

**Л.Ф.Долина**

**Проектирование и расчет сооружений и установок  
для механической очистки производственных  
сточных вод**

**Днепропетровск  
2004**

УДК 628.543(075.8)-628.3

ББК.38.761.2

K29

Книга рекомендована к печати научно-методической комиссией по направлению «Водные ресурсы» при Министерстве Транспорта Украины.

Рецензенты: **Рокуляк В.В.**, главный инженер Государственного регионального проектно-изыскательского института «Днепроводхоз».

**Беляев Н.Н.**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой гидравлики и водоснабжения Днепропетровского Национального университета железнодорожного транспорта им. акад. Лазаряна.

K29. Долина Л.Ф. Проектирование и расчет сооружений и установок для механической очистки производственных сточных вод. (Учебное пособие).-Днепропетровск: Континент, -2003.- 93с.

Содержит методики и примеры расчета сооружений и установок по механической очистке производственных сточных вод. Учебное пособие предназначено для студентов, бакалавров, магистров, аспирантов и преподавателей, а также для инженерно-технических работников, проектных, эксплуатационных и строительно-монтажных организаций.

Містить методики і розрахунки споруд та установок з механічної очистки виробничих стічних вод.

Навчальний посібник призначений для студентів, бакалаврів, магістрів, аспірантів і викладачів, а також для інженерно-технічних працівників.

This text book includes methods and examples of calculation of industrial sewage waters mechanical treatment.

This text book will be useful for students, post-graduates, teachers and experts working in sewage treatment design and buildings organizations.

ISBN-966-7577-05-3

©Долина Л.Ф.2004

## Предисловие

Инженерные коммуникации каждого промышленного предприятия имеет комплекс водоотводящих сетей и сооружений, с помощью которых осуществляется отведение с территории предприятия отработавших вод(если дальнейшее использование их невозможно по техническим условиям, либо нецелесообразно по технико-экономическим показателям), а также сооружения и установки по очистке сточных вод и извлечению из них ценных веществ и примесей.

Эффективность работы сооружений и установок закладывается на стадии их проектирования. При проектировании осуществляется выбор тех или иных сооружений и делается их технико-экономический и технологический расчет.

Имеющиеся учебники, несмотря на большие объемы приведенного материала, не в состоянии охватить вопросы, связанные с материалами расчета сооружений установок.

Изучение дисциплин «Водоотводящие системы промышленных предприятий» и «Охрана водных ресурсов от загрязнения при эксплуатации наземного транспорта», а также выполнение курсового проекта и заданий по этим дисциплинам невозможно без учебного пособия, в котором собраны и сосредоточены методики и порядок расчета различных сооружений и установок по механической, химической, физико-химической и биологической очистке промышленных сточных вод.

Подготовленное учебное пособие позволяет проектировать и рассчитывать сооружения и установки только для механической очистки производственных сточных вод. При написании учебного пособия использованы последние научные исследования; литературные и патентные поиски; опыт проектирования и эксплуатации специализированных организаций Украины и зарубежных стран (в частности Франции), а также преподавания курсов очистки промышленных сточных вод в ВУЗах.

Учебное пособие может быть использовано в изучении курсов «Водоотведение и очистка сточных вод» и «Технология очистки сточных вод», которые читаются студентам специальности «Водоснабжение и водоотведение», а также студентам экологам по специальности «Экология и охрана окружающей среды» изучающих курс «Охрана водных ресурсов от загрязнения промышленными предприятиями»

Автор приносит благодарность главному инженеру института «Днепроводхоз» В.В.Рокуляку и коллективу этого института, а также профессору, доктору технических наук Беляеву Н.Н. за полезные советы, данные при подготовке рукописи.

Любые критические замечания, пожелания и советы будут приняты с благодарностью.

Автор.

## Введение

Механическая очистка применяется для выделения из сточной воды грубодисперсных нерастворенных минеральных и органических примесей (загрязнений).

Назначение механической очистки заключается в подготовке производственных сточных вод к использованию их для производственного водоснабжения или при необходимости к химическому, физико-химическому, биологическому или другому методу более глубокой очистки.

Широко применяются такие технологические операции механической очистки:

- усреднение на усреднителях различных конструкций
- процеживание на решетках, решетках-дробилках, дуговых ситах, грохотах и т.д.
- отстаивание:
  - гравитационное (в отстойниках, пескоуловителях, нефтеловушках, бензо-маслоуловителях, жироловках и т.д.)
  - центробежное (в гидроциклонах, осадительных центрифугах, центрипрессах, сепараторах и т.д.)
- фильтрование - пропуск воды через слой зернистого материала, или фильтрующую перегородку под действием гравитации, вибрации, центробежной силы, перепада давлений.

Выбор метода очистки воды, типы и размеры очистных сооружений зависят от состава, свойств и расхода производственных сточных вод, площади территории предприятия и других факторов, а также от требований к качеству очищенной воды.

Как правило, механическая очистка является предварительным, реже – окончательным этапом для очистки производственных сточных вод. При механической очистке обеспечиваются выделение взвешенных веществ из этих вод

на 90-95% и снижение органических загрязнений (по БПК полн) на 20-25%. Более высокий эффект механической очистки сточных вод осуществляется интенсификацией гравитационного отстаивания, например, добавкой реагентов, применения рециркуляции и др.

Процесс более полного осветления сточных вод достигается фильтрованием. Преимущество этого процесса заключается в возможности применения его без добавления химических реагентов и с использованием местных фильтрующих материалов.

Метод очистки сточных вод выбирается с учетом кинетики процесса. Размеры взвешенных частиц, содержащихся в производственных сточных водах, могут колебаться в очень широких пределах от  $5 \times 10^{-9}$  до  $5 \times 10^{-4}$  м.

Повышение технологической эффективности сооружений механической очистки очень важно при создании оборотных и замкнутых систем водного хозяйства промышленных предприятий.

С целью обеспечения надежной работы сооружений механической очистки промышленных сточных вод, как правило, рекомендуется применять не менее двух рабочих единиц основного технологического назначения (решеток, усреднителей, отстойников и т.д. [2]). При выборе максимального числа сооружений предусматривается их секционирование по унифицированным группам, состоящим из единиц с наиболее крупными габаритами.

Очистные сооружения рассчитываются по максимальному расходу сточных вод или по какому – либо среднему их расходу, иногда проверяют их по минимальному расходу обрабатываемых стоков. В связи с этим целесообразно в самом начале разработки проекта определить расчетные расходы производственных сточных вод.

В схему механической очистки производственных сточных вод могут входить следующие основные сооружения [1,3-6]

- для задержания крупных загрязнений органического и минерального происхождения (решетки, сита дуговые, грохота и др.);

- для выделения тяжелых минеральных примесей (песколовки, гидроциклоны, отстойники и др.);

- водоизмерительные устройства;

- усреднители расхода сточных вод и концентрации их загрязнений;

- для выделения нерастворимых примесей (отстойники, тонкослойные отстойники, смоло – маслоуловители и др.);

- для более полного осветления воды (различные фильтры, сепараторы и др.).

На различных предприятиях механическая очистка является единственным и достаточным способом для извлечения из производственных сточных вод механических загрязнений и для подготовки их к повторному использованию в системах оборотного водоснабжения, например, железорудные и углеобогажительные фабрики [5]. На некоторых предприятиях, например, на металлургических заводах [4], предусматривается охлаждение механически очищенной сточной воды в градирнях. Для некоторых производств требуется вода с меньшим содержанием взвешенных веществ, чем в воде, забираемой из источника питьевого водоснабжения, поэтому необходима более глубокая очистка производственных сточных вод. Так, для изготовления радиоэлектронной техники требуется «сверхчистая» вода.

## ГЛАВА 1

### УСРЕДНЕНИЕ

Для стоков предприятий всех видов характерны нестабильность их расходов и состава, что связано с особенностями технологических процессов. Расход и загрязненность стоков в ограниченный период времени могут изменяться от минимума до максимума. Нередки колебания температуры стоков, возникающие при выпуске отработанных моющих растворов, щелочных или кислых электролитов, подтоварных вод из хранилищ нефтепродуктов и антисептиков, продувке паровых котлов.

Амплитуду колебаний состава и расхода стоков целесообразно уменьшать. Для этого служат резервуары – усреднители, в которых накапливаются и перемешиваются сточные воды, благодаря чему выравниваются концентрации загрязнений; взаимно нейтрализуются кислые и щелочные стоки и исключаются резкие колебания нагрузки на всю цепочку очистных сооружений.

**Усреднитель** – это сооружение для выравнивания колебаний расхода, концентрации загрязняющих веществ и температуры сточных вод. Усреднение расхода стоков и концентрации их загрязнений экономически целесообразно, так как позволяет рассчитывать все последующие звенья очистных сооружений не на максимальные, а на некоторые средние значения параметров потока. Установка усреднителя в начале цепи позволяет сократить строительный объем и требуемую производительность каждого из последующих звеньев очистки [7].

Выбор рациональной системы усреднения и расчет объема усреднителя производят на основе информации о характере колебаний параметров входных потоков (концентраций  $C_{en, i}(t)$  и расходов  $q_{en, i}(t)$ ) с учетом требований по допустимым колебаниям параметров потока на выходе ( $C_{ex}(t)$ ,  $q_{ex}(t)$ ). Указанные требования обычно устанавливаются на основе анализа максимально допустимых



величин  $C_{adm}$  и  $q_{adm}$ , назначаемых в зависимости типа последующих аппаратов очистных сооружений.

Для расчета объема усреднителя используется характеристики номинальных и аварийных режимов производств – поставщиков стоков, а в случае её отсутствия – информация, полученная с объектов – аналогов, или данные наблюдений.

При наличии на предприятии контрольно – измерительной аппаратуры изменения состава сточных вод регистрируются непрерывно. При отсутствии КИП – дискретно, с установленной технологом длительностью интервалов между лабораторными анализами.

Тип усреднителя выбирают в зависимости от характера и количества нерастворимых компонентов загрязнений, а также динамики поступления сточных вод. При гашении залповых сбросовых предпочтительнее конструкции многоканального типа, при произвольных колебаниях практически равноценны любые типы усреднителей. В последнем случае большую роль играет вид и количество нерастворимых загрязнений.

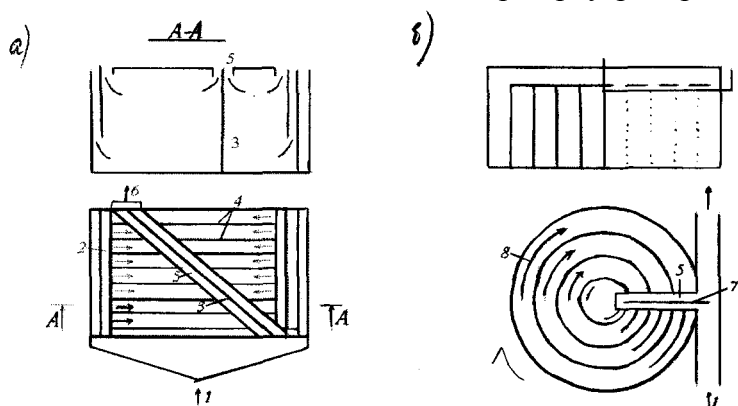
Усреднитель – смеситель барботажного типа следует применять для усреднения стоков с содержанием взвешенных веществ более 500 мг/л, гидравлической крупностью до 10 мм/с.

Усреднитель – смеситель с механическим перемешиванием и отстойной зоной применяют для усреднения стоков с содержанием взвешенных веществ более 500 мг/л любой гидравлической крупности с произвольным режимом поступления стоков.

Для того, чтобы справиться с залповыми сбросами высококонцентрированных стоков и произвольными колебаниями состава 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 расхода сооружения блокируют с аккумулялирующей емкостью.

Усреднители бывают контактными и проточными. Первые применяются при небольших расходах, периодическом сбросе и необходимости полного усреднения концентрации загрязнений сточных вод. В большинстве же случаев применяют проточные усреднители, которые выполняют в виде резервуаров с перемешивающими устройствами или в виде многоканальных резервуаров, рис. 1.



**Рис. 1** Усреднитель концентрации стоков:

*а. Прямоугольный проточный с дифференцированием потока.*

*1 – водоподающий лоток; 2 – распределительный лоток; 3 – глухая диагональная перегородка; 4 – продольные вертикальные перегородки; 5 – сборные лотки; 6 – водоотводящие каналы.*

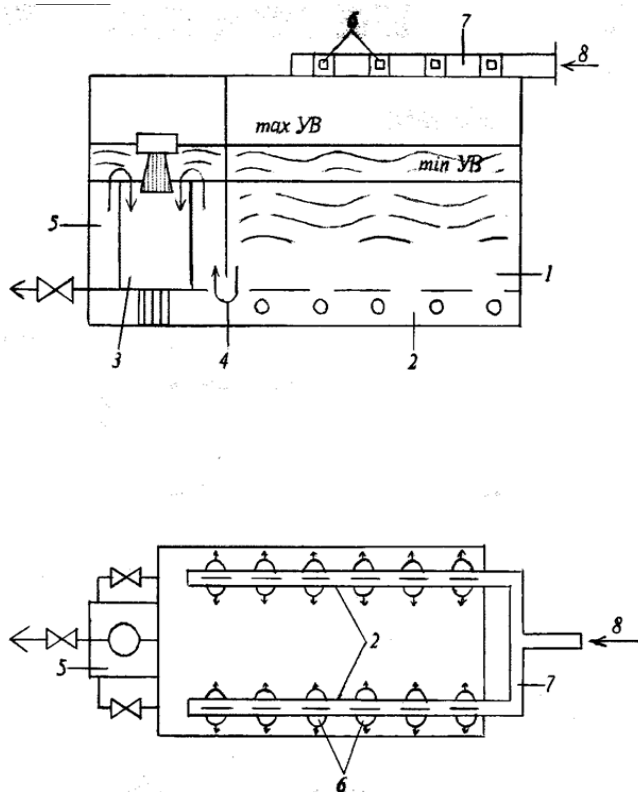
*б. Круглый.*

*7 – глухая радиальная перегородка; 8 – направление движения воды.*

В качестве усреднителей могут быть использованы типовые емкостные сооружения (нефтеловушки, отстойники,

а также приемные резервуары насосных станций), имеющие систему принудительного перемешивания.

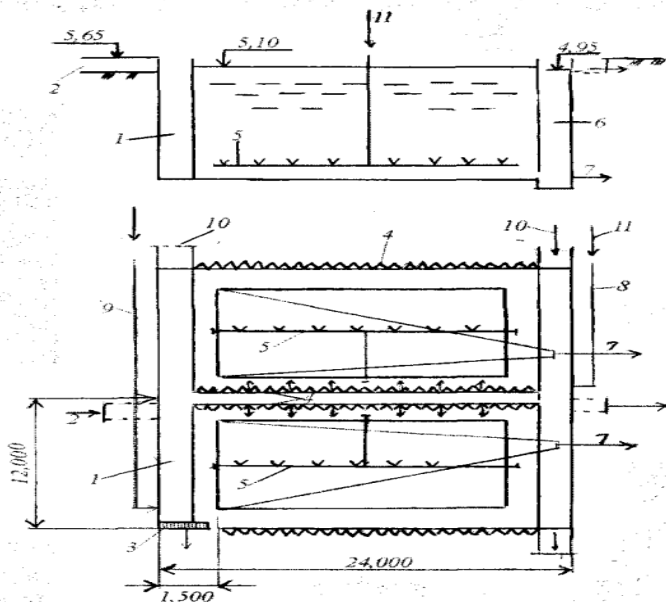
Из многоканальных усреднителей наибольшей эффективностью отличаются прямоугольные и круглые. Усреднение в них обеспечивается за счет механического перемешивания струями сточной воды, рис. 2. Количество каналов в каждой половине усреднителя должно быть не менее 5 – 6.



**Рис. 2.** Усреднитель с перемешивающим устройством:

1 – резервуар усреднителя; 2 – барботер; 3 – выпускное устройство; 4 – выпускное отверстие; 5 – выпускная камера; 6 – отверстия; 7 – подающие лотки; 8 – исходная вода.

Усреднитель проточного типа с дифференцированием потока рекомендуется применять при незначительном количестве взвешенных веществ в поступающих стоках и слабой их агрессивности по отношению к бетону. В других случаях рекомендуется применение усреднителей барботажного типа, где перемешивание осуществляют сжатым воздухом, рис. 3. Барботерами здесь являются перфорированные трубки, выполненные из некорродирующих материалов (полиэтилена). Распределительные лотки размещаются вдоль стен секций усреднителя и оборудованы зубчатыми водосливами. Величина рабочего объема секций может колебаться в большом диапазоне, от 30 до 5000 м<sup>3</sup>.



