде определяем требуемый эффект очистки Этр

$$Э_{тр} = 100\ (200 - 60)\ /200 = 70\ \%;$$

по кривым кинетики отстаивания (см. рис. 2) определяется продолжительность отстаивания t_i = 13,5 мин (810 с); t_2 = 17,5 мин (1050 с), при которых в слоях воды h_1 = 200 мм и h_2 = 500 мм достигается требуемый эффект;

после этого по формуле (6) определяется показатель степени n_2

$$n_2 = (\lg 1050 - 1g\ 810)/(\lg 500 - \lg 200) = 0{,}3;$$

затем по формуле (30) СНиП 2.04.03-85 определяется гидравлическая крупность U_0 частиц взвесей, которые должны быть выделены в отстойнике, при этом K_{set} = 0,5 (по табл. 31 СНиП 2.04.03-85), если температура сточных вод, поступающих на отстойники, будет такая же, какая была обеспечена при экспериментальном определении кинетик отстаивания, например *T*w = 20 °С:

.

Поскольку температура сточных вод поступающих на отстойник *Tw* = 30 °С, требуется внести поправку:

$$= 063 \cdot 1{,}005/0{,}801 = 0{,}79 \text{ мм/с}.$$

Таким образом, отстойники, принятые как сооружения для механической очистки сточных вод прокатных производств,

по табл. 31 СНиП 2.04.03-85 назначается значение коэффициента использования объема K_{set} = 0,85

$$U_0 = (1000 \cdot 0{,}85 \cdot 1) / \left[970 \left(\frac{0{,}85 \cdot 1}{0{,}5} \right)^{0{,}275} \right] = 0{,}75 мм/с.$$

Внесение поправки на температуру не требуется, так как при лабораторных определениях кинетики отстаивания температура воды была той же, что в производственных условиях.

По формуле (33) СНиП 2.04.03-85 определяется производительность одного отстойника

$$q_{set} = 2{,}8 \cdot 0{,}85 \cdot (24^2 - 1^2) \cdot 0{,}76 = 1042 \text{ м/ч}.$$

По формуле (12) определяется период вращения водораспределительного устройства

$$T = 1000 \cdot 1 \cdot 0{,}85 / 0{,}76 = 1118{,}4 \text{ с} = 18{,}6 \text{ мин}.$$

Определив по формуле (9) величину $R_Л$ = (24/2)-0,15 = 11,85, и задавшись значениями m = $^1/_{12}$; b_3 = 0,15 и $b_л$, по формулам (8) и (11), рассчитываем ширину распределительного лотка B_p и высоту водослива $h_{сб}$ по створам. Для удобства результаты расчета сводим в табл. 3

Таблица 3

$R_{Л,}$ м	2	3	4	5	6	7
B_p, м	0,973	0,955	0,929	0,895	0,851	0,796
$h_{сб,}$ м	0,030	0,039	0,017	0,055	0,062	0,069

Продолжение табл. 3

$R_{Л,}$ м	8	9	10	11	11,85
B_p, м	0,728	0,642	0,529	0,367	0
$h_{сб,}$ м	0,076	0,081	0,037	0,093	0,097

Исходя из общего количества сточных вод и коэффициента неравномерности рассчитывается количество отстойников, а по формуле (37) СНиП 2.04.03-85 определяется количество образующегося осадка и принимается способ его удаления.

Пример 3. Расчет тонкослойного отстойника, работающего по перекрестной схеме удаления осадка (см. рис. 3).

Исходные данные: расход сточных вод завода производства железобетонных изделий (ЖБИ) составляет 1200 м^3/сут; коэффициент часовой неравномерности составляет 1,1; завод работает в две смены.

Исходная концентрация тяжелых механических примесей - 700 мг/л; масло- и нефтепродуктов - 100-300 мг/л. Допустимая концентрация механических примесей в очищенной воде - 50 мг/л, нефтепродуктов - 25 мг/л.

По кривым кинетики отстаивания в слое воды, равном высоте яруса h_{ti} = 0,1 м, находим, что гидравлическая крупность тяжелых механических взвесей, которые требуется выделить, составляет

$$U_0 = 1000 h_{ti}/t = (0{,}1 \cdot 1000)/500 = 0{,}2 \text{ мм/с}.$$

Гидравлическая крупность нефтепродуктов

$$U_0^н = (0{,}1 \cdot 1000)/330 = 0{,}3 \text{ мм/с}.$$

Следовательно, расчет отстойника нужно вести на задержание частиц крупностью 0,2 мм/с.

Из условия количества загрязнений в сточных водах (700 мг/л) принимаем высоту яруса в

WWW.STROYTENDERS.RU

отстойнике h_{ti} = 0,1 м (табл. 31, СНиП 2.04.03-85). Для обеспечения условий сползания осадка по пластинам, угол наклона пластин принимаем равным 45°. В качестве материала пластин по имеющимся возможностям будет использована листовая сталь = 3 мм. Задавшись скоростью потока в ярусе отстойника (табл. 31 СНиП 2.04.03-85) $_W$ = 7 мм/с, определяем по формуле (13) длину яруса

$$L_{bi} = \frac{7 \cdot 0{,}1}{0{,}2} 1{,}2 = 4{,}2 м.$$

Из условия допустимого прогиба (Δ = 3-5 мм) наклоненной под углом 45° пластины принимаем ширину блока B_{bl} = 0,75 м. Таким образом, максимальная ширина пластины в блоке будет $B_{bl} \cdot \cos$ = 0,75 1,41 = 1,060 м. Задаемся высотой блока с параллельными пластинами H_{bl} = 1,5 м.

По формуле (35) СНиП 2.04.03-85 определяем производительность одной секции тонкослойного отстойника с двумя рядами блоков (см. рис. 3)

$$q_{set} = 7{,}2 \cdot 0{,}75 \cdot 1{,}5 \cdot 0{,}75 \cdot 4{,}2 \frac{0{,}2}{1{,}2 \cdot 0{,}1} = 42{,}5 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Проверяем скорость потока в ярусе отстойника при использовании поперечного сечения на 75 % K_{set} = 0,75 (табл. 31, СНиП 2.04.03-85)

$$_W = \frac{q_{set}}{3{,}6 K_{set} H_{bl} 2 B_{bl}} = \frac{42{,}5}{3{,}6 \cdot 0{,}75 \cdot 1{,}5 \cdot 2 \cdot 0{,}75} = 7 мм/с$$

Приведенный расчет показывает, что исходные величины выбраны верно. Строительная ширина секции отстойника рассчитывается по формуле (15)

$$B_{стр} = 2 \times 0{,}75 + 0{,}2 + 2 \times 0{,}05 = 1{,}8;$$

$$H_{стр} = 1{,}5 + 0{,}3 + 0{,}1 + 0{,}3 = 2{,}2 \text{ м}.$$

Длина зоны грубой очистки l_i по формуле (17)

$$l_i = \frac{42{,}5 \cdot 2}{60 \cdot 1{,}5 \cdot 1{,}8 \cdot 0{,}3} = 1{,}75 м.$$

Строительная длина секции $L_{стр}$ по формуле (16)

$$L_{стр} = 4{,}2 + 1{,}75 + 0{,}2 + 2 \cdot 0{,}2 + 0{,}15 = 6{,}7 \text{ м}.$$

Определяется часовой расход сточных вод с учетом коэффициента часовой неравномерности

$$q_W = (1200 \cdot 1{,}1)/16 = 82{,}5 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Исходя из общего количества сточных вод определяется количество секции тонкослойного отстойника

$$N = 82{,}5/42{,}5 = 1{,}94 \approx 2 \text{ секции}.$$

В соответствии с п. 6.58 СНиП 2.04.03-85 уточняется количество секций: N = 2 секции.

Из условия выбранного материала для пластин (листовая сталь = 3 мм) и облегчения массы блока, исходя из расчетной длины ярусного пространства ($L_{ы}$ = 4,2 м), принимаем длину блока (модуля) 1,06 м. Таким образом, в каждом ряду будет располагаться по 4 блока

WWW.STROYTENDERS.RU

(модуля).

Количество выделяемого осадка влажностью W = 96 % определяется по формуле (37) п. 6.65 СНиП 2.04.03-85

$$Q_{mud} = \frac{(700-50)82,5}{(100-96)1,9\cdot 10^4} = 0,7 м^3/ч.$$

Далее принимается метод удаления осадка из отстойника. В данном случае, так как тонкослойный отстойник рекомендуется располагать над поверхностью земли, целесообразно принять многобункерную конструкцию отстойника с удалением осадка под гидростатическим напором.

Пример 4. Рассчитать тонкослойный отстойник, работающий по противоточной схеме удаления осадка (см. рис. 4).

Расчет ведется для случая очистки нефтесодержащих сточных вод НПЗ, когда для обеспечения снижения содержания нефтепродуктов до 50-70 мг/л из воды должны быть удалены глобулы нефти гидравлической крупностью $U_0^П$ = 0,3 мм/с, которая определена при отстаивании в слое воды h = 100 мм. Расход сточных вод q_W постоянен и составляет 600 м^3/ч, температура воды 20 °С.

Приняв по табл. 31 СНиП 2.04.03-85 высоту яруса h = 0,l м, и скорость рабочего потока $_W$ = 5 мм/с, определяем по формуле (18) длину пластины в ярусе

$$L_{ы} = 5\cdot\frac{0,1}{0,3} = 1,67 \approx 1,7 м.$$

Задавшись углом наклона пластин, определенным экспериментально, = 45°, определяем расстояние между пластинами

$$b_П = 0,1\cdot 1/\sqrt{2 = 0,07 м}.$$

Задаемся количеством ярусов в блоке (модуле) из условия простоты монтажа $n_{ы}$ = 15 шт. Определяем высоту блока по формуле (19)

$$H_{ы} = 0,07\cdot 15 = 1,05 м.$$

Ширина блока *Вы* определяется из условия ширины материала листа и условий монтажа. Назначаем ширину одной секции отстойника

$$B_{set} = B_{ы} = 6 м.$$

Определяем производительность одной секции по формуле (36) СНиП 2.04.03-85, если коэффициент использования объема K_{set} = 0,55 (табл. 31 СНиП 2.04.03-85);

$$q_{set} = 3,6\cdot 0,55\cdot 1,05\cdot 6\cdot 5 = 62,4 м^3/ч.$$

Толщиной пластин в блоке при технологическом расчете можно пренебречь.

Исходя из расхода сточных вод определяем количество секций отстойника

$$N = 600/62,4 = 9,6 \approx 10 шт.$$

Далее из конструктивных соображений и с учетом обеспечения гидравлического режима потоков воды, близкого к ламинарному, назначаются другие размеры секции отстойника. Например:

$$l_1 = l\sin \quad +0,5 = 1,7\cdot 0,707+0,5 = 1,7 м;$$

$$H_{ы}/\sin \quad = l_2 = 1,05/0,707 = 1,48 \approx 1,5 м;$$

WWW.STROYTENDERS.RU

h_3 = 0,5 м из условия более равномерного сброса очищенной воды;

$$l_2 = H_{ы}\cos \quad + l\sin \quad = 1{,}05\cdot 0{,}707 + 1{,}7\cdot 0{,}707 = 1{,}94 \text{ м};$$

h_3 = 0,5 м из условия равномерности распределения воды между ярусами блока. Таким образом $H_{об}$ = 0,5 + 1,94+0,5 = 2,94 м.

Пример 5. Требуется рассчитать отстойник, работающий по противоточной схеме, показанной на рис. 5, для очистки коагулированных сточных вод литейного производства расходом 500 м^3/ч, сточные воды с концентрацией механических примесей 1000 мг/л образуются постоянно, температура сточных вод T_w (в среднем) 30 °С. Экспериментально в заводской лаборатории установлено, что требуемая степень очистки (содержание взвесей 150-200 мг/л) обеспечивается при задержании частиц гидравлической крупностью 0,2 мм/с. Крупность определена по кривым кинетики отстаивания, полученным при температуре 20 °С в слое 100 мм.

По формуле (31) СНиП 2.04.03-85 уточняем величину гидравлической крупности

$$U_0^l = 0{,}2\cdot 1{,}005/0{,}8007 = 0{,}25 \text{ мм/с}.$$

По формуле (18) определяем длину пластины в ярусе L_{bl}, задавшись предварительно по табл. 3.1 СНиП 2.04.03-85 высотой яруса h_{ti} = 0,1 м; и скоростю потока в ярусе $_w$ = 5 мм/с

$$L_{bl} = (5\cdot 0{,}1)/0{,}25 = 2 \text{ м}.$$

Назначаем угол наклона пластин, определенный экспериментально: α = 50°.

Задаемся количеством секций отстойника N = 5 и определяем производительность одной секции q_{set} = 500/5 = 100 м^3/ч.

Задаемся шириной одной секции B_{bt} = 3 м.

По формуле (21) определяем длину зоны L_b тонкослойного отстаивания, если коэффициент использования ее объема в соответствии с табл. 31 СНиП 2.04.03-85 K_{set} равен 0,5:

$$L_b = 100/(3{,}6\cdot 0{,}5\cdot 5\cdot 3) = 3{,}7 \text{ м}.$$

Задаем длину зон тонкослойного отстойника (см. рис. 5):

$l_1^П$ = 1,5 м; $l_2^П$ = 2 sin (90- 50°) = 2·0,64 = 1,28; $l_3^П$ = 0,3 м; $l_4^П$ = 0,1 м; $l_Л^П$ = 0,5 м, а затем по формуле (22) определяем общую рабочую длину отстойника

$$L_{стр}^0 = 3{,}7 + 1{,}5 + 1{,}28 + 0{,}3 + 0{,}1 + 0{,}5 = 7{,}38 \approx 8 \text{ м}.$$

По формуле (23) определяем общую глубину воды в отстойнике $H_{стр}$, предварительно задавшись высотой зон: $h_1^П$ = 0,1; $h_2^П$ = 2 sin 50° = 2·0,77 = 1,54; $h_3^П$ = 0,3; $h_4^П$ = 0,2; $h_5^П$ = 0,3;

$$H_{стр} = 0{,}1 + 1{,}54 + 0{,}3 + 0{,}2 + 0{,}3 = 2{,}44 \text{ см} = 2{,}5 \text{ м}.$$

Принимаем удаление осадка в приямок скребковым механизмом. По формуле (37) СНиП 2.04.03-85 определяется расход удаляемого осадка

$$Q_{mud} = (1000 - 200)\ 500/(100 - 96)\ 2{,}6\cdot 10^4 = 3{,}85 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Пример 6. Необходимо повысить эффективность работы действующего раднального отстойника D_{set} = 30 м, на который подается расход воды q_{set} = 1000 м^3/ч. При этой производительности в отстойнике задерживаются частицы гидравлической крупностью U_o =

WWW.STROYTENDERS.RU

1 мм/с, что не удовлетворяет предъявляемым требованиям. Анализ характеристики загрязнений показал, что требуемый эффект очистки обеспечивается при выделении примесей гидравлической крупностью 0,25 мм/с и более.

Одним из путей интенсификации работы существующих отстойников является дополнение их тонкослойными блоками (модулями) (см. рис. 6).

Требуется определить размеры тонкослойных блоков, которыми должен быть оборудован радиальный отстойник.

Приняв по табл. 33 СНиП 2.04.03-85 скорость потока υ_w =5 мм/с и высоту яруса h_{ti} = 0,07 м по формуле (18), определяем длину пластин в блоке

$$L_{bt} = 5 \cdot 0{,}07/0{,}25 = 1{,}4 \text{ м.}$$

Задавшись диаметром D_i = 27 м, на котором предполагается расположить блоки с параллельными пластинами, по формуле (27) определяем высоту блока, при коэффициенте использования объема K_{set} = 0,45, определяемого по табл. 31 СНиП 2.04.03-85

$$_{bl} = \frac{1000 \cdot 0{,}07}{3{,}6 \cdot 0{,}45 \cdot 3{,}14 \cdot 27 \cdot 1{,}4 \cdot 0{,}25} - 1{,}47 \approx 1{,}5 \text{ м.}$$

Рассчитываем количество ярусов в блоке (модуле)

$$n_{ti} = 1{,}5/0{,}07 = 21{,}4 \approx 22 \text{ яруса.}$$

Гидроциклоны

1.15. Для расчета и проектирования установок с открытыми гидроциклонами должны быть заданы те же параметры по воде и по загрязнениям, что и для отстойников (см. п. 1.8).

Гидравлическая крупность частиц, которые необходимо выделить для обеспечения требуемого эффекта очистки, определяется при высоте слоя воды, равном 200 мм. Для многоярусных гидроциклонов слой отстаивания должен быть равен высоте яруса.

Основной расчетной величиной открытых гидроциклонов (рис. 7 - 9) является удельная гидравлическая нагрузка, которая определяется по формуле (38) СНиП 2.04.03-85.

Величину конструктивных параметров ($D_{hc}b_{cn}$ и т.д.), входящих в расчетные зависимости, следует назначать по табл. 4. Производительность одного аппарата рассчитывается по формуле (41) СНиП 2.04.03-85

$$Q_{hc} = 0{,}785 q_{hc} D_{hc}^2 .$$

Исходя из общего количества сточных вод Q_w определяется количество рабочих единиц гидроциклонов: $N = Q_W/Q_{hc}$. После назначения диаметра аппарата и определения их количества по табл. 4 определяются основные параметры гидроциклона.

Угол наклона образующей конических диафрагм в открытых гидроциклонах в каждом конкретном случае должен задаваться в зависимости от свойств выделяемого осадка, но не менее 45°. Диафрагмы в открытых гидроциклонах могут быть выполнены как из стали, так и из неметаллических материалов: ткань, пластик и т.д.

В распределительном канале пропорционального водораспределительного устройства многоярусного гидроциклона скорость восходящего потока должна быть не менее 0,4 м/с.

WWW.STROYTENDERS.RU

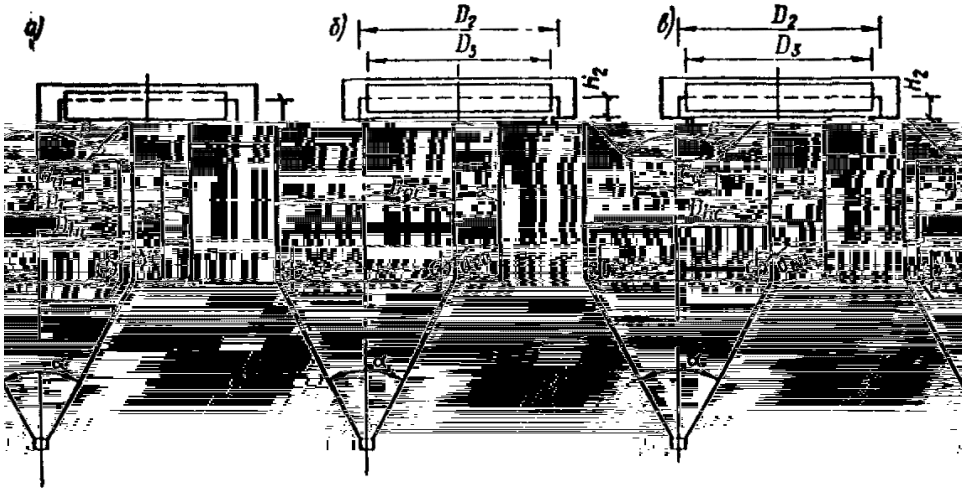


Рис. 7. Схемы открытых гидроциклонов

а - без внутренних вставок; *б* - с конической диафрагмой; *в* - с конической диафрагмой и внутренним цилиндром

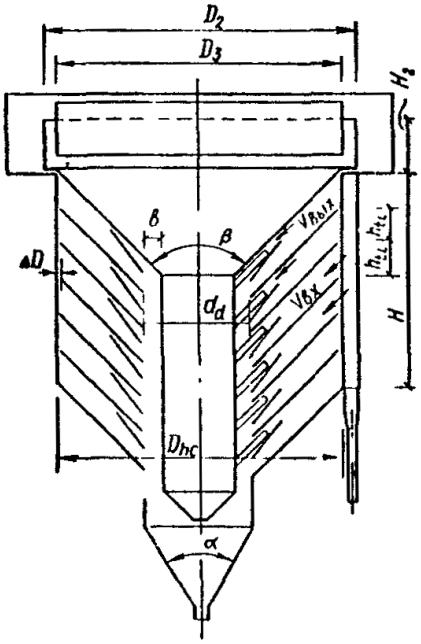


Рис. 8. Схема многоярусного гидроциклона с центральными выпусками

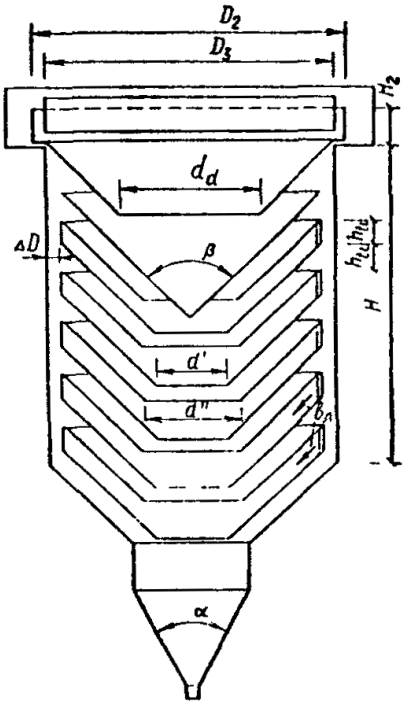


Рис. 9. Схема многоярусного гидроциклона с периферийным отбором очищенной воды

WWW.STROYTENDERS.RU

Таблица 4

На именование конструктивного элемента	Единица измерения	Тип гидроциклона по рис.				
		7, *а*	7, *б*	7, *в*	8	9
1	2	3	4	5	6	7
Диаметр аппарата	м	2-10	2-6	2-6	2-6	2-6
Высота цилиндрической части H	доля от D_{hc}	D_{hc}	D_{hc}	D_{hc} +0,5	-	-
Размер впускного патрубка	»	0,07	0,05	0,05	Определяется по скорости входа	
Количество впусков n_l	шт.	2	2	2	3	3
Угол конической части	град	60	60	60	60	60
Угол конуса диафрагм	»	-	90	90	90-60	90-60
Диаметр центрального отверстия в диафрагме d_1	доля от D_{hc}	-	0,5	0,5	0,6-1,4 м	0,9 - 1,6 м* / 0,6 - 1,0
Диаметр внутреннего цилиндра D_l	то же	-	-	0,88	-	-
Высота внутреннего цилиндра H_l	»	-	-	1,0	-	-
Высота водосливной стенки над диафрагмой H_2	м	-	0,5	0,5	0,5	0,5
Диаметр водосливной стенки, D_2	в долях от D_{hc}	D_{hc}	D_{hc} +0,2	D_{hc} +0,2	D_{hc} +0,2	D_{hc} +0,2
Диаметр полупогруженной кольцевой перегородки D_3	то же	D_{hc} - 0,2	D_{hc}	D_{hc}	D_{hc}	D_{hc}
Высота ярусов h_{ti}	м	-	-	-	0,1-0,25	0,1-0,2
Число ярусов n_{ti}	шт.	-	-	-	4-20	4-20
Зазор между корпусом и диафрагмой ΔD	м	-	0	0	0,05-0,07	0,1-0,15
Ширина шламоотводящей щели b	»	-	-	-	0,1-0,15	-
Скорость потока на входе в аппарат u_{bn},	м/с	0,3-0,5	0,3-0,5	0,3-0,5	0,3-0,4	0,3-0,4
Скорость потока на входе в раструб выпуска $u_{вых}$	»	-	-	-	$\leq 0,1$	-
Количество выпусков из яруса n_3	шт.	-	-	-	3	-

* Над чертой показан размер нижней диафрагмы пары ярусов, под чертой - верхней.

WWW.STROYTENDERS.RU

При расположении гидроциклонов над поверхностью земли и удалении осадка под гидравлическим напором, отвод осадка производится с разрывом струн через коническую насадку, присоединенную к шламовому патрубку через задвижку. Диаметр шламовой насадки подбирается при наладке сооружения. Для предупреждения засорения насадки крупными загрязнениями перед ней, но после задвижки, устанавливается камера, в которой располагается решетка, набранная из металлической полоски с прозорами 6-8 мм.

Для равномерного распределения воды между гидроциклонами их водосливные кромки должны располагаться на одной отметке, а на подводящих трубопроводах должны быть установлены водоизмерительные устройства.

Напорные гидроциклоны

1.16. Посредством напорных гидроциклонов успешно решаются следующие технологические задачи, осветление сточных вод, например стекольных заводов, автохозяйств (удаление песка, глины и других минеральных компонентов), литейных производств (удаление компонентов формовочной земли), нефтепромыслов (удаление нефтепродуктов и шлама), мясокомбинатов (удаление частиц минерального происхождения) и т.д.

Обогащение твердой фазы стоков (удаление из твердой фазы частиц минерального или органического происхождения, снижающих ценность основного продукта). Например, обогащение твердой фазы сточных вод галтовочных барабанов, в которых содержится ценный карборундовый порошок и отходы процесса шлифовки керамики, с обеспечением повторного использования порошка карборунда в процессе шлифовки.

1.17. Для обезвоживания сырых осадков при использовании тисковых центрифуг напорные гидроциклоны надлежит применять для предварительного удаления абразивных частиц твердой фазы осадка, обеспечивающего защиту центрифуг от абразивного износа.

Удаление из известкового молока инертных примесей (частиц песка, необожженного известняка) позволяет повысить надежность работы дозаторов, реакторов, контрольно-измерительной аппаратуры.

1.18. Классификация частиц твердой фазы сточных вод: разделение частиц на фракции с различной крупностью. Например, классификация частиц твердой фазы сточных фаз литейных производств с повторным использованием отдельных фракций в технологическом процессе.

Процесс классификации реализуется с использованием нескольких ступеней разделения в напорных гидроциклонах с получением на каждой ступени фракций с определенными размерами частиц.

1.19. На очистных сооружениях в напорных гидроциклонах производится сгущение сточных вод и осадков. Учитывая то, что объем сгущенного продукта в напорных гидроциклонах может составлять всего 2,5-10 % начального объема обрабатываемой суспензии, технологическая операция сгущения может обеспечить значительную экономию материальных затрат на строительство очистных сооружений и участков обработки осадков. При этом происходит эффективная отмывка минеральных частиц от налипших на них органических загрязнений, например, на очистных сооружениях НПЗ при обработке песка, выгружаемого из песколовки гидроэлеваторами, или при отмывке песчаной загрузки фильтров при ее гидроперегрузке.

1.20. В зависимости от расположения напорных гидроциклонов в технологическом процессе и схемы их обвязки могут иметь место четыре гидродинамических режима работы:

при свободном истечении верхнего и нижнего продуктов в атмосферу $P_{вх} = P_a$; $P_{шл} = P_a$;

при наличии противодавления со стороны сливного трубопровода и свободном истечении шлама $P_{вх}>P_a$; $P_{шл} = P_a$;

при противодавлении со стороны спинного и шламового трубопроводов $P_{вх}>P_a$; $P_{шл}>P_a$.

Режимы работы гидроциклонов учитываются при расчете конструктивных и технологических параметров.

1.21. Одной из важных особенностей напорных гидроциклонов является сильная корреляция производительности и эффективности разделения суспензий с основными

WWW.STROYTENDERS.RU

конструктивными и технологическими параметрами аппаратов (рис. 10).

Наибольшие значения коэффициентов корреляции имеют следующие параметры: диаметр цилиндрической части гидроциклона D_{hc} площадь питающего патрубка F_{en}, диаметры сливного и шламового патрубков $d_{вх}$, $d_{шл}$; высота цилиндрической части $H_ц$, угол конусности конической части , перепад давления в гидроциклоне $\Delta P = P_{cn}-P_{cx}$, концентрации суспензии на входе в гидроциклон C_{cn}, размеры и плотность частиц твердой фазы суспензии d_{cp} T.

1.22. Основные размеры напорного гидроциклона подбираются по данным заводов изготовителей при этом должны учитываться:
диаметр питающего d_{en} и сливного d_{ex} патрубков должны отвечать соотношениям d_{en}/d_{ex} = 0,5-1;d_{en}/D_{hc} = 0,12-0,4;

$$d_{en} \le \left(\frac{D_{hc} - d_{bx}}{2}\right) - \Delta ,$$

где Δ - толщина стенки сливного патрубка; $d_{шл}$ - диаметр шламового патрубка назначается из соотношения $d_{шл}/d_{ex}$ = 0,2-1,0 (для предупреждения засорения шламового патрубка его минимальный диаметр должен в 6-8 раз превышать максимальный размер частиц загрязнений); $H_ц$ - высота цилиндрической части для гидроциклонов осветлителей должна приниматься: $H_ц$ = (2-4)D_{hc}, для гидроциклонов сгустителей: $H_ц$ = (1-2)$D_{hc.}$

Угол конусности конической части следует принимать для гидроциклонов осветлителей 5-15°, для гидроциклонов сгустителей - 20-45°.

1.23. В зависимости от особенностей решаемых технологических задач могут применяться двух продуктовые (см. рис. 10) и многопродуктовые (рис. 11) напорные гидроциклоны. В последнем случае аппараты имеют несколько сливных трубопроводов, отводящих целевые продукты из различных зон восходящего вихревого потока гидроциклонов. Такие конструкции аппаратов, как правило, применяются при разделении многофазных сред.

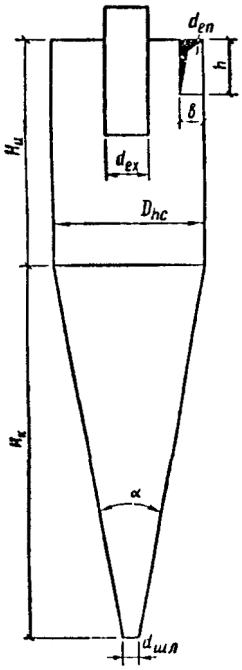


Рис. 10. Схема напорного гидроциклона

WWW.STROYTENDERS.RU

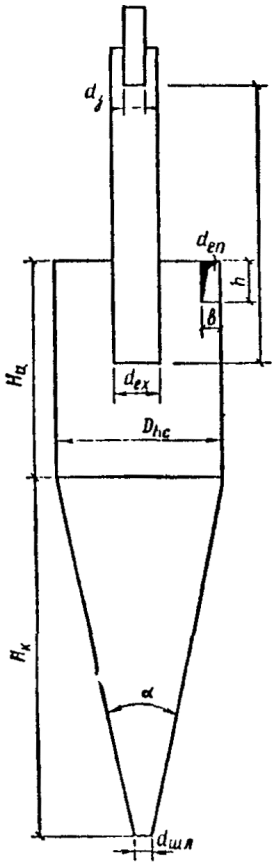


Рис. 11. Схема трехпродуктового напорною гидроциклона

1.24. За последние годы в ряде отраслей промышленности широко внедряются мультигидроциклоны - монолитные или сборные блочные конструкции, включающие десятки или сотни единичных напорных гидроциклонов, имеющих единые питающие, сливные и шламовые камеры. Путем создания мультигидроциклонов успешно реализуется возможность промышленного применения высокоэффективных двухпродуктовых и многопродуктовых напорных гидроциклонов с малым диаметром цилиндрической части от 8 до 75 мм.

1.25. Для выделения из сточных вод частиц механических загрязнении крупностью = 50-100 мкм (табл. 5) рекомендуются конструкции напорных гидроциклонов малых диаметров, выпускаемых Усолье-Сибирским заводом горного оборудования.

Для выделения из сточных вод мелкодисперсных механических примесей и сгущения осадка - гидроциклоны опытно-экспериментального завода Дзержинского филиала Ленниихиммаш (табл. 6).

Таблица 5

Наименование узлов и деталей, технологические параметры	Размеры основных узлов и деталей			
	ГЦ-150К*	ГЦ-250К*	ГЦ-360К*	ГЦ-500К*
Внутренний диаметр цилиндрической части D_{hc}, мм	150	250	350	500
Сечение вкладыша питающего патрубка на входе в гидроциклон $b \times h$ мм	15×45	30×65	40×40	55×140
Диаметр патрубка питающего d_{en}, мм	50	80	100	150
Насадок сливной $d_{вх}$, мм	40	65	90	130
Патрубок сливной $d_{сх}$, мм	65	100	100	150
Патрубок шламовый $d_{шл}$, мм	12; 17; 24	17; 24; 34	24; 44; 48	31; 48; 75
Угол конусности конической части град	20	20	20	20
Масса гидроциклона, кг	94	209	344	605
Объемная производительность Q_{en}, м^3/$_4$, при P_{en}	12-35	30-85	55-160	98-281

WWW.STROYTENDERS.RU

= 0,03-0,25, МПа Граничная крупность разделения $_{гр}$, мкм	28-95	37-135	44-160	52-240

* ГЦ - сокращенное название гидроциклона; цифры - внутренний диаметр цилиндрической части, мм; буква *К* - внутренняя поверхность стенок аппарата футерована каменным литьем.

WWW.STROYTENDERS.RU

Таблица 6

Наименование узлов и деталей. Технические параметры	Размеры основных узлов и деталей											
	Тип гидроциклонов*											
	ГН-25	ГН-40	ГН-60	ГН-80	ГНС-100	ГНС-125	ГНС-160	ГНС-200	ГНС-250	ГНС-320	ГНС-400	ГНС-500
Диаметр: цилиндрической части D_{hc}, мм	25	40	60	80	100	125	160	200	250	320	400	500
питающего патрубка d_{en}, мм	4, 6, 8	6, 8, 12	8, 12, 16	10, 12, 16, 20	12, 16, 20, 25	16, 25, 32, 40	20, 25, 32, 40, 50	25, 32, 40, 50, 60	32, 40, 50, 60, 80	40, 50, 60, 80, 100	50, 60, 60, 100, 125	60, 80, 100, 125, 160
сливного патрубка d_{ex}, мм	5, 8, 12	8, 12, 16	12, 16, 20	16, 20, 32	20, 32, 40	25, 32, 40, 50	32, 40, 50, 60	40, 50, 60, 80	50, 60, 80, 100	60, 80, 100, 125	80, 100, 125, 160	100, 125, 160, 200
шламового патрубка $d_{шл}$, мм	3, 4, 5	4, 5, 6	5, 6, 8	6, 8, 10, 12	8, 10, 12, 16	8, 10, 12, 16	10, 12, 16, 20, 25	12, 16, 20, 25	16, 20, 25, 32, 40	16, 20, 25, 32, 40, 50	20, 25, 32, 40, 50	25, 32, 40, 50, 60
Угол конусности конической части , град	5, 10, 15	5, 10, 15	5, 10, 15, 20	5, 10, 15, 20	10, 15, 20	10, 15, 20	10, 15, 20	10, 15, 20, 30	10, 15, 20, 30	10, 15, 20, 30	15, 20, 30, 45	15, 20, 30, 45
Высота цилиндрической части $H_ц$, мм	25, 50, 75, 100	40, 80, 60, 120, 160	60, 120, 180, 240	80, 160, 240, 320	100, 200, 300, 400	125, 250, 375	160, 320, 480	200, 400, 600	250, 500, 750	320, 500, 750	400, 500, 800	500, 750, 1000
Глубина погружения сливного патрубка $H_к$, мм	10, 16, 25	16, 25, 32	25, 32, 40	32, 40, 64	40, 64, 80	50, 64, 80, 100	64, 80, 100, 120	80, 100, 120, 160	120, 160, 200	120, 160, 200, 250	160, 200, 250, 320	200, 250, 320, 400
Объемная производительность Q_{en} при P_{en} = 0,1 МПа	0,3-1,1	0,6-2,2	1,1-3,7	1,8-6,4	2,7-10,1	4,4-21,1	6,7-31,8	10,2-47,4	16,3-78,7	24,05-117,3	37,67-180,3	54,6-282
Граничная крупность разделения $_{гр}$, мкм	2,3-64	2,3-84,9	3,4-92,9	4,3-103,0	6,1-150	6,6-311	8,9-330,8	10,5-342	12,5-413,3	15,3-685,5	17,5-745,0	20,5-884

* ГН - гидроциклон напорный с монолитными элементами, ГНС - со сборными элементами рабочей камеры.

1.26. Гидроциклоны малых диаметров объединяются в батареи и блоки(мультициклоны), что позволяет при обеспечении требуемого эффекта очистки и производительности добиться максимальной компактности установки.

Батарейные гидроциклоны имеют единую систему питания, а также системы сбора верхнего и нижнего продуктов разделения. Батарейный гидроциклон, состоящий из 12 аппаратов D_{hc} = 75 мм, имеющий производительность 60-70 м^3/ч, изготавливает опытно-экспериментальный завод Ленниихиммаш. Материал - нержавеющая сталь.