**Рис. 3.** Усреднитель концентрации загрязняющих веществ в сточных водах барботажного типа (блок из 2 – х секций)

1 – канал верхний; 2 – подводящий поток; 3 – затвор щитовой; 4 – распределительные лотки; 5 – барботеры; 6 –

*канал нижний; 7 – трубопровод для опорожнения секций; 8 – воздуховод; 9 – трубопровод для взмучивания водой осадков; 10 – трубопровод для опорожнения каналов; 11 – подача воздуха.*

Достоинства усреднителей: повышение эффективности как механической, так и последующих стадий очистки сточных вод; - достижение более высокой степени очистки; - продление срока службы сооружений; - выравнивание расходов и концентраций («срезание» их пиковых амплитуд), что позволяет использовать более экономичные очистные сооружения.

Место усреднителей в системах очистки: - на основном канале перед отстойниками; - на боковых линиях параллельно основному технологическому каналу, через которые отводят лишь избыточный расход стоков. Это так называемые регулирующие резервуары; - после отстойников (для облегчения эксплуатации их оборудуют отстойной частью). Для конкретных технологических задач используются различные схемы усреднения (последовательно-параллельные, двухступенчатые и др.), выбор которых требует обоснования. Число секций усреднителей принимают не менее двух по условиям надежности.

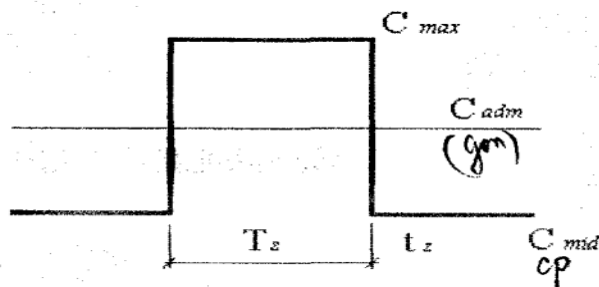
В усреднителях с барботированием или механическим перемешиванием при наличии в стоках легколетучих ядовитых веществ предусматривают устройство перекрытий и принудительное проветривание.

### **1.1 Расчет объема усреднителя при залповом сбросе сточных вод.**

Расчет производят в соответствии с нормами проектирования [2].

Вместимость усреднителей определяют по графикам притока и колебаний концентраций загрязнений и температур в них. По этим графикам устанавливают период, в пределах которого наблюдается превышение допустимой концентрации (температуры). По суммарному притоку стоков за это время предварительно подбирают вместимость усреднителя и число его секций, а также проверяют скорости движения воды в секциях. Правильность решения оценивают проверочным расчетом концентраций загрязнений на выходе из усреднителя, которая в любой расчетный отрезок времени не должна превышать допустимую.

При неопределенном режиме поступления или небольшом объеме стоков объем усреднителя допускается принимать равным объему сточных вод за смену, а при односменной работе очистных сооружений – равным суточному объему стоков. Усреднитель в этом случае выполняет роль отстойника. Характер изменения концентраций загрязнений при залповом сбросе сточных вод приведена на рис. 4.



**Рис. 4** Характер изменения концентраций загрязнений при залповом сбросе.

$C_{cp(mid)}$ —средняя концентрация загрязнений в поступающей воде;

$C_{max}$ —максимальная концентрация загрязнений в поступающей воде;

$C_{\text{дон(adm)}}$ —допускаемые концентрации загрязнений в усредненной воде;

$T_3$ —продолжительность залпового сброса.

Объем усреднителя следует при залповом сбросе, рассчитывают по формуле, м<sup>3</sup>

$$W_z = \frac{1,3 \cdot q_w \cdot t_z}{\ln \frac{K_{av}}{K_{av} - 1}}, \quad \text{при } K_{av} \text{ до } 5 \quad (1)$$

$$W_z = 1,3 \cdot q_w \cdot t_z \cdot K_{av}, \quad \text{при } K_{av} = 5 \text{ и более} \quad (2)$$

где  $q_w$  — расход сточных вод, м<sup>3</sup>/ч;

$t_z$  — длительность залпового сброса, ч;

$K_{av}$  — требуемый коэффициент усреднения, определяемый по зависимости

$$K_{av} = \frac{C_{\max} - C_{\text{mid}}}{C_{\text{adm}} - C_{\text{mid}}}, \quad (3)$$

где  $C_{\max}$  — концентрация загрязнений в залповом сбросе;

$C_{\text{mid}}$  — средняя концентрация загрязнений в стоках;

$C_{\text{adm}}$  — концентрация, допустимая по условиям работы последующих сооружений (в усредненной воде), г/м<sup>3</sup>.

В соответствии с расчетным объемом усреднителя определяют число секций и по принятому числу уточняют объем усреднителя. Далее проводят проверочный расчет скорости продольного движения воды в секции, которая по рекомендациям ВНИИ ВОДГЕО не должна превышать 2,5 мм/с

$$V = \frac{q_w \cdot 1000}{F \cdot 3600} < 2,5 \text{ мм/с} \quad (4)$$

где  $q_w$  — пропускная способность секции, м<sup>3</sup>/ч.

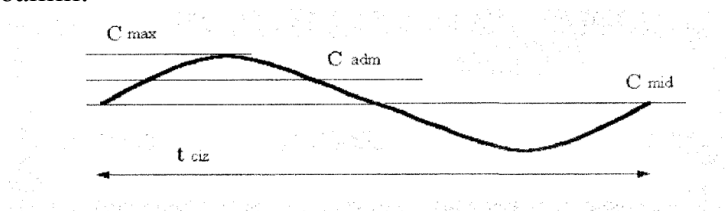
$$q_w = \frac{Q}{n}, \quad (5)$$

где  $n$  – принятое число секций усреднителя;

$Q$  – площадь живого сечения секции,  $\text{м}^2$ .

## 1.2 Расчет усреднителя при циклических колебаниях количества загрязняющих веществ и расхода сточных вод.

Характер изменения состава стоков при циклических колебаниях количества загрязняющих веществ и расхода сточных вод показан на рис. 5, где  $t_{\text{cir}}$  – период циклических колебаний.



**Рис. 5.** Характер изменения состава стоков при циклических колебаниях.

Объем усреднителя  $W_{\text{cir}}, \text{м}^3$ , при циклических колебаниях надлежит рассчитывать по формуле:

$$W_{\text{cir}} = 0,21 \cdot t_{\text{cir}} \cdot \sqrt{K_{\text{av}}^2 - 1}, \quad \text{при } K_{\text{av}} < 5; \quad (6)$$

$$W_{\text{cir}} = 1,3 \cdot q_w \cdot t_{\text{cir}} \cdot K_{\text{av}}, \quad \text{при } K_{\text{av}} > 5, \quad (7)$$

## 1.3 Проектирование барботажного усреднителя.

Для распределения сточных вод по площади усреднителя могут использоваться системы подающих лотков с природными водосливными окнами, расположенными на расстоянии 2 м друг от друга. Возможно распределение стоков из лотков через донные выпуски. Площадь выпусков рассчитывают по известной формуле:



$$w_0 = \frac{q_{en}}{(\mu \sqrt{2 \cdot g \cdot h_0 \cdot n})} \quad (8)$$

Распределительные лотки оборудуются шиберами на выходе в лоток для равномерного распределения сточной воды и в конце лотка на торцевом придонном водосливном окне размером 20×40 см для обеспечения периодической промывки.

Число распределительных лотков и размещение выпускных окон в одной или обеих стенках лотков принимается из расчета поступления одинакового количества жидкости в каждый циркуляционный поток.

При напорной подачи воды на усреднитель перед ним на трубопроводе устанавливают колодец гашения напора. Целесообразна самотечная подача стоков на усреднитель. В этом случае сооружение несет на себе всю нагрузку по выравниванию расхода и концентрации.

Расчет объема усреднителя ведется в зависимости от характера поступления сточных вод на сооружения в соответствии с нормами [2].

Максимальная скорость течения жидкости в усреднителе не должна превышать 2,5 мм/с, при этом длина секции усреднителя принимается равной, м:

$$L = W_w \cdot t_{\min}, \quad (9)$$

Для равномерного распределения жидкости и воздуха вдоль усреднителя длину секции целесообразно принимать до 24 м, ширину секции – не более 12 м. Глубина усреднителя принимается от трех до шести метров.

В качестве барботеров рекомендуется использовать перфорированные трубы с отверстиями диаметром 3 мм (шаг 8-16 см). Отверстия располагают в нижней части трубы в один или два ряда с углом между ними, равным 45°. Широко применяются фильтросные пластмассовые трубы.

Трубы укладываются горизонтально вдоль резервуара на подставках высотой 6-10 см. Для обеспечения равномерности распределения воздуха отклонение от горизонтали при укладке труб барботеров не должно превышать  $\pm 15$  см.

Барботеры подразделяются на пристеночные, создающие один циркуляционный поток, и промежуточные, создающие два циркуляционных потока. Расстояние между барботерами принимают  $(2 \div 3) H$ , где  $H$  – глубина погружения барботера, а между барботерами и параллельной ему стеной – усреднителя  $(1 \div 1,5) H$ .

Интенсивность барботирования для усреднения концентрации растворенных примесей при пристеночных барботерах обеспечиваются расходом воздуха  $6 \text{ м}^3/\text{ч}$  на 1 м, при промежуточных барботерах -  $12 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Интенсивность барботирования для предотвращения выпадения в осадок взвесей в пристеночных барботерах -  $12 \text{ м}^3/\text{ч}$  на 1 м, в промежуточных -  $24 \text{ м}^3/\text{ч}$  на 1 м.

Число стояков подвода воздуха к барботеру и шаг между радиальными отверстиями перфорации для барботеров из полиэтиленовых труб надлежит определить в зависимости от требуемой интенсивности барботирования и заданной неравномерности подачи воздуха на основании опытных данных, табл. 1. В расчете принято, что каждый стояк присоединен к середине обслуживаемого им участка барботера.

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

При среднем перепаде давления на перфорированных отверстиях порядка  $\Delta H = 1$  кПа максимальные потери в барботере превышают не более  $\Delta H_m = 2$  кПа, а при  $\Delta H = 4$  - 7 кПа.

Для предотвращения выпадения осадка в местах сопряжения днища со стенками резервуара рекомендуется

сглаживание их тощим бетоном. Угол сопряжения днища должен составлять 30°.

На входе в усреднитель необходимо контролировать расходы воды и воздуха.

Усреднитель оборудуют трубопроводами опорожнения и малыми средствами механизации для периодической чистки.

Иногда предусматривают устройство нестандартной системы пеногашения усредненными стоками (например, посредством шлангов с насадками) при производстве ПАВ и моющих средств.

В цеховых каналах, на выпусках из промышленных зданий или перед резервуарами - усреднителями предусматривают установку решеток для сбора волокон, шерсти, тряпок и других отходов производства. Для уменьшения количества таких отходов предусматривают меры по местной очистке стоков перед сбросом их в канализацию.

Таблица 1.

### Параметры работы барботажных труб

Наружный диаметр трубы, мм	Диаметр центрального отверстия барботера мм	Диаметр Перфорации, мм	Число рядов Отверстий, шт	Интенсивность подачи воздуха м <sup>3</sup> /ч	Перепад Давлений В отверстие Тии, кПа	Шаг радиальных отверстий, мм	Неравномерность подачи воздуха, %	Длина барботера обслуживания одного стояком, м
50	42,5	3	1	6	1	160	20	39,5
				12	4	160	20	42,5
				12	1	80	20	28,5
		2	2	12	1	160	20	29
				24	4	160	20	32
				24	1	80	20	22

63	59	3	1	6	1	160	12	50
				12	4	160	10	50
				12	1	80	20	44
			2	12	1	160	20	43,5
				24	4	160	20	47
				24	1	80	20	33,5
75	71	3	1	6	1	160	5	50
				12	4	160	4	50
				12	1	80	13	50
			2	12	1	160	13	50
				24	4	160	10	50
				24	1	80	20	43,5

#### 1.4 Расчет усреднителя при произвольных колебаниях расхода сточных вод.

Определение объема усреднителя следует определять пошаговым расчетом (методом последовательного приближения), м<sup>3</sup>.

$$W_{es} = \frac{q_w \cdot (C_{en} - C_{ex}) \cdot \Delta t_{st}}{\Delta C_{ex}}, \quad (10)$$

где  $\Delta t_{st}$  – временной шаг расчета, принимаемый не более 1 ч;

$\Delta C_{ex}$  – приращение концентрации на выходе усреднителя за текущий шаг расчета (может быть как положительным, так и отрицательным), г/м<sup>3</sup>.

Расчет следует начинать после определения  $W_{es}$ . Если он не удовлетворяет технологическим требованиям (например, по максимальной величине  $\Delta C_{ex}$ ), расчет следует повторить при увеличении  $W_{es}$ . Начальную величину  $W_{es}$  назначают ориентировочно, исходя из оценки общего характера колебаний  $\Delta C_{ex}$ . Графика колебаний на выходе по  $C_{en}$  принимают по опыту работы рассматриваемого производства или его аналога, либо по технологическому заданию.

### **1.5 Определение объема многоканального усреднителя при залповом сбросе высококонцентрированных сточных вод.**

Определение объема ведут по формуле, м<sup>3</sup>,

$$W_{av} = \frac{q_w \cdot t_z \cdot K_{av}}{2}, \quad (11)$$

где  $q_w$ - расход сточных вод, м<sup>3</sup>/ч;  
 $t_z$ - длительность залпового сброса, ч;  
 $K_{av}$ - коэффициент усреднения.

### **1.6 Примеры расчета усреднителей.**

#### **Пример расчета усреднителя при произвольных колебаниях взвешенных веществ и расходе сточных вод.**

Требуется рассчитать объем усреднителя для очистной станции сточных вод крупного железнодорожного узла города Д. исходные данные приведены в табл. 2. Допускается концентрация загрязнений в усредненной воде  $C_{adv(\bar{con})} = 1100$  г/м<sup>3</sup>.

В соответствии с графиком притоков сточных вод и колебаний концентрации загрязнений устанавливается период, в пределах которого наблюдается превышение допустимой концентрации.

Из табл. 2. следует, что превышение концентрации загрязнений над допустимой в поступающей воде наблюдается с 4 до 14 часов. Следовательно, период усреднения составляет 10 часов.

По суммарному притоку воды за этот период предварительно подбирается объем усреднителя и число типовых секций. Также проверяются скорости продольного движения воды в секциях.

Ориентировочный объем усреднителя, в соответствии с принятым периодом усреднения, составил (см. выделенные жирным шрифтом цифры в табл. 2)

$$W^1 = 750+655+625+655+625+560+(4 \cdot 525)=5970 \text{ м}^3$$

а) Число типовых секций объемом 1400 м<sup>3</sup>

$$n = \frac{5970}{1400} = 4,25.$$

Принимаем пять секций, тогда объем усреднителя составит

Таблица 2

### Исходные данные

Часы суток	Приток м <sup>3</sup> /ч	Концент рация загрязне ний, C <sub>вас(en)</sub> , г/м <sup>3</sup>	Часы суток	Приток м <sup>3</sup> /ч	Концент рация загрязне ний, C <sub>вас(en)</sub> , г/м <sup>3</sup>
1	2	3	4	5	6
0-1	790	693	12-13	<b>525</b>	<b>1382</b>
1-2	790	862	13-14	<b>525</b>	<b>1696</b>
2-3	750	847	14-15	530	106
3-4	750	715	15-16	530	115
4-5	<b>750</b>	<b>1211</b>	16-17	410	311
5-6	<b>655</b>	<b>827</b>	17-18	280	174
6-7	<b>655</b>	<b>1779</b>	18-19	335	97
7-8	<b>625</b>	<b>1004</b>	19-20	335	96
8-9	<b>625</b>	<b>678</b>	20-21	340	145
9-10	<b>560</b>	<b>2316</b>	21-22	600	250
10-11	<b>525</b>	<b>571</b>	22-23	730	290
11-12	<b>525</b>	<b>1621</b>	23-24	840	373

$$W_{es} = 1400 \cdot 5 = 7000 \text{ м}^3$$

б) Пропускная способность одной секции

$$q = \frac{Q_{\max}}{n} = \frac{840}{5} = 168 \quad \text{м}^3/\text{ч}.$$

в) Определение скорости продольного движения воды в секции

$$v = \frac{q \cdot 1000}{F \cdot 3600} = \frac{168 \cdot 1000}{58,8 \cdot 3600} = 0,81 \quad \text{мм/с} \quad (v < v_{\text{дон}} = 2,5 \text{ мм/с}).$$

Правильность принятого объема оценивается проверочным расчетом концентрации загрязнений на выходе из усреднителя, которая в любой расчетный отрезок времени не должна превышать допустимую.