Аппарат рекомендуется к применению в технологических процессах очистки производственных сточных вод литейных, стекольных и керамических производств и т.д. Опытно-экспериментальный завод Дзержинского филиала Ленниихиммаш изготавливает батарейные гидроциклоны, включающие шесть единичных гидроциклонов D_{hc} = 125 мм (d_{en} = 25 мм; $d_{вх}$ = 35 мм; $d_{шл}$ = 12 мм; = 10°). С целью сокращения расхода шлама и повышения надежности работы батареи, единичные гидроциклоны снабжаются автопульсирующими шламовыми патрубками.

Производительность батарейного гидроциклона при давлении питания 0,4 МПа-120 м^3/ч.

WWW.STROYTENDERS.RU

Материал - нержавеющая сталь.

Центральным научно-исследовательским институтом крахмало-паточной промышленности (ЦНИИКПП) разработаны конструкции мультигидроциклонов марки ГБ-2, ГБ-3, ГБ-6, ГБ-7, ГП-8, (табл. 7). Серийное производство аппаратов осуществляет Кореневский опытный завод ЦНИИКПП.

Единичные аппараты изготовляют из пластмасс. Основные геометрические размеры и технологические параметры мультигидроциклонов приведены в табл. 7. Назначение аппаратов; разделение суспензии картофеле- и кукурузокрахмального производства. В технологии очистки сточных вод мультигидроциклонов ЦНИИКПП рекомендуется применять для механической очистки промышленных стоков, содержащих минеральные частицы размером = 200 мкм и плотностью $_T$ = 2,7 г/см^3.

Таблица 7

Наименование узлов и деталей, технологические параметры	Тип мультигидроциклонов				
	ГБ-2*	ГБ-3*	ГБ-6**	ГБ-7**	ГБ-8**
1	2	3	4	5	6
Единичный гидроциклон:					
диаметр цилиндрической части D_{hc}, мм	20	20	20	20	20
размер питающего патрубка d_{cn}, мм	2×5	2×5	2×5	2×5	2×5
диаметр сливного патрубка $d_{вх}$, мм	6	6	6	6	6
диаметр шламового патрубки $d_{шл}$, мм	3	3	3	3	3
Угол конической части , град	10	10	10	10	10
Число гидроциклонов в выпускаемых, шт	29	48	16	24	48
Давление питания мультигидроциклонов P_{en}. МПа	0,4-0,5	0,4-0,5	0,4-0,5	0,4-0,5	0,4-0,5
Объемная производительность блока $Q_{вп}$, м^3/ч	15,0	25,0	8,0	15,0	25,0
Габариты блока мультигидроциклонов, мм:					
высота	1017	1147	1243	1336	1410
ширина	475	475	374	440	477
длина	475	475	400	400	400
Масса блока мультигидроциклонов. кг	250	290	60	96	133

* Мультигидроциклоны первого выпуска.
** Модернизированная конструкция мультигидроциклонов.

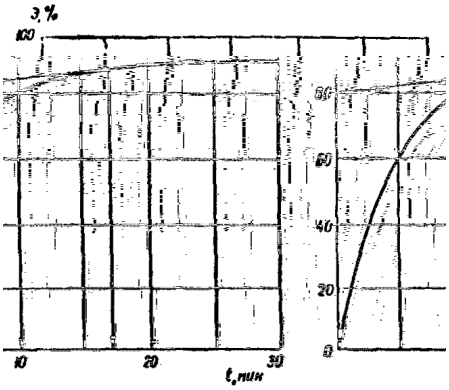


Рис. 12. Кинетика отстаивания сточных вод фасонно-формовочного цеха (C_o = 300 мг/л; h = 200 мм)

1.27. Для проектирования гидроциклонных установок должны быть заданы те же данные о характеристике сточных вод и механических загрязнений, что и при проектировании других методов механической очистки.

1.28. По кривой кинетики отстаивания (рис. 12) по заданному эффекту очистки определяется охватывающая гидравлическая крупность U_o, мм/с:

WWW.STROYTENDERS.RU

WWW.STROYTENDERS.RU

Для расчета принимаем открытый гидроциклон с конической диафрагмой и внутренним цилиндром (см. рис. 7, *в*).

По формуле (38) СНиП 2.04.03-85 рассчитываем удельную гидравлическую нагрузку на гидроциклона

$$q_{hc} = 3{,}6 \cdot 1{,}98 \cdot 0{,}3 = 2{,}l4 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}).$$

Определяем общую площадь зеркала воды в гидроциклонах

$$F_{hc} = 50/2{,}14 = 23{,}4 \text{ м}^2.$$

Задавшись диаметром гидроциклона D_{hc} = 3 м, рассчитываем их количество N, шт.:

$$N = 23{,}4/3^2 \cdot 0{,}785 = 3{,}3$$

Принимаем 3 гидроциклона диаметром D_{hc} = 3 м.

По табл. 4 рассчитываем все конструктивные размеры гидроциклона с конической диафрагмой и внутренним цилиндром (графа 5): высота цилиндрической части, H_{hc}: = 3 м; диаметр впускного патрубка d_{en} = 150 мм; количество патрубков n = 2; угол конической части = 60°; угол конуса диафрагм = 90°; диаметр центрального отверстия в диафрагме d_d = 1,5 м; диаметр внутреннего цилиндра D_1 = 2,64 м; высота внутреннего цилиндра H_1 = 3 м; высота водосливной стенки H_2 = 0,6 м; диаметр водосливной стенки D_2 = 3,2 м; диаметр водопогруженного щита D_3 = 3 м.

Выбираем материал для изготовления гидроциклона.

При решении о применении железобетона для выполнения корпуса аппарата в проекте обязательно должно быть оговорено непременное применение опалубки, позволяющей получить гладкую внутреннюю поверхность в аппарате.

Далее с учетом п. 6.89 СНиП 2.04.03-85 приступают к проектированию схемы гидроциклонной установки.

Пример 8. Требуется запроектировать установку с многоярусными гидроциклонами для очистки сточных вод цеха среднесортного проката. Расход сточных вод 1500 м^3/ч. Расход воды практически постоянен в течение суток. Температура воды T_w в течение года изменяется в пределах 15-30 °С. Концентрация взвесей в исходной воде составляет 250 мг/л, масла 60 мг/л.

В очищенной воде содержание тяжелых примесей не должно превышать 60 мг/л, масел 25 мг/л. По данным анализа кривых кинетик отстаивания сточных вод при температуре 20 °С в слое h = 200 мм, требуемая степень очистки обеспечивается при задержании частиц тяжелых примесей крупностью 0,3 мм/с и 0,5 мм/с - легче воды, поэтому за расчетную принимается 0,3 мм/с.

Принимаем многоярусный гидроциклон с центральными выпусками (см. рис. 8).

Расчет производится в следующем порядке.

Задаемся диаметром гидроциклона D_{hc} = 5 м.

По формулам (38). (39) СНиП 2.04.03-85 рассчитываем удельную гидравлическую нагрузку, приходящуюся на один ярус гидроциклона:

$$q_{hc} = 3{,}6 \cdot 0{,}75 \cdot 0{,}3 \cdot \frac{5^2 - (1+0{,}7)^2}{5^2} = 0{,}7 м^2/(м^2 \cdot ч).$$

Зная диаметр аппарата (D_{hc} = 5 м), определим расход воды, который может подаваться на один ярус:

$$q_{hc} = 0{,}785 \cdot 5^2 \cdot 0{,}7 = 13{,}73 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Определяем количество ярусов

WWW.STROYTENDERS.RU

$$n_{ti} = 1200/13{,}73 = 87{,}4 \approx 88 \text{ шт.}$$

Задавшись количеством ярусов в гидроциклоне n = 15 шт., определяем количество рабочих аппаратов

$$N = 88/15 \approx 6 \text{ шт.}$$

По табл. 4 назначаем основные размеры аппарата.

Пример 9. Требуется запроектировать установку с многоярусными гидроциклонами для очистки сточных вод от вагранок литейного цеха.

Расход сточных вод 680 м^3/ч. Расход воды практически постоянен в течение суток. Температура воды в течение года изменяется в пределах 22-60 °С. За расчетную принимаем 30 °С. Концентрация взвесей в исходной воде составляет 800-1200 мг/л. В очищенной воде содержание тяжелых примесей не должно превышать 150 мг/л.

По данным анализа кривых кинетик отстаивания сточных вод при температуре 20°С, в слое h = 200 мм требуемая степень очистки обеспечивается при задержании частиц крупностью 0,2 мм/с.

В качестве очистного сооружения принимаем многоярусный гидроциклон с периферийным отбором очищенной воды (см. рис. 9). Расчет производится в следующем порядке.

Задаемся следующими параметрами гидроциклона: диаметр гидроциклона D_{hc} = 5 м; диаметр центрального отверстия верхней диафрагмы прямоточного яруса d_d = 1 м; высота ярусов h_{ti} = 0,12 м.

По формулам (38), (40) СНиП 2.04.03-85 рассчитываем удельную гидравлическую нагрузку, приходящуюся на один ярус гидроциклона, b - ширина периферийной щели для отвода очищенной воды, назначаем b = 0,1 м; K_{set} - коэффициент использования объема яруса, так как гидравлическая нагрузка на ярус обещает быть небольшой, принимаем K_{set} = 0,4.

Если температуру оборотной воды принимаем равной 30 °С, тогда гидравлическая крупность по зависимости (31) СНиП 2.04.03-85 при этой температуре составит

$$U_0^t = 0{,}2 \cdot 1/0{,}8 = 0{,}25 \text{ мм/с;}$$

$$q_{hc} = 3{,}6 \cdot 2 \cdot \frac{5^2 - (1 + 2 \cdot 0{,}1)^2}{5^2} \cdot 0{,}25 \cdot 0{,}4 = 0{,}679 м^3/(ч \cdot см^2).$$

Зная диаметр аппарата (D_{hc} = 5 м), определим расход воды, который может подаваться на один ярус

$$Q_{hc} = F_{hc} q_{hc} = \frac{D_{hc}^2}{4} q_{hc} = 5^2 \cdot 0{,}679 = 13{,}33 м^3/ч.$$

Определим количество ярусов

$$n_{ti} = 680/13{,}33 = 51 \text{ шт.}$$

Задавшись количеством пар ярусов в гидроциклоне n_1 = 15шт., определим количество аппаратов

$$N = 51/15 = 3{,}4 \approx 4 \text{ шт.}$$

По табл. 4 (графа 7) назначаем все остальные размеры многоярусного гидроциклона:

высоту цилиндрической части определяем исходя из количества ярусов $H_ц = 2\ h_{ti} n_{ti} + 400$ = 4000 мм; количество впусков $n_{вп}$ = 3; угол конической части, = 60°; угол конуса диафрагм, = 50°; диаметр центрального отверстия, d_d = 1 м; высоту ярусов принимаем h_{ii} = 0,12 м;

WWW.STROYTENDERS.RU

зазор между корпусом и диафрагмой ΔD = 0,1 м; скорость потока на входе $_{сп}$ = 0,3 м/с; размер впускной щели: высота 0,12 м; ширина 13,3·1000/0,3·3600 = 12 мм; высота водосливной стенки H_2 = 0,5м.

Пример 10. Требуется запроектировать очистные сооружения фасонно-формовочного цеха, сточные воды которого в основном представлены пылевидными частицами песка, глины, шлака, формовочной земли и т.д. Расход сточных вод в среднем составляет 120 м^3/ч. Концентрация взвешенных веществ изменяется в пределах 1500-3000 мг/л. Кривая кинетики отстаивания приведена на рис. 12. По требованиям производств эту воду необходимо очистить до 10 мг/л, т.е. 99,7 %. Подобные жесткие требования диктуются условиями предохранения плунжерных насосов от образивного износа. Этими насосами очищенная сточная вода будет подаваться в технологический процесс. Температура воды 20 °С; pH = 6-7. Удельный вес механических загрязнений в среднем равен: $_{г}$ = 2,6 г/см^3.

Расход воды следует считать постоянным в течение суток.

Для достижения столь грубой степени очистки принимаем двухступенную схему очистки, по которой на период ступени применены напорные гидроциклоны, в которых обеспечивается удаление основной массы механических загрязнений (*Э* = 80 %), на второй ступени - отстаивание с применением реагентов. В данном примере рассматривается лишь расчет напорных гидроциклонов.

По кривой кинетики отстаивания (см. рис. 12) по заданному эффекту *Э* = 80 % определяем охватывающую гидравлическую крупность U_0 = 200/l0,60 = 0,33 мм/с.

Затем из точки на оси ординат, соответствующей заданному эффекту очистки (80 %), проводим касательную к кривой. Из точки касания опускаем перпендикуляр на ось абсцисс и по найденному времени $t_{гр}$ = 16,5 мин рассчитываем граничную гидравлическую крупность

$$U_{гр} = 200/(16{,}5\cdot 60) = 0{,}2 \text{ мм/с}.$$

Затем по формуле (31) рассчитываем граничный диаметр гр**,** мкм, задерживаемых частиц

$$_{гр} = \sqrt{\frac{18\cdot 0{,}01\cdot 0{,}002}{(2{,}6-1)\cdot 980}} = 4{,}57\cdot 10^{-4}\,см = 45{,}7\,мкм.$$

После определения граничной крупности по табл. 6 подбираем гидроциклон, который может выделить частицы этой крупности D_{hc} = 80 мм и по этой же таблице в соответствии с рекомендуемыми соотношениями СНиП 2.04.03-85 назначаем размеры основных рабочих узлов $d_{еп}$ = 80·0,25 = 20 мм; $d_{вх}$ = 20/0,6 = 32 мм; $d_{шл}$ = 10; $H_ц$ = 4D_{hc} = 4·80 = 320 мм; = 10°;

$$H_K = D_{hc}/(2\ tg\ \ /2) = 457 \text{ мм}.$$

Давление питания принимаем $P_{вп}$ = 0,3 МПа.

По формуле (32) определяем гр

$$_{гр} = 2{,}7\cdot 10^3\cdot\frac{8^{0,543}2^{1,643}3{,}2^{0,014}0{,}01^{0,5}}{1{,}6^{0,572}32^{0,507}45{,}7^{0,714}1{,}6^{0,5}0{,}3^{0,222}} = 27\,мкм.$$

Вследствие того, что полученное значение гр = 27 мкм меньше значения гр = 47,5 мкм, которое требуется обеспечить, ожидается, что подобранный гидроциклон обеспечит эффект очистки несколько выше задаваемого.

В случае, если определенная $_{гр}$ была бы больше заданного, потребовалось бы подбор повторить, задаваясь другими размерами гидроциклона.

Далее по формуле (33) определяем производительность одного аппарата

WWW.STROYTENDERS.RU

$$Q_{en} = 1{,}03 \cdot 0{,}8^{0{,}053} \cdot 2^{1{,}28} \cdot 3{,}2^{0{,}405} \cdot 1{,}6^{0{,}143} \cdot 3{,}2^{0{,}015} \cdot 10^{0{,}025} \cdot 0{,}3^{0{,}443} = 3{,}7 \text{ л/с} = 13{,}3 \text{ м}^3\text{/ч}.$$

Исходя из общего количества сточных вод для их очистки потребуется гидроциклонов

$$N = 120/13{,}4 = 8{,}9 \approx 9 \text{ шт.}$$

В соответствии с п. 6.91 СНиП 2.04.03-85 установка должна включить 9 рабочих аппаратов и 1 (один) резервный. После определения количества гидроциклонов определяем расход воды, удаляемой со шламом, на который нужно рассчитывать уплотнитель осадка

$$q_{шл} = 0{,}07\ (13{,}4 \cdot 9) = 8{,}4 \text{ м}^3\text{/ч}.$$

2. СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Аэротенки

2.1. В соответствии с СНиП 2.04.03-85 технологические параметры аэротенков определяются расчетом по зависимостям (48)-(67). На очистных станциях производительностью более 30000 м^3/сут аэротенки, как правило, устраиваются в виде железобетонных резервуаров глубиной 4-5 м, шириной коридоров 6-9 или 12 м. Количество коридоров и их длин зависят от типа аэротенка и компоновки очистных сооружений.

Аэротенки - смесители без регенераторов

2.2. Сооружения этого типа целесообразно применять для очистки производственных сточных вод при относительно небольших колебаниях их состава и присутствии в воде преимущественно растворенных органических веществ, например на второй ступени биологической очистки сточных вод и системы канализации нефтеперерабатывающих заводов.

Пример. Исходные данные: расчетный расход сточных вод в смеси с городскими 1250 м^3/ч; БПК$_{долн}$ воды (после аэротенков I ступени) и смешения с городскими в соотношении 1:1 *(L_{en})* = 150 мг/л; БПК$_{долн}$ очищенной воды (L_{ex}.) = 15 мг/л.

Значения констант принимаются из уравнения (40) СНиП 2.04.03-85: $_{max}$ = 59 мг БПК$_{долн}$/(г-ч); K_l = 24 мг/л; K_0 = 1,66 мг/л; = 0,158 л/г.

Доза ила и концентрация растворенного кислорода должны определяться по технико-экономическим расчетам. В данном случае практически установлены a_i = 2 г/л; C_0 = 2 мг/л. Величина , рассчитанная по уравнению (49) СНиП 2.04.03-85, составит

$$= \frac{{}_{max} L_{ex} C_0}{L_{ex} C_0 + K_i C_0 + K_0 L_{ex}} \cdot \frac{1}{1 + \ a_i} =$$

$$= \frac{59 \cdot 15 \cdot 2}{15 \cdot 2 + 24 \cdot 2 + 1{,}66 \cdot 15} \frac{1}{1 + 0{,}158 \cdot 2} = 13{,}02 \text{ мг БПК}_{полн}\text{(г·ч)}.$$

Период аэрации определяется по уравнению (48) СНиП 2.04.03-85

$$t_{atm} = (L_{en} - L_{вх}) / a_i (1 - s) \quad = \frac{150 - 15}{2(1 - 0{,}3)13{,}02} = 7{,}4ч;$$

$$q_i = 24 t_{atm}.$$

Объем аэротенков

$$W_{at} = q_W t_{atm} = 1250 \cdot 7{,}4 = 9250 \text{ м}^3$$

Степень рециркуляции определяется по формуле (52) СНиП 2.04.03-85. В первом приближении принимать I_i = 100 см^3/г, который потом уточняется по табл. 41 СНиП 2.04.03-

WWW.STROYTENDERS.RU

85, исходя из нагрузки на ил.

Аэротенки-смесители с генераторами

2.3. Эти сооружения применяются для очистки производственных сточных вод со значительными колебаниями состава и расхода стоков и присутствии в них эмульгированных и биологически трудноокисляемых компонентов, например, при очистке сточных вод 1 ступени второй системы канализации ППЗ.

Пример расчета.

Исходные данные: расчетный расход (с учетом неравномерности поступления) q_W = 625 м^3/ч; L_{en} = 300 мг/л; $L_{вх}$ = 100 мг/л.

Значения констант уравнения (49) приведены в табл. 40 СНиП 2.04.03-85: $_{max}$ = 59 мг БПК$_{полн}$/(г-ч); K_l = 24 мг/л; K_0 = 1,66 мг/л; = 0,158 л/г.

По данным технико-экономического расчета или опыту эксплуатации принимаются величины средней дозы ила a_{imix} = 3,5 г/л и концентрации растворенного кислорода C_o = 2мг/л.

Для расчета аэротенков, предназначенных для очистки производственных сточных вод, степень регенерации R_r задается по данным исследований или по опыту эксплуатации.

В данном случае степень регенерации принимается R_r = 0,3 (объем, занятый регенератором, составляет 30 %), иловой индекс I_i = 100 см^3/г.

По формуле (52) СНиП 2.04.03-85 определяется коэффициент рециркуляции

$$R_i = a_i/(1000/I_i - a_i) = 3{,}5/\left(\frac{1000}{100} - 3{,}5\right) = 0{,}54 .$$

Средняя скорость окисления в системе аэротенка с регенератором a_{imix} = 3,5 г/л определяется по формуле (49) СНиП 2.04.03-85, а значения констант по табл. 40 СНиП 2.04.03-85

$$= \frac{59 \cdot 100 \cdot 2}{100 \cdot 2 + 24 \cdot 2 + 1{,}66 \cdot 100} \frac{1}{1 + 0{,}158 \cdot 3{,}5} = 18{,}3 \text{ мг БПК}_{полн}\text{/(г·ч)}.$$

Общий период окисления при = 18,3 рассчитываем по формуле (48) СНиП 2.04.03-85

$$t_{atm} = \frac{300 - 100}{3{,}5(1 - 0{,}3)18{,}3} = 4{,}46 \text{ ч.}$$

Общий объем аэротенка и регенератора

$$W_{atm} + W_г = q_W t_{atm} = 625\ 4{,}46 = 2788 \text{ м}^2.$$

Общий объем аэротенка определяется по формуле

$$W_{atm} = (W_{atm} + W_r)/(1 + \frac{R_r}{1 - R_r}) =$$

$$= 2788/\left(1 + \frac{0{,}3}{1 - 0{,}3}\right) = 1952 \text{ м}^3.$$

Объем регенератора W_r = 2788-1952 = 836 м^3.

С учетом величины периода аэрации следует уточнить нагрузку на ил, а затем значения илового индекса. По формуле (53) СНиП 2.04.03-85 определим значения q_i

WWW.STROYTENDERS.RU

$$q_i \frac{(300-100)24}{3{,}5\cdot 4{,}46(1-0{,}3)} = 439 \text{ мг/г·сут.}$$

По табл. 41 СНиП 2.04.03-85 при этом значении q_i для сточных вод НПЗ I_i = 74 см^3/г, что отличается от ранее принятого I_i = 100 см^3/г.

С учетом проектирования значения I_i по формуле (52) СНиП 2.04.03-85 уточняется величина коэффициента рециркуляции

$$R_i = \frac{3{,}5}{\left(\frac{1000}{74} - 3{,}5\right)} = 0{,}35.$$

Для расчета вторичного отстойника уточняется доза ила в аэротенке по следующей формуле:

$$a_i = \frac{(W_{atm} - W_r)a_{imix}}{\left[W_{atm} + \left(\frac{1}{2R_i} + 1\right)W_r\right]}. \qquad (35)$$

Подставляя численные значения в формулу (35), получим

$$a_i = (2788\cdot 3{,}5)/\left[1952 + \left(\frac{1}{2\cdot 0{,}35} + 1\right)836\right] = 2{,}45 \text{ г/л.}$$

Гидравлическая нагрузка на вторичный отстойник определяется по формуле (67) СНиП 2.04.03-85 с учетом допустимого выноса ила из отстойника после I ступени биологической очистки a_i = 30 мг/л. Принимается радиальный отстойник с коэффициентом использования объема K_{ss} = 0,4, для которого при глубине зоны отстаивания 3 м гидравлическая нагрузка будет равна:

$$q_{ssa} = 4{,}5K_{ss}H_{set}^{0,8}/(0{,}1J_i a_i)^{0,5-0,01a_i} = \frac{4{,}5\cdot 0{,}4\cdot 3^{0,8}}{(0{,}1\cdot 70\cdot 2{,}45)^{0,5-0,01\cdot 39}} = 2{,}39 м^3/(м^2\cdot ч)$$

Аэротенки-вытеснители с регенераторами

2.4. Сооружения этого типа применяются для очистки городских сточных вод и близких к ним по составу промышленных при незначительных колебаниях в составе и расходе.

Пример расчета.

Исходные данные: расчетный часовой расход сточных вод q_W = 4200 м^3/ч; величина БПК$_{полн}$ исходной воды L_{en} = 250 мг/л; требуемая величина БПК$_{полн}$ очищенных вод $L_{вх}$ = 15 мг/л допустимый вынос ила из вторичных отстойников a_i = 10 мг/л

В начале по формуле (52) СНиП 2.04.03-85 определятся степень рециркуляции R_i, причем, в первом приближении принимается величина J_i = 100 см^3/г. Доза ила в аэротенке определяется оптимизационным расчетом с учетом работы вторичных отстойников, ориентировочно a_i = 3 мг/л.

$$R_i = 3/\left(\frac{1000}{100} - 3\right) = 0{,}43.$$

Величина БПК$_{полн}$ воды, поступающей в начало аэротенка-вытеснителя L_{mix}, определяется

WWW.STROYTENDERS.RU

по формуле (51) СНиП 2.04.03-85 с учетом разбавления циркуляционным илом

$$L_{mix} = \frac{L_{en} + L_{ex}R_i}{1 + R_i} = \frac{250 + 15 \cdot 0{,}43}{1 + 0{,}43} = 179 \text{ мг/л.}$$

Период пребывания сточных вод в аэротенке рассчитывается по формуле

$$t_{atv} = \frac{2{,}5}{\sqrt{a_i}} \lg \frac{L_{mix}}{L_{ex}} = \frac{2{,}5}{\sqrt{3}} \lg \frac{179}{15} = 1{,}55 \text{ ч.}$$

Доза ила в регенераторе определяется зависимостью (55) СНиП 2.04.03-85. В первом приближении

$$a_r = \left(\frac{1}{2R_i} + 1\right) a_i = \left(\frac{1}{2 \cdot 0{,}43} + 1\right) 3 = 6{,}49 \text{ г/л.}$$

Удельная скорость окисления рассчитывается по формуле (49), где величины констант и коэффициентов следует брать из табл. 40 СНиП 2.04.03-85. Для городских сточных вод max = 85 мг БПК$_{долн}$/(г·ч); K_i = 33 мг/л; K_0 = 0,626 мг/л; = 0,07 л/г; s = 0,3.

Концентрация кислорода и доза ила определяется оптимизационным расчетом. Для регенератора принимается в данном случае C_o = *2* мг/л, a_r = 6,49 г/л,

$$= \frac{85 \cdot 15 \cdot 2}{15 \cdot 2 + 33 \cdot 2 + 0{,}625 \cdot 15} \frac{1}{1 + 0{,}07 \cdot 6{,}49} = 16{,}6 \text{ мг БПК}_{полн}\text{/(г·ч).}$$

Продолжительность окисления загрязнений рассчитывается по формуле (54) СНиП 2.04.03-85

$$t_O = (L_{en} - L_{вх}) / R_i a_r (1 - s) = \frac{250 - 15}{0{,}43 \cdot 6{,}49(1 - 0{,}3)16{,}6} = 7{,}29 \text{ ч.}$$

Продолжительность регенерации ила по формуле (57) СНиП 2.04.03-85

$$t_r = t_o - t_{at} = 7{,}29 - 1{,}55 = 5{,}74 \text{ ч.}$$

Продолжительность пребывания в системе аэротенк-регенератор рассчитывается по формуле

$$t = (1+R_i)t_{ato} + R_i t_r \qquad (36)$$

Подставив численные значения, получим t = (1+0,43)1,55 + 0,43·5,74 = 4,68 ч.

Объем аэротенка определяется по формуле (58) СНиП 2.04.03-85

$$W_{at} = t_{ato}(1+R_i)q_W = 1{,}55\ (1+0{,}43)\ 4200 = 9309 \text{ м}^3$$

Объем регенератора - по формуле (59) СНиП 2.04.03-85

$$Wr = t_r\, R_i q_w = 5{,}74 \cdot 0{,}43 \cdot 4200 = 10366 \text{ м}^3.$$

Для уточнения илового индекса определяется средняя доза ила в системе аэротенк-регенератор по формуле

$$a_{imix} = [(1 + R_i)t_{at}a_i + R_i t_r a_r]/t, \qquad (37)$$

Подставив численные значения, получим

$$a_{imix} = [(1+0{,}43)\ 1{,}55 \cdot 3 + 0{,}43 \cdot 5{,}74 \cdot 6{,}49]/4{,}68 = 5{,}45 \text{ г/л.}$$

WWW.STROYTENDERS.RU

По формуле (53) СНиП 2.04.03-85 определяется нагрузка на ил q_i, где доза ила принимается равной величине a_{imix}, а период аэрации равен продолжительности пребывания в системе аэротенк - регенератор t:

$$q_i = \frac{24(250-15)}{5{,}45\cdot 0{,}7\cdot 4{,}68} = 355 \text{ мг·БПК}_{\text{полн}}/(\text{г·сут}).$$

По табл. 41 СНиП 2.04.03-85 для ила городских сточных вод при q_i = 355 мг /(г·сут), J_i = 76 см^3/г. Эта величина отличается от принятой ранее J_i- = 100 см^3/г.

По формуле (52) СНиП 2.04.03-85 с учетом скорректированной величины J_i = 76 см^3/г уточняется степень рециркуляции

$$R_i = 3/\left(\frac{1000}{76}-3\right) = 0{,}29.$$

Принимается R_i = 0,3. Эта величина существенно отличается от рассчитанной в первом приближении, поэтому нуждается в уточнении величины L_{mix} и t_{ai}. По формуле (51) СНиП 2.04.03-85

$$L_{mix} = \frac{250+15\cdot 0{,}3}{1+0{,}3} = 196 \text{ мг/л.}$$

По формуле (56) СНиП 2.04.03-85

$$t_{atv} = \frac{2{,}5}{\sqrt{3}}\lg\frac{196}{15} = 1{,}61 \text{ ч.}$$

По формуле (55) СНиП 2.04.03-85

$$a_r = \left(\frac{1}{2\cdot 0{,}3}+1\right)3 = 8 \text{ г/л.}$$

По формуле (49) СНиП 2.04.03-85

$$= \frac{85\cdot 15\cdot 2}{15\cdot 2+33\cdot 2+0{,}625\cdot 15}\times\frac{1}{1+0{,}07\cdot 8} = 15{,}47 \text{ мг·БПК}_{\text{полн}}/(\text{г·ч}).$$

По формуле (54) СНиП 2.04.03-85

$$t_o = \frac{250-14}{0{,}3\cdot 8(1-0{,}3)15{,}47} = 9{,}04 \text{ ч.}$$

По формуле (57) СНиП 2.04.03-85

$$t_r = 9{,}04 - 1{,}6 = 7{,}44 \text{ ч.}$$

Продолжительность пребывания в системе аэротенк-регенератор по формуле (36)

$$t = (1 + 0{,}3)\ 1{,}6 + 0{,}3\cdot 7{,}44 = 4{,}31 \text{ ч.}$$

Объем аэротенка по формуле (58) СНиП 2.04.03-85

$$W_{at} = 1{,}6(1+0{,}3)4200 = 8790 \text{ м}^2.$$

Объем регенератора по формуле (57) СНиП 2.04.03-85

$$W_r = 7{,}44\cdot 0{,}3\cdot 4200 = 9374 \text{ м}^3.$$

WWW.STROYTENDERS.RU

Далее необходима проверка величины a_{imix} по формуле (37)

$$a_{imix} = [(1+0,3)1,6\cdot 3 + 7,44\cdot 0,3\cdot 8]/4,31 = 4,79 \text{ г/л},$$

с учетом которой нагрузка на ил будет равна:

$$q_i = \frac{24(250-15)}{4,79\cdot 0,7\cdot 4,31} = 390 \text{ мг/г·сут};$$

величина J_i по табл. 41 СНиП 2.04.03-85 равна 79 см^3/г, что не существенно отличается от ранее определенного значения этой величины, и дальнейшей корректировки расчетов не требуется.

Вторичные отстойники для аэротенков-вытеснителей с регенераторами рассчитываются по формуле (67) СНиП 2.04.03-85, в котором значения a_i и a_t соответствуют первоначально заданным величинам, значение J_i принимается на основе последних корректировок, в данном случае для радиальных отстойников при K_{ss} = 0,4 и H_{set} = 3 м

$$q_{ssa} = \frac{4,5\cdot 0,4\cdot 3^{0,8}}{(0,1\cdot 79\cdot 3)^{0,5-0,01\cdot 15}} = \frac{4,33}{3,02} = 1,43 \text{ м}^3/\text{м}^2\cdot\text{ч}.$$

Аэротенки-вытеснители без регенераторов

2.5. Сооружения этого типа рекомендуется применять для очистки городских и близких к ним по составу производственных сточных вод с БПК$_{полн}$ не более 150 мг/л, либо на второй ступени биологической очистки.

Пример расчета.

Исходные данные: расчетный расход сточных вод q_W = 4200 м^3/ч, для городских сточных вод БПК$_{полн}$ исходной воды L_{en} = 150 мг/л; БПК$_{полн}$ очищенных вод L_{ex} = 15 мг/л; вынос ила из вторичных отстойников a_t = 15 мг/л.

В начале определяется степень рециркуляции R_i, в которой величина илового индекса в первом приближении принимается J_i = 100 см^3/г доза ила в аэротенке - a_i устанавливается в результате технико-экономических расчетов. Ориентировочно a_i = 3 мг/л. По формуле (52) СНиП 2.04.03-85

$$R_i = 2/\left(\frac{1000}{100} - 2\right) = 0,25.$$

Для обеспечения нормального удаления ила из вторичных отстойников с илососами следует принимать R_i = 0,3.

БПК$_{полн}$ воды, поступающей в начало аэротенка-вытеснителя L_{mix} с учетом разбавления циркуляционным илом рассчитывается по формуле (51) СНиП 2.04.03-85

$$L_{mix} = \frac{150 + 15\cdot 0,3}{1+0,3} = 119 \textit{ мг/л}.$$

Период аэрации определяется по уравнению (50) СНиП 2.04.03-85, в котором значения констант и коэффициентов для рассматриваемого примера по табл. 40 СНиП 2.04.03-85 имеют следующие значения: $_{max}$ = 85 мг/(г·ч), K_i = 33 мг/л; K_O = 0,626 мг/л; = 0,07л/г; s = 0,3. При L_{ex} = 15 мг/л коэффициент K_p = 1,5. Концентрация кислорода определяется технико-экономическими расчетами с учетом типа аэраторов. Приближенно C_o = 2 мг/л.

WWW.STROYTENDERS.RU

$$t_{atv} = \frac{1+\ a_i}{{}_{\max}C_O a_i(1-s)}\left[(C_O+K_O)(L_{mix}-L_{ex})+K_i C_O \times \ln\frac{L_{mix}}{L_{ex}}\right]K_p =$$

$$= \frac{1+0{,}07\cdot 2}{85\cdot 2\cdot 2(1-0{,}3)}\left[(2+0{,}625)(119-15)+33\cdot 2\cdot 2{,}3\lg\frac{119}{15}\right]1{,}5 = 2{,}96 \text{ ч.}$$

Объем аэротенка и вытеснителя с учетом рециркуляционного расхода определяется по зависимости (58) СНиП 2.04.03-85.

$$W_{at} = t_{atv}(1+R_i)q_W = 2{,}96(1+0{,}3)4200 = 16162 \text{ м}^3.$$

Для расчета вторичного отстойника следует уточнить величину илового индекса по нагрузке на ил, которая рассчитывается по формуле (53) СНиП 2.04.03-85, где для аэротенка-вытеснителя без регенерации исходная величина БПК равна L_{mix}:

$$q_i = \frac{24(119-15)}{2{,}96\cdot 2(1-0{,}3)} = 421 \text{ мг /(г·сут).}$$

По табл. 41 СНиП 2.04.03-85 при q_i = 421 мг /(г·сут) J_i = 83 см^3/г.

При новом значении илового индекса степень рециркуляции уточняется по формуле (52) СНиП 2.04.03-85

$$R_i = 2/\left(\frac{1000}{83}-2\right) = 0{,}199.$$

но для обеспечения нормального удаления ила следует принять R_i = 0,3, и, следовательно, дальнейший расчет в корректировке не нуждается.

Гидравлическая нагрузка q_{ssa} на вторичный отстойник определяется по формуле (67) СНиП 2.04.03-85, в котором величина илового индекса принимается после последней корректировки J_i = 83 см^3/г. Для радиальных отстойников с K_{ss} = 0,4; H_{set} = 3 м;

$$q_{ssa} = \frac{4{,}5\cdot 0{,}4\cdot 3^{0{,}8}}{(0{,}1\cdot 83\cdot 2)^{0{,}5-0{,}01\cdot 15}} = \frac{4{,}33}{2{,}99} = 1{,}45 \text{ м}^3/(\text{м}^2\cdot\text{ч}).$$

Системы аэрации

2.6. Аэраторы должны обеспечивать заданный кислородный режим и необходимую интенсивность перемешивания в аэротенках.

2.7. Пневматические аэраторы рассчитываются по зависимостям, приведенным в п. 6.157 СНиП 2.04.03-85. В конструкции мелкопузырчатых аэраторов могут применяться фильтросные пластины и трубы, синтетические ткани, пористые пластины и т.п.