Расчет ведется последовательно для отрезков времени  $\Delta t_{st}$ .

$Q_{\max}$  – максимальный приток стоков по графику притока,  $\text{м}^3/\text{ч}$ .

$$\Delta t_{st} \leq \frac{0,15 \cdot 70000}{840} = 1,25 \text{ ч}.$$

Принимаем  $\Delta t_{st} = 1 \text{ ч}$ .

Приращение концентрации загрязнений,  $\text{г}/\text{м}^3$ , на выходе из усреднителя в каждый отрезок времени вычисляется из уравнения,  $\text{г}/\text{м}^3$ .

$$\Delta C_{ex} = \frac{q_w \cdot (C_{en} - C_{ex}) \cdot \Delta t_{st}}{W_{es}},$$

где  $q_w$  – приток стоков, рассчитываемый в заданный отрезок времени,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$C_{en(\text{вх})}$  и  $C_{ex(\text{вых})}$  – концентрация загрязнений в воде, поступающей в усреднитель в указанный отрезок времени и выходящий из него в предшествующий отрезок времени.

В результате вычислений значение  $\Delta C_{ex}$  может быть оказаться как положительной, так и отрицательной величиной. Полученное значение  $\Delta C_{ex}$  прибавляют к  $\Delta C_{ex(\text{вых})}$

предшествующего отрезка времени, для получения  $\Delta C_{\text{ex}}$  данного отрезка времени. Результаты проведенного расчета представлены в табл. 3.

Таблица 3

Концентрации загрязнений в усреднителе

Часы суток	Расчетные концентрации загрязнений, г/м <sup>3</sup> , в усредненной воде					
	Первые сутки		Вторые сутки		Третьи сутки	
	$\Delta C_{\text{ex(вых)}}$	$C_{\text{ex(вых)}}$	$\Delta C_{\text{ex(вых)}}$	$C_{\text{ex(вых)}}$	$\Delta C_{\text{ex(вых)}}$	$C_{\text{ex(вых)}}$
1	2	3	4	5	6	7
0-1	-	-	2,0	677,1	6,7	638,9
1-2	-	-	20,3	697,4	24,5	663,4
2-3	-	-	16,5	713,9	20,2	683,6
3-4	-	-	0,1	714,0	3,5	687,1
4-5	-	-	54,7	768,7	57,6	744,7
5-6	-	-	5,2	773,9	7,4	752,1
6-7	-	-	90,5	864,4	92,4	844,5
7-8	-	-	12,6	877,0	14,4	858,9
8-9	-	-	-17,9	-869,1	-16,3	842,6
9-10	-	1100,0	116,6	975,1	117,9	960,5
10-11	-39,7	1060,3	-30,4	945,3	-29,2	931,3
11-12	42,1	1102,4	50,7	996,0	51,1	983,0
12-13	21,0	1123,4	29,0	1025,0	29,9	1012,9
13-14	42,9	1166,3	50,3	1075,3	51,2	1064,1
14-15	-84,8	1081,5	-77,5	997,8	-76,6	987,5
15-16	-77,3	1004,2	-70,6	926,2	-69,8	917,7
16-17	-41,3	962,6	-37,0	890,7	-36,4	881,3
17-18	-31,5	935,1	-28,6	861,6	-28,3	853,0
18-19	-41,7	889,4	-38,2	823,4	-37,8	829,2
19-20	-39,7	849,7	-36,4	787,0	-36,0	779,2
20-21	35,2	814,5	-32,1	754,9	31,6	747,5
21-22	-50,8	763,7	-45,4	709,5	-44,8	702,7



22-23	-47,4	716,8	-42,0	667,5	41,3	661,4
23-24	-41,2	675,1	-35,3	632,2	-34,6	626,8

Определение концентраций загрязнений в усредненной воде следует начинать с того часа суток, когда наблюдается максимальное значение, принимая, что в конце расчетного отрезка времени в усредненной воде концентрация загрязнений будет соответствовать допустимой  $C_{(don) adm}$ .

Если при установившемся режиме концентрации загрязнений в усредненной воде в любой отрезок времени не превышают допустимых, а максимальные их значения близки к допустимым, то останавливаются на выбранном объеме усреднителя.

Считаем, что в 10 часов дня (см. табл. 3) в усредненной воде концентрация загрязнений будет равна допустимой ( $1100 \text{ г/м}^3$ ). Изменение концентраций загрязнений в следующий час будет.

$$\Delta C_{ex11} = \frac{525 \cdot (571 - 1100) \cdot 1}{7000} = -39,7 \text{ г/м}^3, \text{ а}$$

$$C_{ex11} = C_{ex10} + \Delta C_{ex11} = 1100 - 39,7 = 1060,3 \text{ г/м}^3$$

В результате расчета видим, что на третьи сутки режим в усреднителе стабилизировался, так как в одни и те же часы вторых и третьих суток наблюдаются близкие по значению концентрации загрязнений в усредненной воде.

Максимальная концентрация загрязнений в усредненной воде составляет  $1064 \text{ г/м}^3$ , что ниже допустимой. Следовательно, останавливаемся на принятом объеме усреднителя  $7000 \text{ м}^3$ .

### Порядок расчета многоканального усреднителя

- Рассчитывают объем аккумулирующей емкости  $W_{red}$  с учетом графика притока сточных вод на

очистные сооружения (аналогично расчету регулирующей емкости водонапорных сооружений)[7].

- Рассчитывают объем многоканального усреднителя  $W_{es}$  (для  $q_{min}$ ) с учетом характера поступления стоков (залповый, циклический или произвольный).
- Определяют общий объем сооружения:

$$W = W_{red} + W_{es} \quad (12)$$

- Определяют размеры усреднителя. В плане – в соответствии с граничными условиями.
- Рассчитывают ширину  $b_i$  каждого канала по формуле, м:

$$\frac{b_i}{B_{set}} = 3 \cdot (i - 0,5) \cdot \frac{\{[(\frac{2n-1}{n})] - \frac{2i}{(n+1)}\}}{n} \cdot (n-1) \quad (13)$$

Принимается, что ширина одного канала составляет от 1 до 6 м, глубина – не более 3 м. Число каналов должно выбираться, начиная с трех при соблюдении конструктивных граничных условий и обеспечении минимальной скорости течения 7 мм/с.

Расчет расхода  $q_i$  по каждому каналу (распределение потока воды между каналами) производится по формуле, в которой  $i$  номер канала, м<sup>3</sup>/ч:

$$\frac{q_i}{q_w} = \frac{[(2n-1)]}{n \cdot (n-1)} - 2 \cdot i \cdot (n^2 - 1), \quad (14)$$

Расчет распределительного лотка и размеров донных и боковых водосливов осуществляют с учетом следующих положений:

- Горизонтальность расположения дна лотка;

- Скорость течения воды в лотке из условий незаиливания принимают постоянной, не менее 0,4 м/с.

При этом влияние на изменение кривой свободной поверхности воды при неравномерном ее отборе по длине лотка должно быть незначительным.

Для более равномерного распределения воды по глубине потока лоток лучше располагать затопленным (ниже уровня воды в канале).

Расчет донных и боковых выпусков необходимо производить для каждого канала по методике гидравлического расчета водосливов по известной формуле:

$$q_i = w_0 \sqrt{2g \cdot h_0},$$

Для донного цилиндрического отверстия коэффициент расхода принимают  $\mu = 0,7$

Расчет измерительных и регулируемых водосливов производится в соответствии с [8].

Регулирование водослива, устанавливаемого между приемной камерой и аккумулирующей емкостью, производят с помощью передвижной стенки. На стенке каждого канала устанавливаются водосливы преимущественно треугольного профиля.

### **Усреднитель – смеситель с механическим перемешиванием, оборудованный отстойной зоной**

В настоящее время теоретически и экспериментально данная конструкция еще не отработана [1].

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

## Глава 2. Процеживание

В производственных сточных водах различных предприятий имеются собственные специфические загрязняющие вещества (пух, перья, щетина животных, деревянная щепа, волокна, куски пластмасс), очистка от которых осуществляется процеживанием. Во многих из перечисленных случаях обычные решетки малоэффективны или вообще не пригодны для очистки стоков от таких загрязнителей. Сейчас разработаны или применены на основании опыта использования в других отраслях промышленности новые установки. Из горной промышленности взяты дуговые сита и барабанные грохоты, которые успешно решают задачи по извлечению из сточных вод различных загрязнителей [5].

По своим конструктивным особенностям и технологическому назначению процеживатели классифицируются как:

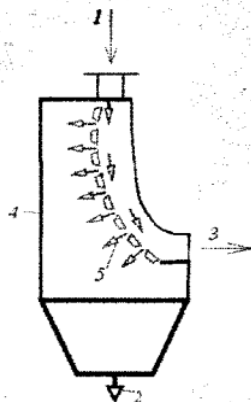
- сита (дуговые, центробежные типа OSO, плоские, барабанные или цилиндрические, сухие и промывные, обезвоживающие и пр.)
- решетки (вертикальные, наклонные, ступенчатые, ленточные, решетки-дробилки и др.)
- фильтры (микрофильтры, вакуум- и пресс - фильтры и др.)
- центрифуги (лопастные, фильтрующие и др.)

Размеры отверстий процеживателя изменяются в широких пределах: от 20 мм (решетки в насосных станциях), 16 мм (решетки на станциях очистки сточных вод), 2-5 мм (дисковые сита) до 0,25-1 мм (дуговые сита, грохота, барабанные сетки) и 20-60 мкм (микрофильтры).

Производительность процеживателей измеряют пропускной способностью единицы рабочей поверхности за час, что составляет для: микрофильтров 5-15, барабанных сеток 40-50, дуговых сит 40-60 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>ч).

Эффективность работы процеживателей и их производительность зависят от величины отверстий и характера твердой фазы сточных вод.

Для удаления навоза на животноводческих комплексах, удаления перьев на птицефабриках, а также для удаления других специфических загрязнений из сточных вод могут использоваться неподвижные дуговые сита, на которые сточные воды подаются тангенциально. (рис. 6). Так, дуговые сита успешно работают на свинокомплексе в Криворожье (приложение).



**Рис. 6** Дуговое сито:

*1-исходные сточные воды; 2-сточная жидкость;*

*3-загрязнения (навоз, перья и пр.) в контейнер;*

*4-корпус дугового сита; 5-отверстие.*

Размеры отверстий на дуговых ситах составляют от 0,25 до 1,5 мм, производительность от 25 до 100 м<sup>3</sup>/час. Сита просты в изготовлении.

В Польше для очистки сточных вод птицефабрик, на канализационных станциях городов и поселков используются барабанные грохоты (рис. 7-9).

Твердые загрязнения задерживаются на сите барабанного грохота, а затем вращающейся внутри грохота стрелбалкой подаются на шнековый транспортер.

Во время работы транспортера отсеvy промываются, обезживаются до влажности 40% сухой массы и сбрасываются в контейнер. Отжатая вода возвращается в канал. Шнековый транспортер снабжен нагревательным кожухом. В зависимости от расхода сточных вод и диаметра отверстий подбираются параметры грохота (табл. 4-6).

Таблица 4

#### Техническая характеристика барабанного грохота

Диаметр барабанного грохота, мм	300			400			500			600			750		
Диаметр отверстий в сите грохота, мм	3	4	5	3	4	5	3	4	5	3	4	5	3	4	5
Максимальная пропускная способность, л/сек	22	30	40	30	50	75	85	100	120	100	115	130	120	140	160
Мощность привода, КВт	0,75			0,75			1,1			1,5			2,0		

Таблица 5

#### Техническая характеристика барабанных решеток (грохотов)

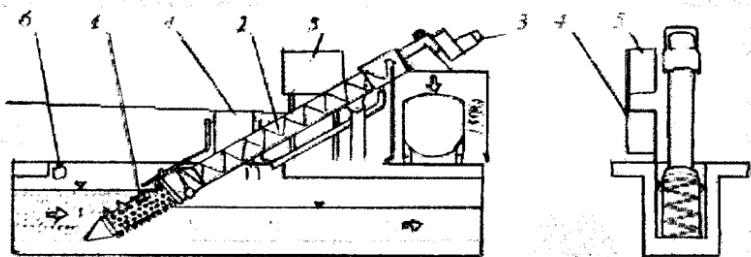
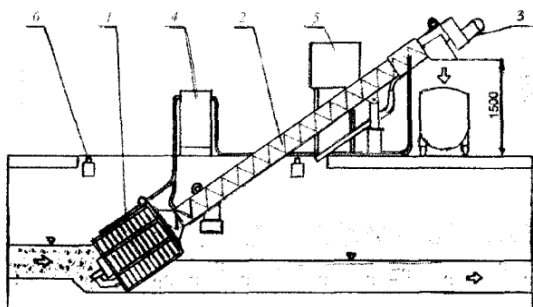
Диаметр барабанного грохота, мм	800			1000			1200			1400			1600			1800		
Диаметр отверстий в сите грохота, мм	5	6	7	5	6	7	5	6	7	6	7	8	7	8	9	7	8	9

Пропускная способность, л/с	120	125	130	190	200	210	280	290	300	400	420	440	550	580	610	680	710	740
Привод электродвигателя, кВт	1,5																	
Материал	Высококачественная сталь																	

Таблица 6

### Техническая характеристика комплекса грохота со шнековым транспортом

Показатели	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Пропускная способность, л/сек	10	15	20	30	40	60	80	100	120	140	160
Диаметр барабанного грохота, мм	300	300	400	400	500	500	500	600	600	750	750
Полная длина комплекса, м	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0
Полная ширина комплекса, мм	700	700	700	700	700	900	900	1100	1100	1300	1300
Мощность электродвигател ей, кВт.	2,05				2,75			3,55	3,85		
Грохот	0,75				1,10			1,50	2,00		
Транспортер: диагональный	0,75				1,10			1,10	1,10		
Транспортер горизонтальный	0,55				0,55			0,75	0,75		
Электрообогрев, кВт	1,50				2,00			2,50			

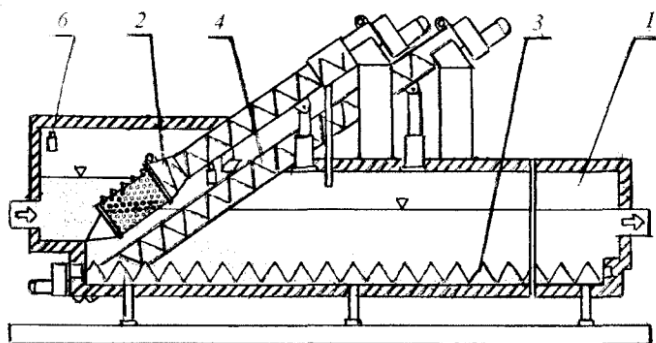


**Рис. 7. Барабанные грохота:**

а) Барабанная решетка (грохот); б) Грохот со шнековым приводом;

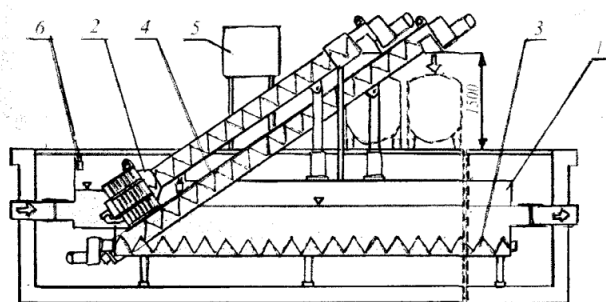
1-барабанный грохот; 2-шнековый транспортер; 3-электропривод с гребалкой; 4-комплект для промывки; 5-шкаф управления; 6-измерители уровней воды





**Рис. 8.** Набор для механической очистки стоков с барабанным грохотом – застройка на поверхности грунта:

1-корпус установки; 2-комплект грохот – транспортер; 3-горизонтальный транспортер; 4-диагональный транспортер; 5 шкаф управления; 6-измерители уровней воды



**Рис. 9.** Набор механической очистки стоков барабанным грохотом – застройка в канале ниже уровня грунта:

1-корпус установки; 2-комплект грохот; 3-горизонтальный транспортер; 4-диагональный транспортер; 5-шкаф управления; 6-измерители уровня воды.