При использовании пористых материалов удельный расход воздуха на единицу рабочей поверхности аэраторов $J_{a,d}$ зависит от индивидуальных свойств этих материалов и назначается в пределах $J_{a,d}$ = 30-100 м^3/(м^2·ч); для фильтросных пластин - $J_{a,d}$ = 60-80 м^3/(м^2·ч), для фильтросных труб $J_{a,d}$ = 70 - 100 м^3/(м^2·ч), считая на площадь горизонтальной проекции трубы, для синтетических тканей (арт. 56007, арт. 56026) $J_{a,d}$ = 50 - 80 м^3/(м^2·ч). Потери напора в фильтросных материалах и тканях следует принимать 0,7-1 м. Скорость выхода воздуха из отверстий дырчатых труб - 50 м/с.

При использовании аэраторов из синтетических тканей или пористых пластмасс целесообразны конструкции в виде решеток шириной до 2 м, что позволяет увеличить площадь полосы аэрации (отношение f_{az}/f_{at} = 0,2-0,3), повысить эффективность использования и снизить удельный расход воздуха.

2.8. В аэротенках-смесителях пневматические аэраторы располагаются вдоль одной стены

WWW.STROYTENDERS.RU

коридора равномерно по всей их длине. Количество фильтросных пластин или труб определяется с учетом необходимости интенсивности аэрации и рекомендуемых значений $J_{a,d}$. В регенераторах аэраторы размещаются неравномерно по длине: в первой половине в 2 раза больше, чем во второй.

2.9. В аэротенках-вытеснителях аэраторы располагаются неравномерно в соответствии со снижением концентрации загрязнений и скоростей биохимического окисления.

Пример расчета.

Исходные данные: вид сточных вод (например, городские); расход сточных вод q_W = 4200 м^3/ч; солесодержание воды C_s = 3 г/л; БПК$_{полн}$ исходной и очищенной воды L_{en} и $L_{вх}$ - 150 в 15 мг/л, расчетная температура воды T_W – 20 °С.

Удельный расход воздуха q_{air}, осуществляется по формуле (61) СНиП 2.04.03-85 для условий полной биологической очистки. В рассматриваемом примере удельный расход кислорода q_0 = 1,1 и средняя концентрация кислорода в аэротенке C_0 = 2 мг/л.

По данным расчета объем аэротенка W_{atv} = 16162 м^3. Приняв по конструктивным соображениям длину коридора l = 60 м и рабочую глубину H_{at} = 4 м, общая ширина аэротенка будет равна:

.

Приняв ширину одного коридора b = 6 м, число коридоров будет равно:

$$n_k = B_{at}/b = \qquad = 11{,}17.$$

Следует принять n_k = 12 и соответственно изменить и длину коридора l

$$B_{at} = n_k\, b = 12 \cdot 6 = 72 \text{ м}; \; l = W_{atv}/H_{at}$$

B

Бумажные фабрики ……	0,85
Картонажные фабрики ……..	0,53-0,64
Фармацевтические заводы ……	0,8-1,6
Заводы синтетического волокна …….	1-1,8

Для определения интенсивности аэрации по длине аэротенка-вытеснителя строится график изменения $БПК_{полн}$ во времени (рис. 13). Периоды аэрации для заданных промежуточных значений L_{ex} определяются расчетом по формуле (50) СНиП 2.04.03-85. Данные расчетов для условий рассматриваемого примера приведены в табл. 8.

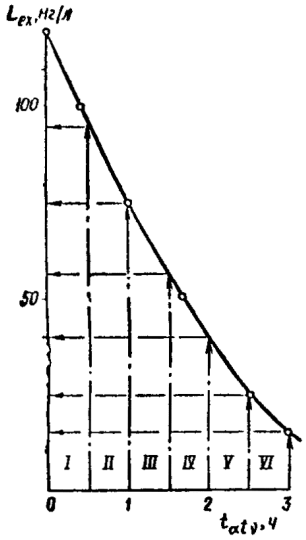


Рис. 13. Зависимость L_{ex} от продолжительности пребывания в аэротенках-вытеснителях

Таблица 8

L_{mix} мг/л	119	119	119	119	119
L_{ex}, мг/л	100	75	50	25	15
t_{aiv}, ч	0,44	1,06	1,73	2,53	2,96

На графике (см. рис. 13) интервал времени, соответствующий продолжительности аэрации, при которой достигается L_{ex} = 15 мг/л, делится на равные части (по принятому числу ячеек аэротенка-вытеснителя), например на 6 частей. Для периодов аэрации в каждой ячейке с помощью полученной кривой (см. рис. 13) определяются значения $БПК_{полн}$ на входе и выходе из ячеек. Эти данные приведены в табл. 9.

Таблица 9

Показатель	Номер ячейки						Примечания
	I	II	III	IV	V	VI	
L_{en}, мг/л	119	95	75	56	40	25	По рис. 13
L_{ex}, мг/л	95	75и	56	40	25	14	то же
q_o, мг/мг	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,1	-
L_{en} - L_{ex}							
q_{air}, $м^3/м^3$	1,02	0,85	0,81	0,68	0,71	0,47	-
J_a, $м^3/(м^2ч)$	6,38	5,32	5,06	4,25	4,43	2,95	-
Q'_{air}, $м^3/ч$	4284	3570	3402	2856	2982	1974	-
n_d, ед.	1,82/2	1,52/2	1,44/2	1,21/1	1,27/1	0,84/1	-

Примечание. Под чертой указано принятое число рядов фильтросных труб.

WWW.STROYTENDERS.RU

На основе данных табл. 9 по формуле (39) определяется интенсивность аэрации в каждой ячейке

$$J'_a = \frac{q'_{air} H_{at} n_{ja}}{t_{aiv}}, \qquad (39)$$

где q_{air} - удельный расход воздуха для каждой ячейки определяется по формуле (61) СНиП 2.04.03-85.

Для рассматриваемого примера количество ячеек принято n_{ja} = 6, общая продолжительность аэрации в сооружении по табл. 8 t_{aiv} = 2,96 ч.

Количество рядов пневматических аэраторов (например, фильтросных труб) определяется по формуле

$$n_d = \frac{J'_a b}{J_{ab} f'_d} \qquad (40)$$

В рассматриваемом примере ширина коридора аэротенки принята b = 6 м, удельный расход воздуха на аэратор для фильтросных труб J_{ad} = 70 м^3/(м^{2}ч), площадь одного ряда аэратора на 1 м фильтросных труб d_y, = 300 мм; f_d = 0,3 м^2/м. Расход воздуха Q_{air}, м^3/ч, в каждой ячейке определяется по формуле

$$Q'_{air} = q'_{air} q_W. \qquad (41)$$

Общий расход воздуха на аэротенк Q_{air}, равен сумме всех Q_{air}.

Для более точного регулирования подачи воздуха на воздуховодах каждой ячейки следует установить расходомеры с задвижками или вентилями.

2.10. В аэротенках-вытеснителях с регенераторами удельный расход воздуха определяется по формуле (61) СНиП 2.04.03-85. Количество аэраторов на первой половине длины аэротенков и регенераторов принимается вдвое больше, чем на остальной длине коридора.

Для условий рассмотренного примера в п. 2.9 удельный расход воздуха, рассчитанный по формуле (61) СНиП 2.04.03-85, составил

$$q_{air} = \frac{1{,}1(250-15)}{1{,}4 \cdot 2{,}52 \cdot 1 \cdot 0{,}85(8{,}72-2)} = 12{,}22 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Общий расход воздуха Q_{air} = 12,22·4200 = 51309 м^3/ч.

Средняя интенсивность аэрации

$$J_a = (12{,}22 \cdot 4)/3{,}75 = 13{,}03 \text{ м}^3/(\text{м}^2\text{ч}).$$

Интенсивность аэрации на первой половине аэротенка и регенератора $J_{a1} = 1{,}33 J_a$, на второй - $J_{a2} = 1{,}33 J_a/2 = 0{,}67 J_a$.

При ширине коридора аэротенка b = 6 м, удельном расходе воздуха на аэратор в виде фильтросных труб J_{ab} = 90 м^3/(м^{2}ч) и площади одного ряда фильтросных труб d_y = 300 ММ; f_d = 0,3 м^2/м.

Количество рядов фильтросных труб в первой половине аэротенки вытеснителя составило

$$n_{d1} = \frac{1{,}33 J_a b}{J_{ad} f_d} = \frac{1{,}33 \cdot 13{,}03 \cdot 6}{90 \cdot 0{,}3} = 3{,}92;$$

во второй половине: n_{d2} = 3,92/2 = 1,96.

В данном случае следует принять на первой половине аэротенка и регенератора число

WWW.STROYTENDERS.RU

рядов фильтросных труб - 4, на второй половине - 2, соответственно распределив расходы воздуха.

2.11. С целью сокращения длины воздуховодов количество стояков для подвода воздуха к аэраторам следует ограничить минимально возможным числом, которое определяется из заданной неравномерности распределения воздуха вдоль коридора аэротенка.

Таблица 10

Геометрические размеры, мм		Допустимая неравномерность подачи воздуха, %			Максимальная удельная производительность, $м^3/(м·ч)$	Перепад давления, кПа
наружный диаметр	толщина стенки	5	10	15		
		длина трубы на 1 стояк, м				
242	29	25	43	53	112	3-10
260	30	29	51	60	115	3-10
288	30	33	56	72	126	3-10

Число стояков зависит от длины обслуживаемого ими участка фильтросного канала, фильтросной или дырчатой трубы.

Параметры аэраторов из фильтросных труб приведены в табл. 10, из фильтросных пластин - в табл. 11**,** из дырчатых труб в табл. 12.

Таблица 11

Геометрические размеры, мм		Допустимая неравномерность подачи воздуха, %			Максимальная удельная производительность, $м^3/(м·ч)$	Перепад давления, кПа
ширина	глубина	5	10	15		
		длина канала на 1 стояк, м				
250	100	64	78	88	30	2-10
250	200	120	146	150	30	2-10

Таблица 12

Геометрические размеры, мм				Допустимая неравномерность подачи воздуха, %			Максимальная удельная производительность $м^3/(м^2·ч)$	Перепад давления, кПа
условный проход	наружный диаметр	диаметр отверстий	число отверстий на 1 трубы	5	10	15		
				длина трубы на стояк, м				
50	60	3	20	13	15,5	17,2	18	1,5
50	60	3	40	5,7	9,6	13,6	36,5	1,5
50	60	3	80	2,6	4,0	5,0	73	1,5
80	88,5	3	40	20	24,0	26,4	36,5	1,5
80	88,5	3	80	7	10,7	14,0	73,0	1,5
80	88,5	3	120	4,5	6,7	8,5	110,0	1,5
100	114	3	40	27,3	34,2	37,9	36,5	1,5
100	114	3	80	11,3	17,4	23,4	73	1,5
100	114	3	120	7,1	10,7	13,6	110	1,5

Пример. Определить основные параметры аэратора (фильтросный канал) для обеспечения аэрации коридора аэротенка - смесителя длиной 100 м, шириной 9 м с интенсивностью аэрации 10 $м^3/(м^2ч)$ при допускаемой неравномерности подачи воздуха 15 %.

Интенсивность подачи воздуха на 1 м длины коридора

$$J_a = J_d b = 10 \cdot 9 = 90 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}).$$

Указанная интенсивность при перепаде 1,5 кПа (новые пластины) может быть обеспечена установкой трех параллельных рядов фильтросных каналов. Для допустимой неравномерности 15 % при глубине канала 100 мм находим из табл. 11 максимальную длину аэратора на 1 стояк - 88 м. Стояк присоединен к середине обслуживаемого им участка. Для коридора длиной 100 м потребуется таким образом 2 стояка. Полученное данным методом число стояков является минимально допустимым и может быть увеличено из конструктивных соображений.

Следует обратить внимание, что при этом должны быть предусмотрены упругие вставки на

WWW.STROYTENDERS.RU

температурных швах резервуара аэротенка.

2.12. Эрлифтные аэраторы. При наличии и сточных водах значительных количеств карбонатных солей, смол, жиров, вязких нефтепродуктов и волокнистых веществ, способных вызвать быструю кольматацию пор в мелкопузырчатых пневматических аэраторах, целесообразно применение эрлифтных аэраторов. По эффективности они приближаются к механическим, но не имеют сложного привода и не подвержены засорениям.

Принцип действия эрлифтных аэраторов совмещают в себе среднепузырчатую аэрацию с помощью сжатого воздуха в эрлифте и дополнительную аэрацию при изливе струи через кромку водослива (рис. 14). Конструкция этих аэраторов разработана ВНИИ ВОДГЕО.

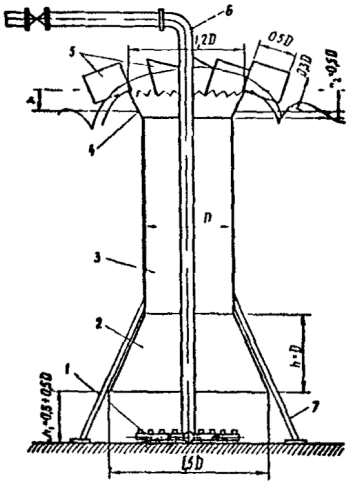


Рис. 14. Схема эрлифтного аэратора

1 - аэрационная решетка; *2* - нижний конус диффузора; *3* - труба диффузора: *4* - верхний конус диффузора с гребенчатым водосливом; *5* - лопатки; *6* - воздухопровод; *7* - опорные стойки

Ориентировочно производительность эрлифтного аэратора Q_m, кг/ч по кислороду определяется по уравнению

$$Q_m = 0{,}0032 J_{a1}^{3,47} \left(\frac{h_b}{d_{эр}}\right)^{1,81} \left(\frac{H_{'эр}}{d_{эр}}\right)^{0,47} \frac{W_{ai} C_O}{1000}, \qquad (42)$$

где h_b - высота кромки водослива, рекомендуется принимать h_b = 0,45 - 0,5 м; $d_{эр}$ - диаметр трубы аэратора $d_{эр}$ = (0,6-1) B_a; $H_{эр}$ - глубина погружения аэратора $H_{эр}$ = 3,5 - 4 м.

Растворимость кислорода C_a определяется по формуле (38).

Пример расчета. Для подбора эрлифтных аэраторов приведен график (рис. 15). Оптимальный режим работы эрлифтных аэраторов наблюдается при J_{a1} = 10-15 м^3/(м^2·ч) и $d_{эр}$ = 0,3 - 1,2 м.

WWW.STROYTENDERS.RU

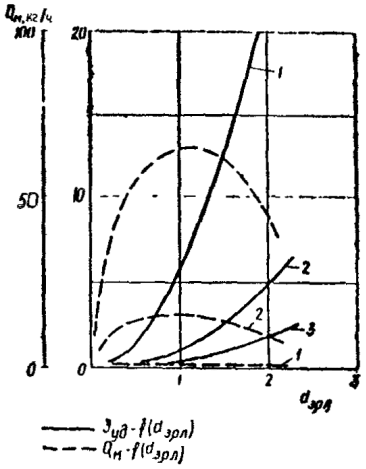


Рис. 15. Зависимость удельных энергозатрат и производительности по кислороду от диаметра эрлифтных аэраторов при различных значениях интенсивности аэрации

1 - J_a = 5; 2 - J_a = 10; 3 - J_a = 15 м^3/(м^2·ч)

Исходные данные: тип сооружения - аэротенк-смеситель первой ступени. БПК сточных вод L_{en} = 550 мг/л; L_{ex} = 137 мг/л; расчетный расход q_W = 40000 м^3/сут = 1667 м^3/ч; период аэрации t_{aim} = 3 ч; растворимость кислорода C_a = 9 мг/л; концентрация растворенного кислорода в аэротенке C_o = 2 мг/л; ширина коридора аэротенка b = 9 м.

В данном случае принят $d_{эр}$ = 0,1b, т.е. $d_{эр}$ = 0,19 = 0,9 м, J_{a1} = 15 м^3/(м^2·ч).

Объем аэротенка $W_{aim} = q_W t_{aim}$ = 1667·3 = 4999 м^3.

По рис. 15 при J_{a1} = 15 м^3/(м^2·ч) производительность по кислороду этого типоразмера аэратора приближенно составит 65 кг/ч.

Для определения необходимого числа эрлифтных аэраторов может быть использована формула (65) СНиП 2.04.03-85

$$N_{ma} = \frac{q_O(L_{en} - L_{ex})W_{atm}}{K_T K_3 Q_{ma} \dfrac{C_a - C_O}{C_a} t_{atm} \cdot 1000} = \frac{0{,}9(550-137)4999}{1 \cdot 0{,}7 \cdot 65\left(\dfrac{9-2}{9}\right)3 \cdot 1000} = 17{,}4 \text{ ед.}$$

Следует принять N_{ma} = 18 ед. При общей длине коридоров аэротенка $L_a = W_{aim}/H_{at}b$ = 4999/(4,5·9) = 123 м.

Расстояние между аэраторами l_1 = 123/18 = 6,86 м. Расход воздуха Q_{B1} на один аэратор при J_{a1} = 15 м^3/(м^2·ч).

$$Q_{B1}. = J_{a1}\, bl_1 = 15 \cdot 9 \cdot 6{,}86 = 926 \text{ м}^3/\text{ч} = 257 \text{ л/с}.$$

Окситенки

2.13. Окситенки представляют собой комбинированные сооружения, в конструкции которых предусмотрены зоны окисления и илоотделения, сообщающиеся между собой с помощью циркуляционных окон и щелей. Зона окисления оборудуется механическим аэратором, системой автоматической подпитки кислорода и стабилизации кислородного режима (рис. 16). Окситенки работают в режиме реактора-смесителя. Они могут применяться для полной и неполной очистки городских и производственных сточных вод.

WWW.STROYTENDERS.RU

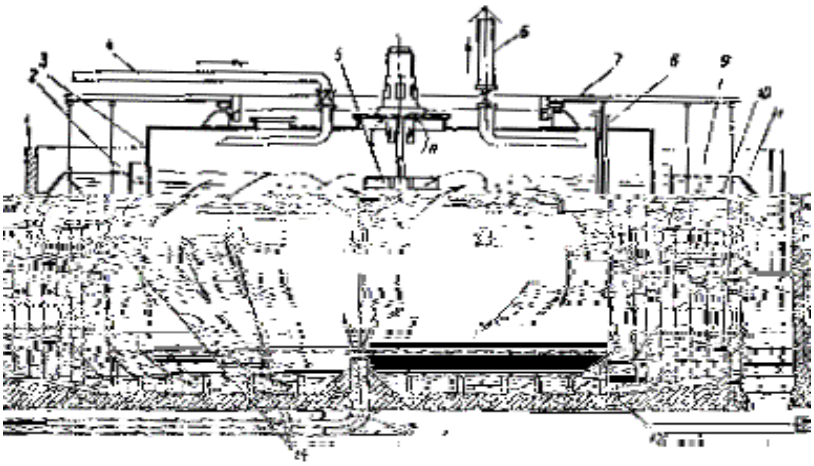


Рис. 16. Схема окситенка

1 - резервуар; *2* - полупогружная перегородка; *3* - корпус зоны реакции, *4* - кислородопровод. *5* - механический аэратор; *6* - стояк сброса газа; *7* - привод илоскреба, *8* - кислородный датчик; *9* - зона илоотделения; *10* - решетка илоскреба; *11* - водослив водосборного лотка; *12* - донная циркуляционная щель; *13* - подводящий дюкер; *14* - циркуляционные окна

Институт Союзводоканалпроект разработал проекты окситенков диаметром 10, 22 и 30 м, в которых зоны окисления и илоотделения равны между собой по объему.