## **Глава 3. Отстаивание.**

### **3.1. Гравитационное отстаивание.**

При очистке производственных сточных вод широко применяют метод отстаивания. Для этого используют как обычные конструкции отстойных сооружений, применяющиеся при очистке городских сточных вод (песколовки, отстойники), так и специальные.

Создание специальных конструкций отстойников для очистки производственных сточных вод обусловлено многообразием нерастворенных веществ, которые целесообразно удалять отстаиванием. Это могут быть и тяжелые примеси (окалина, песок и другие минеральные вещества, тяжелые смолы), и достаточно легкие, всплывающие (нефть, масла, жиры, легкие смолы, бензин и др.).

Отстойники для отделения тяжелых примесей. Их чаще всего применяют на предприятиях горнорудной и металлургической промышленности [4,5]. Продолжительность отстаивания сточных вод невелика – 0,5 – 1 ч. Эффективность извлечения нерастворимых загрязнений достигает 80 – 90%. Наиболее широко используют горизонтальный тип отстойников – при такой конструкции удобнее производить уборку тяжелого осадка с помощью скреперных устройств или грейферных кранов.

Отстойники для удаления легких примесей. Легкие, всплывающие вещества (масла, жиры, нефть и нефтепродукты, куски пластмасс и прочее) содержатся в сточных водах различных отраслей промышленности: машиностроительной, металлургической, химической, нефтяной, легкой и пищевой. Эти вещества присутствуют в сточных водах самостоятельно или в сочетании с другими нерастворимыми примесями, в том числе и тяжелыми. В этом случае во всех специальных отстойниках предусматриваются специальные устройства для сбора и отделения легких и тяжелых примесей. Одним из таких отстойников являются тонкослойные или многоярусные

(нефтеловушки с тонкослойными блоками, масло – смолоуловители, бензогрязеуловители и др.).

### 3.1.1. Тонкослойные отстойники.

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

При расчете отстойника, работающего по перекрестной схеме (рис. 10), расчетными величинами являются длина яруса  $L_{bi}$  и производительность отстойника  $q_{set}$ . Длину яруса  $L_{bi}$  определяют по формуле, м:

$$L_{bi} = \frac{v_w \cdot h_{ti}}{U_0} K_{dis}, \quad (15)$$

где  $v_w$  – скорость потока воды в ярусе отстойника, мм/с, в соответствии с [2];  $h_{ti}$  – высота яруса, м, там же, (при высоких концентрациях загрязнений рекомендуется принимать большие значения);  $K_{dis}$  – коэффициент сноса выделенных частиц (при плоских пластинах  $K_{dis} = 1,2$ ; при рифленых пластинах  $K_{dis} = 1$ );  $U_0$  – гидравлическая крупность задерживаемых частиц, которую рекомендуется определять в слое, равном высоте яруса  $h_{ti}$ .

Производительность отстойника  $q_{set}$ , определяют по формуле, м<sup>3</sup>/час:

$$q_{set} = 7,2 K_{set} \cdot H_{bi} \cdot L_{bi} \cdot B_{bi} \cdot U_0 / (K_{dis} h_{ti}), \quad (16)$$

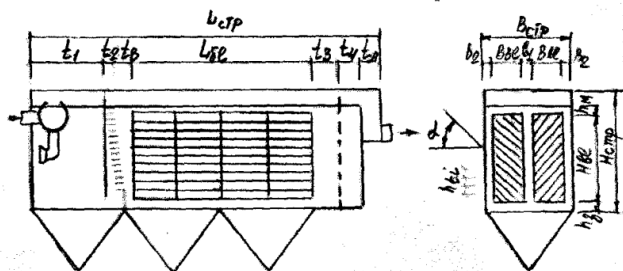
где  $B_{bi}$  – ширина тонкослойного блока, назначается исходя из допустимого прогиба листа, выбранного для тонкослойного блока. ( $\Delta\delta = 3-5$ мм) при наклоне под углом сползания осадка.

Строительную ширину  $B_{\text{ср}}$  отстойника определяют по формуле, м:

$$B_{\text{ср}} = 2B_{\text{би}} + b_1 + 2b_2$$

где:  $b_1 = 0,25$ ;  $b_2 = 0,05-0,1$  м.

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



**Рис. 10.** Схема тонкослойного отстойника, работающего по перекрестной схеме удаления осадка.

Обязательным условием, выполняемым при конструировании отстойника должна быть плотная стыковка соответствующих пластин в рядом устанавливаемых блоках (модулях).

Строительная высота отстойника  $H_{\text{ср}}$ , м, (см. рис. 10) определяется по формуле:

$$H_{\text{ср}} = H_{\text{би}} + h_3 + h_{\text{м}} + 0,3, \quad (18)$$

где:  $h_3$  – высота необходимая для расположения рамы, на которой, устанавливаются блоки ( $h_3 = 0,2-0,3$  м;  $h_{\text{м}} = 0,1$  м).

строительная длина тонкослойного отстойника  $L_{\text{ср}}$  определяется по формуле, м:

$$L_{\text{ср}} = L_{\text{би}} + l_1 + l_2 + 2l_3 + l_4 \quad (19)$$

Зона длиной  $l_1$  служит для выделения крупных примесей. Длину зоны рассчитывают на 2-3 минутное пребывание потока в зоне:

$$l_1 = q_{\text{set}} \cdot t / (60 N_{\text{bi}} \cdot V_{\text{стр}} \cdot K_{\text{set}}), \quad (20)$$

где  $K_{\text{set}}$  – коэффициент использования зоны (принимают равным 0,3); в случае применения пропорционального устройства –  $l_2 = 0,2$  м; если распределение осуществляется дырчатой перегородкой, то  $l_2 = 0$ ;  $l_3 = 0,2-0,25$ ;  $l_4 = 0,15-0,2$  м.

В настоящее время применяют большое количество конструктивных разновидностей тонкослойных отстойников, работающих по *противоточной* схеме. Все они, практически, могут быть сведены к двум расчетным схемам, показанным на рис 11 и 12. В конструкции отстойника, показанного на рис. 11, расчетной являются длина пластины в модуле  $L_{\text{bi}}$  и производительность секции  $q_{\text{set}}$ .

Длину пластины  $L_{\text{bi}}$  определяют по формуле:

$$L_{\text{bi}} = v_w \cdot h_{\text{ti}} / U_o \quad (21)$$

где  $v_w$  – скорость потока в ярусе;  $h_{\text{ti}}$  – высота яруса.

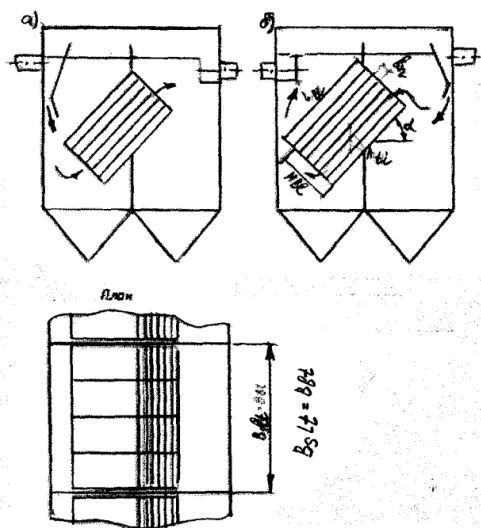
Данные параметры задаются в СНиПе[2]

Производительность одной секции рассчитывается по [2], для которой  $N_{\text{bi}}$  определяется по формуле:

$$N_{\text{bi}} = n_{\text{ti}} \cdot b_n, \quad (22)$$

где  $n_{\text{ti}}$  – количество ярусов в блоке, которое назначается из конструктивных соображений;  $b_n$  – определяется по формуле:

$$b_n = h_{\text{ti}} \cos \alpha$$



**Рис. 11.** Схема тонкослойного отстойника, работающего по противоточной схеме удаления примесей.

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

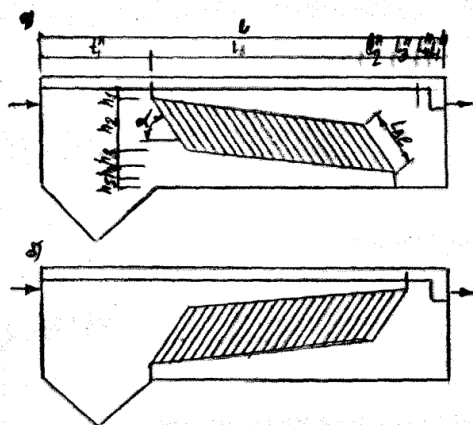
Ширина секции отстойника назначается из конструктивных соображений и исходя из размеров пластин, предназначенных для изготовления модулей. Все размеры других узлов отстойника (ширина резервуара отстойника, его строительная глубина и т. д.) назначаются из конструктивных соображений.

За расчетные параметры тонкослойного отстойника (см. рис. 12) следует принимать длину пластин в блоки  $L_{bi}$  и длину расположения тонкослойных модулей  $L_b$ . Величина  $L_{bi}$  определяется так же, как и в предыдущем случае по формуле (5), а  $L_b$  – по формуле:

$$L_b = q_{set.} / (3,6 K_{set.} \cdot v_w \cdot B_{bi}), \quad (24)$$

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

Общая длина  $L^0_{cmp}$  отстойника определяется по формуле, м:



**Рис. 12.** Схема отстойника, оборудованного тонкослойными блоками, работающего по противоточной схеме удаления примесей.

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

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

$$l_2^n = l_{bi}(90 - a);$$

$$l_3^n = 0,3 \text{ м}; l_4^n = 0,05-0,1 \text{ м}; l_5^n = 0,4-0,5 \text{ м}.$$

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

$$H_{стр} = h_m + h_2 + h_3 + h_4 + h_5, \quad (26)$$

где  $h_2 = L_{bi} \sin a$ ;

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

Затем определяется удельный объем образующегося осадка  $Q_{mud}$ ,  $\text{м}^3/\text{ч}$ , назначается способ его удаления в приямок

и способ удаления из приемка, а по формуле (37) [2] рассчитывается его расход.

### **3.1.2. Реконструкция обычных отстойников в тонкослойные.**

В случае дополнения горизонтальных отстойников [14] тонкослойными блоками (при необходимости повышения их эффективности или для увеличения производительности) расчетными параметрами являются длина пластин  $L_{bi}$  в модуле и расстояние  $L_b$ , на котором устанавливаются блоки в отстойнике. Эти величины рассчитываются по формулам (5) и (8). Величина  $B_{bi}$  численно равна ширине секции отстойника (пример 5).

При дополнении тонкослойными блоками вертикальных отстойников, при известных габаритах отстойника  $L_{set}$  и  $B_{set}$  или  $D_{set}$  и заданной крупности задерживаемых частиц  $U_0$  расчетной величиной является длина пластины  $L_{bi}$ , которая при заданной высоте яруса  $h_{ti}$  рассчитывается по формуле (5) или высота яруса  $h_{ti}$ , рассчитываемая по заданной длине пластин по той же формуле. Производительность отстойника рассчитывается по формуле:

$$q_{set} = 3,6 K_{set} \frac{F_{set} \cdot H_{bi} \cdot U_0}{H_{ti}}; \quad (27)$$

$$\text{где } F_{set} = L_{set} \cdot B_{set} \text{ или } F_{set} = 0,785 D_{set}; H_{bi} = L_{bi} \sin a. \quad (28)$$

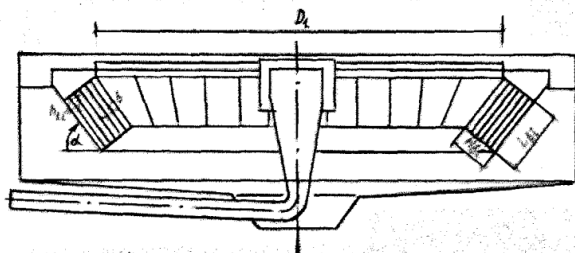
Когда производительность отстойника известна и требуется лишь увеличить эффективность очистки  $\mathcal{E}_{mp}$ , по лабораторным анализам кинетики отстаивания изучаемой воды определяется гидравлическая крупность частиц. Далее, задаваясь высотой яруса  $h_{ti}$ , по формуле (12) определяется высота  $H_{bi}$ , на которой должны быть расположены тонкослойные элементы, а затем по формуле (13) рассчитывается длина пластины и проверяется (по формуле (5)) скорость потока в ярусе.



При дополнении существующих радиальных отстойников тонкослойными модулями (рис. 13), 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  $L_{bi}$ , высота блока  $H_{bi}$  и число ярусов в блоке  $n_{ti}$ . Величина  $L_{bi}$  рассчитывается по формуле (5) при заданной высоте яруса  $h_{ti}$ . Высота блока  $H_{bi}$  рассчитывается по следующей зависимости:

$$H_{bi} = \frac{q_{set} \cdot h_{ti}}{3,6 \cdot K_{set} \cdot \pi \cdot D_1 \cdot L_{bi} \cdot U_0}, \quad (29)$$

где  $K_{set}$  – коэффициент использования объема, определяется по [2], как для радиальных отстойников;  $D_1$  – диаметр расположения блоков.



**Рис. 13.** Схема радиального отстойника дополненного тонкослойными блоками (модулями).

Затем определяется число ярусов в модуле:

$$N_{ti} = H_{bi} / (h_{ti} \cdot \cos \alpha). \quad (30)$$

### 3.1.3. Параметры расчета отстойников.

*Пример 1.* Требуется определить гидравлическую крупность частиц для проектирования отстойника при очистке сточных вод прокатного производства [9].

Исходные данные: расход сточных вод  $q_w$  - 1000 м<sup>3</sup>/ч; температура  $T_w = 30^\circ\text{C}$ ; 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<sup>3</sup>; маслопродуктов - 0,8 г/см<sup>3</sup>. Кривые кинетики отстаивания механических примесей представлены на рис. 14.

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

В проекте принимаются отстойники с рабочей глубиной отстаивания  $H_{\text{set}} = 1.5\text{м}$ . Определение расчетной гидравлической крупности исходя из принятых параметров производится в следующем порядке:

- по заданным величинам концентраций механических примесей в исходной и осветленной воде определяем требуемый эффект очистки  $\mathcal{E}_{mp}$ :

$$\mathcal{E}_{mp} = 100(200 - 60) / 200 = 70\%;$$

- по кривым кинетики отстаивания определяется продолжительность отстаивания  $t_1$  - 13.5 мин (810 с);  $t_2$ : = 17.5 мин (1050 с), при которых в слоях воды  $h_1 = 200\text{мм}$  (кривая 1 на рис. 14) и  $h_2 = 500\text{ мм}$  (кривая 2) достигается требуемый эффект:

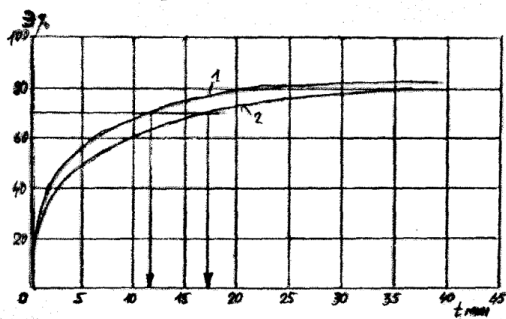


Рис. 14. кинетика отстаивания сточных вод прокатных производств при исходной концентрации  $C_0 = 200$  мг/л. После этого определяется показатель степени  $n_2$ .

$$n_2 = (\lg t_2 - \lg t_1) / (\lg h_2 - \lg h_1) \quad (31)$$

Продолжительность отстаивания определяют экспериментально, а для городских сточных вод ее принимают из табл. 30 [2].

$$n_2 = (\lg 1050 - \lg 810) / (\lg 500 - \lg 200) = 0,3$$

Затем по формуле (17) [2] определяется гидравлическая крупность  $U_0$  частиц взвесей, которые должны быть выделены в отстойнике. При этом принимают  $K_{\text{set}} = 0,5$  по табл. 31 [2], если температура сточных вод, поступающих на отстойники, будет такая же, какая была обеспечена при экспериментальном определении кинетик отстаивания, например  $T_w = 20^\circ\text{C}$ :

$$U_0 = (1000 \cdot 1,5 \cdot 0,5) / [1050 \left( \frac{0,5 \cdot 1,5}{0,5} \right)^{0,3}] = 0,63 \text{ мм/с.}$$

Если температура поступающих на отстойник сточных вод не равна температуре  $20^\circ\text{C}$ , (в нашем случае  $T_w = 30^\circ\text{C}$ ), требуется внести поправку:

$$U_0^T = 0,63 \cdot 1,005 / 0,81 = 0,79 \text{ мм/с.}$$

Таким образом, отстойники, принятые как сооружения для механической очистки сточных вод прокатных производств, должны рассчитываться на задержание частиц с гидравлической крупностью  $0,79$  мм/с.

*Пример 2, Расчет тонкослойного отстойника, работающего по перекрестной схеме удаления осадка (см. рис. 10).*

*Исходные данные:* расход сточных вод завода производства железобетонных изделий составляет  $1200 \text{ м}^3/\text{сут}$ ; 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  $h_{\text{и}}=0.1$  м, находим, что гидравлическая крупность тяжелых механических взвесей, которые требуется выделить, составляет:

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

Гидравлическая крупность нефтепродуктов:

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

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

Из условия количества загрязнений в сточных водах (700 мг/л) принимаем высоту яруса в отстойнике  $h_{\text{и}}=0.1$  м [2]. Для обеспечения условий сползания осадка по пластинам, угол наклона пластин,  $\alpha$  принимаем равным  $45^\circ$ . В качестве материала пластин будет использована листовая сталь  $\delta$  - 3мм. Задав ширину потока в ярусе отстойника [2]  $v_w = 7$  мм/с, определяем по формуле (15) длину яруса:

$$L_{\text{би}} = \frac{7 \cdot 0,1}{0,2} \cdot 1,2 = 4,2 \text{ м}$$

Из условия допустимого прогиба ( $\Delta\delta = 3\text{-}5$  мм) наклоненной под углом  $45^\circ$  пластины принимаем ширину блока  $B_{\text{би}}=0.75$  м. Таким образом, максимальная ширина пластины в блоке будет  $B_{\text{би}}\cos\alpha = 0,75 \cdot 1,41 = 1,060$  м. Задаемся высотой блока с параллельными пластинами  $H_{\text{би}} = 1,5$  м.

По [2] определяем производительность одной секции тонкослойного отстойника с двумя рядами блоков (см, рис. 10).

$$q_{\text{сет}} = 7,2 \cdot 0,75 \cdot 1,5 \cdot 0,75 \cdot 4,2 \frac{0,2}{1,2 \cdot 0,1} = 42,5$$

Проверяем скорость потока в ярусе отстойника при использовании поперечного сечения на 75%,  $K_{set} = 0,75$  [2]:

$$v_w = \frac{q_{set}}{3,6K_{set} * H_{bi} * 2 * B_{bi}} = \frac{42,5}{3,6 * 0,75 * 1,5 * 2 * 0,75} = 7 \text{ мм/с}$$

Приведенный расчет показывает, что исходные величины выбраны, верно. Строительная ширина секции отстойника рассчитывается по формуле (17), м:

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

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

Длина зоны грубой очистки  $l_1$  по формуле (20):

$$l_1 = \frac{42,5 \cdot 2}{60 \cdot 1,5 \cdot 1,8 \cdot 0,3} = 1,75$$

Строительная длина секции  $l_{cmp}$  по формуле (19):

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

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 секций тонкослойного отстойника:

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

В соответствии с [2] уточняется количество секций:  $N = 2$  секции.

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

Количество выделяемого осадка влажностью  $W = 96 \%$  определяется по [2]:

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

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 штопором.

*Пример 3.* Рассчитать тонкослойный отстойник, работающий по противоточной схеме удаления осадка (см. рис. 11).

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  $U_o^H = 0,3$  мм/с, которая определена при отстаивании в слое воды  $h = 100$  мм. Расход сточных вод  $q_w$  постоянен и составляет  $600 \text{ м}^3/\text{ч}$ , температура воды равна  $20^\circ\text{C}$ .

Приняв по [2] высоту яруса  $h = 0,1$  м, и скорость рабочего потока  $v_w = 5$  мм/с, определяем по формуле (21) длину пластины в ярусе:

$$L_{bi} = 5 * \frac{0,1}{0,3} = 1,67 = 1,7 \text{ м}$$

Задавшись углом наклона пластин, определенным экспериментально,  $\alpha = 45^\circ$ , определяем расстояние между пластинами:

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

Задаемся количеством, ярусов в модуле из условия простоты монтажа, равным  $n_{ji} = 15$  шт. Определяем высоту блока по формуле (22):

$$H_{bi}=0,7 \cdot 15=1,05 \text{ м.}$$

Ширина блока  $B_{bi}$  определяется из условия ширины материала листа и условий монтажа. Назначаем ширину одной секции отстойника:

$$B_{bi} = B_{bi} = 6 \text{ м.}$$

Определяем производительность одной секции по [2], если коэффициент использования объема  $K_{\text{сет}}=0,55$  (там же):

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

Толщиной пластин в блоке при технологическом расчете пренебрегаем.

Исходя из расхода сточных вод, определяем количество секций отстойника:

$$N=600/62,4=9,6 \approx 10 \text{ шт.}$$

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

$$l_1=l \sin \alpha + 0,5 = 1,7 \cdot 0,707 + 0,5 = 1,7 \text{ м;}$$

$$H_{bi}/\sin \alpha = l_2 = 1,05/0,707 = 1,48 \approx 1,5 \text{ м.}$$

$h_1=0,5$  м из условия более равномерного сброса очищенной воды;

$$l_2=H_{bi} \cos \alpha + l \sin \alpha = 1,05/0,707 + 1,7 \cdot 0,707 = 1,94 \text{ м.}$$

$h_3=0,5$  м из условия равномерности распределения воды между ярусами блока. Таким образом:  $H_{\text{об}}=0,65+1,94+0,5=2,94$  м.

*Пример 4.* Требуется рассчитать отстойник, работающий по противоточной схеме, показанной на рис. 12, для очистки коагулированных сточных вод литейного производства.

Расход 500 м<sup>3</sup>/ч, сточные воды имеют концентрацию механических примесей 1000 мг/л. Образуются постоянно, температура в среднем равна  $T_w = 30^\circ\text{C}$ . 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  $20^\circ\text{C}$  в слое 100 мм.

По [2] уточняем величину гидравлической крупности:

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

По формуле (21) определяем длину пластины в ярусе  $L_{bi}$ , задавшись предварительно по [2] высотой яруса  $h_{ji} = 0,1 \text{ м}$ ; и скоростью потока в ярусе  $v_w = 5 \text{ мм/с}$ :

$$L_{bi} = (5 \cdot 0,10 / 0,25) = 2 \text{ м.}$$

Назначаем угол наклона пластин, определенный экспериментально:  $\alpha = 50^\circ$ . Задаемся количеством секций отстойника  $N = 5$  и определяем производительность одной секции:

$$q_{\text{set}} = 500 / 5 = 100 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Задаемся шириной одной секции  $B_{bi} = 3 \text{ м}$ .

По формуле (24) определяем длину зоны  $L_{bi}$  тонкослойного отстаивания, если коэффициент использования ее объема в соответствии с [2]  $K_{\text{set}}$  равен 0,5:

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

Задаем длину зон тонкослойного отстойника (см. рис. 12):

$$l_1^n = 1,5$$

м

$$l_{2n} = 2 \sin(90 - 50) = 2 \cdot 0,64 = 1,28 \text{ м}; \quad l_3^n = 0,3 \quad l_4^n = 0,1$$

$$l_n^n = 0,5 \text{ м}$$

а затем по формуле (25) определяем общую рабочую длину отстойника:

$$L_{\text{cmp}}^0 = 3,7 + 1,5 + 1,28 + 0,34 + 0,1 + 0,5 = 7,38 \approx 8 \text{ м.}$$



По формуле (26) определяем общую глубину воды в отстойнике  $H_{\text{стр}}$ , предварительно задавшись высотой зон:

$$h_1^n = 0,1; \quad h_2^n = 2 \sin 50^\circ = 2 \cdot 0,77 = 1,54; \quad h_3^n = 0,3; \quad h_4^n = 0,2; \\ h_5^n = 0,3;$$

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

Принимаем удаление осадка в приямок скребковым механизмом. По [2] определяем расход удаляемого осадка:

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

*Пример 5.* Необходимо повысить эффективность работы действующего радиального отстойника  $D_{\text{set}} = 30 \text{ м}$ , на который подается расход воды  $q_{\text{set}} = 1000 \text{ м}^3/\text{ч}$ . При этой производительности в отстойнике задерживаются частицы гидравлическом крупностью  $U_o = 1 \text{ мм/с}$ , что не удовлетворяет предъявляемым требованиям. Анализ характеристики загрязнений показал, что требуемый эффект очистки обеспечивается при выделении примесей гидравлической крупностью  $0,25 \text{ мм/с}$  и более.

Одним из путей интенсификации работы существующих отстойников является дополнение их тонкослойными модулями (см, рис. 13).

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

Приняв по [2] скорость потока  $v_w = 5 \text{ мм/с}$  и высоту яруса  $h_{\text{ti}} = 0,07 \text{ м}$  по формуле (21), определяем длину пластин в блоке:

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

Задавшись диаметром  $D_1 = 27 \text{ м}$ , на котором предполагается расположить блоки с параллельными пластинами, по формуле (29) определяем высоту блока, при

коэффициенте использования объема  $K_{\text{set}} = 0.45$ , определяемого [2]:

$$N_{\text{в}} = 1000 \cdot 0,7/3,6 \cdot 0,45 \cdot 3,14 \cdot 27 \cdot 1,4 \cdot 0,25 = 1,47 \approx 1,5 \text{ м.}$$

Рассчитываем количество ярусов в блоке (модуле):

$$N_{\text{я}} = 1,5/0,07 \approx 22 \text{ яруса.}$$

## **Глава 4.**

### **Расчет специальных отстойников для производственных сточных вод.**

Специальные отстойники - это отстойники, предназначенные для выделения из производственных сточных вод специфических загрязняющих веществ.

Нефтеловушки применяют для механической очистки производственных сточных вод от нефтепродуктов за счет гравитационного отстаивания (всплывание продуктов нефти с плотностью  $0,97 \text{ г/см}^3$  и осаждение твердых механических примесей). Продуктоловушки - извлечение из воды путём отстаивания различных продуктов, например, парафина из сточных вод цехов синтетических жирных кислот.

Нефтеловушки - это горизонтальные, многоярусные (тонкослойные) и радиальные аппараты.

Маслобензоуловители - устанавливают на выходе из горизонтальных отстойников для отбора всплывающих масел и светлых нефтепродуктов.

Смолемаслоуловители - используют на коксохимических и шпалопропиточных заводах для выделения из воды масляных антисептиков, содержащих лёгкие и тяжёлые фракции.

#### **4.1 Расчет горизонтальных нефтеуловителей**

Нефтеуловители применяются для задержания грубодисперсных нефтяных частиц (размер  $> 100 \text{ мкм}$ ). При концентрации их в стоках более  $100 \text{ мг / л}$ . Для снижения по вязкости нефти в зимнее время предусматривается обогрев

поверхности жидкости змеевиком или по периметру отстойной камеры.

Диаметр поворотных труб которого равен 300 мм и продольные щели в них шириной около 30-50 мм служат для слива нефти, которая поступает в нефтесборные резервуары.

Хорошо работающие нефтеловушки задерживают 60-70 % нефтепродуктов, остаточное содержание нефти в очищенных стоках составляет от 30-50 до 100-150 мг/л, при загрязнении вод только лёгкими нефтепродуктами - до 30-50 мг/л. Сточные воды, поступающие на биодоочистку не должны содержать нефтепродуктов более 20 мг/л.

При проектировании нефтеловителей учитывают следующие рекомендации:

- 1 рабочая глубина не более 2 м;
- 2 ширина секций 3-6 м;
- 3 число секций не менее 2.;
- 4 отношение длины к рабочей глубине от 15 до 20;
- 5 толщина слоя в сплывших нефтепродуктов до 0,1 м;
- 6 толщина слоя осадка до 0,1 м;

Наибольшее количество осадка выпадает в начале сооружения на участке длиной до 5-6 м.

Влажность свежевывавшего осадка составляет 95%. Объёмный вес  $1,1 \text{ т/м}^3$ . С увеличением продолжительности пребывания под водой осадок уплотняется. После 3,6 и 24 ч его влажность составляет соответственно 65-70% (55-60; 50-55%).

Объёмный вес осадка при влажности  $W = 70\%$  равен  $1,5 \text{ т/м}^3$ .

Масса осадка по сухому веществу 80-120 г /м<sup>3</sup> сточных вод.

Содержание нефтепродуктов в осадке 15-20% весовых,

Обводненность уловленного нефтепродукта составляет 30-40%.

Гидроэлеватор откачивает осадок полностью из приемка в виде усечённой пирамиды с углом наклона граней 50°, а при плоском дне - вокруг себя в радиусе 1,5- 2,0 м.

При производительности от 50- до 600 м<sup>3</sup>/ч длина нефтеловушек находится в пределах 18-36 м, ширина от 6 до 18 м (2 - 3 секции), высота 2-3м. Эффективность очистки воды при 2 часовом отстаивании ограничивается остаточными содержаниями 50-300 мг /л и более в зависимости от дисперсности частиц нефтяной эмульсии.

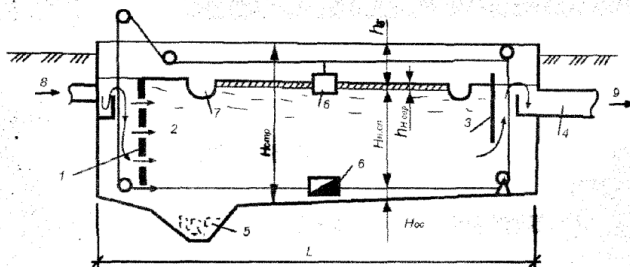


Рис. 16. Горизонтальный нефтеловитель

1 - распределительная перегородка с вертикальными щелями, 2 - отстойная зона, 3 полупогруженная нефтеудерживающая стенка, 4 - сборный лоток, 5 - приемок, 6 - скребок, 7 - поворотные нефтесборные трубы, 8,9 - исходная и отстойная вода

Такие нефтеловители рассчитывают по аналогии с горизонтальными отстойниками. Оптимальное время отстаивания нефтепродуктов в стоках не менее 2 часов. При температуре 20° С плотность всплывающей нефти- 0,87 г/м. Максимальный секундный расход на нефтеловушку

$$q_{\max} = q_{\text{ср}} \cdot K / 24 \cdot 3600 \text{ КН}$$

где К - часовой коэффициент неравномерности.

Принимают число секций нефтеловушки не менее 2-х.

Принимают глубину нефтеловушки Н стр при пропускной способности до 45 Л/с Н=1,2 - 1,5м.

Принимают ширину нефтеловушки В – 3:6м. В практике железно дорожного транспорта ширину принимаем: Н = 1:2м; В ≥ 2м.

Определяют среднюю скорость  $V$  движения воды в проточной части нефтеловушки

$$V=q/p*N*B, \text{ мм/с.}$$

Где  $p$  - количество секций в нефтеловушке.

Согласно СН и П, скорость  $V$  должна приниматься 3-10 мм/с,( 0,005м/с) а гидравлическая крупность  $V_0$  (т.е. скорость всплывания нефтяных частиц,-0,4-0,6 мм/с.). При несоответствии найденной скорости с нормативной корректируют расчет.

Эффект очистки воды от нефти

$$\Xi=(C_1-C_2/C_1)100\%$$

Где  $C_1$  - концентрация нефти до очистки в нефтеловушке;

$C_2$  - концентрация нефти после очистки, г/л.

Определяют длину нефтеловушке.

$$L=a*v/U_0*N$$

$a$  - коэффициент, учитывающий турбулентность и струйность потока воды в нефтеловушке в зависимости от значения отношения  $\frac{v}{U_0}$  :

$$\text{При } \frac{v}{U_0}=20 \quad a=1,75$$

$$\frac{v}{U_0}=15 \quad a=1,65$$

$$\frac{v}{U_0}=10 \quad a=1,5$$

Гидравлическая крупность мм/с может быть определена из формулы:

$$U_0 = \frac{(\gamma_1 - \gamma_2)g \cdot d^2}{1,8\mu}$$

где -  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$  - объёмы массы воды и нефти г/см<sup>3</sup>

d - крупность всплывающих нефтяных частиц см;

$\mu$  - вязкость сточных вод, г/(см с).

После определения длины. L - проверяют отношение:

$$\frac{L}{H} = 15 - 20$$

При необходимости корректируют расчет. Количество уловленной нефти за сутки,

$$G = \frac{CЭK}{1000000}$$

где C – содержание нефти в стоках, мг/л.

Э - Эффект очистки %.