2.14. При расчете окситенков определяются необходимые объемы зоны окисления и илоотделения, размеры турбины аэратора частота ее вращения и мощность привода при заданной эффективности использования кислорода.

2.15. Исходные данные для расчета окситенков аналогичны тем, которые необходимы при применении аэротенков. Для примера рассмотрим случай, при котором расход сточных вод q_W = 1667 м^3/ч; БПК$_{полн}$ исходной воды L_{en} = 400 мг/л: БПК$_{полн}$ очищенной воды L_{ex} = 15 мг/л.

Сточная вода представляет собой смесь промышленной и бытовой и по составу близка к городской, поэтому кинетические константы могут быть взяты из табл. 40 СНиП 2.04.03-85 $_{max}$ = 85 мг БПК$_{долн}$/(г·ч); K_l = 33 мг/л; K_0 = 0,625 мг/л; = 0,07 л/г.

Доза ила и концентрация кислорода определяются в результате технико-экономических расчетов. Для окситенков эти параметры находятся в следующих пределах: a_i = 5 - 12 г/л, C_o = 6 - 12 мг/л.

В данном случае в первом приближении принято a_i = 6 г/л, C_o = 8 мг/л.

В начале определяется удельная скорость окисления по формуле (49) СНиП 2.04.03-85

$$= \frac{85\cdot 15\cdot 8}{15\cdot 8+33\cdot 8+0{,}625\cdot 15}\left(\frac{1}{1+0{,}07\cdot 6}\right)=18{,}25 \text{ мг·БПК}_{полн}/(\text{г·ч}).$$

Период пребывания в зоне реакции определяется по формуле (48) СНиП 2.04.03-85

$$t_{aim} = \frac{(400-15)}{[18{,}25(1-0{,}3)6]} = 5{,}02 \text{ ч.}$$

Суммарный объем зон реакции окситенков, м^3.

$$W_O = q_w t_{aim} = 1667\cdot 5{,}02 = 8368 \text{ м}^3.$$

Приняв окситенки D_O = 22 м, глубиной H_O = 4,5 м, с общим объемом, равным:

$$W_{O1} = 0{,}785\ D_O^2 H_O = 0{,}785\cdot 22^2\cdot 4{,}5 = 1708 \text{ м}^3$$

WWW.STROYTENDERS.RU

получим объем зоны реакции

$$W_{a1} = W_{O1}/2 = \qquad = 854 \text{ м}^3$$

Далее рассчитаем диаметр зоны реакции по формуле, м:

$$. \qquad (43)$$

Затем количество окситенков

$$n_O = W_O / W_{a1} = 8368/854 = 9{,}718 \text{ ед.}$$

Согласно расчетам принимаем n_O = 10 ед.

2.16. Для определения седиментационой характеристики ила по формуле (53) СНиП 2.04.03-85

Необходимая площадь илоотделителей окситенков F_{ms} = 1667/1 = 1667 м^2

Фактическая площадь илоотделителей F_{ms} = 6895/4,5 = 1532 м^2**,** что соответствует необходимой величине.

2.18. Производительность аэратора по кислороду Q_{ma}, кг/ч, при использовании технологического 95 %-ного кислорода определяется по формуле

$$Q_{ma} = C_a \quad {}_O / 1000 \cdot K_3 \cdot K_T \{[0{,}174(1 - \quad {}_r)/ \quad {}_r] - C_O / 1000\}, \qquad (44)$$

где C_a - концентрация насыщения воды кислородом, мг/л, в стандартных условиях по формуле (38) (в данном случае C_a = 10 мг/л); $K_т$ и K_3 - коэффициенты, учитывающие температуру и состав сточных вод, определяются по п. 6.157 СНиП 2.04.03-85.

Например, при температуре воды 12 °С $K_т$ = 1+0,02(12 - 20) = 0,84. Для смеси промышленных и городских вод K_3 = 0,7. Коэффициент использования кислорода в окситенке принимается в пределах $\quad {}_k$ = 0,85-0,95.

Концентрация растворенного кислорода в зоне реакции определяется технико-экономическим расчетом. Для окситенков оптимальные значения C_o = 6-12 мг/л. В данном случае C_o = 8 мг/л.

Скорость потребления кислорода рассчитывается с учетом БПК исходной и очищенной воды и производительность одного окситенка по формуле, кг/ч:

$$\quad {}_O = (L_{en} - L_{ex}) q_w / 1000 C_O . \qquad (45)$$

Для данного случая

$$\quad {}_O = (400 - 15)\ 1667/1000 \cdot 8 = 80 \text{ кг/ч}.$$

Приняв $\quad {}_k$ = 0,9; C_o = 8 мг/л,

$$Q_{ma} = 10 \cdot 80/1000 \cdot 0{,}84 \cdot 0{,}7[0{,}174(1\text{-}0{,}9)/0{,}9\text{-}8/1000] = 119 \text{ кг/ч}.$$

Исходя из конструктивных соображений, принимается диаметр турбины механического аэратора d_a = 2 м. Параметры механических аэраторов приведены в табл. 13.

Таблица 13

Диаметр турбин аэратора, м	Количество лопаток, шт.	Длина лопатки, мм	Высота лопатки, мм	Частота вращения, мин$^{-1}$	Производительность по кислороду, кг/ч	Мощность (нетто), кВт
0,5	6	17	14	133	3,33	1,2
0,7	8	20	14	95	7,08	2,4
1,0	12	21	13	67	9,58	3,4
1,5	16	25	14	48	22,91	7,5
2	18	30	15	38	33,33	11,8
2,5	18	37	18	32	52,08	18,1
3	24	35	17	27	77,5	26,5
3,5	24	40	18	24	108,33	38,5
4	24	47	20	22	145,83	52,5
4,5	24	52	22	21	204,16	75

Для аэратора с d_a = 2 м, работающего на воздухе, производительность по кислороду составляет Q_m = 33,5 кг/ч, мощность (нетто) N_m = 11,8 кВт, частота вращения n_m = 38 мин$^{-1}$.

Поскольку Q_m аэратора недостаточна, следует повысить скорость его вращения и соответственно увеличить мощность привода.

Необходимая частота вращения n_O, мин$^{-1}$, определяется по формуле

WWW.STROYTENDERS.RU

$$n_O = n_m \sqrt{Q_{ma} / Q_m}\ , \qquad (46)$$

т.е.

$$n_O = 38\sqrt{\frac{119}{33{,}5}} = 72 \text{ мин}^{-1}.$$

Мощность (нетто) на валу N_O, кВт, рассчитывается по формуле

$$N_O = N_m n_O^2 / n_m^2\ , \qquad (47)$$

для рассматриваемого примера

$$N_O = 11{,}8 \cdot 72^2/38^2 = 42{,}3.$$

Мощность привода аэратора (брутто) при его КПД $_э$ = 0,7

$$N_{Ob} = No/\ _э = 42{,}3/0{,}7 = 60{,}5 \text{ кВт}.$$

Интенсивность перемешивания механического аэратора оценивается по величине донной скорости *J*о, м/с, в наиболее удаленной точке зоны его действия, величина которой должна быть не менее 0,2 м/с и рассчитывается по формуле

$$J_O = 1{,}217\ d_a^{0,6} n_O^{0,2} / \left(\frac{H_a}{d_a}\right)^{1,1} \left(\frac{B_a}{d_a}\right)^{0,45}\ ,$$

где H_a и B_a - глубина и ширина зоны реактора.

Для рассматриваемого примера при $B_a = D_r$ = 15,5 м; H_a = 4,5 м, донная скорость будет равна:

$$J_o = \frac{1{,}217 \cdot 2^{0,6} \cdot 72^{0,2}}{\left(\frac{4{,}5}{2}\right)^{1,1} \left(\frac{15{,}5}{2}\right)^{0,45}} = 0{,}7 \text{ м/с},$$

что значительно выше требуемой величины, и, следовательно, перемешивание будет обеспечено.

2.19. Расход кислорода определяется с учетом расхода сточных вод, БПК$_{полн}$ исходной и очищенной воды и эффективности использования кислорода. Весовой расход кислорода рассчитывается по формуле

$$Q_O = \frac{(L_{en} - L_{ex}) q_W}{1000\ _k}\ .$$

Для рассматриваемого примера

$$Q_O = \frac{(400 - 15)1667}{1000 \cdot 0{,}9} = 713 \text{ кг/ч}.$$

Объемный расход

$$Q_o = Q_o /\ _O\ ,$$

где плотность 1 м^3 кислорода при нормальном давлении $_O$ = 1,43 кг/м^3. Для условий примера Q_o = 713/1,43 = 498,7 м^3/ч.

WWW.STROYTENDERS.RU

2.20. При подборе оборудования можно использовать технико-экономические показатели установок разделения воздуха (по данным Гипрокислорода) которые приведены в табл. 14.

2.21. Применение окситенков экономически целесообразно при получении кислорода по себестоимости от действующих кислородных цехов предприятий азотной, нефтехимической, коксохимической и других отраслей промышленности, а также при строительстве собственных кислородных установок в составе очистных сооружений.

Экономический эффект от применения окситенков с собственными кислородными установками по сравнению с аэротенками при очистке городских сточных вод возрастает с повышением производительности очистных сооружений.

Таблица 14

Марка установки	Количество блоков в установке, шт.	Производительность по кислороду, $м^3$/ч	Стоимость цеха в тыс. руб.	Расход электроэнергии тыс. кВт·ч	Годовые эксплуатационные затраты, тыс. руб.	Себестоимость 1 $м^3$ кислорода, коп.
К-0,15	1	165	134,2	1918	73,38	5,5
К-0,4	1	420	275	4631	162,23	4,79
К-0,4	1	840	505,2	926,2	308,26	4,5
К-1,4	1	1400	632,15	7268	306,33	2,85
К-1,4	2	2800	1164,45	14535,4	554	2,53
К-5	1	4850	1604,2	24823,5	848,18	2

Примечание. Производительность и себестоимость даны при нормальном давлении кислорода при температуре 20 °С. Содержание кислорода не ниже 99,5 %.

Ориентировочные величины экономического эффекта для этих условий приведены в табл. 15.

Таблица 15

Производительность, сооружения, тыс. $м^3$/сут	20	55	110	180	360	620
Экономический эффект, тыс. руб.	55	126,7	208,5	381,2	645	970,1

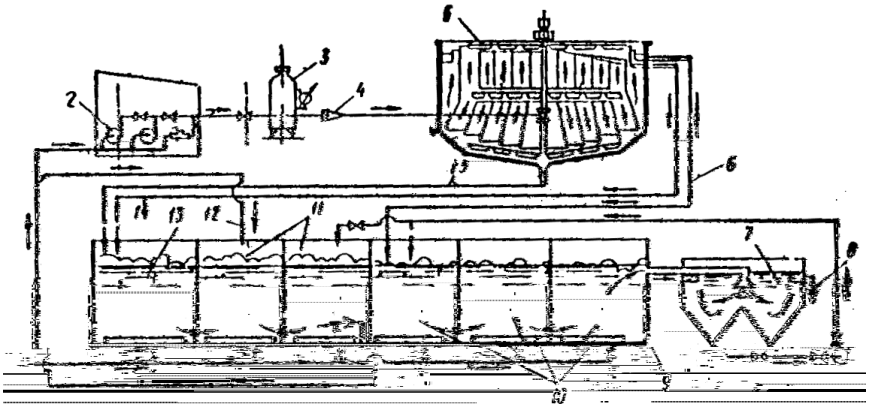
Аэротенки с флотационным илоотделением для очистки производственных сточных вод

2.22. Технологическая схема очистки производственных сточных вод с флотационным разделением иловой смеси предназначается для полной, и глубокой биологической очистки производственных сточных вод.

Рекомендуется двухстепенная очистка, в которой на первой ступени используются аэротенки-смесители, работающие с высокой дозой ила, и разделение иловой смеси в напорных флотаторах на второй ступени - секционированные аэротенки-вытеснители и вторичные отстойники.

Схемы с флотационным разделением иловой смеси могут быть применены при строительстве новых и при реконструкции существующих очистных сооружений.

При проектировании целесообразно использовать комбинированные сооружения аэротенков I и II ступени, между которыми располагается флотационный илоотделитель (рис. 17).



WWW.STROYTENDERS.RU

Рис. 17. Схема аэротенка с флотационным илоотделителем для очистки производственных сточных вод

1 - резервуар аэротенка; *2* - центробежной насос; *3* - сатуратор; *4* - дросселирующая арматура; *5* - флотационный илоотделитель; *6* - трубопровод подачи воды на II ступень; *7* - вторичный отстойник; *8* - сброс очищенной воды; *9* - аэротснк II ступени; *10* - ячейки аэротенка II ступени; *11* - аэротенк I ступени; *12* - подача исходной воды; *13* - регенератор; *14* - подача возвратного ила; *15* - опорожнение флотатора.

Применение аэротенков с флотационным илоотделением, экономически целесообразно для очистки производственных сточных вод с $БПК_{полн}$ более 400 мг/л биологически трудноокисляемых загрязнений сточных вод, для которых необходимый период аэрации превышает 16 ч. При преимущественном развитии в аэротенках, так называемых «вспухающих» активных илов с иловым индексом более 200 $см^3$/г, применение напорной флотации имеет преимущества перед отстаиванием.

Применение двухступенчатых аэротенков с флотационным разделением иловой смеси целесообразно для сточных вод химической, нефтехимической, микробиологической, гидролизной, дрожжевой, медицинской, пищевой и других отраслей промышленности на станциях любой производительности. Причем экономическая эффективность этих схем повышается при увеличении производительности станции.

Принцип действия и схемы аэротенков с флотационным илоотделением

2.23. Разделение напорной флотацией основано на всплывании частиц активного ила вместе с мельчайшими пузырьками воздуха, которые выделяются из иловой смеси после насыщения ее воздухом под давлением.

Преимущества напорной флотации для разделения иловой смеси по сравнению с общепринятым в настоящее время вторичным отстаиванием заключается в том, что процесс биологической очистки интенсифицируется в результате увеличения окислительной мощности аэротенка первой ступени как за счет увеличения рабочей дозы ила, так и при увеличении нагрузки на ил в результате сокращения времени пребывания во флотаторе. При этом уменьшается объем сооружений для разделения иловой смеси и в них создаются аэробные условия, что позволяет получить более глубокую очистку сточных вод.

За счет уменьшения площади аэротенков первой ступени и увеличения их окислительной мощности значительно улучшаются условия аэрации и снижается удельный расход воздуха; увеличивается активность микроорганизмов ила первой ступени в результате дробления его в дросселирующей аппаратуре.

Для достижения максимальной эффективности процесса первая ступень аэротенка оборудуется регенератором активного ила, вторая выполняется в виде ячеистого реактора-вытеснителя с 4-6 секциями. Первая ступень работает с высокими дозами ила (или большой нагрузкой на ил), вторая - предназначена для доочистки воды и улучшения седиментационных свойств активного ила.

После второй ступени иловая смесь разделяется в обычном отстойнике. Аэротенк с флотационным разделением ила состоит (см. рис. 17) из аэрационного резервуара, разделенного флотационным илоотделителем на две ступени, первая ступень оборудована регенератором активного ила, вторая - разделена на ячейки. Флотационный илоотделитель оборудован центробежным насосом и эжектором для подсоса воздуха, сатуратором для растворения воздуха и дросселирующей арматурой.

Сооружение работает следующим образом: неочищенная сточная жидкость поступает в первую ступень, смешивается с регенерированным активным илом, выходящим из ячейки и освобождается от основной массы загрязнений в результате происходящих в первой ступени процессов сорбции и окисления. Затем иловая смесь забирается высоконапорным насосом из конца первой ступени, насыщается воздухом в сатураторе и выпускается через дросселирующее устройство во флотационный илоотделитель в котором при снижении давления с 0,3-0,6 МПа до атмосферного происходит интенсивное всплывание воздушных пузырьков вместе с частицами активного ила. Выделенный в виде пены активный ил направляется в регенератор, где сорбированные загрязнения окисляются при высокой концентрации активного ила 25-30 г/л. Регенерированный ил смешивается затем с поступающей сточной жидкостью. Цикл повторяется. При работе первой ступени без

WWW.STROYTENDERS.RU

регенератора предусмотрена возможность подачи части сточных вод в ячейку.

Осветленная во фотационном илоотделителе иловая смесь с содержанием взвеси 100-300 мг/л по трубопроводу выпускается во вторую ступень аэротенка, где происходит процесс доочистки сточных вод при нормальной нагрузке на ил. Аэротенк второй ступени разделен перегородками с отверстиями на 4-6 ячеек. На последней ячейки иловая смесь поступает в отстойник. Очищенная вода сбрасывается с установки, циркуляционный ил возвращается в первую ячейку второй ступени.

Избыточный ил из отстойника второй ступени направляется на первую ступень, проходит флотационный илоотделитеаль и вместе с избыточным илом первой ступени направляется в уплотнитель, в котором происходит дальнейшее снижение влажности пены до 92-94 %.

Осветленная надиловая вода из уплотнителя направляется по возможности самотеком во вторую ступень аэротенка или (как вариант) сбрасывается в поток осветленной воды, выходящей из отстойника второй ступени. Следует предусмотреть подачу части неочищенной сточной жидкости (10 % общего расхода) в первые две ячейки второй ступени.

Для первой ступени рекомендуется применять флотационный илоотделитель с цилиндрическими насадками и вращающимся водораспределителем (см. разд. 4).