K=1,0

Определяют расчётную продолжительность отстаивания воды

$$T_p = \frac{L}{v}$$

Определяем продолжительность всплывания нефтяных частиц

$$T_{\text{всплыв}} = \frac{H}{U_0},$$

Определяем количество свежего осадка  $W_{\text{ос}}$  (м<sup>3</sup>/сут) задерживаемого в нефтеловушке

$$W_0 = \frac{Q_{\text{от}} \cdot A}{\rho(100 - b)10^6};$$

где Q - суточный расход СВ, м<sup>3</sup>/сут;

$A$  - количество задерживаемого осадка по сухому веществу,  $\text{г/м}^3$  сточных вод. Величина в пределах  $A = 80 - 120 \text{ г/м}^3$

$\rho$  - влажность свежавывавшего осадка,  $\rho = 95\%$

$b$  - плотность свежавывавшего осадка,  $b = 1,1 \text{ т/м}^3$

Высота слоя осадка нефтеловушки составляет:

$$H_{oc} = \frac{W_{oc}}{n \cdot L \cdot B}$$

Слой осадка нефтеловушки надо принимать  $0,1 \text{ м}$ ;

Сопоставляя эту величину с расчетной. Решают вопрос о частоте включения скрепков для сгребания осадка и его удаления из нефтеловушки.

Определяют остаточную концентрацию нефтепродуктов в очищенной воде

$$K_{\text{неф. ос}} = \frac{(100 - 7)}{100} \cdot C_1$$

Где  $C_1$  - концентрация нефтепродуктов в воде, поступающей на очистку.  $\text{Мг/л}$ ;

$\varepsilon$  - эффект очистки.

Принимают высоту борта нефтеловушки  $h_\delta$  (обычно  $h_\delta \geq 0,3 \text{ м}$ ).

Высоту нейтрального слоя  $H_{\text{н. сл}}$  (обычно  $= 0,3 \text{ м}$ ) и - определяют строительную высоту нефтеловушки.

$$H_{\text{ср}} = h_\delta + h_{\text{нефг}} + H_{\text{н.сл}} + H_{oc}$$

Площадь щелей в распределительной перегородке -  $6-7\%$  её общей поверхности.

Общие потери напора в нефтеловушке равно  $0,4 - 0,5 \text{ м}$ .

#### 4.2 Расчет радиальных нефтеуловителей.

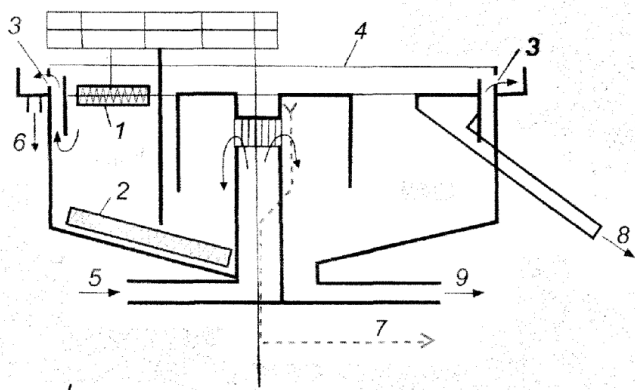
Радиальные нефтеловушки применяют вместо горизонтальных и прудов дополнительного отстаивания, в силу

своих преимуществ они занимают меньшую площадь, удаление осадка и всплывание нефтепродуктов полностью механизировано и др.

Вследствие сокращения открытой поверхности в них и непрерывного удаления нефтепродуктов уменьшается загазованность территории. Кроме того, равномерное распределение и малые скорости движения производственных сточных вод способствуют всплыванию мелкодисперсных частиц нефтепродуктов размером до 50 мкм.

Диаметры радиальных нефтеловушек обычно составляют 24 - 30м. Число ловушек принимают не менее 3 – х.

Расчет для радиальной нефтеловушки выполнен Л. Ф. Долиной во Франции по заказу фирм.



**Рис. 17** Схема радиальной нефтеловушки

1 - поверхностный скребок, 2 - донный скребок, 3 - отверстия для очищенной жидкости, 4 - перекрытие, 5,6 - исходная и очищенная вода, 7,8 - выпуск легких и тяжелых масел, 9 - отвод осадка



Продолжительность отстаивания - 6 часов; глубина отстойника- 3-3, 5м.

Глубина зоны отстаивания,  $h = 3,6K \cdot t \cdot U_o$ , где  $K$  - коэффициент объёмного использования  $K = 0,6$ .

$U_o$  скорость всплывания (гидравлическая крупность) частиц нефти,  $U_o = 0,2$  мм/с

$$\text{Диаметр отстойника } D = \sqrt{4Qt / \pi h k}$$

где  $Q$  - расход производственных сточных вод поступающих в одну нефтеловушку, м<sup>3</sup>/час. Высота зоны осадка принимается 0,3 м, потери напора - 0,6 м. Количество нефти в осадке составляет 20% по массе. Количество задержанных нефтепродуктов за одни сутки

$$W_{\text{нефт}} = \frac{Q(C_{\text{неф.исх.}} - C_{\text{неф.очищ.в.}})}{\gamma_{\text{неф}} (100 - 70) \cdot 10^4}$$

где  $C_{\text{неф. исх.}}$ ,  $C_{\text{неф. в осветл. в}}$  - концентрация нефтепродуктов соответственно в исходной и отстойной воде, г/м<sup>3</sup>

$\gamma_{\text{неф}}$  - объемная масса обводненных нефтепродуктов, равная 0,95г/м<sup>3</sup>

70-процент обводненности уловленных нефтепродуктов в, %  
Количество осадка, задерживаемого в нефтеловушке, м<sup>3</sup>/сут.

$$W_{\text{ос}} = \frac{C_{\text{мех}} \cdot Q \cdot n}{\gamma_{\text{ос}} (100 - Z_{\text{ос}}) 10^6}$$

где  $C_{\text{мех}}$ - концентрация механических примесей в ПСВ, примерно равная 500г/м<sup>3</sup>

$n$  - процент задержания осаждающихся примесей

- для горизонтальных ловушек - 60-70%

- для многоярусных и радиальных-до 75%

-  $\gamma_{\text{ос}}$ - объёмная масса частиц осадка в плотном теле

-  $\gamma_{\text{ос}} = 2,65$  т/м<sup>3</sup>

-  $Z_{\text{ос}}$ - влажность осадка, %, свежавывавшего - 95 при объёмной массе 1,1т/м<sup>3</sup>

слежавшегося - 70-при объемной массе  $1,5 \text{ т/м}^3$

### 4.3 Расчет радиальных смоло-маслоуловителей

Смоломаслоуловители используют на шпалопропиточных и коксохимических заводах (ШПЗ и КХЗ). Наиболее эффективен (рис 18).вертикальный отстойник «Гипротранспути». Горизонтальные, установленные на ряде шпалопропиточных заводов, оказались малоэффективными из-за неблагоприятного гидравлического режима и недостаточной продолжительности отстаивания. Смоломаслоуловители не полностью задерживают мелкодисперсные загрязнения, вследствие чего их остаточное содержание после отстаивания в течении 4- 6 ч не снижается менее 200-300 мг/л. Поэтому сооружения такого типа служат для предварительной очистки сточных вод ШПЗ.

На коксо-химических заводах общие стоки фенольных вод, загрязнённых преимущественно смолой и маслами. Применяют радиальные и прямоугольные отстойники - смолоуловители.

По нормативным данным «Гипрококса», продолжительность отстаивания фенольных вод в отстойниках - смолоуловителях- 6 часов, эффективность осаждения смолы-70-80%

Для уменьшения вязкости смолу перед откачкой подогревают паром до температуры  $60^\circ\text{C}$

Накапливающиеся на поверхности масла перетекают в радиальные лотки, по которым они отводятся в кольцевой сборник. Масло из сборника откачивается насосом.

Принимают:

- среднюю глубину рабочего слоя воды  $1,5 \text{ м}$  ,
- скорость движения воды  $1 - 2 \text{ мм/с}$ ;
- продолжительность отстаивания 3-4 ч,
- эффект осветления 80-90%
- объёмная масса осадка  $1, 1/\text{см}^3$

- частота вращения скребкового устройства 1 мин<sup>-1</sup>

Смолomasлоуловители рассчитывают на максимальный приток стоков  $q$  (м<sup>3</sup>/ч), а при применении рециркуляции - на суммарный расход поступающей на очистку воды  $q$  и циркулирующей воды  $q_{ц}$ , т. е.  $q + q_{ц}$

Определение объема смолomasлоуловителя, м<sup>3</sup>

$$W = q * t$$

$t$  - продолжительность отстаивания, от 2 до 6 часов . принимается 3-4 часа. Расчётную зону осветления воды ( $H$ ) принимают, исходя из местных условий ,обычно в пределах 1,5-3м

Определении площади зеркала смоло-маслоуловителя, м<sup>2</sup>

$$F = \frac{W}{H * N}$$

где  $N$  -число смолomasлоуловителей,  $N \geq 2$

Определение диаметра смоло-маслоуловителя, м

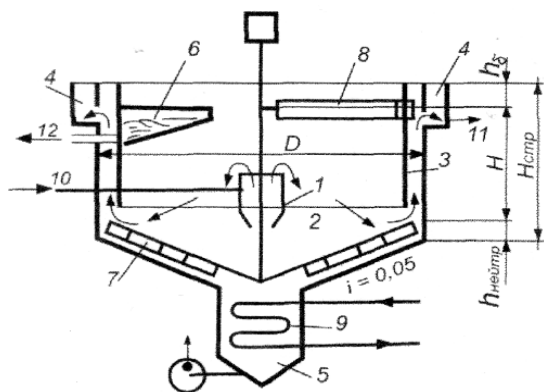
$$D = \sqrt{\frac{4F}{\pi}}$$

Высоту нейтрального слоя  $h_{\text{нейтр}}$ (выше днища на выходе из смоло-маслоуловителя) принимают -0,3м

Принимают высоту борта сооружения  $h_{\delta} \geq 0,3$  м

Определение высоты сооружения

$$H_{\text{стр}} = h_{\delta} + H + H_{\text{нейтр.}}$$



**Рис.18** Схема радиального смолмаслоуловителя

1 - открытый гидроциклон (водораспределитель); 2 - отстойная зона; 3 - перегородка подвесная кольцевая; 4 - кольцевой лоток очищенной воды; 5 - сборник для смол; 6 - радиальный лоток для масел и легки; 7 - донный скребок; 8 - верхний скребок; 9 - обогреватель; 10, 11 – исходная и очищенная вода; 12 – масла и легкие смолы.

#### **4.4 Расчет многоярусных (тонкослойных) нефтеуловителей (сепараторов) производственных сточных вод.**

При колебаниях притока и температуры, работа нефтеловушек ухудшается из-за возникновения местных потоков и завихрений жидкости, которые затрудняют всплывание тонкодиспергированных частиц нефтепродуктов и приводят к их выносу с очищенной водой. С целью повышения эффективности работы в нефтеловушках, устанавливают блоки тонкослойного отстаивания или коалесцирующие фильтры [10-13]. В Европе, нефтеуловители с тонкослойными блоками называют-сепараторами. Европейские нормы делят сепараторы на коалесцентные (первый класс) и гравитационные (второй класс). Содержание углеводорода после сепараторов первого класса менее - 5 мг /л, а второго класса - менее 100 мг/л.

ПДК нефтепродуктов в воде при сбросе в поверхностные водоемы согласно [10] составляет 0,3 мг/л., поэтому большинство сепараторов дополнительно оснащают фильтром, сорбирующим нефтепродукты из очищенной воды с доведением показателей от 5 мг/л до 0,3 мг/л. Загрузка фильтра - торфяные гранулы (производятся в Украине), сорбционная способность 1кг гранул на 1кг нефтепродуктов.

Блок тонкослойного отстаивания представляет собой пакет пластин (плоских или волнообразных) с отверстиями, установленных наклонно с зазорами 50-100 мм в отстойной камере нефтеловушки. Они изготавливаются из стали, алюминия, асбестоцемента, пластмассы. Их целесообразно устанавливать для улучшения работы и повышения пропускной способности эксплуатируемых нефтеловушек.. Эффект очистки возрастает в 1,5-2 раза; повышается производительность; обеспечивается задержание не только грубодисперсных, но и частично эмульгированных частиц нефтепродуктов, они более компактны и занимают меньше площади.

Загрязнённая маслами вода поступает в коалесцентный тонкослойный блок. Поднимающиеся капли масла собираются на пластинах, притягивающих масла к себе. Там объем капли масла растёт, вследствие чего увеличиваются скорость подъёма капель на поверхность сквозь отверстия в пластинах. В результате, на поверхности установки образуется монолитный слой масла.

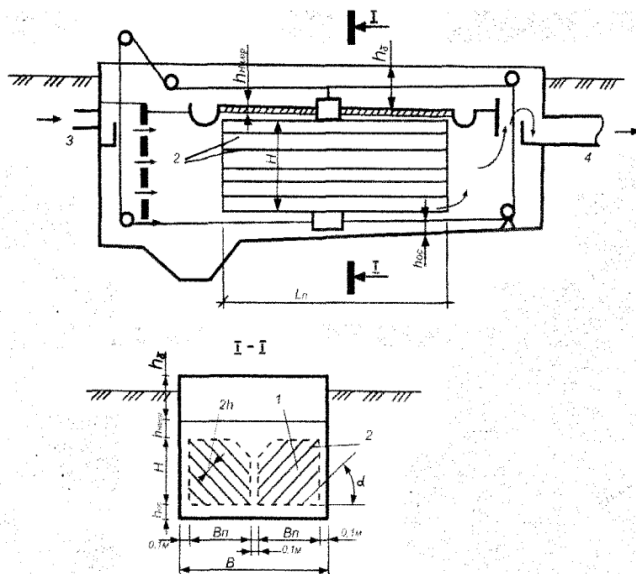


Рис. 19 Многоярусная (тонкослойная) нефтеловушка

1 - блок тонкослойных элементов, 2 - пластины, 3, 4 - исходная и очищенная вода

В Украине на практике для очистки нефтесодержащих стоков применяют напорные и безнапорные нефтеуловители с горизонтальным движением воды. Так как пластины постепенно забиваются, эффективность сооружений снижается. Поэтому они должны периодически очищаться или применяться для горячих стоков, или стоков, содержащих незначительное количество оседающих веществ.

#### 4.5 Расчет тонкослойных нефтеуловителей.

Расчет тонкослойных нефтеуловителей производится в той же последовательности, что и обычных.

Принимается:

- число секции- не менее двух; подача воды- самостоятельным трубопроводом в каждую секцию; ширина каждой секции-2-3м;
- глубина слоя отстаивания воды-2,5-3м;
- скорость потока в тонкослойных элементах рекомендуется принимать равной 2-10 мм/с;
- гидравлическая крупность нефти 0,15мм/с;
- толщина слоя всплывших нефтепродуктов - 0,1м;
- остаточное содержание нефтепродуктов в СВ-100 мч/л;
- расстояние между полками  $h = 50\text{мм}$ ;  $h = (20-100\text{мм})$ ;
- угол наклона полок яруса  $45^\circ-60^\circ$ ; ширина полочного блока 0,65-0,75м; высота полочного блока 1,5-1,6м.

1. Определение площади живого сечения тонкослойных элементов, устанавливаемых в одну секцию нефтеловушки,  $\text{м}^2$ .

$$F = m \cdot B_n \cdot H = \frac{q}{N \cdot v}$$

где  $m$ -количество блоков тонкослойных элементов, устанавливаемых параллельно (определяется из конструктивных соображений, обычно  $m = 1 \div 2$ , при  $B \leq 3\text{м}$ );  $B_n$ - ширина тонкослойного блока, м.

2. Расстояние между блоками, а также между стенкой нефтеловушки и блока принимаются из условий удобства, монтажа и отведения задержанных загрязнений в зоны накопления (0,1 м).

Сечение, не занятое тонкослойными блоками, должно быть минимальным. При проектировании, следует принимать меры для предотвращения движения жидкости за пределами блоков (предусматривать отгибы пластин, проектировать специальные перегородки за пределами блоков в нескольких местах по их длине). Определение длины пакета (тонкослойных элементов).

$$L_n = \frac{v \cdot 2h}{U_0 \cdot \cos \alpha} \varphi;$$

где  $2h$  – расстояние между пластинами (50мм).

$U_0$  - гидравлическая крупность задерживаемых нефтяных частиц, мм/с;

$\alpha$  - угол наклона пластин;

$\varphi$  - коэффициент, учитывающий действительные условия осаждения частиц в отстойнике (см, табл. 7).