2.24. Для расчета аэротенков с флотационным илоотделением необходимы следующие исходные данные: расход сточных вод, начальная и конечная $БПК_{полн}$ сточных вод, значения констант в формуле (42) СНиП 2.04.03-85 ; K_i; K_o; .

Доза ила в аэротенке первой ступени и концентрация растворенного кислорода должны определяться на основании технико-экономических расчетов. Ориентировочно она может быть определена по формуле (48) в зависимости от величины илового индекса, г/л,

$$a_i, = 1{,}3/(0{,}05+0{,}00152J_i). \qquad (48)$$

Величину $БПК_{полн}$ в воде после аэротенка первой ступени L_{ex} следует принимать 80-130 мг/л. Продолжительность прерываний в аэротенке первой и второй ступенях рассчитывать по формулам (48) и (50) СНиП 2.04.03-85, удельную скорость окисления по формуле (49) СНиП 2.04.03-85 степень рециркуляции ила для аэротенков второй ступени по формуле (52) СНиП 2.04.03-85 константы процесса ; K_i, K_o и из табл. 40 СНиП 2.04.03-85.

Концентрация сфлотированного уплотненного ила a_f, г/л, определяется по уравнению

, (49)

где иловый индекс принимается по данным табл. 41, СНиП 2.04.03-85.

Коэффициенты «*a*» и «*b*» принимаются в зависимости от продолжительности уплотнения сфлотированного ила, которую следует принимать 2-3 ч.

Степень рециркуляции активного ила на первой ступени определяется в зависимости от требуемой концентрации сфлотированного уплотненного ила, a_f

. (50)

$$G_{ss} = q_W a_i (1 + R_i)\,. \qquad (52)$$

Суммарная площадь флотационных илоотделителей F_f, м^2,

$$F_f = G_{ss} / q_{ss}\,. \qquad (53)$$

Гидравлическая нагрузка $q_{m'i}$, м^3/(м^2·ч).

$$q_{m's} = q_W / 24 F_f. \qquad (54)$$

Продолжительность пребывания воды t_{szf} в отстойной зоне (ниже водораспределителя) принимается равной 0,4-0,6 ч, высота отстойной зоны определяется по формуле H_{szf}, м:

$$H_{szf} = t_{szf} q_{m'i}. \qquad (55)$$

Глубина зоны уплотнения $H_т$ (выше водораспределителя) принимается 2-2,5 м. Разность отметок водосливов водосборного и пеносборного лотков флотационного илоотделителя 40-50 мм, предусматривается регулировка положения отметки пеносборного лотка.

Уклон дна пеносборного лотка принимать в пределах 0,1-0,05. Насос для подачи иловой смеси на флотатор устанавливается под заливом, гидростатический напор перед насосом должен поддерживаться постоянный и составлять не более 2,5-3 м, забор воды осуществляется непосредственно из аэротенка первой ступени.

Остальные конструктивные особенности флотатора приведены в гл. 4.

Пример расчета аэротенка с флотационным илоотделителем

2.25. Исходные данные: расход сточных вод q_W = 40000 м^3/сут.

Сточные воды химкомбинатов азотной промышленности с БПК$_{полн}$ исходной и очищенной воды 500 и 15 мг/л.

По табл. 41 СНиП 2.04.03-85 иловый индекс 120 см^3/г.

Доза активного ила a_i, г/л, в аэротенке первой ступени рассчитывается по формуле (48)

$$a_i = 1{,}3/(0{,}05+0{,}00152\cdot 120) = 5{,}59.$$

Концентрация сфлотированного ила a_f, г/л, при продолжительности уплотнения 3ч - по формуле (49)

$$a_f = 1{,}6/(0{,}011+0{,}000198\cdot 120) = 47{,}75.$$

Степень рециркуляции пла R_f - по формуле (50)

$$R_f = 5{,}59/(47{,}65 - 5{,}59) = 0{,}132.$$

Нагрузка по твердой фазе на зеркало флотационного илоотделителя q_{ssf}, кг/м^2 сут, определяется по формуле (51)

$$q_{ssf} = [(50+1{,}5\cdot 120)\cdot 1{,}4]/(0{,}005\cdot 120 - 0{,}07) = 475.$$

Суммарное количество флотируемой твердой фазы G, кг/сут, по формуле (52)

$$G = 40000\cdot 5{,}59(1 + 0{,}132) = 253115.$$

Суммарная площадь флотационных илоотделителей F_f, м^2 - по формуле (53)

$$F_f = 253115/475 = 532{,}9.$$

Рационально принять 4 флотатора диаметром 13 м.

WWW.STROYTENDERS.RU

Гидравлическая нагрузка на флотаторы q_{ms}, м^3/(м^2·ч), по формуле (54)

$$q_{ms} = 40000/24 \cdot 532{,}9 = 3{,}13.$$

При продолжительности пребывания воды в отстойной зоне 0,5 ч, ее высота H_{szf}, м, по формуле (55) составит

$$H_{szf} = 0{,}5 \cdot 3{,}13 = 1{,}57.$$

Глубина зоны уплотнения принимается равной 2,5 м.

Высота зоны распределения жидкости 0,3 м.

Гидравлическая глубина флотационного илоотделителя составит 1,57+2,5+0,3 = 4,37 м.

Аэротенки с флотационным разделением иловой смеси для очистки городских сточных вод

2.26. Для очистки городских сточных вод взамен вторичных отстойников применяются аэротенки с флотационным разделением иловой смеси с одноступенчатой схемой флотации.

Применение напорной флотации для разделения иловой смеси приводит к значительному сокращению объема сооружений.

В данных условиях возможно применение горизонтального флотационного илоотделителя (рис. 18), который совмещается с аэротенком обычной конструкции, откуда иловая смесь во флотационный резервуар поступает самотеком. Туда же через распределительную систему вводится предварительно насыщенная воздухом под давлением вода. Комплекс (пузырек воздуха-флокула) активного ила поднимается на поверхность флотационного резервуара, образуя слой сфлотированного ила.

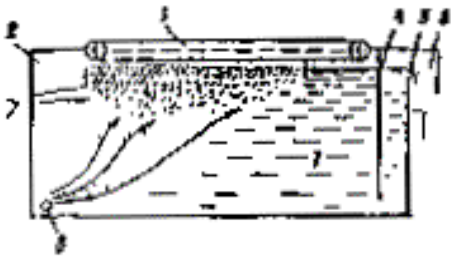


Рис. 18. Схема горизонтального флотационного илоотделения

1 - подача иловой смеси; *2* - лоток для сбора сфлотированного ила; *3* - скребковый механизм для удаления сфлотированного ила; *4* - подвесная перегородка; *5* - водослив; *6* - лоток осветленной воды; *7* - флотационный резервуар; *8* - распределительная система насыщенной воздухом воды

Осветленная вода отводится из нижней части флотационного резервуара с помощью дырчатой трубы или через зазор под подвесной стенкой через регулируемый водослив в канал осветленной воды, а затем по трубопроводу в контактные резервуары.

Сфлотированный ил скребком удаляется с поверхности флотационного резервуара в лоток, откуда циркулирующая часть активного ила возвращается в аэротенк, а избыточная часть направляется на дальнейшую обработку.

Для получения насыщенной воздухом воды часть осветленной воды подводится к насосу (рис. 19). С помощью насоса вода под давлением подается в напорный бак. Туда же компрессором подводится сжатый воздух. В напорном баке воздух растворяется в воде практически до полного ее насыщения. Насыщенная воздухом вода по трубопроводу подводится к распределительной системе флотационного резервуара (см. рис. 18).

WWW.STROYTENDERS.RU

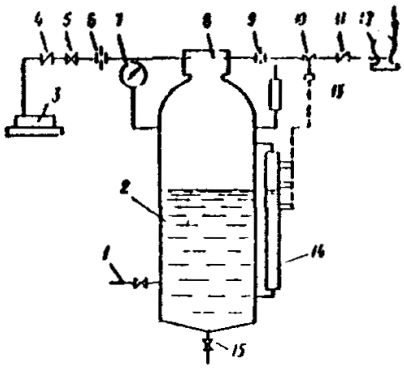


Рис. 19. Схема узла насыщения рециркулирующей части осветленной воды

1 - трубопровод отвода насыщенной воздухом воды; *2* - напорный бак; *3* - компрессор; *4, 11* - обратный клапан; *5* - вентиль; *6, 9* - расходомер; *7* - манометр; *8* - эжектор; *10* - клапан регулирующий; *12* - насос; *13* - предохранительный клапан; *14* - уровнемер; *15* - трубопровод опорожнения

2.27. Флотационный резервуар рассчитывается на суммарный расход сточной воды, рециркулирующего ила и насыщенной воздухом воды. Время пребывания суммарного расхода принимается равным 40 мин.

Узел насыщения (напорный бак, насос, компрессор) и трубопроводы подачи и распределения насыщенной воздухом воды рассчитываются из условия обеспечения давления насыщения 0,6-0,9 МПа, продолжительности насыщения - 3-4 мин и расхода насыщенной воздухом воды в зависимости от давления и рабочей дозы ила (табл. 16). Расход воздуха составляет 20-30 % расхода насыщаемой воды при давлении 0,6-0,9 МПа соответственно.

Таблица 16

Давление насыщения,	Расход насыщенной воздухом воды $Q_Н$ в % от объема иловой смеси $Q_{ис}$ при дозе ила a_i г/л					
МПа	3	4	5	6	7	8
0,6	12	15	19	23	27	30
0,9	7,5	10	12,5	15	17,5	20

Примечание. Для промежуточных значений давления насыщения расход воды определяется интерполяцией.

Степень осветления очищенных сточных вод зависит от удельного расхода воздуха и следовательно, от давления насыщения. При удельном расходе воздуха 4-6 л/кг сухого вещества ила содержание взвешенных веществ в осветленной воде не превышает 15 мг/л; при удельном расходе воздуха 9-10 л/кг сухого вещества ила - не более 5 мг/л.

Флотационные резервуары в плане могут быть прямоугольными, а при реконструкции существующих отстойников - круглыми с радиальным движением воды.

Конструктивные параметры прямоугольных резервуаров: рабочая глубина 2-4 м, общая высота на 0,4-0,5 м больше глубины.

Отношение ширины к длине от 1:3 до 1:5. При ширине более 3 м рекомендуется установка продольных (ненесущих) перегородок для обеспечения равномерного движения воды и работы скребковых механизмов.

Расстояние под подвесной перегородкой определяется из условия движения воды в этом сечении со скоростью в пределах 0,8-1,2 м/с.

Объемы аэротенков принимаются в соответствии с п. 6.143 СНиП 2.04.03-85. При определении периода аэрации, удельную скорость окисления надлежит принимать по табл. 17, дозу активного ила по табл. 18.

Таблица 17

$БПК_{полн}$, мг/л	Удельная скорость окисления , мг·$БПК_{полн}$ /(г·ч), при дозе активного ила a_i, г/л					
	3	4	5	6	7	8
100	19,2	17,3	16,11	14,9	13,7	12,7

WWW.STROYTENDERS.RU

150	23,5	21,4	19,7	18,4	17,3	15,9
200	27,6	25,5	24	22,5	21	19,5
300	31,6	29,7	28	26,7	25,2	23,4
400	33,8	32,1	30,7	29,4	27,6	25,9
500	35,2	33,8	33,1	31,3	29,9	28,1

Таблица 18

Показатель	$БПК_{полн}$, мг/л					
	100	150	200	300	400	500
Доза ила *a*, г/л	3	4	5	6	7	8
Степень рециркуляции	0,11	0,16	0,20	0,25	0,30	0,36

Расход рециркуляционного ила при концентрации сфлотированного ила 30 г/л может быть принят по табл. 18.

Перекачку активного ила рекомендуется осуществлять эрлифтами. Для определения количества воздуха, необходимого для перекачки активного ила, ориентировочно можно принять расход воздуха 1 $м^3/м^3$ ила.

Прирост ила в схеме полной биологической очистки следует принимать по СНиПу по аналогии с окситенками.

Пример расчета аэротека с флотационным разделением иловой смеси для городских сточных вод

2.28. Исходные данные: расход сточных вод q_w = 4160 $м^3$/ч; $БПК_{полн}$ начальное и конечное $L_{en,ai}$ 200 мг/л, L_{ex} = 15 мг/л; содержание взвешенных веществ начальное и конечное 150 и 15 мг/л соответственно.

Период аэрации, ч:

$$t_{atm} = (200\text{-}15)/5\ (1 - 0{,}25)\ 24 = 2{,}06,$$

где принимается ρ по табл. 17, и *a* - по табл. 18.

Объем аэротенков

$$W_{ai} = 4160 \cdot 2{,}06 = 8600\ м^3.$$

Расход воздуха на аэрацию рассчитаем, по формуле (61) СНиП 2.04.03-85 при $q_0 q_h$ = 1,1 мг/мг, $K_1 K_т$ = 2; при $f_{аэр}/F_{аэр}$ = 0,5; $K_2 K_{г/л}$ = 2,52; при h_{ha} = 4 м, $K_т K_т$ = 1, $K_з K_{кв}$ = 0,85, C_a = 10,8 мг/л, C_o = 2 мг/л,

$$q_{air} = \frac{1{,}1(200-15)}{2 \cdot 2{,}52 \cdot 1 \cdot 0{,}85(10{,}8-2)} = 5{,}4\ м^3/м^3.$$

Расход воздуха Q_{air} = 5,4·4160 = 22500 $м^3$/ч.

Интенсивность аэрации

$$J_a = q_a H_a / t_{air} = 5{,}4 \cdot 4/2{,}06 = 10{,}5\ м^3/(м^2 \cdot ч),$$

что выше $J_{a\ min}$.

Циркуляционный расход q_r = 20 % от q_w (табл.18); Q_r = 4160×0,2 = 832 $м^3$/ч.

Расход иловой смеси Q_{uc} = 4160+832 = 4992 $м^3$/ч.

Расход насыщенной воздухом осветленной сточной воды $Q_н$ определяется по табл.16. При a_i = 5 г/л и давлении насыщения 0,6 МПа $Q_н$ = 19 % от Q_{uc}

$$Q_н = 4992 \cdot 0{,}19 = 950\ м^3/ч.$$

WWW.STROYTENDERS.RU

Расход $Q_ф$, м^3/ч, через флотационный резервуар

$$Q_ф = 4992 + 950 = 5942.$$

Объем флотационного $W_ф$, м^3, резервуара при времени пребывания 40 мин

$$W_ф = 5942 \frac{40}{60} = 3960.$$

Рабочий объем напорного бака принимается равным 50 м^3. Общий объем сооружений W_c, м^3, биологической очистки:

$$W_c = 8600 + 3960 + 50 = 12610.$$

Насос подбирается на производительность 950 м^3/ч и напор 0,6 МПа.

Компрессор подбирается на производительность 190 м^3/ч и давление 0,6 МПа.

Удаление из сточных вод соединений азота

2.29. Процесс глубокой нитрификации сточных вод, содержащих NH_4^+, независимо от исходной концентрации аммонийного азота эффективно протекает в аэротенках-смесителях при соблюдении строго определенного возраста активного ила, который для различных условий может измениться от 5 до 70 и более сут.

При осуществлении процесса нитрификации в отсутствии или недостатке органического субстрата для построения биомассы нитрифицирующих микроорганизмов требуется искусственная добавка источников неорганического углерода в виде HCO_3^- или CO_2 из расчета 2 мг-экв на 1 мг-экв окисленного аммонийного азота.

Оптимальная величина pH для нитрифицирующих микроорганизмов составляет 8,4, оптимальная температура 30 °С. При температуре менее 30 °С наблюдается снижение скорости нитрификации. Процесс нитрификации может осуществляться как в присутствии органических веществ, так и в их отсутствии. Особое внимание следует обратить на присутствие в сточных водах веществ, тормозящих или полностью ингибирующих нитрификацию, в частности свободного аммиака и тяжелых металлов.

Для удаления из воды окисленных форм азота (NO_2^- и NO_3^-) осуществляют денитрификацию, т.е. восстановление нитритов и нитратов до молекулярного азота. Этот процесс может быть реализован при наличии в воде определенного количества органического субстрата, окисляемого сапрофитными микроорганизмами до CO_2 и H_2O за счет кислорода азотсодержащих соединений. При денитрификации обеспечивается очистка сточных вод одновременно от биологически окисляемых органических соединений и от соединений азота (NO_2^- и NO_3^-). Наиболее эффективно процесс денитрификации протекает при pH = 7-7,5, при pH выше 9 и ниже 6 процесс затормаживается.

В качестве органического субстрата в процессе денитрификации могут быть использованы любые биологически окисляемые органические соединения (углеводы, спирты, органические кислоты, продукты распада белков, избыточный активный ил и т.д.). Источником углеродного питания при очистке сточных вод методом денитрификации могут быть исходные или прошедшие очистку в первичных отстойниках сточные воды, а также органосодержащие производственные сточные воды, предпочтительно не содержащие аммонийного, органического и белкового азота.

Необходимое соотношение величины БПК в сточных водах к нитратному азоту ориентировочно равно 4:1.

Для процессов нитрификации и денитрификации могут быть использованы обычные сооружения биологической очистки: аэротенки и биофильтры.

При удалении соединений азота из сточных вод могут применяться различные схемы

WWW.STROYTENDERS.RU

очистки: одностадийные, двух или трехстадийные. В каждой схеме процесс денитрификации может осуществляться в начале, середине или конце сооружения, с искусственной добавкой субстрата (например, метанола) или с использованием субстрата сточных вод, с проведением процесса денитрификации в аэробных или анаэробных условиях, с дополнительной рециркуляцией иловой смеси в начало резервуара из его конца или из вторичного отстойника, а также из одной ступени в другую. Во всех схемах на завершающей стадии устраивают, как правило, аэрацию иловой смеси продолжительностью не менее 1-2 ч для отдувки газообразного азота и более глубокого окисления аммонийного азота. Для удаления из сточных вод соединений азота возможно применение специально разработанных для этих целей сооружений типа циркуляционных каналов, в которых создаются аэробные и анаэробные участки за счет рассредоточенного расположения поверхностных механических аэраторов. Возможно осуществление процесса в аэротенке-смесителе при попеременном (цикличном) аэрировании и перемешивании иловой смеси в течение короткого времени (1-1,5 ч) при соблюдении необходимого времени пребывания сточной жидкости в сооружении. Для перемешивания иловой смеси могут быть использованы лопастные мешалки с горизонтальной или вертикальной осью вращения, гидравлическое перемешивание, а также перемешивание воздухом с малой интенсивностью, подаваемым дырчатыми трубами или открытыми стояками.

При отсутствии токсичных загрязнений (особенно для нитрификации) могут применяться секционированные вытеснители с последовательно работающими аэробными и анаэробными секциями и подачей в секции денитрификации соответствующего количества органического субстрата или исходной сточной жидкости.

2.30. Аэротенки-тарификаторы целесообразно применять при отсутствии в сточных водах посторонних органических примесей например, дренажных вод жидкостей из накопителей производственных отходов, содержащих NH_4^+. Для поддержания стабильной очистки не допускается суточное изменение концентрации $N\text{-}NH_4^+$ в поступающей жидкости более ±5 %. Процесс нитрификации следует осуществлять в аэротенке-смесителе при невысокой степени очистки воды (2-4 мг $N\text{-}NH_4^+$ очищенной воды).

При расчете процессов нитрификации сточных вод необходимо вначале определить минимальный возраст активного ила, при котором обеспечивается требуемая остаточная концентрация аммонийного азота.

Ориентировочно концентрацию нитрифицирующего ила при требуемом его возрасте следует определять по табл. 19, в которой представлены данные по количеству нитрифицирующих микроорганизмов (a_{is}, г/л) при количестве окисленного аммонийного азота (ΔC_n) 20 мг $N\text{-}NH_4^+$ за 24-часовой период обработки воды при температуре 20 °С, а также данные по приросту ила и удельной скорости окисления аммонийного азота. При других количествах окисленного аммонийного азота ΔC_n и продолжительности очистки t дозу нитрифицирующего ила следует определять по формуле

$$a_{in} = 1{,}2 \cdot a_{is} \frac{\Delta C_n}{t} . \qquad (56)$$

Минимальное время обработки в аэротенке-смесителе сточных вод, не содержащих органических веществ, 10-12 ч. Вынос нитрифицирующего ила из вторичных отстойников должен быть не более 20 мг/л, т.е. его прирост должен быть не менее этой величины, с целью сохранения нитрифицирующего ила в системе.

Таблица 19

Прирост ила, мг/мг $N\text{-}NH_4^+$	Возраст ила, Т, сут.	Концентрация микроорганизмов, a_{is}, г/л	Удельная скорость окисления $_n$, мг/(г·ч)
0,17	5	0,017	49,0
0,17	10	0,034	24,5

WWW.STROYTENDERS.RU

0,16	15	0,048	17,4
0,138	20	0,055	15,2
0,09	25	0,048	17,4
0,055	30	0,033	25,2
0,03	35	0,021	39,7
0,02	40	0,016	52,1
0,048	50	0,048	17,4
0,044	60	0,053	15,7
0,018	70	0,025	33,3

Для более эффективного задержания нитрифицирующего ила целесообразно размещение тонкослойных блоков в конце аэротенков.

Следует отметить, что вследствие весьма малой скорости роста нитрифицирующих микроорганизмов существует критическая минимально возможная суммарная концентрация аммонийного и органического азота $C_{nen\ \ min}$ в поступающей воде, ниже которой осуществление процесса нитрификации в аэротенке с заданным эффектом становится практически невозможным из-за ограничений работы вторичных отстойников при возврате в нитрификатор необходимого количества нитрифицирующего ила.

Минимальная допустимая концентрация $C_{nen\ \ min}$ при заданном возрасте ила T в зависимости от допустимого выноса нитрифицирующего ила из вторичных отстойников a_t, мг/л, определяется выражением

$$C_{nen\ min} = 0{,}02\ a_t\ \mathrm{T}/a_{is}. \qquad (57)$$

Для обеспечения эффективной нитрификации аммонийного азота при меньших начальных его концентрациях целесообразно вводить дополнительное количество неконсервативных легкоокисляемых органических веществ, например, метанола или неочищенной бытовой сточной жидкости.

Процесс нитрификации следует осуществлять при оптимальном значении pH, равном 8,4. При других значениях pH и той же температуре удельные скорости снижаются. Приведем значения K_{pH} при различных величинах pH:

pH	6	6,5	7	7,5	8	8,4	9
K_{pH}	0,15	0,31	0,5	0,6	0,87	1	1,23

В общем случае при расчете аэротенков с нитрификацией сточных вод необходимо знание удельной скорости роста нитрифицирующих микроорганизмов, которая зависит от pH и температуры жидкости, концентрации растворенного кислорода в иловой смеси и аммонийного азота в очищенной жидкости, а также от наличия токсичных для нитрификации компонентов.

Удельная скорость роста тарификаторов $_n$, сут$^{-1}$, определяется по формуле

$$_n = K_{pH} K_T K_{OC}\ \ _{\max} N/(K_П + N), \qquad (58)$$

где K_{pH} - коэффициент, учитывающий влияние pH;

K_T - коэффициент, учитывающий влияние температуры жидкости;

°C	10	15	20	25	30
K_T	0,32	0,56	1,0	1,79	3,2

K_{oc} - коэффициент, учитывающий влияние концентрации растворенного кислорода, который определяется по формуле

$$K_{oc} = C_o/(K_o+C_o). \qquad (59)$$

WWW.STROYTENDERS.RU

Кс - коэффициент, учитывающий влияние токсичных компонентов;

max - максимальная скорость роста нитрифицирующих микроорганизмов, равная 1,77 сут$^{-1}$ при pH = 8,4 и температуре 20 °С;

K_n - константа полунасыщення, мг N - NH_4/л; *N* - концентрация аммонийного азота в очищенной жидкости.

C_o - концентрация растворенного кислорода в иловой смеси, мг/л;

K_o - константа полунасыщения, равная 2 мг O_2/л.

Коэффициент K_o определяется по формуле

$$K_o = J/(J + C_i), \tag{60}$$

где C_i - концентрация ингибитора, мг/л;

J - константа полунасыщенпя, мг ингибитора/л.

Минимальный возраст нитрифицирующего ила Θ определяется по формуле

$$\Theta = 1/ \quad . \tag{61}$$

Удельная скорость окисления органических веществ , мг/(г·ч), определяется по формуле

$$= K_Э + 0{,}0417 K_P / \Theta . \tag{62}$$

где $K_Э$ - энергетический физиологический коэффициент, мг·БПК$_{полн}$/(г·ч); K_P - физиологический коэффициент роста микроорганизмов активного ила, мг·БПК$_{полн}$/г; Θ - возраст ила, сут.

Для городских сточных вод

$$K_Э = 3{,}7 \text{ мг·БПК}_{полп}/(\text{г·ч}); \; K_p = 864 \text{ мг БПК}_{полп}/\text{г}.$$

Концентрация беззольной части активного ила a_i определяется из формулы (49) СНиП 2.04.03-85, где для городских сточных вод max = 70 мг·БПК$_{полн}$/(г·ч); K_i = 65 мг БПК$_{полн}$/л, = 0,14 л/г; K_o = 0,625 мг/л.

Продолжительность пребывания сточных вод в аэротенке t_{atm} с нитрификацией аммонийного азота определяется по формуле

$$t_{atm} = (L_{en} \;\; L_{ex})/a_i \quad , \tag{63}$$

Удельный прирост активного ила K_g, мг/(мг·БПК$_{полн}$), определяется по формуле

$$K_g = 41{,}7 a t_{atm}/(L_{en} \;\; L_{ex})\,\Theta , \tag{64}$$

где *a* - концентрация ила по сухому веществу, г/л.

Суточное количество избыточного ила *G*, кг/сут, составляет

$$G = K_g/(L_{en} \;\; L_{ex})Q/1000. \tag{65}$$

Пример расчета аэротенка-нитрификатора

2.31. Исходные данные: расход сточных вод *Q* = 12000 м^3/сут; содержание аммонийного азота в исходной воде C_{nen} = 150 мг/л, в очищенной воде C_{nex} = 3 мг/л; температура 20 °С; значение *pH* = 8,4; концентрация растворенного кислорода равна 4 мг/л.

По формуле (58) определяется удельная скорость роста нитрификаторов , сут$^{-1}$;

$$= 1 \cdot 1 \frac{4}{2+4} 1 \cdot 1{,}77 \frac{3}{25+3} = 0{,}126.$$

WWW.STROYTENDERS.RU

Минимальный возраст ила находим из уравнения (61)

$$\Theta = 1/0{,}126 = 7{,}93 \text{ сут.}$$

Принимается Θ = 8 сут.

Затем определяем концентрацию нитрифицирующего ила a_{is}. При возрасте ила Θ = 8 сут, a_{is} = 0,03 г/л. Удельная скорость нитрификации по табл. 19 составит 34,5 мг/(г·ч).

По формуле (57) определяется минимально допустимая концентрация аммонийного азота в поступающей жидкости $C_{nen\ min}$ при задаваемом выносе ила из вторичных отстойников C_i = 20 мг/л;

$$C_{nen\ min} = 0{,}02\ \frac{20 \cdot 8}{0{,}03} = 107 \text{ мг/л,}$$

т.е. меньше исходной величины, которая равна 150 мг/л.

Общую дозу ила следует определять исходя из минимального периода аэрации для аэротенков-смесителей, равного 10 ч.

Из уравнения (56) доза нитрифицирующего ила

$$a_{in} = \frac{1{,}2 \cdot 0{,}03 \cdot (150 - 3)}{10} = 0{,}53 \text{ г/л.}$$

Объем нитрификаторов

$$W_n = Qt/24 = \frac{12000 \cdot 10}{24} = 5000 \text{ м}^3.$$

Гидравлическая нагрузка на вторичные отстойники определяется по формуле (67) п. 1.161 СНиП 2.04.03-85.

Пример расчета аэротенка-нитрификатора в присутствии биоразлагаемых органических веществ

2.32. Исходные данные: расход сточных вод 48000 м^3/сут; БПК сточных вод L_{en} = 150 мг/л; аммонийный азот C_{nen} = 50 мг/л; в очищенной воде (L_{en} = 8 мг/л); концентрация C_{nex} = 2 мг/л; температура жидкости 20 °С; концентрация кислорода в аэротенке - 2 мг/л; *pH* = 7,8.

Характер органических загрязнений аналогичен городским сточным водам. Значения констант при окислении органических веществ и обеспечении глубокой нитрификации:

$_{max}$ = 70 мг БПК$_{полн}$/г·ч; K_i = 65 мг/л;

= 0,14 л/ч; K_O = 0,625 мг/л.

По формуле (58) наводим

$$= 1 \cdot 0{,}78 \frac{2}{2+2} 1 \cdot 1{,}77 \frac{2}{25+2} = 0{,}051 \text{ сут}^{-1}.$$

Минимальный возраст ила по формуле (61)

$$1/\quad = 1/0{,}051 = 19{,}6 \text{ сут.}$$

Удельная скорость окисления органических веществ определяется по формуле (62)

$$= 3{,}7 + (864 \cdot 0{,}0417)/19{,}6 = 5{,}54 \text{ мг·БПК}_{полн}/(\text{г·ч}).$$

По формуле (49) п. 6.143 СНиП 2.04.03-85, зная , находим концентрацию беззольной части активного ила при L_{ex} = 8 мг/л

WWW.STROYTENDERS.RU

$$5{,}54 = 70\frac{8\cdot 2}{8\cdot 2+65\cdot 2+0{,}625\cdot 8}\cdot\frac{1}{1+0{,}14a_i};$$

$$5{,}54+5{,}54\cdot 0{,}14a_i = 7{,}41;\ a_i = \frac{7{,}41-5{,}54}{5{,}54\cdot 0{,}14}\ 2{,}42 \text{ г/л.}$$

Продолжительность аэрации сточных под t_{atm}, ч, в аэротенке-смесителе с нитрификацией аммонийного азота определяется по формуле (63)

$$t_{atm} = \frac{150-8}{2{,}42\cdot 5{,}54} = 10{,}6.$$

Концентрация нитрифицирующего ила в иловой смеси при возрасте ила 19,6 сут определяется по данным табл. 19 с использованием формулы (56)

$$a_{in} = 1{,}2\cdot 0{,}055\ \frac{50-2}{10{,}6} = 0{,}3 \text{ г/л.}$$

Общая концентрация беззольного ила в иловой смеси аэротенков составляет $a_{in}+a_i$ = 2,42+0,3 = 2,72 г/л, с учетом 30 % зольности доза ила по сухому веществу составит a = 2,72/0,7 = 3,88 г/л.

Удельный прирост избыточного ила K_g определится по формуле

$$K_g = \frac{4{,}17\cdot 3{,}88\cdot 10{,}6}{(150-8)19{,}6} = 0{,}62 \text{ мг/(мг·БПК}_{\text{полн}}).$$

Суточное количество избыточного ила по формуле (65),

$$G = \frac{0{,}62\cdot(150-8)\cdot 48000}{1000} = 4226 \text{ кг/сут.}$$

Объём аэротенков-интрификаторов

$$W = \frac{48000\cdot 10{,}6}{24} = 21200 \text{ м}^3.$$

Расход подаваемого воздуха рассчитывается по формуле (61), п. 6.157 СНиП 2.04.03-85 с учетом дополнительного слагаемого в числителе

$$1{,}1(C_{en}\text{-}C_{nex})4{,}6.$$

Расчет, денитрификатора

2.33. В качестве денитрификаторов могут применяться как смесители, так и вытеснители. Для осуществления процесса денитрификации в качестве, источника углерода в сточные воды искусственно добавляют биологически неконсервативные, органические вещества (метанол, органические кислоты и т.д.) или исходные сточные воды из расчета 3-6 мг БПК на 1 мг N-NO_3^-.

Расчет продолжительности процесса в реакторе-смесителе осуществляются по формуле (48) п. 6.143 СНиП 2.04.03-85.

Удельная скорость ^{dn}, мг/(г.ч), денитрификации рассчитывается по формуле

$$^{dn} = {}^{dn}_{\max}\left(\frac{L^{dn}_{ex}}{L^{dn}_{ex}+K_{dn}}\right)\left(\frac{1}{1+{}_{dn}a_i^{dn}}\right), \qquad (66)$$

WWW.STROYTENDERS.RU

Продолжительность пребывания в смесителе, ч:

$$t_{atm} = \frac{\left(L_{en}^{dn} - L_{ex}^{dn}\right)}{a_i^{dn}(1- \quad)^{\quad dn}}, \qquad (67)$$

в вытеснителе

$$t_{atm} = \left[\left(L_{en}^{dn} - L_{ex}^{dn}\right) + 2{,}3K_{dn}\lg\frac{L_{en}^{dn}}{L_{ex}^{dn}}\right]\frac{1+ \quad {}^{dn}_{ai}}{{}^{dn}_{\max} a_i^{dn}} \qquad (68)$$

Значения кинетических констант принимаются по данным табл. 20.

Таблица 20

Вид субстрата	${}^{dn}_{\max}$, мг N-NO_3/(г·ч)	k_{dn}, мг N-NO_3^-/л	${}_{dn}$, л/г
Метанол	58,8	40	0,19
Этанол	44,9	25	0,17

Во всех случаях после денитрификации перед отстойниками необходима аэрация иловой смеси в течение 0,5-1 ч для отдувки газообразного азота.

Пример расчета денитрификатора

2.34. Исходные данные: расход сточных вод q_W = 48000 м^3/сут; концентрация нитратного азота 20 мг/л; углеродный субстрат - метанол; концентрация азота в очищенной воде - 9,1 мг/л; иловой индекс - 100 см^3/г, зольность ила - 0,3.

Предельная доза денитрифицирующего ила при J_i = 100 см^3/г составляет

$$a_{i\max}^{dn} = 0{,}3 \cdot 1000/100 = 3 \text{ г/л.}$$

Удельная скорость в денитрификаторе ^{dn}, мг/(г·ч), в смесителе по формуле (66)

$${}^{dn} = 58{,}8\frac{9{,}1}{40+9{,}1}\;\frac{1}{1+0{,}19\cdot 3} = 6{,}94.$$

Продолжительность пребывания в денитрификаторе t_{atm}, ч, по формуле (67)

$$t_{atm} = (30 - 9{,}l)/3(l - 0{,}3)\cdot 6{,}94 = 1{,}43.$$

Объем реактора W_{dn} = 48000·1,43/24 = 2860 м^3.

Для создания анаэробных условий перемешивание иловой смеси в денитрификаторе осуществить механическими лопастными мешалками или гидравлическим способом.

Денитрификатор с фиксированной загрузкой

2.35. В качестве загрузки допускается использовать кварцевый песок, гравий, рулонную пластмассу, стекловолокно, а также другие материалы, обладающие высокоразвитой поверхностью и стойкостью к биологическим воздействиям.

При концентрации азота нитратов в поступающей воде менее 50 мг/л рекомендуется устанавливать каркасно-засыпные денитрификаторы; для диапазона концентраций 50<N-NO_3^-<100 - гравийные денитрификаторы. При содержании азота нитратов в исходной воде более 100 мг/л - пленочные и денитрификаторы с загрузкой из стекловолокна типа «ерш».

Расчет денитрификаторов с фиксированной загрузкой, работающих в затопленном режиме, производятся по формуле

WWW.STROYTENDERS.RU

$$t_{bf}^{dn} = \left[\left(C_{en}^{dn} - C_{ex}^{dn} \right) + K_d K_{dn} \ln \frac{C_{en}^{dn}}{C_{ex}^{dn}} \right] \frac{1 + {}_{dn} a_i^{dn}}{{}_{dn}^{\max} a_i^{dn}} \qquad (69)$$

где t_{df}^{dn} - время контакта, ч; C_{en}^{dn} - концентрация азота нитратов в исходной воде, мг/л; C_{ex}^{dn} - концентрация азота нитратов в очищенной воде, мг/л; K_d - экспериментальный коэффициент, по табл. 21; K_{dn} - константа Михаэлиса-Ментен, мг/л; ${}_{dn}$ - коэффициент ингибирования процесса денитрификации продуктами метаболизма активного ила, л/г; ${}_{\max}^{dn}$ - максимальная удельная скорость восстановления азота, нитратов, мг $N\text{-}NO_3^-$/(г·ч) концентрация денитрифицирующего ила, г/л.

Для денитрификации с использованием в качестве углеродного субстрата метанола и этанола значения кинетических констант K_{dn}, ${}_{dn}$, ${}_{\max}^{dn}$ установлены экспериментально и определяются по табл. 20 и 21.

Таблица 21

Конструкция денитрификатора	Экспериментальный коэффициент K_d	Конструкция денитрификатора	Экспериментальный коэффициент K_d
Каркасно-засыпной	0,89	Гравийный Пленочный	0,83 0,81

WWW.STROYTENDERS.RU