Таблица 7

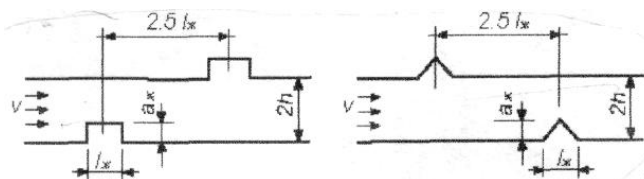
Коэффициент  $\varphi$

$\frac{L_n}{h * Re}$	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	1,0	2,0	4,0
$\varphi$	1,78	1,61	1,48	1,42	1,38	1,35	1,28	1,22	1,17

$Re$  - число Рейнольдса.

При этом число  $Re$  должно быть близко к 700-800, для достижения наибольшего коэффициента использования объёма нефтеловушки. Для повышения эффекта очистки за счёт устранения сноса уловленных частиц на концах пластин, рекомендуется предусматривать поперечные желоба (прямоугольной или треугольной формы), заканчивающиеся в каналах, изолированных от движущегося потока.





**Рис. 20**

Ширина поперечного желоба, м

$$\geq \frac{0,012 \cdot v}{U_0 \cdot \cos a} L_{\text{ж}}$$

$a_{\text{ж}}$  - принимается равной  $0,5 * L_{\text{ж}}$ , а расстояние между осями желобов в соседних полках -  $2,5 * L_{\text{ж}}$ .

Размеры канала; длина  $L_{\text{ж}} = 4 L_{\text{жк}}$ ;

ширина  $b_{\text{ж}} = 0,1$  м;

высота  $H_{\text{ж}} = H$ ;

Расчет тонкослойных нефтеуловителей производится с учетом требуемого эффекта очистки на задержание эмульгированных частиц нефтепродуктов, диаметром  $d_0 = 25 - 50$  мкм, Гидравлическая крупность задерживаемых частиц  $U_0$

$$U_0 = \alpha_a \frac{g}{18\mu} (\rho_{\text{воды}} - \rho_{\text{неф}}) \cdot d_0^2;$$

$U_0$  — скорость всплывания (гидравлическая крупность) нефтяных частиц, см/с;

$M$  - абсолютная вязкость воды г/(см\*с) При  $t^\circ = 20^\circ\text{C}$ ,  $\mu \approx 0,01$  г/см \*с;

$\rho_{\text{воды}}$ ,  $\rho_{\text{неф}}$  - плотность воды и нефтепродуктов, г/см<sup>3</sup> при расчетах для локомотивных и вагонных депо для наиболее неблагоприятных условий принимают

$$\rho_{\text{неф}} = 0,9 \text{ г/см}^3 \text{ (масло М 14В);}$$

$d_0$  - диаметр нефтяных частиц, полностью задерживаемых в нефтеловушках, мм;

$\alpha_a$  - коэффициент, учитывающий влияние механических примесей на скорость всплывания нефтяных частиц,

$$\alpha_a = 0,0015 \frac{C_{\text{неф}}}{C_{\text{мех.пр}}} + 0,875,$$

где  $C_{\text{неф}}$  - концентрация нефтепродуктов в воде,  $C_{\text{мех. пр.}}$  - концентрация механических примесей, мг/л.

Для определенного эффекта очистки, надо знать исходную концентрацию загрязнений и их дисперсный состав.

$$C_{\text{исх}} = C_1 + C_2 + C_3,$$

где  $C_1$ ;  $C_2$ ;  $C_3$  - соответственно содержание растворенных, эмульгированных и грубо дисперсных ( $\alpha > 100$ ) нефтепродуктов, мг/л.

Обычно  $C_1$  - концентрация растворенных нефтепродуктов, например в стоках железнодорожных предприятий.  $C_1 \approx 10 - 15$ ;  $C_2 \approx 100 : 200$ ;

$C_{\text{п1}} \approx 500 : 12000$  мг/л стоки моечных машин.

В тонкослойных нефтеуловителях грубоэмульгированные нефтепродукты задерживаются полностью и в очищенном стоке остается растворенные и некоторая часть эмульгированных нефтепродуктов.

Остаточное содержание их после уловителя.

$$\text{Сост} = \text{C1} + \text{Cп} \cdot \text{Э}.$$

Определение количества свежего осадка, исходя из эффекта очистки от взвесей.

$$\text{Э}_{\text{вз}} = 60-70\%$$

$$W_{\text{ос}} = \frac{Q_{\text{сут}} \cdot \text{Э}_{\text{вз}} \cdot C_{\text{мех.пр.}}}{\rho(100 - B)10^6}, \text{м} / \text{сут}$$

Определение количества задержанных нефтепродуктов

$$W_{\text{неф}} = \frac{Q_{\text{сут}} \cdot (C_{\text{исх}} - C_{\text{ост}})}{\rho \cdot (100 - B)10^6}, \text{м} / \text{сут}$$

В - влажность, %

Зона для сбора нефтепродуктов над блоком принимается 0,1м;

Строительная глубина определяется аналогично обычным нефтеловушкам;

Общая строительная длина нефтеловушки на 5-6 м больше длины полочного пространства. Потери напора 0,5-0.6 м.

## Глава 5

### Центробежное отстаивание. Расчет открытых и напорных гидроциклонов.

Для расчета и проектирования установок с гидроциклонами должны быть заданы те же параметры по воде и по загрязнениям, что и для отстойников. Гидравлическая крупность частиц, которой необходимо выделить для обеспечения требуемого эффекта очистки определяется при высоте слоя воды, равном 200 мм. Основной расчетной величиной открытых гидроциклонов рис. 21 является удельная гидравлическая нагрузка, которая определяется в соответствии [2]

Величину конструктивных параметров ( $D_{hc}$ ,  $d_{en}$  и т.д.), входящих в расчетные зависимости, следует назначать по табл. 8.

Производительность одного аппарата рассчитывают по формуле:

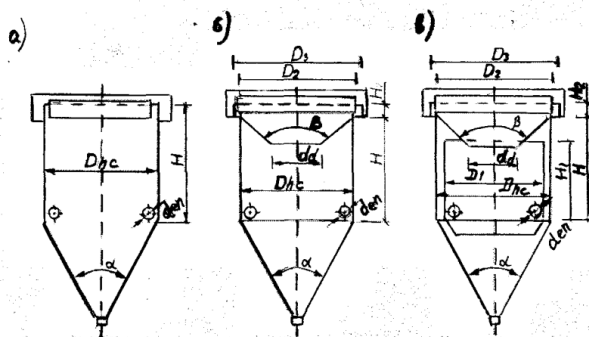
$$Q_{hc} = 0,785 q_{hc} D_{hc}^2$$

Исходя, из общего количества сточных вод  $Q_w$  определяют количество рабочих единиц гидроциклонов:

$$N = Q_w / Q_{hc}$$

После назначения диаметра аппарата и определения их количества по табл. 8. Определяют основные размеры гидроциклона.

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



**Рис. 21.** Схемы открытых гидроциклонов

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

Таблица 8.

### Параметры открытых гидроцилиндров

Наименование конструктивного элемента	Единица измерения	Тип гидроциклона по рис. 18		
		а)	б)	в)
1	2	3	4	5
Диаметр аппарата	м	2-10	2-6	2-6
Высота цилиндрической части, Н	Доля от $D_{hc}$	$D_{hc}$	$D_{hc}$	$D_{hc}+0,5$
Размер впускного патрубка	Доля от $D_{hc}$	0,07	0,05	0,05
Количество впусков $n_1$	шт	2	2	2
Угол конической части $\alpha$	град	60	60	60
Угол конуса диафрагм $\beta$	град	-	90	90
Диаметр центрального отверстия в диафрагме $d_d$	Только для $D_{hc}$	-	0,5	0,5
Диаметр внутреннего цилиндра $D_1$	То же	-	-	0,88
Высота внутреннего цилиндра $H_1$		-	-	1,0
Высота водосливной стенки над диафрагмой $H_2$	м	-	0,5	0,5
Диаметр водосливной стенки $D_2$	В долях от $D_{hc}$	$D_{hc}$	$D_{hc}+0,2$	$D_{hc}+0,2$
Диаметр полупогруженной кольцевой перегородки $D_3$	То же	$D_{hc}-0,2$	$D_{hc}$	$D_{hc}$
Зазор между корпусом и диафрагмой $\Delta D$	м	-	0	0
Скорость потока на входе в аппарат $U_{bn}$	м/с	0,3-0,5	0,3-0,5	0,3-0,5

При расположении гидроциклонов над поверхностью земли и удалении осадка под гидравлическим напором, отвод

осадка производится с разрывом струи 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 полосы с прозорами 6-8мм. Для равномерного распределения воды между гидроциклонами их водосливные кромки должны располагаться на одной отметке, а на подводящих трубопроводах должны быть установлены водоизмерительные устройства.

## **5.2 Расчет напорных гидроциклонов.**

Посредством напорных гидроциклонов успешно решаются следующие технологические задачи; осветление сточных вод, например, стекольных заводов автохозяств (удаление песка, глины и других минеральных компонентов), литейных производств (удаление компонентов формовочной земли), нефтепромыслов (удаление нефтепродуктов и шлама), мясокомбинатов (удаление жира, твёрдой фазы минерального и органического происхождения), сточных вод свиноводческих промышленных комплексов (удаление частиц минерального происхождения) и т.д.

Обогащение твёрдой фазы стоков (удаление из твёрдой фазы частиц минерального или органического происхождения, снижающих ценность основного продукта). Например, обогащения твёрдой 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.

Для обезвоживания сырых осадков при использовании шнековых центрифуг напорные гидроциклоны надлежит применять для предварительного удаления абразивных частиц

твёрдой фазы осадка, обеспечивающего защиту центрифуг от абразивного износа. Удаление из известкового молока инертных примесей (частиц песка необожженного известняка) позволяют повысить надежность работы дозаторов, реакторов, контрольно-измерительной аппаратуры.

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

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

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% от 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 её гидROPЕРЕГРУЗКЕ.

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

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

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

При противодействии со стороны сливного и шламового трубопроводов  $P_{ex} > P_a$ ;  $P_{шл} > P_a$ .

Режимы работы гидроциклонов учитываются при расчете конструктивных и технологических параметров.

Одной из важных особенностей напорных гидроциклонов является сильная корреляция производительности и эффективности разделения суспензий с основными, конструктивными и технологическими параметрами аппаратов (рис. 22).

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

Основные размеры напорного гидроциклона изготовителей (приложение), при этом должны учитываться ( ) подбираются по данным заводов (рис 22, 23).



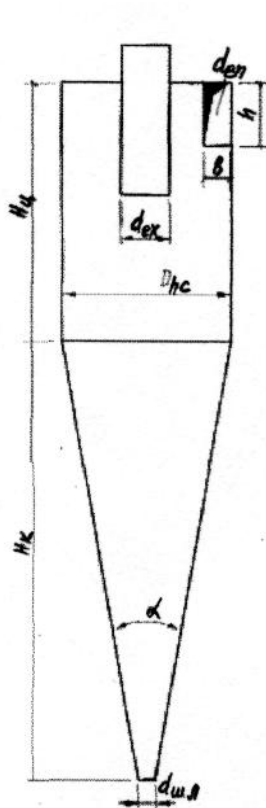


Рис. 22 Схема напорного гидроциклона

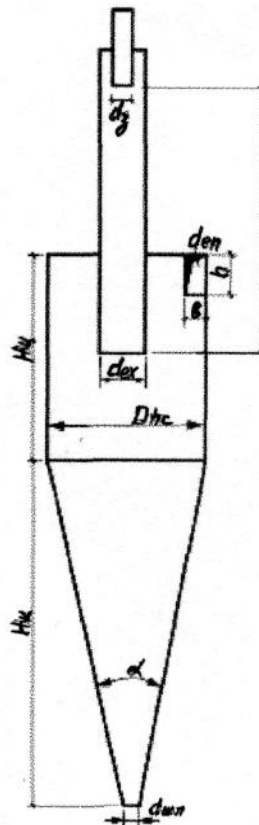


Рис. 23 Схема трехпродуктового напорного гидроциклона

диаметр питающего  $d_{en}$  и сливного  $d_{ex}$  патрубков должны отвечать соотношениям  $d_{en}/d_{ex}=0,5-1$ ;  $d_{en}/D_{гк}=0,12-0,4$ ;

$$d_{en} \leq \frac{(D_{гк} - d_{ex})}{2} - \Delta,$$

где  $\Delta$  - 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-осветителей должна приниматься:  $H_{ц} = (2-4) D_{he}$ ; для гидроциклонов сгустителей:  $H_{ц} = (1-2) D_{he}$ . Угол конусности  $\alpha$  конической части следует принимать для гидроциклонов осветителей  $5-15^\circ$ , для гидроциклонов сгустителей  $-20-45^\circ$ .

В зависимости от особенностей решаемых технологических задач могут применяться двухпродуктовые (см. рис. 22) и многопродуктовые (рис. 23) 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.

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.

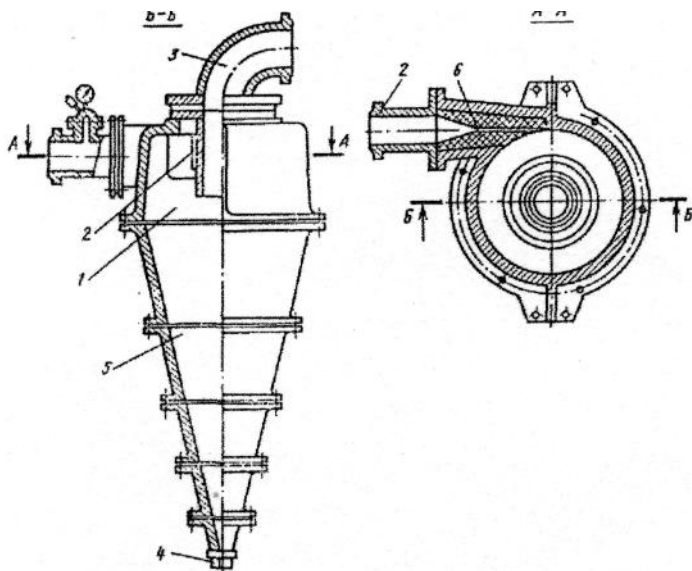
Таблица 9.

### Параметры напорных гидроциклонов

Наименование узлов и деталей, технологические параметры	Размеры основных узлов и деталей			
	Гц-150К*	Гц-250К	Гц-360К	Гц-500К
Внутренний диаметр цилиндрической части $D_{he}$ , мм	150	250	350	500
Сечение вкладыша	15*45	30*65	40*90	55*140

питающего патрубка на входе в гидроциклон $b \cdot h$ , мм				
Диаметр патрубка питающего $d_{\text{вп}}$ , мм	50	80	100	150
Насадок сливной $d_{\text{сх}}$ , мм	40	65	90	130
Патрубок $d_{\text{сх}}$ , мм	65	100	125	150
Патрубок шламовый $d_{\text{шл}}$ , мм	12;17;24	17;24;34	24;34;48	34;48;75
Угол конусности конической части $\alpha$ , град	20	20	20	20
Масса гидроциклона, кг	94	209	344	605
Объемная производительность $Q_{\text{ен}}$ , м <sup>3</sup> /ч, при $P_{\text{ен}}=0,03-0,25$ Мпа	12-35	30-85	55-160	98-281
Граничная крупность разделения $\delta_{\text{гр}}$ , мкм	28-95	37-135	44-180	52-240

\*) Гц – сокращенное название гидроциклона; цифры – внутренний диаметр цилиндрической части, мм; буква К – внутренняя поверхность стенок аппарата футерована каменным литьем.



**Рис. 24** Напорный гидроциклон  
*1-корпус, 2-питающие отверстие, 3-сливной патрубок, 4-сменная насадка для выпуска осадка, 5-конус, 6-сменные вкладыши питающего отверстия.*

Таблица 10

**Параметры многопродуктовых гидроциклонов**

Наименование узлов и деталей.	Размеры основных узлов и деталей											
	Тип гидроциклона											
	Гн- 25	Гн- 40	Гн- 60	Гн- 80	Гн- 100	Гн- 125	Гн- 160	Гн- 200	Гн- 250	Гн- 320	Гн- 400	Гн- 500
Диаметр: цилиндрической части $D_{\text{нц}}$ , мм	25	40	60	80	100	125	160	200	250	320	400	500
Питающего патрубка $d_{\text{ев}}$ , 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	25, 32, 40, 50	32, 40, 50, 60	40, 50, 60, 80	50, 60, 80, 100, 125	60, 100, 125

Сливного патрубка $D_{\text{сл}}$ , мм	Шламового патрубка $d_{\text{шл}}$ , мм	Угол конусности конической части $\alpha$ , град.	Высота цилиндрической части Н ц, мм	Глубина погружения сливного патрубка Нк, мм	Граничная крупность разделения $\delta_{\text{гр}}$ , мкм
5, 8, 12	3, 4, 5	5, 10, 15	25, 50, 75, 100	0,3-1,1	2,3-64
8, 12, 16	4, 5, 6	5, 10, 15	40, 80, 120, 160	0,6-2,2	2,3-84,9
16, 20	5, 6, 8	5, 10, 15, 20	60, 120, 180, 240	1,1-3,7	3,4-92,9
16, 20, 32	6, 8, 10, 12	5, 10, 15, 20	80, 160, 240, 320	1,8-6,4	4,3-103,0
20, 32, 40	8, 10, 12, 16	10, 15, 20	100, 200, 300, 400	2,7-10,1	6,1-150
25, 32, 40, 50	8, 10, 12, 16	10, 15, 20	125, 250, 375	4,4-21,1	6,6-311
32, 40, 50, 60	10, 12, 16, 20	10, 15, 20	160, 320, 480	6,7-31,8	89-330,8
40, 50, 60, 80	12, 16, 20, 25	10, 15, 20, 30	200, 400, 600	10,2-47,4	10,5-342
50, 60, 80, 100	16, 20, 25, 32	10, 15, 20, 30	250, 500, 750	16,3-78,7	12,5-413,3
60, 80, 100, 125	16, 20, 25, 32	10, 15, 20, 30	320, 500, 750	24,5-117,3	15,3-685,5
80, 100, 125, 160	20, 25, 32, 40	15, 20, 30, 45	400, 500, 800	37,67-180,3	17,5-745,0
100, 125, 200	25, 32, 40, 50	15, 20, 30, 45	500, 750, 1000	54,6-282	20,5-884

Путем создания мультигидроциклонов успешно реализуется возможность промышленного применения высокоэффективных двухпродуктовых и многопродуктовых напорных гидроциклонов с малым диаметром цилиндрической части от 8 до 75 мм.

Для выделения из сточных вод частиц механических загрязнений крупностью  $\delta=50-100$  мкм (табл. 9) рекомендуется конструкции напорных гидроциклонов малых диаметров.

Для выделения из сточных вод мелкодисперсных механических примесей и сгущения осадков (табл. 10) 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, имеет производительность 60-70 м<sup>3</sup>/ч; нержавеющая сталь. Аппарат рекомендуется к применению в технологических процессах очистки производственных сточных вод литейных, стекольных и керамических производств и т.д. С целью сокращения расхода шлама и повышения надежности работы батарей, единичные гидроциклоны снабжаются автопульсирующими шламовыми патрубками.

Производительность батарейного гидроциклона при давлении питания 0,4 Мпа – 120 м<sup>3</sup>/ч. Материал нержавеющая сталь.

Для крохмало - паточной промышленности ЦНИИКПП разработаны конструкции мультигидроциклонов марки ГБ-2, ГБ-3, ГБ-6, ГБ-7, ГБ-8 (табл. 11).

Единичные аппараты изготавливают из пластмасс. Основные геометрические размеры и технологические параметры мультигидроциклонов приведены в табл. 11. Назначение аппаратов: разделение суспензий в картофеле и кукурузо-крахмального производства. В технологии очистки сточных вод мультигидроциклоны рекомендуется применять для механической очистки.

Таблица 11

### Параметры мультигидроциклонов

Наименование узлов и деталей, технологические параметры	Тип мультигидроциклонов				
	Гб-2	Гб-3	Гб-6	Гб-7	Гб-8
Единичный гидроциклон: диаметр цилиндрической части $D_{hc}$ , см	20	20	20	20	20
Размер питающего патрубка $d_{en}$ , мм	2*5	2*5	2*5	2*5	2*5
Диаметр сливного патрубка $d_{ex}$ , мм	6	6	6	6	6
Диаметр шламового патрубка $d_{шл}$ , мм	3	3	3	3	3
Угол конической части $\alpha$ , град	10	10	10	10	10
Число гидроциклонов в выпускаемых блоках, шт	29	48	16	24	48
Давление питания мультигидроциклонов $P_{еп}$ , Мпа	0,4-	0,4-0,5	0,4-0,5	0,4-0,5	• 0,4-0,5
Объемная производительность блока $Q_{еп}$ , м <sup>3</sup> /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

Опыт создания типоразмерных рядов гидроциклонов и организация их серийного выпуска

В Дзержинском филиале НГТУ на основании имеющегося опыта конструирования, изготовления и внедрения

гидроциклонов разработан типоразмерный ряд единичных гидроциклонов и батарейных гидроциклонных аппаратов как в металлическом, так и в пластмассовом исполнении, налажен их серийный выпуск.

Для разделения суспензий с относительно агрессивными и абразивными свойствами разработаны высокоэффективные и технологичные гидроциклоны из пластмасс. Для разделения суспензий в более тяжелых эксплуатационных условиях (большие интервалы температур и давлений, взрыво- и пожароопасные, коррозионно-активные и абразивные среды) разработан типоразмерный ряд металлических гидроциклонов, изготавливаемых из углеродистых или легированных сталей, титана.

Для получения высокой эффективности разработан типоразмерный ряд компактных и удобных в эксплуатации батарейных гидроциклонов двух модификаций: с центральным коллектором и с гидроциклоном предварительной очистки. Батарейный гидроциклон с **центральным** коллектором, состоящим из распределительной камеры и камеры сбора очищенной жидкости, включает группу радиально расположенных вокруг коллектора пластмассовых или металлических гидроциклонных модулей и бункер сгущенной суспензий.

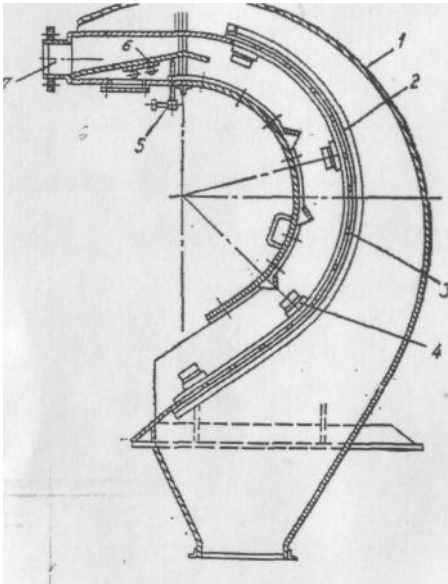


Для предотвращения возможных забивок рекомендуется использовать батарейные гидроциклоны второй модификации- с центральным гидроциклоном предварительной очистки.

Описанные батарейные гидроциклоны имеют ряд принципиальных преимуществ по сравнению с блочными мультициклонами, в которых гидроциклонные модули крепятся внутри единого герметичного блока: во-первых, радиальная обвязка гидроциклонов обеспечивает равномерное распределение между ними входных потоков, что способствует повышению общей эффективности разделения в аппарате; во-вторых, эти аппараты более удобны при обслуживании и ремонте, их отличает простота. Степень очистки в одноступенчатых гидроциклонных установках составляла 80-87 %, в многоступенчатых гидроциклонных установках доходила до 98 %.

## Приложение.

- 1 - сварной закрытый короб
- 2- полуцелендрическое сито;
- 3 - опора из уголков;
- 4 - деревянные клинья;
- 5- винты для регулирования щели;
- 6 - прижимной металлический лист;
- 7 - загрузочное устройство;



Дуговое сито

## Приложение.

### Пластмассовые гидроциклоны [13]



Для разделения суспензий с относительно слабыми агрессивными абразивными (в частности, для очистки сточных вод от тонкодисперсных взвесей) разработаны Дзержинским филиалом НГТУ (Россия) высокоэффективные и технологичные гидроциклоны из пластмасс пяти типоразмеров диаметром от 25 до 100 мм.

Пластмассовый гидроциклон состоящий из корпуса, выполненного вместе с входным и сливным патрубком, конуса и пескового насадка. Крепление Гидроциклона к трубопроводам производится с помощью ниппелей и накидных гаек.

Типоразмер	Диаметр корпуса, мм	Производительность, $\text{м}^3/2^*$	Габариты, мм.	Масса, кг
ТВП-25	25	1,3	44/69/340	0,18
ТВП - 40	40	3,2	65/95/540	0,47
ТВП - 63	63	7,8	90/130/530	0,81
ТВП - 80	80	12	110/150/680	1,33
ТВП- 100	100	19	130/180/860	2,1

\*) - производительность дана при давлении на входе 0,3 МПа и отсутствии противодействия на выходах.



✓

### Металлический гидроциклон

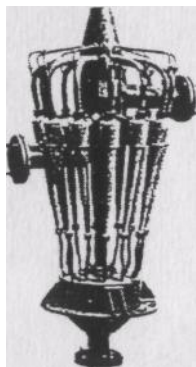
Для разделения суспензий в тяжелых эксплуатационных условиях (большие интервалы температур и давлений, взрыво- и пожаро опасные, коррозионно - активные и абразивные среды)  
 Разработан Дзержинским филиалом НГТУ (Россия)  
 типоразмерный ряд металлических гидроциклонов, изготавливаемых из углеродистых или легированных сталей, титана (10 типоразмеров диаметром от 25 до 200 мм.)

Сливная камера гидроциклона может быть заменена на осевой выходной патрубок.

Типоразмер	Диаметр корпуса, мм	Производительность, $\text{м}^3/2^*$	Габариты, мм.	Масса, кг
ТВ -25	25	1,5	90/120/400	4
ТВ -32	32	2,5	95/120/500	5
ТВ -40	40	3,6	100/140/580	7
ТВ -50	50	6	150/180/700	И
ТВ -63	63	9	160/180/870	15
ТВ - 80	80	14	170/180/1050	20
ТВ- 100	100	20	220/380/900	25
ТВ- 125	125	30	230/380/1000	30
ТВ- 150	150	50	260/400/1200	40
ТВ - 200	200	90	350/450/1500	70

\*) – производительность дана при давлении на входе 0,4 МПа и отсутствии противодействия на выходах.

**Батарейный гидроциклоны [13]**



Для получения высокой эффективности, которую обеспечивают гидроциклоны малого диаметра, и создания большой пропускной способности (производительности) разработан Дзержинским филиалом НГТУ (Россия) ряд компактных и удобных в эксплуатации гидроциклонов двух модификаций:

- центральным коллектором,
- с гидроциклоном предварительной очистки.

## Приложение.

### Центробежные водоотводные сита типа OSO

Сита OSO принадлежат к группе статичных перерабатывающих систем, предназначенных для водоотвода и шламоудаления из материала, напр, угольной мелочи. Такие достоинства как работа без потребления энергии, работа без обслуживания и без шума, обеспечивают спрос на сита OSO в таких технологических процессах:



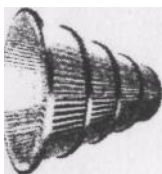
- для сегрегации скального сырья: -для  
шламоудаления перед обогащением в  
отсадочных и др. машинах;
- для выделения из оборотных зашламленных вод,  
густого шлама перед процессами флотации либо  
фильтрации.
- для сегрегации угольного шлама в целях выделения пиритов,
- для предварительного шламоудаления угольной мелочи  
после обогащения в отсадочных машинах.

Являемся производителем комплектных сит OSO вместе с корпусом и креплениями, которые разнятся конструкцией направляющего корыта, а отсюда - параметрами работы и назначением. Сита производятся в версиях: опорной и подвесной.

Кроме комплектного оборудования фирма доставляет заменные элементы для сит OSO, такие как ситовые вкладыши (корзины и направляющие) Диаметр

ситового вкладыша определяет размер сита в данном исполнении. Элементы эти производятся из щелевых сварных сит с щелями любого размера.

## **Сито щелевое**



Поставляются сита в собранном виде (обваренные в рамках) по чертежам Заказчика. Ребра жесткости (шпильки) и рамка изготавливаются из 12Х18Н10Т или обычной стали в зависимости от условий эксплуатации сит. От известных в настоящее время аналогов отличаются повышенной жесткостью и прочностью. Высокие прочностные свойства нашей продукции подтверждены независимыми лабораторными испытаниями.

При работе щелевого сита происходит увеличение ширины щели по мере истирания колосников. При изготовлении сита из износостойких профилей щель сохраняет постоянный размер пока не произойдет полное истирание головки профиля. Сроки службы сит из износостойких профилей в 3-4 раза выше, чем у сит из обычных трапецидальных профилей. Такие сетки применяются при обработке высокоабразивных материалов, в которых примеси и включения не заклиниваются в щелях.

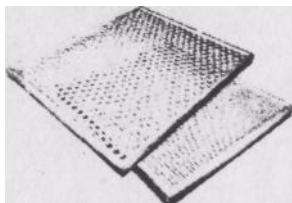
Для заказчиков ООО "Техносоюз" предлагает несколько видов профилей колосников для различных областей применения щелевых сит.



## **Сита перфорированные**

Предназначены для фильтрации, разделения и осушения продукции.

Изготавливаются из нержавеющей или кислотоустойчивых листов. Уникальная технология позволяет получать отверстия любых конфигураций и размеров при неограниченных



соотношениях толщина листа/сечение отверстия (например, при толщине листа 5мм мы можем получить отверстия диаметром 1мм), что обеспечивает необходимые прочные и износостойкие характеристики листовых сит с любым профилем отверстий.

Применяются в пищевой, химической, молочной, целлюлозно-бумажной промышленности, для переработки сельхозпродукции.

Расположение отверстий может быть прямолинейным, шахматным с углом 45° или шахматным с углом 60°.

### Литература.

1. Водоотводящие системы промышленных предприятий: Учеб. Для вузов/С.В.Яковлев, Я.А.Карелин, Ю.М.Ласков, Ю.В.Воронов; Под. ред. С.В.Яковлева. - М.: Стройиздат, 1990.
2. Канализация. Наружные сети и сооружения, СНиП2.04.03-85, - М, 1986.
3. Запольский А.К., Мішкова - Клименко Н.А., Астрелін.М., Брик М.Т., Гвоздик П.І., Князькова Т.В. Фізико – хімічні основи технології очищення стічних вод: Підручник. - К.:Лібра,2000
4. Долина Л.Ф. Сточные воды предприятий черной металлургии и способы их очистки. Справочные пособие. - Днепропетровск - Amsterdam.: MILIEUKONTAKT OOST - EUROPA, 1998
5. Долина Л.Ф. . Сточные воды предприятий горной промышленности и методы их очистки. Справочное пособие. - Днепропетровск. 2000
6. Яковлев С.В., Воронов Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод/ Учебник для вузов: - М.: АСВ,2002
7. Ласков Ю.М., Воронов Ю.В. Калицун В.И. Примеры расчетов канализационных сооружений/ Учеб. пособие для вузов. - М.: Стройиздат, 1987
8. Очистка сточных вод (примеры расчетов). Под ред. Лапицкой М.П., - Минск.: Вышэйшая школа, 1982.
9. Долина Л.Ф. Сборник производственных задач и ситуаций для проведения «деловых игр» и проектно - технологических расчетов по курсу «Водоотведение и очистка сточных вод». Часть 2. Очистка производственных сточных вод предприятий железнодорожного транспорта. - Днепропетровск. :ДИИТ. 1989.

10. «Правила охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами» від 25.03.1999.№465 КМ України.
11. Бедрань Н.І. Машины для обогащения полезных ископаемых. Учебное пособие. - Киев - Донецк: Вища школа, 1989.
12. Кальченко О.Л. Замкнені системи оборотного водопостачання машинобудівних заводів. Автореферат дисертацій на здобуття наукового ступення канд.техн.наук. Український НД і екологічних проблем - Харків, 2000
13. Прошин А.Н., Диков В.А. Кудрявцев Н.А., ИвановА.А. Опыт создания типоразмерных рядов гидроциклонов и организация их серийного выпуска.Водоснабжение и санитарная техника. -2002.-№9. -с30-32.
14. Проектирование сооружений для очистки сточных вод. Справочное пособие к СНиП. - М: Строй издат, 1990.

**Навчальний посібник**  
**Долина Леонід Федорович**

Проектування і розрахунок споруд та установок для  
механічної очистки виробничих стічних вод.

Російською мовою  
Комп'ютерна верстка Г.С. Нікуліної

Книга друкується в авторській редакції

Здано до друку 23.02.04. Підписано до друку 12.03.04.  
Формат 60х84 1/16. Умов.- друк. арк. 8,43  
Тираж 500 прим.  
Видавництво «Континент» Дніпропетровськ